



**Universidade do Estado do Rio de Janeiro**

Centro de Ciências Sociais

Faculdade de Ciências Econômicas

Isabela Nery Lima

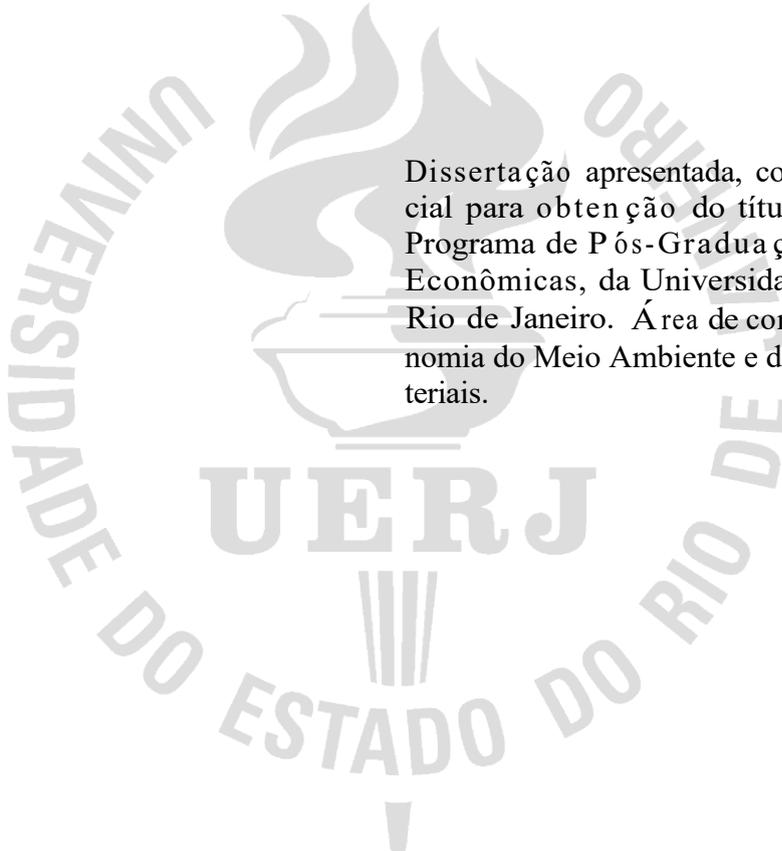
**A relação entre consumo de energia e crescimento econômico no  
Brasil**

Rio de Janeiro

2024

Isabela Nery Lima

**A relação entre consumo de energia e crescimento econômico no Brasil**



Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Econômicas, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Economia do Meio Ambiente e dos Recursos Materiais.

Orientador: Prof. Dr. Ronaldo Seroa da Motta  
Coorientador: Prof. Dr. Elcyon Caiado Rocha  
Lima

Rio de Janeiro  
2024

CATALOGAÇÃO NA FONTE  
UERJ / REDE SIRIUS / BIBLIOTECA CCS/B

L732 Lima, Isabela Nery .  
A relação entre consumo de energia e crescimento econômico no Brasil  
/ Isabela Nery Lima . – 2024.  
95 f.

Orientador: Prof. Dr. Ronaldo Seroa da Motta .  
Coorientador: Prof. Dr. Elcyon Caiado Rocha Lima .  
Dissertação (mestrado) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro,  
Faculdade de Ciências Econômicas.  
Bibliografia: f. 76-78.

1. Energia - Consumo – Teses. 2. Desenvolvimento econômico - Brasil  
– Teses. 3. Modelo VEC – Teses. I. Motta, Ronaldo Seroa da. II.  
Lima, Elcyon Caiado Rocha. III. Universidade do Estado do Rio de  
Janeiro. Faculdade de Ciências Econômicas. IV. Título.

CDU 338.1:621.311(81)

Bibliotecário: Fabiano Salgueiro CRB7/6974

Autorizo, apenas para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou parcial desta dissertação, desde que citada a fonte.

---

Assinatura

---

Data

Isabela Nery Lima

## **A relação entre consumo de energia e crescimento econômico no Brasil**

Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Econômicas, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Economia do Meio Ambiente e dos Recursos Materiais.

Aprovada em 05 de março de 2024.

Banca Examinadora:

---

Prof. Dr. Ronaldo Seroa da Motta (Orientador)  
Faculdade de Ciências Econômicas – UERJ

---

Prof. Dr. Elcyon Caiado Rocha Lima (Coorientador)  
Faculdade de Ciências Econômicas – UERJ

---

Prof. Dr. Rafael Pinho Senra de Moraes  
Faculdade de Ciências Econômicas – UERJ

---

Prof. Dr. Daniel de Abreu Pereira Uhr  
Universidade Federal de Pelotas

## **DEDICATÓRIA**

Dedico essa dissertação aos meus sobrinhos e às gerações por vir, que sentirão os efeitos do que ser á feito agora para conter as mudanças climáticas.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço aos colegas que entraram comigo no curso e compartilharam anotações, dúvidas e horas de estudo. Apesar de um curso feito à distância por conta da pandemia de COVID-19, conseguimos, de alguma forma, nos manter conectados e isso trouxe uma contribuição enorme para o meu desenvolvimento enquanto economista.

Agradeço aos professores Alexandre Marinho, Andre Ugolini e Fernando Antonio Aiube por incentivarem a turma a aprender sobre programação em Latex e R. Além de todo o processo inerente ao curso, eles nos mostraram os passos iniciais do que pode se tornar um dos diferenciais para nosso desenvolvimento profissional e acadêmico. Essa dissertação não teria esse formato e conteúdo sem esses aprendizados.

Agradeço ao meu orientador Ronaldo Serôa da Motta por todo o tempo que trabalhamos juntos. A sua dedicação comigo emprestando livros, me estimulando a sempre buscar mais conhecimento e lapidando as minhas ideias com as orientações me ensinou o que é ser professor e a base para ingressar na Economia do Meio Ambiente, área que sempre me chamou muita atenção. E, na verdade, eu agradeço ainda mais pela paciência com os processos que me fizeram desacelerar e até dar algumas pausas nos estudos, mas entender que eu nunca desistiria do projeto. Você manteve a confiança em mim e isso foi mais um impulso para seguir adiante até o fim.

Agradeço o Professor Elcyon Caiado de Lima pela ajuda na definição metodológica, elevando o rigor científico desta dissertação.

## RESUMO

LIMA, I.N. *A relação entre consumo de energia e crescimento econômico no Brasil*. 2024. 95 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Econômicas) – Faculdade de Ciências Econômicas, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2024.

A dissertação tem como objetivo analisar a relação de causalidade entre crescimento econômico e consumo de energia no Brasil entre dezembro de 2002 e maio de 2022. O estudo buscou referências de estudos anteriores para definição temática e metodológica, sendo diferenciais desta publicação a periodicidade mensal das séries temporais usadas e a inclusão de 4 fontes principais (eletricidade, álcool, derivados do petróleo e outros derivados do petróleo) a fim de refinar um pouco mais as análises sobre a adaptação da economia brasileira às tecnologias renováveis e o nível de desenvolvimento do processo de transição energética. Para analisar as relações de causalidade entre as variáveis, foram usados os modelos VECM, FMOLS e a função de impulso resposta. Os resultados confirmam a hipótese de conservação, isto é, um efeito do crescimento econômico para o consumo de energia, assim como a importância do crescimento econômico para o desenvolvimento setorial e, apesar de ainda ser identificada a relevância do combustível fóssil na dinâmica com o capital e com o crescimento econômico, também é possível detectar efeitos positivos do processo de transição energética.

Palavras-chave: Energia. Crescimento Econômico. Brasil. VEC.

## **ABSTRACT**

LIMA, I.N. *The relationship between energy consumption and economic growth in Brasil*. 2024. 95 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Econômicas) – Faculdade de Ciências Econômicas, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2024.

The dissertation aims to analyze the causal relationship between economic growth and energy consumption in Brazil between December 2002 and May 2022. The study sought references from previous studies for thematic and methodological definition, with the differences of this publication being the monthly periodicity of the series temporal sources used and the inclusion of 4 main sources (electricity, alcohol, petroleum derivatives and other petroleum derivatives) in order to further refine the analyzes on the adaptation of the Brazilian economy to renewable technologies and the level of development of the transition process energy. To analyze the causal relationships between the variables, the VECM, FMOLS models and the impulse response function were used. The results confirm the conservation hypothesis, that is, an effect of economic growth on energy consumption, as well as the importance of economic growth for sectoral development and, despite the relevance of fossil fuel in the dynamics with capital still being identified and with economic growth, it is also possible to detect positive effects of the energy transition process.

Keywords: Energy. Economic Growth. Brasil. VEC.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Série histórica do consumo de energia por fontes publicada pela EPE, 2022 .....	48
Figura 2 - Variáveis de controle - dados anuais .....	49
Figura 3 - Resumo dos testes de estacionariedade .....	53
Figura 4 - Função impulso resposta 1- formato desagregado.....	57
Figura 5 - Função impulso resposta 2 - formato desagregado .....	58
Figura 6 - Função impulso resposta 3 - formato desagregado .....	58
Figura 7 - Função impulso resposta 4 - formato desagregado .....	59
Figura 8 - Função impulso resposta 5 - formato desagregado .....	59
Figura 9 - Modelo FMOLS .....	60
Figura 10 - Recorte da função impulso resposta - ordenação 1.....	61
Figura 11 - Recorte da função impulso resposta - ordenação 2.....	62
Figura 12 - Recorte da função impulso resposta - ordenação 3.....	62
Figura 13 - Recorte da função impulso resposta - ordenação 4.....	63
Figura 14 - Recorte da função impulso resposta - ordenação 5.....	63
Figura 15 - Recorte da função impulso resposta - ordenação 1.....	64
Figura 16 - Recorte da função impulso resposta - ordenação 2.....	64
Figura 17 - Recorte da função impulso resposta - ordenação 3.....	65
Figura 18 - Recorte da função impulso resposta - ordenação 4.....	65
Figura 19 - Recorte da função impulso resposta - ordenação 5.....	66
Figura 20 - Recorte da função impulso resposta - ordenação 1.....	67
Figura 21 - Recorte da função impulso resposta - ordenação 2.....	67
Figura 22 - Recorte da função impulso resposta - ordenação 3.....	68
Figura 23 - Recorte da função impulso resposta - ordenação 4.....	68
Figura 24 - Recorte da função impulso resposta - ordenação 5.....	69
Figura 25 - Recorte da função impulso resposta - ordenação 1.....	70
Figura 26 - Recorte da função impulso resposta - ordenação 2.....	71
Figura 27 - Recorte da função impulso resposta - ordenação 3.....	71
Figura 28 - Recorte da função impulso resposta - ordenação 4.....	72
Figura 29 - Recorte da função impulso resposta - ordenação 5.....	72
Figura 30 - Variáveis de controle - dados mensais .....	79
Figura 31 - Dados mensais de energia - bases de dados ANS via Ipeadata, 2023 e ONS, 2023 .....	79
Figura 32 - Condição de estabilidade .....	80
Figura 33 - Seleção de defasagens .....	86
Figura 34 - Método Johansen para teste de cointegração .....	87

Figura 35 - Método Johansen para teste de cointegração - continuação.....	88
Figura 36 - Método Johansen para teste de cointegração .....	89
Figura 37 - Método Johansen para teste de cointegração - continuação.....	90
Figura 38 - Método Johansen para teste de cointegração - continuação.....	90
Figura 39 - Estimativas do modelo VEC .....	91
Figura 40 - Estimativas do modelo VEC (continuação).....	92
Figura 41 - Testes de correlação .....	93
Figura 42 - Teste Cholesky de Normalidade dos Resíduos do modelo VEC.....	94
Figura 43 - Teste Heterocedasticidade dos Resíduos do modelo VEC.....	95

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Seleção de defasagens .....	53
Tabela 2 - Método Johansen.....	54
Tabela 3 - Método Johansen.....	54
Tabela 4 - Teste ADF - variáveis em nível.....	81
Tabela 5 - Teste PP - variáveis em nível.....	81
Tabela 6 - Teste ADF com quebra- variáveis em nível.....	81
Tabela 7 - Teste KPSS - variáveis em nível.....	82
Tabela 8 - Teste ZA - variáveis em nível .....	82
Tabela 9 - Teste DF-GLS - variáveis em nível.....	82
Tabela 10 - Teste ADF - variáveis em primeira diferença .....	83
Tabela 11 - Teste PP - variáveis em primeira diferença .....	83
Tabela 12 - Teste ADF com quebra- variáveis em primeira diferença .....	83
Tabela 13 - Teste KPSS - variáveis em primeira diferença .....	84
Tabela 14 - Teste ZA - variáveis em primeira diferença .....	84
Tabela 15 - Teste DF-GLS - variáveis em primeira diferença.....	85

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

ANP	Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
BEN	Balanco Energético Nacional
CAGED	Cadastro Geral de Empregados e Desempregados
CEBDS	Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável
CNI	Confederação Nacional da Indústria
CNT	Contas Nacionais Trimestrais
DOLS	dynamic ordinary least squares
ECM	error correction model
FGV	Fundação Getúlio Vargas
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
Febraban	Federação Brasileira de Bancos
FMOLS	fully modified ordinary least squares
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IBRE	Instituto Brasileiro de Economia
IPEA	Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
MME	Ministério de Minas e Energia
MQO	Mínimos Quadrados Ordinários
MTE	Ministério do Trabalho e Emprego
NDC	Contribuição Nacionalmente Determinada
OLS	ordinary least squares
ONS	Operador Nacional do Sistema Elétrico
PCH	pequena central hidrelétrica
PDET	Programa de Disseminação das Estatísticas do Trabalho
PIB	Produto Interno Bruto
PNPB	Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel
tep	tonelada equivalente de petróleo
VECM	vector error correction model
WDI	World Development Indicators

## SUMÁRIO

	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	12
1	<b>ENERGIA RENOVÁVEL, BRASIL E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	18
1.1	<b>Revisão bibliográfica</b> .....	20
1.1.1	<u>Pesquisas com amostra de países</u> .....	21
1.1.2	<u>Análise com um país</u> .....	28
2	<b>REVISÃO METODOLÓGICA</b> .....	37
2.1	<b>Construção do modelo VEC</b> .....	38
2.2	<b>Testes empíricos e métodos econométricos</b> .....	40
2.3	<b>Definição do modelo</b> .....	43
2.3.1	<u>As análises das relações de causalidade</u> .....	47
2.4	<b>Dados</b> .....	47
3	<b>RESULTADOS</b> .....	52
3.1	<b>Testes de estacionariedade</b> .....	52
3.2	<b>Testes de cointegração</b> .....	52
3.3	<b>Modelo VECM e outros resultados acerca das relações de causalidade</b> .....	54
3.4	<b>Análises das relações de causalidade</b> .....	57
	<b>CONCLUSÃO</b> .....	74
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	76
	<b>APÊNDICE A – Séries temporais usadas</b> .....	79
	<b>APÊNDICE B – Testes de estacionariedade</b> .....	80
	<b>APÊNDICE C – Teste de cointegração</b> .....	86
	<b>APÊNDICE D – VECM</b> .....	91
	<b>APÊNDICE E – Testes sobre o modelo</b> .....	93

## INTRODUÇÃO

Em discussões gerais sobre possíveis cenários econômicos mundiais, esta década sofre cada vez mais o alerta sobre a necessidade de uma mudança radical no desenvolvimento econômico e dos modos de vida por conta da urgência das mudanças climáticas e os desastres ambientais decorrentes, assim como outros impactos (ELKINGTON, 2020; O’SULLIVAN; OVERLAND; SANDALOW, 2017; ROMEIRO et al., 2020). Tais cenários apresentam estratégias em políticas públicas com o intuito de desenvolver uma economia de baixo carbono, transformar a infra-estrutura de forma a torná-la mais resiliente, estabelecer a revolução energética, dentre outros aspectos importantes no processo de adaptação e redução dos efeitos das mudanças climáticas. Os cenários vem sendo projetados porque, de acordo com Elkington, estaríamos vivendo um ponto crítico de virada, com transformações profundas e que poderão nos levar a um caminho de regeneração ou destruição.

Without wanting to tempt fate, I sense that the next decade will be the most exciting, challenging, and, at times, dangerous of my working life. Either capitalism must be transformed root and branch, with new definitions of impact, value, and wealth creation - or it will be replaced. The ultimate test is whether whatever form of wealth creation we do evolve by the 2030s is capable of actively restoring and regenerating our natural environment and, in parallel, our economies and societies.(ELKINGTON, 2020, p.16)

As discussões sobre sustentabilidade, mudanças climáticas e energia limpa vem ganhando cada vez mais espaço na literatura acadêmica nas últimas décadas. Em uma primeira busca por artigos sobre esses temas, uma variedade de estudos surge destacando a importância da relação entre crescimento econômico e energia e como a expansão do setor de energia renovável pode ser uma estratégia para redução de emissões de gases do efeito estufa. Além da defesa da revolução energética, O’Sullivan, Overland e Sandalow (2017) ainda analisa como esse processo altera a geopolítica mundial e pode desenvolver laços mais amigáveis entre os países por conta da cooperação necessária para manutenção das *supergrids*. Elkington (2020) e Sadorsky (2011) também saem em defesa da expansão de renováveis, apresentando outros cenários possíveis que consideram fatores como a segurança energética, controle de emissões e desenvolvimento sustentável.

Já Xie et al. (2020) abordam a relação entre crescimento econômico e consumo de energia renovável analisando a partir de que ponto a expansão das fontes renováveis

estimula o desenvolvimento de uma economia verde <sup>1</sup>. Partindo-se da suposição de uma condição intertemporal no desenvolvimento setorial das fontes renováveis, o estudo indica a necessidade de incentivos, investimento e inovação tecnológica para a transformação do setor energético com a expansão dessas fontes na matriz energética. Também analisa a partir de que ponto a energia renovável em escala estimula o desenvolvimento de uma economia mais resiliente e de baixo carbono. Com isso, o estudo salienta a existência de países ainda dependentes de combustíveis fósseis, isto é, o capital atrelado à produção ainda não conseguiu se adaptar às novas fontes de energia, e a importância do desenvolvimento de novas tecnologias no processo de maturação do setor de fontes renováveis. O artigo indic este processo como o alicerce para a coordenação entre consumo de renováveis e desenvolvimento da economia verde, sendo este ponto também enfatizado por O'Sullivan, Overland e Sandalow (2017) e Elkington (2020).

Em outra pesquisa da relação entre crescimento econômico e consumo de energia renovável, Ntanos et al. (2018) analisam uma amostra de 25 países europeus e buscam uma explicação para o baixo uso de fontes renováveis dentro da política energética nacional. O estudo indicou como possíveis explicações o pouco conhecimento sobre seu uso efetivo e a falta de recursos financeiros para maior inserção dessas fontes na matriz energética. Como conclusão, o artigo sugere como política a criação de ambientes *eco-friendly* a partir de massivos investimentos e incentivos ao consumo das famílias e a criação de um balanço energético comum europeu para dar conta da escassez de fontes energéticas renováveis em alguns países. Também sugerem o desenvolvimento do conhecimento e a retirada de barreiras políticas e econômicas como passos importantes para o desenvolvimento e efetiva implementação do uso da energia renovável.

O Brasil, país bastante vulnerável aos efeitos das mudanças climáticas, historicamente se mostra atento a esse tipo de discussão ambiental e estimula o corpo acadêmico a pensar em planejamentos setoriais considerando o desenvolvimento econômico aliado às perspectivas de redução das desigualdades e sustentabilidade ambiental (GRAMKOW, 2020; ROMEIRO et al., 2020; BRASIL; MME; EPE, 2020; COSTA; PRATES, 2005; VIEIRA, 2021), sendo signatário do Acordo de Paris e da Agenda 2030. De acordo com Gramkow (2020), em paralelo com as considerações de Elkington (2020), a década de 2020 se mostra como uma janela de oportunidade para incorporação da agenda ambiental na construção das políticas de desenvolvimento econômico, sendo o caminho para uma economia mais inclusiva, resiliente, de baixo carbono e sustentável. Segundo ainda a mesma autora, desde a Crise de 2008-09 e a partir da deterioração da economia, que foi

---

<sup>1</sup> A economia verde é definida a partir da redução das emissões de poluição, aumento da eficiência da produção e promoção do crescimento econômico. Segundo a OCDE, a economia verde é definida como a promoção do crescimento econômico enquanto assegura que a natureza possa continuamente prover recursos e serviços ambientais para o bem-estar da humanidade Cf. XIE et al., 2020.

agravada pela epidemia de Covid-19, há uma valorização do papel do Estado na economia e de propostas políticas de recuperação econômica verde, com pacotes de investimento que incluem projetos em energias renováveis, eficiência energética, transporte público, ferrovias, infraestrutura hídrica, proteção ambiental etc.

Falando especificamente sobre as energias renováveis, desde a crise do petróleo, houve a expansão de biocombustíveis a partir dos anos 2000 no Brasil através de vários programas de incentivo, além da crescente diversificação da matriz energética e elétrica e políticas de incentivos às novas fontes renováveis (biomassa, eólica, solar, marés, PCH<sup>2</sup>, entre outros). De acordo com Costa e Prates (2005) e BRASIL, MME e EPE (2020)<sup>3</sup>, após alterações na matriz energética, as principais fontes no Brasil são: petróleo e gás, hidráulica e biomassa, caracterizando um equilíbrio entre fontes renováveis e não renováveis com menos emissões locais e globais. Todavia, Romeiro et al. (2020) e Costa e Prates (2005) destacam a relevância do desenvolvimento de novas tecnologias no país, redução da dependência de tecnologias de ponta para geração de energia e promoção da redução das diferenças regionais pelo acesso à energia.

Conforme nos deparamos com as transformações no setor de energia e na economia e projetamos o processo de revolução energética demandado, Bhattacharya et al. (2016) são uma referência importante ao questionar como as economias mundiais se adaptaram às fontes renováveis de energia e analisar em que etapa estariam no caminho para uma economia de baixo carbono. O artigo trouxe uma importante questão para a amostra de países com maior consumo de fontes renováveis: entender a dinâmica de longo prazo entre crescimento econômico e energia. Tal estudo, que serviu como base para a questão principal da dissertação, questiona a situação do Brasil no tocante ao impacto da energia renovável sobre a economia: este fato poderia ser resultado de um estágio inicial de desenvolvimento do setor, demandando políticas mais efetivas para sua promoção.

Outra pesquisa que serviu de referência para esta dissertação foi realizada por Pao e Fu (2013), que buscaram apresentar os impactos das novas fontes renováveis <sup>4</sup> no Brasil de forma separada e indica a relação de *feedback* dessas fontes com o crescimento econômico no curto prazo, sendo confirmada a hipótese de crescimento<sup>5</sup> no longo prazo. Ainda na busca por estudos realizados no Brasil, Carminati e Scalco (2013) analisaram a relação de consumo e oferta de energia com o crescimento econômico no período 1970-2007

---

<sup>2</sup> Pequena Central Hidrelétrica

<sup>3</sup> Ministério de Minas e Energia e Empresa de Pesquisa Energética

<sup>4</sup> Foi analisado como um agregado de fontes renováveis não hídricas já que havia poucos dados das fontes solar, eólica e nuclear no período 1980-2010, que representavam menos de 1% do consumo total de energia, mas indicavam o maior coeficiente de variação por conta da alta taxa de crescimento.

<sup>5</sup> Essa hipótese identifica uma relação causal unidirecional das fontes de energia sobre o crescimento econômico.

e confirmaram a forte relação entre as variáveis. Esses estudos demonstram a relevância das políticas energéticas tanto para a economia quanto para o conjunto de estratégias do programa de mitigação dos efeitos das mudanças climáticas.

A contradição indicada na comparação entre os estudos no Brasil e Bhattacharya et al. (2016) e a importância do tema para a tomada de decisão de gestores públicos no planejamento econômico reforçam a necessidade de estudos que, tal como essa dissertação, visam atualizar os resultados sobre a relação causal entre consumo de energia e crescimento econômico. Considerando a relevância do setor energético para as estratégias de mitigação dos efeitos das mudanças climáticas, analisar o impacto do consumo de energia sobre a economia é um passo para identificar em que etapa do processo de maturação do desenvolvimento do setor de energia renovável estamos e, por conseguinte, entender se é possível então estimular um desenvolvimento mais sustentável da economia, tal como preconiza Xie et al. (2020) e os cenários mais arrojados (ELKINGTON, 2020; ROMEIRO et al., 2020).

Ao catalogar e estudar artigos anteriores já citados e publicações setoriais, compreende-se a importância de expansão dos renováveis e de uma economia adaptada a este setor, que possa crescer e se desenvolver sob essa nova base, além da necessidade de acompanhar o impacto das fontes renováveis no crescimento econômico. Saber sobre o nível de adaptação da economia ao uso de renováveis ajuda no processo de investir e expandir a busca por novas fontes, elaboração de novas tecnologias e desenvolvimento da economia verde. Para a tomada de decisão, os gestores precisam saber se a revolução energética ainda requer muitos incentivos ou se a economia já se coloca em um ciclo virtuoso com essas fontes. Entretanto, foi apontado por Hdom (2023) como a literatura recente sobre a relação entre energia, crescimento econômico e questões ambientais vem crescendo, mas apresenta uma variedade de resultados, sendo alguns divergentes. A diferença entre os estudos pode ser explicada pelo uso de diversas metodologias, amostras de países, variáveis e períodos analisados.

Considerando a importância do tema e os motivos para divergência de resultados na literatura, a dissertação buscou trazer um detalhamento maior para a análise, usando as principais fontes de energia encontradas, tentando seguir o padrão de apresentação dos periódicos da EPE: eletricidade, álcool, derivados do petróleo e outros derivados do petróleo. Não foi possível ainda estimar o impacto de novas fontes renováveis, tais como solar e eólica, pois essas apenas apresentam dados dentro do escopo da geração elétrica e tem uma participação ainda pequena na matriz energética brasileira. Entretanto, o nível de detalhe estabelecido na dissertação já pode ser proveitoso, trazendo maior elucidação sobre as divergências entre os resultados de estudos anteriores, e estimular a busca por outras bases desagregadas de energia em pesquisas futuras.

Observando o padrão apresentado na literatura e indicado em Apergis e Payne (2011), o modelo foi inicialmente pensado a partir de uma função de produção com o

intuito de simplificar o estudo e aprofundar as análises sobre as dinâmicas entre as variáveis usadas, comparando resultados com estudos anteriores. Pao e Fu (2013) destacam ainda duas vantagens ao usar essa estratégia: contornar um possível problema de viés por variáveis omitidas e, a partir da compreensão das interações entre as variáveis, estabelecer alguma previsibilidade de resultados na economia.

Contudo, para estudos com apenas um país, com um conjunto de dados menor, e seguindo a proposta de uma análise mais simples das relações de causalidade, sem tanta base em modelos econômicos, um modelo VAR (vetor autorregressivo) é o mais recomendado. Vale destacar que o modelo VAR ganha notoriedade entre os economistas nos estudos de macroeconomia principalmente porque, segundo Cavalcanti (2010), ele permite analisar as relações entre múltiplas variáveis a partir de um conjunto mínimo de restrições de identificação. Considerando que o conjunto de dados usa séries históricas não estacionárias em nível (integradas em I1) e cointegradas, é necessário usar o VECM (modelo de vetor de correção de erro): ele é uma variação do VAR amplamente usada nos estudos indicados na revisão bibliográfica exatamente por incorporar o processo de cointegração. Segundo Costa (2019), variáveis que podem ser estacionárias em conjunto mas não estacionárias separadamente apresentam uma dinâmica no curto prazo que precisa ser considerada para a compreensão das relações analisadas. O VECM tem como diferencial poder analisar essa dinâmica no curto prazo e gerar um vetor de correção do erro, isto é, ele calcula o quanto é necessário compensar os desvios para o retorno à trajetória de equilíbrio no longo prazo, além de servir de base para a análise de causalidade posterior, com a função impulso resposta.

Com isso, além de pensar o papel das fontes renováveis na economia e apresentar como o setor de energia impacta a economia brasileira, a revisão bibliográfica também traz referências de variáveis usadas e de um modelo adequado para analisar as relações de causalidade, tentando estabelecer uma atualização da situação brasileira. Logo, esta dissertação visa analisar a relação de causalidade entre crescimento econômico e energia usando sete variáveis com periodicidade mensal, com o propósito de atualizar o entendimento do panorama da transição energética no Brasil. Os diferenciais do estudo foram escolhidos a partir da análise da revisão bibliográfica, que indicava a necessidade de maior granulação dos dados (ARVANITOPOULOS; AGNOLUCCI, 2020; GONÇALVES; RODRIGUES; CHAGAS, 2020) e de maior desagregação das fontes de energia (HDOM, 2023) para melhor compreensão das dinâmicas entre economia e energia.

A dissertação está organizada em cinco capítulos, sendo o primeiro esta introdução. O segundo capítulo apresenta a revisão bibliográfica, com um breve panorama sobre a energia no Brasil e a pesquisa de artigos sobre a relação entre consumo de energia e crescimento econômico, incluindo breve análise das metodologias utilizadas, variáveis associadas e resultados. O capítulo seguinte apresenta a metodologia adotada, assim como todas as etapas de testes necessária para a geração do modelo tal como está planejado

e os testes após o modelo para a análise das relações de causalidade. Os resultados são apresentados e discutidos no quarto capítulo. E, por fim, a conclusão resume o estudo e traz as ponderações finais.

## 1 ENERGIA RENOVÁVEL, BRASIL E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O estudo da relação causal entre consumo de energia e crescimento econômico é um dos temas recorrentes da literatura acadêmica na análise de questões ambientais. A preocupação com o consumo de combustíveis fósseis e o conseqüente aumento das emissões de carbono, o impacto da expansão da energia renovável no controle dessas emissões e na economia mundial e como essa substituição de fontes de energia afetam a geopolítica mundial são alguns dos temas abordados ao tratar de assuntos relacionados às mudanças climáticas e servem como propulsor para tomada de decisão em relação às políticas públicas relacionadas ao setor energético e à mitigação dos seus efeitos.

Esta dissertação passa a ser relevante para a compreensão da situação atual da relação da economia com as fontes energéticas da matriz brasileira, a possibilidade do processo de substituição entre as fontes e de dependência energética do país, se propondo a ser uma atualização do impacto das fontes de energia sobre a economia brasileira. Para uma análise mais apurada, foi preciso pesquisar estudos de variados países para entender como o tema da relação entre consumo de energia e crescimento econômico é tratado, assim como pesquisar artigos sobre o Brasil que analisassem a sua matriz energética e o impacto da energia na economia brasileira.

A literatura pesquisada mostra que a preocupação com um planejamento setorial, condizente com as atuais questões ambientais, também estimulou uma produção acadêmica sobre a temática no Brasil. Para além dos periódicos institucionais (BRASIL; MME; EPE, 2020) e artigos sobre a matriz energética (VIEIRA, 2021), há a apresentação de políticas de redução da dependência ao petróleo (COSTA; PRATES, 2005) e planejamentos setoriais para desenvolvimento de uma economia de baixo carbono (ROMEIRO et al., 2020; GRAMKOW, 2020). Os estudos citados não seguem a temática desta dissertação, mas demonstram a importância dada às fontes renováveis e os impactos da evolução do setor energético na economia e servem como norteadores para observar a evolução do nível de desenvolvimento das fontes renováveis, tal como indicado em Xie et al. (2020), sendo apresentado a seguir um breve resumo dos achados.

Inicialmente, Costa e Prates (2005) destacam o papel estratégico das novas fontes renováveis, relacionadas à sustentabilidade ambiental e que permitem a geração distribuída de energia e o desenvolvimento de novas tecnologias no país, o que permite maior desenvolvimento local, redução das desigualdades regionais e maior qualidade de vida para a população. O artigo faz um retrospecto das principais mudanças no setor energético mundial identificando a atual necessidade de substituição do petróleo, que é a fonte dominante, a partir de inovações tecnológicas e alterações nos padrões de consumo. Ele também cita as principais barreiras políticas, legais, financeiras e fiscais à expansão das fontes renováveis e o papel do BNDES, como um banco de fomento às ações de desenvol-

vimento econômico, na promoção de programas de eficiência energética e expansão do uso das fontes renováveis. O artigo conclui indicando as vantagens comparativas do Brasil na geração de energia por fontes renováveis e a necessidade de um arcabouço institucional para remover as barreiras aos investimentos e incentivos fiscais e financeiros para a expansão do setor.

Em 2017, o Brasil detinha uma matriz energética 41% renovável e 59% não renovável, sendo as principais fontes consumidas a hidráulica, lenha, gás natural e petróleo. Presotto e Talamini (2021) identificam 3 eventos marcantes para o panorama do setor energético atual: a inversão da matriz energética em 2000 a partir da Lei do Petróleo (lei 9478/97); a produção de biodiesel em larga escala a partir da sua regulamentação em 2004, com o Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB); e a intensificação da produção de energia a partir da Política Nacional de Biocombustíveis de 2017 (RenovaBio). Vieira (2021), ao observar a oferta e consumo de energia renovável no mercado brasileiro, destaca a aprovação da Agenda 21, que trata da preparação do mundo para os desafios do próximo século, destaca o aumento da oferta de energia renovável e fontes alternativas implantadas para substituição do combustível fóssil, assim como novas normas da ANEEL que regulamentam algumas modalidades de descentralização da geração elétrica no Brasil, possibilitando ao consumidor gerar sua própria energia <sup>6</sup>.

Considerando aspectos dos setores da economia e os desafios e oportunidades que o Brasil enfrenta após a pandemia de COVID, Romeiro et al. (2020) <sup>7</sup> visa destacar possíveis políticas capazes de reduzir a pobreza e a desigualdade, contribuir para o cumprimento de metas econômicas e setoriais, estimular o crescimento econômico sustentável e tornar o Brasil mais resiliente a futuras ameaças, além de apresentar benefícios e oportunidades atuais na transição para uma economia de baixo carbono. O estudo segue, de alguma forma, o padrão de Sadorsky (2011), Elkington (2020) e O'Sullivan, Overland e Sandalow (2017) de estabelecer cenários e defender a economia de baixo carbono, a partir do entendimento de que as crises (pandemia, sócio-econômica e ambiental) deveriam ser enfrentadas colocando a sustentabilidade como um tema transversal no planejamento econômico do país, tendo o setor energético uma seção à parte, dada sua importância no processo. Como diferencial, o estudo traz o Plano Plurianual 2020-2023 à tona apresentando os desafios e barreiras econômicas e apresentando medidas associadas a boas práticas já desenvolvidas no país e que ganhariam escala.

---

<sup>6</sup> As Resoluções Normativas indicadas são: Resolução Normativa ANEEL 482/2015, que possibilita a compensação de créditos na conta de energia a partir da geração no imóvel do consumidor, e Resolução Normativa ANEEL 687/2015, que faz uma alteração no prazo de validade desses créditos.

<sup>7</sup> Este estudo foi desenvolvido pelas equipes do WRI Brasil e da iniciativa do *New Climate Economy*, com apoio da PUC-Rio, CPI, COPPE-UFRJ, Ipea, Febraban (Federação Brasileira de Bancos) e CEBDS (Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável).

Retomando a proposta da dissertação, a seguir são apresentados alguns artigos recentes que analisam a relação causal entre consumo de energia e crescimento econômico, dando seguimento à proposta de observar como os estudos sobre este tema específico são realizados e os resultados encontrados.

### 1.1 Revisão bibliográfica

A literatura sobre o tema (APERGIS; PAYNE, 2009; PAO; FU, 2013; CARMINATI; SCALCO, 2013; SHAHBAZ et al., 2015; BHATTACHARYA et al., 2016; CABALU; HARRIS; SMITH, 2022) estabeleceu quatro possíveis relações de causalidade na dinâmica entre consumo de energia e crescimento econômico, identificadas a partir do modelo e que ajudam a definir políticas setoriais, a saber:

1. crescimento - causalidade unidirecional do consumo de energia para o crescimento econômico. Como a energia é vista como fonte importante para o processo de crescimento econômico, políticas de conservação de energia tem impacto negativo.
2. conservação - causalidade unidirecional do crescimento econômico para o consumo de energia
3. *feedback* - causalidade bidirecional entre consumo de energia e crescimento econômico. Nesse tipo de relação, qualquer mudança em uma das variáveis afeta a outra com um efeito reverso.
4. neutralidade - ausência de causalidade entre crescimento econômico e consumo de energia. O consumo de energia e o crescimento econômico são independentes entre si, isto é, não afetam um ao outro.

Para uma melhor organização dos artigos dessa revisão bibliográfica, foi estabelecida a separação dos artigos em subseções considerando a amostra de países. Será indicado em cada resumo de artigo as variáveis indicadas, o período analisado, a metodologia utilizada e os resultados, com a intenção de demonstrar o que foi destacado por Hdom (2023) sobre a divergência de resultados alcançados, explicada por ele como consequência dessa grande variação de amostras, variáveis e métodos.

Apesar desta dissertação considerar apenas o Brasil, na literatura, há uma predominância de estudos com grupo de países, tanto pela vantagem de análise conjuntural quanto pela possibilidade de comparação. Além disso, uma amostra maior ajuda a escolha de testes e métodos a serem usados na análise. Também foi levado em conta a importância de cobrir as várias regiões do mundo nessa revisão bibliográfica.

### 1.1.1 Pesquisas com amostra de países

Uns dos autores mais citados na literatura são Apergis e Payne (2010), que iniciam uma série de estudos sobre a relação entre consumo de energia e crescimento econômico com a pesquisa sobre a relação entre consumo de carvão e crescimento econômico para um painel de 25 países da OCDE, que consomem aproximadamente 35% do carvão mundial, no período 1980-2005. A partir deste artigo, é buscado um padrão a ser seguido por esta dupla de autores em outras publicações apresentadas a seguir. As variáveis usadas foram: PIB real ( $Y$ ), formação bruta de capital fixo ( $K$ ), força de trabalho total ( $L$ ) e o consumo de carvão ( $CC$ ). Foram aplicados testes mais complexos de heterogeneidade e heterocedasticidade para verificar possíveis variações do intercepto entre os países e ao longo do tempo e a variância do erro; testes de raiz unitária que consideram a possibilidade de quebras estruturais no padrão de estacionariedade; o método LLL para a realização do teste de cointegração; e o modelo vetor de correção do erro (VECM) para o teste de causalidade Granger. Como resultado, houve a evidência de relação negativa entre consumo de carvão e crescimento econômico, mas essas variáveis mantinham uma relação de causalidade bidirecional, tanto no curto quanto no longo prazo, corroborando então a hipótese de feedback acima mencionada. Na interpretação do resultado, constatou-se que as políticas energéticas desenhadas para reduzir a intensidade de carvão, melhorar a eficiência energética e promover o uso de fontes renováveis serviriam para promover o desenvolvimento de estratégias ambientais e energéticas de longo prazo que ajudariam a alcançar a demanda global de energia.

Já em Apergis e Payne (2011), quando trataram da relação entre crescimento econômico e consumo de energia renovável para seis países da América Central no período 1980-2006, houve uma simplificação dos testes a serem usados e este passou a ser uma referência para outras pesquisas, tais como Pao e Fu (2013) e Carminati e Scalco (2013). A América Central passava por uma transição econômica (do setor agrário de exportação para o turismo e indústria) e havia a preocupação com dependência regional ao petróleo importado, tanto pela volatilidade de preços quanto pela degradação ambiental, além da expansão do setor elétrico na região. Entretanto, os autores consideravam que havia poucos estudos sobre a relação de crescimento econômico com o consumo de energia renovável na América Central, sendo então este o motivo da relevância do estudo. Foram usados testes de raiz unitária e cointegração mais simples escolhidos a partir da abordagem de Pedroni, que leva em consideração o tamanho das séries temporais, e foram gerados os modelos FMOLS, para comparação com outros estudos, e VECM, para o teste de causalidade Granger. As variáveis utilizadas nesta pesquisa foram PIB real ( $Y$ ), formação bruta de capital fixo ( $K$ ), força de trabalho total ( $L$ ) e consumo de energia (eletricidade) renovável ( $RE$ ) e as bases de dados foram o Banco Mundial e a *Energy Information Administration*. Como resultado, houve a evidência de uma relação causal bidirecional

entre consumo de energia renovável e crescimento econômico, com impacto positivo do consumo de renováveis sobre a economia: ele impacta direta e indiretamente, pois há evidência de uma influência positiva do consumo de energia renovável sobre o capital, que mantém um impacto positivo no crescimento econômico. Com isso, os autores concluem que a energia renovável pode servir para retificar as limitações do *mix* energético, mas também como um catalisador para a modernização do setor energético atendendo aos objetivos de sustentabilidade definidos pelos gestores públicos.

Em um terceiro estudo, Apergis e Payne (2012) pesquisaram a relação entre consumo de energia renovável e não renovável e crescimento econômico com uma amostra de 80 países no período 1990-2007 usando uma estrutura de dados em painel e seguindo o método que estabeleceu na pesquisa anterior. Foi verificado o efeito substituição entre as fontes de energia e confirmada a hipótese de *feedback* entre consumo de energia (com ambas as fontes) e crescimento econômico. Também houve a evidência de *feedback* no curto prazo entre consumo de energia não renovável e capital, por conta da infraestrutura associada. A força de trabalho não tem impacto significativo sobre o crescimento econômico e a velocidade de ajuste para o longo prazo é lenta.

Bhattacharya et al. (2016) estudaram a relação causal entre consumo de energia e crescimento econômico para uma amostra de 38 países listados no índice RECAI (*Renewable Energy Country Attractiveness Index*)<sup>8</sup>, incluindo o Brasil. As variáveis analisadas foram: consumo de energia renovável, consumo de energia não renovável, formação bruta de capital fixo como indicador de capital, força de trabalho e PIB real. Na análise das elasticidades de longo prazo, o estudo indicou um papel importante da energia no desenvolvimento da economia, tendo as fontes não renováveis ainda um papel maior no resultado da economia de modo geral e sendo necessária a promoção da expansão das fontes renováveis para assegurar o desenvolvimento sustentável no futuro. Já sobre as relações de causalidade, houve a indicação de causalidade unidirecional do PIB para o capital e o trabalho e do consumo de não renováveis para o PIB, confirmando a hipótese de crescimento. Já para a análise das fontes renováveis, houve a divisão da amostra em três grupos por conta do alto grau de heterogeneidade e dependência cruzada entre os países. Para a maioria dos países, o consumo de renováveis é inelástico e positivo, indicando uma possível transição para o crescimento sustentável e uma associação com a criação de empregos no longo prazo. Contudo, para 11 países sendo um deles o Brasil, não foi possível estabelecer a energia renovável como um agente significativo para o crescimento econômico, sendo questionado se ela estaria em estágio inicial de desenvolvimento e indicado políticas mais efetivas para promover a geração de energia e consumo por fontes

---

<sup>8</sup> A lista apresenta 40 países, mas dois não foram selecionados por conta da falta de disponibilidade de dados no período estudado.

renováveis.

Em Kahia, Aissa e Lanouar (2017), foi analisada a relação causal entre consumo de energia (renovável e não renovável) e crescimento econômico em uma amostra com 11 países MENA (*Middle East and North Africa*) importadores líquidos de petróleo <sup>9</sup> no período 1980-2012. O estudo seguiu o padrão metodológico e de variáveis de Apergis e Payne (2012) <sup>10</sup> e constatou evidências do efeito substituição entre as fontes de energia e a hipótese de feedback com elas, tanto no curto quanto no longo prazo. Além disso, também constatou, no curto prazo, o impacto positivo de todas as variáveis explicativas sobre o crescimento econômico e do crescimento econômico, do capital e do trabalho sobre o consumo de energia renovável. Com isso, este artigo também recomenda o aumento dos investimentos em projetos de energia renovável.

Em Al-Mulali et al. (2013), há a análise da relação de causalidade bidirecional de longo prazo entre consumo de energia renovável e crescimento do PIB em mais de 108 países classificados pelo nível de renda a partir de um modelo FMOLS no período 1980-2009. O artigo cobriu 81 estudos que usaram o teste de causalidade Granger para avaliar a relação entre consumo de energia renovável e crescimento econômico e encontrou os seguintes resultados: 45% validam a hipótese de *feedback*, 25% a hipótese de conservação, 20% a hipótese de crescimento e 10% a hipótese de neutralidade. Ele usa as variáveis consumo de eletricidade gerada por fontes renováveis e PIB, o período usado variou conforme a disponibilidade de dados, sendo o WDI a base de dados usada e foram organizados quatro grupos de países a partir de recortes de renda para a análise <sup>11</sup>. Pela análise dos resultados, 79% dos países confirmam a hipótese de feedback, enquanto 19% confirmam a hipótese de neutralidade. Esses resultados também revelam que essa relação bidirecional é mais significativa quanto maior for a renda do país e destacam a relevância dos investimentos em fontes renováveis por conta da promoção do crescimento econômico, baixo impacto ambiental, aumento da segurança energética e redução da dependência aos combustíveis fósseis importados e a criação de empregos.

Em Destek e Aslan (2017), houve a investigação do impacto relativo do consumo de energia renovável e não renovável no crescimento econômico em 17 países emergentes escolhidos a partir da lista *Morgan Stanley Capital Income* pelo período 1980-2012. Este estudo trouxe como variáveis apenas o consumo de energia elétrica renovável e não renovável e o PIB per capita e inovou na metodologia utilizada: ele começou analisando a dependência cruzada entre países, determinou a homogeneidade da curvatura na relação

---

<sup>9</sup> Da sigla NOIC, isto é, *net oil importing countries*.

<sup>10</sup> Análise com dados em painel, FMOLS e VECM para o teste de causalidade Granger. Parte de uma função de produção  $Y = f(K, L, REC, NREC)$ . Dados anuais e transformação das variáveis em log.

<sup>11</sup> Foram os grupos de países com baixa renda, países com renda média baixa, países com renda média alta e países com renda alta.

entre as variáveis e depois usou um método de causalidade com bootstrap e escolha ótima da defasagem pelo critério SBC. Os resultados mostram a neutralidade como hipótese confirmada na maioria dos países (12 países na análise do consumo de energia renovável e nove países na análise do consumo de energia não renovável), seguida de crescimento (quatro países na análise de consumo não renovável e um país para o consumo renovável), conservação (três países na análise de consumo não renovável e dois países para o consumo renovável) e *feedback* (dois países na análise de consumo renovável e um país para o consumo não renovável). A pesquisa também evidencia a dependência cruzada e a heterogeneidade da curvatura da relação entre os países, além de indicar a importância da energia não renovável para o crescimento de países emergentes.

Sadorsky (2009) realizou um estudo bastante citado da relação causal entre crescimento econômico e o consumo de energia renovável em 18 economias emergentes <sup>12</sup> por um período de 10 anos. Foram gerados dois modelos de cada um dos três métodos lineares indicados (OLS, FMOLS e DOLS), além de um modelo de correção do erro (ECM) para analisar o tempo de ajuste de possíveis desvios até o retorno à trajetória de equilíbrio de longo prazo. Foram usados como variáveis o consumo líquido per capita de energia elétrica de fontes renováveis e o PIB real per capita, sendo incluído no segundo modelo, quando disponível, a variável preço da eletricidade. Os resultados mostram que a elasticidade renda-energia renovável é parecida entre os diferentes métodos e nos dois modelos, sendo mais elástica que a elasticidade da eletricidade em geral, e não é confirmada a hipótese de *feedback* entre a renda e o consumo de energia renovável. O resultado demonstra que a elasticidade-preço é mais elástica que a eletricidade em geral, indicando que redução nos preços da eletricidade incentivariam o consumo de energia renovável. Além disso, por conta da elasticidade renda-energia renovável ser mais elástica quando comparada com a eletricidade, o autor indica ser um resultado positivo para o desenvolvimento de políticas energéticas, sendo esperado um crescimento mais rápido do consumo de energia renovável com o desenvolvimento da economia.

Em outro artigo que busca o impacto de outras variáveis sobre o consumo de energia, Sadorsky (2010) usa o método generalizado de momentos (GMM) para examinar o impacto do desenvolvimento financeiro em um painel de dados com uma amostra de 22 países emergentes <sup>13</sup> no período 1990-2006. O estudo faz parte da literatura da relação entre crescimento econômico e consumo de energia pelo fato de que o desenvolvimento financeiro está relacionado à decisão de um país permitir e promover atividades, o que

---

<sup>12</sup> A definição de economia emergente da Morgan Stanley Capital Income (MSCI) é a atividade social ou econômica de uma nação no processo de rápido crescimento e industrialização. Foram indicados inicialmente 24 países, mas selecionados apenas 18 por questão de disponibilidade de dados sobre consumo de energia renovável.

<sup>13</sup> Também identificadas pela *Morgan Stanley Capital Income*.

demanda energia e é um caminho para o crescimento econômico. Foram usadas as seguintes variáveis: demanda por energia, renda, preço e nível de desenvolvimento financeiro a partir de cinco indicadores <sup>14</sup>. Foram gerados seis modelos e os resultados indicaram que o consumo de energia renovável é influenciado por ele mesmo no passado, pela renda e pelo mercado de ações, tendo este um impacto pequeno quando comparado à renda. O resultado corrobora a hipótese de conservação e o autor indica a necessidade de se levar em conta o impacto do desenvolvimento econômico sobre a demanda de energia a fim de evitar a subestimação das políticas energéticas adotadas. Sobre outras variáveis do desenvolvimento financeiro, o autor destaca que o impacto do investimento externo é insignificante no estudo, mas ele depende de circunstâncias institucionais. Entretanto, a maioria dos países da amostra não é reconhecida pelo Banco Mundial pela facilidade de crédito ou para fazer novos negócios, o que explicaria o resultado encontrado.

Rocha (2013) analisa a relação de causalidade entre consumo de energia, crescimento econômico, produção de petróleo e as exportações em uma pesquisa que utiliza dados em painel com oito países exportadores de petróleo no período 1970-2011. O recorte da amostra é feito com a intenção de entender como o perfil dos países pode influenciar a relação entre consumo de energia e crescimento econômico <sup>15</sup>. O estudo desconsiderou as variáveis preços do petróleo, trabalho e capital. Os resultados indicam que o consumo de energia primária é a variável que mais influencia o PIB, sendo corroborada a hipótese de crescimento. O período de análise captura os efeitos do segundo choque do petróleo e destaca uma busca por maior eficiência energética, identificada pela variável altamente significativa e positiva, mas de baixo valor. Na análise das relações de causalidade a partir de um modelo ECM, foi destacado um valor baixo de correção dos desvios no equilíbrio de longo prazo, o que indica um período longo de efeito dos choques. Isso corrobora a hipótese do *Rentier State*, que fala sobre economias viciadas nas rendas do petróleo e pouco diversificadas. Além disso, a dependência do petróleo também atrapalha o processo de revolução energética e adoção de energias renováveis, o que traz efeito negativo para o crescimento econômico.

Já Gozgor, Lau e Lu (2018) analisam o efeito do consumo de energia renovável e não

---

<sup>14</sup> Foram testados as seguintes aproximações como indicadores do nível de desenvolvimento financeiro: *fdigdp* - percentual de fluxos líquidos do investimento externo direto em relação ao PIB; *dbagdp* - razão de depósitos bancários e moeda sobre o PIB; *smtktcap* - a razão da capitalização pelo mercado de ações sobre PIB; *stvaltraded* - a razão do valor negociado total no mercado de ações sobre PIB; *stturnover* - taxa de *turnover* do mercado de ações

<sup>15</sup> Isso é indicado pelas hipóteses do *Dutch Disease* (um aumento na receita através de recursos naturais conduz a uma valorização da taxa de câmbio real, o que eleva o custo (em moeda estrangeira) das exportações de produtos de outras indústrias, tornando-os menos competitivos e com prováveis efeitos negativos na economia) e *Rent seeking* (a abundância de um recurso natural origina um incentivo para que os agentes econômicos se envolvam em atividades não produtivas e o Estado a fornecer menos bens públicos que o ideal).

renovável no crescimento econômico em um painel de dados de 29 países da OCDE para o período 1990-2013. O estudo inova ao utilizar como variáveis o indicador de complexidade econômica<sup>16</sup> e o PIB real por trabalhador ativo, além dos dados de consumo de energia e usa os modelos ARDL e ECM para análise das relações de causalidade e PQR como um teste de robustez e refinamento dos resultados. Nos resultados, foi detectado o papel da complexidade econômica e do consumo de energia renovável como fontes propulsoras do crescimento econômico sustentável. É confirmada a hipótese de crescimento para ambas as fontes de energia, mas a energia renovável facilita a desaceleração das mudanças climáticas e está relacionada a mudanças tecnológicas. Além disso, o indicador de complexidade econômica apresenta efeitos marginais maiores nos maiores quartis de produtividade.

Aissa, Jebli e Youssef (2014) analisam a relação entre consumo de energia renovável, comércio<sup>17</sup> e PIB em uma amostra de 11 países africanos no período 1980-2008. A indicação do comércio como variável vem do entendimento de sua funcionalidade para a economia: uma melhor alocação de recursos e a transferência de tecnologia para uso de fontes renováveis. Os autores descrevem os programas energéticos estabelecidos nos países da amostra e o processo de maior integração regional do mercado de energia. Foram gerados três modelos (OLS, DOLS e FMOLS) que trouxeram resultados similares em termos de sinal, magnitude e significância estatística e indicam que o estimador da energia renovável teria impacto positivo nos modelos que usam as importações como indicador de comércio. Além disso, são usadas técnicas de cointegração e causalidade, através do modelo VECM, e é visto que há uma relação de causalidade bidirecional entre comércio e PIB, tanto no curto quanto no longo prazo e não houve evidência de causalidade com o consumo de energia renovável. Dessa forma, é confirmada a importância do comércio exterior para países em desenvolvimento pelo ganho de transferência de tecnologia e a hipótese de neutralidade foi explicada pela fraca proporção de fontes renováveis no setor de energia e pela falta de incentivos fiscais suficientemente relevantes para a promoção do setor.

Já Jebli e Youssef (2015) analisam a relação entre PIB, consumo de energia renovável e não renovável e comércio internacional para uma amostra de 69 países durante o período 1980-2010 usando a mesma metodologia de Aissa, Jebli e Youssef (2014). Acompanhando os resultados da pesquisa anterior, eles indicaram a existência de cointegração entre as variáveis e as estimativas de longo prazo dos modelos FMOLS, DOLS e OLS

---

<sup>16</sup> Este indicador é definido como a capacidade de exportar itens com alto valor agregado e busca refletir as características da produção, ao conhecimento para atingir um nível de crescimento. No modelo tradicional de produção, são considerados o capital e o trabalho. Atualmente, a literatura passa a adotar o papel do capital humano (habilidades), qualidade institucional (leis e direitos de propriedade) e progresso tecnológico como fontes do crescimento econômico.

<sup>17</sup> Foram usados indicadores de importação e exportação.

foram também muito próximas em termos de magnitude, sinal e nível de significância estatística. Nas relações de causalidade de curto prazo, os resultados evidenciam bidirecionalidade entre comércio e PIB e entre comércio e consumo de energia não renovável e causalidade unidirecional do consumo de energia renovável para o comércio. Já no longo prazo, há causalidade entre as variáveis e um lento ajuste para o equilíbrio, é vista uma causalidade bidirecional entre consumo de energia renovável, comércio e PIB, sendo então confirmada a hipótese de *feedback* para fontes renováveis. Além disso, apesar de não apresentar uma relação direta entre as fontes de energia, há uma causalidade unidirecional indireta através do comércio e que muda de direção do curto para o longo prazo. O comércio também aparece como um mediador na relação de causalidade de curto prazo entre o PIB e as fontes de energia e por sua relação com o consumo de energia renovável, a expansão comercial não significa necessariamente um aumento de poluição.

Por fim, considerando uma variação do indicador de energia, Gong e Wang (2022) analisam o impacto da segurança energética no crescimento econômico em uma amostra de 59 países entre 2000 e 2018. O conceito de segurança energética inicialmente estava atrelado às noções de disponibilidade, aceitabilidade e acessibilidade, mas foi ampliado com as questões ambientais e também passou a considerar a capacidade de desenvolvimento e a sustentabilidade ambiental, sendo atualmente requisitado assegurar eficiência e diversidade no sistema energético. Por ser um conceito multidimensional associado à produção, há um consenso na literatura da sua relação com o desenvolvimento econômico. O estudo usa como variáveis o PIB per capita, o índice do risco de segurança energética, o estoque de capital, o capital humano, o desenvolvimento financeiro e liberdade econômica, e foram usadas técnicas para dados em painel em cinco modelos com diferentes graus de complexidade. Os resultados indicam que a segurança energética tem impacto positivo no crescimento econômico e isso pode ter um incremento ainda maior com o desenvolvimento de estabilidade política nacional e pro processo de abertura comercial. Ao dividir os países em quatro grupos de acordo com o nível de renda e na posição no comércio de energia, os resultados indicam maior impacto entre os países de baixa renda e importadores de energia: nestes países, que apresentam forte dependência externa, avanços na segurança energética causam um efeito econômico maior.

Trazendo observações sobre os artigos desta parte da revisão, destacam-se como os estudos diferentes realizados por um mesmo grupo de pesquisadores apresentam uma menor variação de resultados encontrados. Eles geralmente estabelecem um padrão de variáveis e de metodologia que é aplicado para um grupo de países que pode variar a fim de captar como se dá a relação entre as variáveis em diferentes realidades, sendo Sadorsky a exceção. Com isso, há uma maior corroboração de resultados entre os estudos, como é possível ver no caso de Apergis e Payne. Inclusive, vale destacar que a metodologia desenvolvida por esses autores foi amplamente replicada e citada em estudos posteriores, sendo por isso apresentada nesta revisão e servindo como referência para o capítulo seguinte no

que couber, apesar de ser aplicada em grupos de países.

Entretanto, a partir do artigo de Al-Mulali et al. (2013), destaca-se a variedade de resultados encontrados, apesar da predominância de confirmação da hipótese de *feedback*, mesmo quando há a tentativa de organizar grupos de países por níveis de renda, indicando que há outros aspectos que influenciam o fenômeno, sendo relevante quando são apresentadas características em comum dos países da amostra. Isso ajuda a entender como se dá as relações dentro da economia estudada e a adaptação da tecnologia ao consumo de energia.

Outro destaque importante a ser feito é o discurso favorável às fontes renováveis, sendo unânime a importância dada aos investimentos no setor de renováveis e políticas de incentivo ao seu consumo, mesmo quando o resultado não confirma as hipóteses de *feedback* ou crescimento, pois reconhecem a forte relação entre energia e crescimento econômico e entendem que a evidência apresentada tem a ver com as características da economia, sendo sugeridas inovações nas formas de produção. Como exemplo dessa situação, temos o estudo de Aissa, Jebli e Youssef (2014).

Também vale notar como a variação de metodologias e questões dos estudos podem influenciar nos resultados encontrados. Essa situação fica mais evidente com a comparação adicional da seleção de variáveis. Apesar de a maioria dos estudos usar em algum momento o modelo ECM ou VECM para a análise das relações de causalidade e conseguir confirmar as hipóteses de *feedback* ou crescimento, é importante notar como a inclusão de variáveis sobre o comércio internacional ou preço traz maior variação de resultados, trazendo mais detalhes sobre as influências indiretas da energia sobre a economia de um país. Diante dos estudos selecionados, passa a ser importante para os gestores públicos que buscam implementar projetos de mitigação dos efeitos das mudanças climáticas e, com isso, buscam expandir o setor energético de fontes renováveis entender quais interações com outros setores (como o comércio internacional, por exemplo) podem ajudar a estimular esse processo e ajudar a revolução energética e transição para uma economia de baixo carbono.

### 1.1.2 Análise com um país

Já entre os estudos com apenas um país, início a descrição dos artigos com Pao e Fu (2013), que analisam a relação causal entre PIB real e quatro tipos de consumo de energia no Brasil no período 1980-2010. Os tipos de energia usados na pesquisa são:

energia renovável não hídrica <sup>18</sup> (NHREC), energia renovável total (TREC), energia não renovável (NREC) e energia primária total (TEC). O estudo usou como variáveis PIB real, a formação bruta de capital fixo, a força de trabalho e o consumo de energia, apresentado nos níveis desagregados e agregado já citados. Os modelos com um país tentam adaptar a metodologia utilizada por Apergis e Payne (2011) em pesquisas com amostras de países, usando testes sensíveis a pequenas amostras de observações: neste caso, foi utilizado o método de máxima verossimilhança de Johansen para testar a cointegração entre variáveis, o modelo VECM (vetor de correção do erro) para o teste de causalidade com uma definição das defasagens pelos critérios SBC e AIC <sup>19</sup>, teste JB, teste Ramsey RESET e os testes CUSUM e CUSUMSQ para avaliação da normalidade, da especificação e da estabilidade do modelo <sup>20</sup>. A pesquisa destaca em seus resultados como o processo de desenvolvimento econômico é fortemente dependente de investimento e trabalho e como a energia renovável tem impacto positivo e significativo na economia, se tornando essencial para gerar os recursos necessários para o desenvolvimento sustentável. Foi evidenciada a hipótese de feedback com as energias renováveis: no curto prazo, isso seria com a energia renovável não hídrica e, no longo prazo, seria com a energia renovável total. Essa diferença foi explicada pela pequena parcela (3.28%) das fontes indicadas na variável NHREC sobre o total de fontes renováveis. Além disso, por conta das relações estabelecidas entre TEC, NREC e crescimento econômico, o Brasil é tido como uma economia independente de energia por conta do sucesso do programa de redução da dependência a combustíveis fósseis. Por fim, os autores projetam para o século XXI o processo de autossuficiência energética no país, identificando as vantagens da expansão de renováveis.

Outro estudo que retrata o Brasil é feito por Carminati e Scalco (2013), que relatam uma pesquisa das relações causais entre consumo e oferta de energia e PIB no período 1970-2007. Ele se baseou na teoria keynesiana, entendendo que tanto a oferta quanto a demanda de energia afetam o crescimento econômico e que consumo e renda são significativamente correlacionados. Sobre a oferta de energia, o entendimento seria de que ela estaria relacionada à definição de infraestrutura, que é condição fundamental para o desenvolvimento econômico, uma vez que proporciona atendimento à produção de toda a sociedade, além de criar um ambiente propício a novos investimentos e estar relacionado à evolução futura do Produto. O estudo usou metodologias similares a Pao e Fu (2013) para análise de cointegração e causalidade e apenas as variáveis PIB, oferta

---

<sup>18</sup> Essa variável foi organizada como uma maneira de analisar o impacto das novas fontes renováveis, buscando observar o impacto do processo de diversificação da matriz energética.

<sup>19</sup> São usados os critérios Schwarz (SBC - Bayesian Information Criterion) e Akaike (AIC - Akaike Information Criterion).

<sup>20</sup> Por este ser um dos artigos usados como referência para esta dissertação, será apresentado no capítulo seguinte com mais detalhes os métodos estatísticos e econométricos utilizados.

de energia e consumo de energia. Também realizou testes sobre os resíduos dos modelos para verificar a correlação serial dos resíduos (teste do multiplicador de Lagrange) e a normalidade dos resíduos (método Cholesky), além dos testes de causalidade Granger e Wald do bloco de exogeneidade para auxiliar nas análises das relações de causalidade. Os resultados apresentaram relações estatisticamente significativas nas relações de longo prazo e os testes indicaram que não há correlação dos resíduos e eles não são normalmente distribuídos. O artigo também confirmou a importância da energia: foi indicada a causalidade bidirecional de longo prazo entre PIB e consumo de energia e de curto prazo entre PIB e oferta de energia e uma causalidade unidirecional de longo prazo da oferta de energia para o PIB e de curto prazo do PIB para o consumo de energia. Diante desses resultados, houve o entendimento de que o crescimento da economia é influenciado pela oferta de energia; logo, quanto maior a infra-estrutura energética, maior o potencial de crescimento econômico, o que é consistente com a teoria keynesiana mencionada.

O estudo de Presotto e Talamini (2021) também estuda o Brasil e utiliza dois modelos de mínimos quadrados ordinários para mensurar o impacto da produção e consumo de energia renovável e não renovável, capital e trabalho frente ao crescimento econômico no período entre 1970 e 2017. Os autores buscam compreender se a inversão da matriz energética e os incentivos às fontes renováveis podem ter influenciado variações na renda nacional. Como base teórica, os autores trouxeram modelos neoclássicos que identificavam duas frentes de estudos: a necessidade de internalização dos custos sociais da poluição e a alocação intertemporal da extração de recursos naturais. A análise da relação entre consumo de energia e crescimento econômico é feita de forma agregada e desagregada usando as seguintes variáveis: força de trabalho, capital, PIB, energia renovável (que poderia ser desagregada em lenha e energia hidráulica) e energia não renovável (que poderia ser desagregada em gás natural e petróleo). Foram realizados testes adicionais de estacionariedade, autocorrelação, heterocedasticidade e normalidade dos resíduos para analisar o comportamento dos dados. Na análise agregada, na comparação entre fontes renovável e não renovável, os resultados indicam um impacto positivo e mais expressivo da energia renovável sobre o PIB. Na análise desagregada, com a inclusão de uma *dummy*  $d_2$  vinculada à regulação da produção de biodiesel, foi identificado um impacto positivo desta fonte sobre o PIB. Além disso, outras fontes que apresentaram impacto positivo foram gás natural e energia hidráulica. Como sugestão, o estudo aponta para as análises complementares de eficiência energética, considerando que, além de renovável, a energia precisa ser eficiente na sua forma de produção e uso de recursos.

Em Shahbaz et al. (2015), é feita a análise da relação causal entre consumo de energia renovável e crescimento econômico no Paquistão utilizando séries temporais trimestrais que cobriram o período 1972-2011. Para descrever a relevância do estudo, os autores destacam o desafio no país de atender a demanda de bilhões de pessoas que ainda não tem acesso a energia enquanto simultaneamente atravessa a transição para um sistema

de energia limpo e de baixo carbono. Nesse cenário, a tecnologia de energia renovável é tida como uma ponte potencial entre oferta e demanda de energia no Paquistão, pois eles tem o potencial de aumentar a segurança energética, gerar benefícios socioeconômicos, reduzir a poluição local e mitigar as mudanças climáticas. O estudo usou como variáveis o PIB real, o consumo de energia renovável, o capital e o trabalho e, como método, usou os modelos ARDL <sup>21</sup> para testar as relações de longo prazo, VECM nas análises dos impactos de curto e longo prazos e para estudar as relações de causalidade, e método Johansen, RWA e IAA para testar a robustez dos resultados encontrados. Os resultados indicam dois vetores de cointegração e um período de quase 30 anos para convergir os desvios para uma trajetória de equilíbrio no longo prazo. Eles também evidenciam a hipótese de *feedback* entre consumo de energia renovável, crescimento econômico e trabalho no longo prazo, inclusive indicando uma causalidade maior da energia para a economia, alertando para a importância da política energética aplicada. No curto prazo, houve evidências da hipótese de *feedback* entre consumo de energia renovável e crescimento econômico e entre capital e crescimento econômico e uma relação unidirecional do trabalho para o consumo de energia renovável. Em uma tentativa de projetar as séries temporais para o futuro, foi gerado um modelo IAA, que combina a análise do impulso-resposta com a decomposição da variância. Neste, foi assinalado que o crescimento econômico é explicado 40,61% por choques do consumo de energia renovável e 53,68% por fatores fora do modelo, tais como os avanços tecnológicos.

Em Cabalu, Harris e Smith (2022), os autores analisam a relação entre consumo de energia renovável e crescimento econômico dos Estados Unidos a partir da visão de 48 estados contíguos que integram o país. Eles utilizam dados em painel com frequência anual no período 1997-2018. O artigo indica as fontes mais comuns (hídrica, eólica, solar, geotérmica, fotovoltaica e biomassa) e como a expansão do setor e sua boa aceitação levaram à redução de custos e aumento da competitividade no mercado de energia. As variáveis usadas são: PIB real, estimativas estaduais do consumo de energia renovável (fontes usadas: eólica, solar, geotérmica, biomassa e hídrica), consumo de energia não renovável (fontes usadas: carvão, gás natural e petróleo), força de trabalho e intensidade energética como uma aproximação para eficiência do capital <sup>22</sup>. Foi feita uma análise preliminar das variáveis para escolha da estratégia de estimação dos parâmetros, que envolveu

---

<sup>21</sup> Este modelo foi usado por ser apropriado para pequenas amostras, não importar a ordem de integração das séries temporais usadas e por corrigir simultaneamente a correlação serial dos resíduos e problemas endógenos do modelo.

<sup>22</sup> A ideia inicial do estudo seria seguir o padrão de usar uma função de produção como Apergis e Payne (2011) ( $Y_t = f(K_t, L_t, E_t)$ ), mas não havia dados sobre capital a nível estadual nas bases de dados usadas. Essa aproximação foi computada como a razão entre o consumo total de energia sobre o PIB real.

o teste CD Pesaran (dependência *cross-section*), análise da homogeneidade da curvatura com uma estatística de dispersão padrão e com viés ajustado, testes de estacionariedade e cointegração (no caso, usou o teste Wenderlund com dados em painel e *bootstrap*) e teste de não-causalidade Granger para painéis heterogêneos com *bootstrap*, formulado por Dumitrescu e Hurlin. Foram usados três estimadores para os coeficientes de longo prazo (média aumentada do grupo, comum da média do grupo com efeitos correlacionados e dinâmico comum da média do grupo com efeitos correlacionados), mas consideraram que os estimadores comuns com efeitos correlacionados carregam fatores não observados e a dependência cruzada, além de efeitos comuns não observados.

Os resultados confirmaram a hipótese de *feedback* tanto com o consumo de energia renovável quanto com a energia não renovável, sugerindo que as fontes renováveis influenciam no crescimento econômico e na segurança energética pela evidência do efeito substituição. Também foi identificada a relação causal do capital e trabalho para consumo de energia renovável, sugerindo que facilitar a integração de tecnologias eficientes e a criação de trabalho no setor ajudará a expandir sua participação na matriz energética total do país. Os estimadores da análise agregada revelaram um impacto maior da energia não renovável, sendo importante analisar as políticas estaduais ou tecnologias que podem ajudar a reduzir essa diferença. Na análise individual dos estados, 11 tinham coeficientes acima da média em relação ao impacto do consumo de energia renovável, sendo comum entre eles a abundância de fontes renováveis e tecnologias capazes de atender a demanda de consumo. Além disso, a maioria desses tem baixa densidade demográfica e estão localizados nas regiões centrais dos Estados Unidos. Por fim, os autores indicam que estados com impacto abaixo da média do consumo de energia renovável tem resultados insignificantes em relação às fontes renováveis e alto impacto do consumo de energia não renovável, o que reduz o estímulo à adoção de fontes mais limpas. Este efeito também pode ser explicado pelo fato de que estados altamente dependentes de importação de energia renovável apresentam preços de energia mais altos como resultado do aumento dos custos de construção, manutenção e operação dos sistemas de transmissão e distribuição que garantem o fluxo de energia elétrica. Logo, os autores concluem que a efetividade de políticas do setor de renováveis varia entre os estados, dependendo do suporte público, potencial da energia renovável, confiabilidade e disponibilidade da oferta.

Os dois estudos a serem analisados a seguir tratam da relação entre energia e economia de uma forma mais restrita, trazendo análises mais detalhadas sobre a relação do setor energético com o mercado de trabalho.

Gonçalves, Rodrigues e Chagas (2020) analisam o impacto das fazendas de geração eólica a partir de sua implantação no mercado de trabalho brasileiro entre 2004 e 2016 usando a abordagem Diferença da Diferença (DiD) com alguns tratamentos temporais e efeitos dinâmicos. Como pontos de relevância para o estudo, os autores indicam a rápida expansão da geração eólica pelas suas vantagens técnicas de implantação: não utiliza água

e não gera emissões, não há perigo de vazamento do combustível, é possível a ocupação do solo por plantações ou pastagens na área da planta eólica, as turbinas eólicas ocupam uma área relativamente pequena e permite às áreas não integradas ao sistema gerar energia sem incorrer em altos custos de transmissão. Com isso, há o entendimento de que a geração eólica contribui para o desenvolvimento local, com destaque para as áreas rurais. A escolha da metodologia se dá pelo entendimento de que a instalação da fazenda eólica ocorre em um período e o local permanece exposto a este processo a partir deste momento. Foi então elaborada uma base longitudinal de dados por municipalidades de 2004 a 2016 a partir de várias fontes que captaram as seguintes variáveis: informações georreferenciadas de localização e capacidade das fazendas eólicas a partir do período de implantação <sup>23</sup>, além de dados sobre a velocidade média anual dos ventos <sup>24</sup>. Também foram usados dados longitudinais e administrativos de RAIS, que abrange o mercado formal de trabalho, que construíram as variáveis de empregos e salários para setores econômicos (indústria, construção, comércio, serviços e agricultura), assim como três categorias de níveis educacionais e três categorias de tamanhos de empresas. Ainda houve a seleção de variáveis de controle para ajudar a estabelecer um grau de comparabilidade entre os municípios, tais como gastos líquidos correntes (esforço político, investimento e alocação de recursos), afiliações partidárias e nível educacional dos prefeitos, famílias beneficiadas pelo Programa Bolsa Família e custo de oportunidade do uso da terra para implementação das fazendas eólicas.

São aplicados dois modelos de DiD: o primeiro considerando apenas o tratamento da heterogeneidade e o segundo aplicando os efeitos dinâmicos, com defasagens e direcionamentos, para analisar a extensão e duração do impacto da implementação das fazendas eólicas nos empregos locais e salários. Para um maior controle dos resultados, houve a organização dos municípios em dois grupos (tratamento e controle) que poderiam ser alterados com o tempo, conforme é feita a implementação da fazenda eólica, além de ser analisado o grau de comparabilidade entre municípios. Os resultados da primeira análise indicam uma relação positiva e estatisticamente significativa entre a implementação das fazendas eólicas e o emprego total (84%) e salários (97%) dos municípios, ocorrendo uma redução considerável nos coeficientes com a inclusão dos condicionantes políticos e econômicos <sup>25</sup>. Na segunda análise, que analisa a extensão do impacto, é indicado o

---

<sup>23</sup> Foram consideradas as fazendas eólicas em operação ou desativadas e com capacidade instalada menor ou igual a 100 kW, sem propósito comercial.

<sup>24</sup> A velocidade é medida em metros por segundo e é aferida a 50m de altura a fim de estimar a propensão de um município ter ao menos uma fazenda eólica.

<sup>25</sup> A partir da especificação de áreas econômicas, o impacto das fazendas eólicas foi de 27% no emprego e 34% em salários. Ao estabelecer a exclusão de capitais e áreas metropolitanas, os coeficientes chegam a 16 – 20% para o emprego e 20 – 26% para os salários.

efeito máximo a uma distância de 100km, com impacto médio de aproximadamente 10% no emprego e 13% nos salários. Na análise da relação com os setores da economia, os resultados indicam que a geração eólica aumenta o emprego na indústria, construção e agricultura e tem maiores efeitos proporcionais sobre os salários da agricultura (131%) e indústria (67%). Além disso, os resultados também indicaram impactos maiores para os trabalhadores com educação básica (ensinos fundamental e médio) e empresas menores, todos relacionados aos empregos indiretos, isto é, há efeitos significativos na economia local.

Arvanitopoulos e Agnolucci (2020) retomam o padrão de análise mais simples e estudam o impacto das tecnologias de energia elétrica renovável no emprego considerando o setor de geração de energia do Reino Unido no período 1990-2016. Os autores indicam a intenção de propor um modelo econométrico facilmente reproduzível e transparente, que usa dados agregados e amplamente divulgados, que segue o seguinte padrão: teste de raiz unitária, teste de cointegração, VECM e análise da função impulso-resposta. A relevância do trabalho é destacada a partir do processo de descarbonização nacional e maior diversificação da matriz elétrica, com expansão significativa das fontes renováveis. A proposta é fazer uma análise mais rigorosa do impacto líquido das fontes renováveis sobre a criação de empregos com foco no mercado da geração elétrica, um setor altamente competitivo e que vem aumentando a sua diversificação a partir da expansão das fontes renováveis. A teoria que embasa o estudo faz referência à teoria das expectativas adaptativas, como base na escolha do fator trabalho em um ambiente altamente competitivo, sendo possível analisar o impacto na criação de empregos de acordo com a definição das fontes a partir das categorias *térmica convencional* (carvão e petróleo), *CCGT* (gás natural), *nuclear* e *renováveis* (hidro, eólica e solar). As variáveis do estudo são: número de empregos em firmas de geração elétrica, o Valor Adicionado Bruto do setor e a oferta de eletricidade, considerando as fontes de acordo com as categorias já mencionadas.

Os resultados indicam a existência de quatro vetores de cointegração: o efeito entre resultado e emprego e outros três vetores relacionados ao efeitos substituição entre a térmica convencional e as outras fontes categorizadas no modelo. Por conta da não rejeição de possível correlação serial, foram gerados outros dois modelos VECM com dois vetores de cointegração que se mostraram mais estáveis, sem heterocedasticidade nem correlação serial. Os resultados destes modelos mostram na análise de impulso resposta uma tendência crescente das fontes alternativas (CCGT, nuclear e renováveis), mostrando o efeito substituição, e um efeito negativo da fonte térmica convencional, explicado pela queda gradativa na sua produção desde 1990. Na análise sobre a sustentabilidade da criação de empregos pelas fontes renováveis no longo prazo, os resultados indicam que 75% dos empregos criados são sustentáveis, sendo também destacada que as fontes renováveis que mais criam empregos. Este efeito pode ser explicado pela menor utilização da capacidade, quando é comparada a tecnologia renovável com a tecnologia relacionada

a outras fontes. Por fim, ao investigar o efeito potencial futuro de uma série de cenários do setor elétrico em 2030, os resultados indicam que apenas os cenários de baixo carbono são os únicos com efeito positivo no emprego relacionado ao gás natural e nuclear e as tecnologias renováveis projetam de 16 – 186 mil empregos criados em tais cenários. Já nos cenários de contraposição, apenas as fontes renováveis tem efeito líquido positivo no emprego.

A partir desta seleção de artigos indicando estudos com apenas um país, com a utilização de testes mais sensíveis a pequenas amostras, foi confirmada a relevância da energia para o crescimento econômico de forma robusta, através da confirmação da hipótese de *feedback*, de crescimento ou ambas, sendo interessante ver em Cabalu, Harris e Smith (2022) como diferentes aspectos da oferta de energia renovável podem influenciar na expansão do seu consumo. Vale destacar outras tentativas de realizar análises agregadas e desagregadas, a fim de refinar o entendimento das relações entre o consumo das diferentes fontes de energia e o crescimento econômico (PRESOTTO; TALAMINI, 2021), além de tentativas de pensar também na economia em seu desenvolvimento local (GONÇALVES; RODRIGUES; CHAGAS, 2020) ou setorial (ARVANITOPOULOS; AGNOLUCCI, 2020). Considerando o impacto dessas análises, é possível trazer um aprofundamento no entendimento da relevância da energia renovável sobre a economia, sendo melhor detalhado como o desenvolvimento deste setor pode estimular a transição energética, redução das desigualdades regionais, a criação de empregos e o estímulo às inovações tecnológicas.

Também é relevante assinalar a importância da energia não renovável nos países estudados, sendo considerada a fonte tradicional e de maior participação na matriz energética dos países. Contudo, nem sempre ela tem o desempenho mais favorável na economia analisada: a partir das políticas de incentivos à maior diversificação das fontes energéticas, para além da verificação do impacto positivo da energia renovável sobre o crescimento econômico indicado em quase todos os estudos, também foram analisados aspectos como o aumento da segurança energética em países de grandes dimensões e alta demanda de energia (SHAHBAZ et al., 2015; CABALU; HARRIS; SMITH, 2022) e os impactos das políticas de descarbonização da economia (PRESOTTO; TALAMINI, 2021; ARVANITOPOULOS; AGNOLUCCI, 2020). Em todas as análises, assim como nos estudos com grupos de países, também houve aqui a indicação dos incentivos ao setor de renováveis, tanto indicando estímulos às inovações tecnológicas quanto expansão do consumo, sendo relevante pensar na infraestrutura, oferta de energia renovável e fatores associados (CARMINATI; SCALCO, 2013; CABALU; HARRIS; SMITH, 2022) para efetivação das metas dos programas de mitigação das mudanças climáticas. Tal evidência constata o potencial do setor de energia renovável e a relevância de estudos sobre a relação dessas fontes com a economia a fim de detalhar melhor as dinâmicas que devem ser encorajadas para estimular o desenvolvimento de uma economia mais resiliente, menos desigual e de baixo impacto.

Voltando a pensar na metodologia, é importante notar a peculiaridade da escolha

de métodos voltados para pequenas amostras nos estudos das relações de causalidade. Há alguma variedade de métodos e testes para verificar a robustez dos resultados e uma maior consonância dos achados, mas vale destacar como o modelo ECM/ VECM foi usado de forma recorrente. Observa-se que, nos artigos que usaram ECM/VECM, é feita a justificativa de este ser um modelo transparente, que não demanda complexas teorias econômicas e apresenta resultados robustos, sendo sugerido por Arvanitopoulos e Agnolucci (2020) a replicação de pesquisas com o método estabelecido por eles. Tais motivos, também destacados por Pao e Fu (2013) e Carminati e Scalco (2013), fomentam a escolha da metodologia e a proposição de utilizar estes estudos como referências para esta dissertação, a fim de atualizá-los.

## 2 REVISÃO METODOLÓGICA

Como já indicado, o objetivo da dissertação é fazer a análise da relação de causalidade entre crescimento econômico e consumo de energia no Brasil, priorizando a análise das fontes renováveis, usando como referência os estudos de Pao e Fu (2013) e Carminati e Scalco (2013). Tais artigos serviram de inspiração no processo de elaboração do tema da dissertação e, por apresentarem resultados parecidos, fortalecem uma visão sobre o impacto do setor de energia na economia brasileira.

Considerando também a seleção de artigos apresentada no capítulo anterior, destaca-se que o padrão de testes de estacionariedade, cointegração e o uso do VECM parece ser um modo simples, facilmente replicável, que não requer uma teoria complexa e, ao combinar com a análise da função impulso-resposta, apresenta resultados robustos sobre a relação de causalidade, tal como indicado por Arvanitopoulos e Agnolucci (2020).

Por usar um método de análise da relação de causalidade diferente de Pao e Fu (2013) e Carminati e Scalco (2013), já é esperada alguma divergência, tal como indicado por Hdom (2023). Esta pode ser explicada pelo fato de que, na literatura, juntaram em um mesmo bloco de estudos metodologias que preconizam a inferência causal e a precedência temporal, ou seja, perspectivas distintas e que não convergem. Contudo, ainda assim é possível pensar nestes artigos como referências de análises sobre o Brasil pois a literatura mostra que, mesmo os estudos que partem de pontos de vista diferentes podem dialogar no processo de tomada de decisão sobre as políticas setoriais. Considerando que estes e outros artigos anteriores falam sobre o Brasil, é importante estabelecer algum grau de comparação e tentativa de esclarecimento dos pontos de divergência em prol de uma análise mais fundamentada e melhor orientação dos gestores públicos no processo de formulação das políticas públicas.

Seguindo a estratégia de acompanhar os estudos de Pao e Fu (2013) e Carminati e Scalco (2013), assim como em pesquisas com apenas um país, será então apresentada aqui uma série de testes estatísticos de estacionariedade e cointegração para a escolha do modelo. Eles foram selecionados de acordo com a relevância que apresentaram para estudos com um país, o que acarreta em uma restrição do tamanho da amostra. A pesquisa inicial da literatura recente mostra que as etapas iniciais do estudo podem ser parecidas ao que foi realizado por Apergis e Payne (2011), mas há especificidades que devem ser consideradas quando o estudo é mais restrito. Mesmo assim, também foram consideradas as contribuições metodológicas e de análises feitas com amostra de países neste capítulo e no próximo. Logo, para a escolha do modelo é levado em conta o tamanho da amostra, o padrão das variáveis usadas em estudos anteriores, o perfil das séries temporais encontradas e a busca de um padrão simples e eficaz para uma análise multivariada, que busca simplificar a interpretação do fenômeno apesar de usar ao todo sete variáveis explicativas.

Logo, na próxima seção, será apresentado o modelo indicado levando em conta a utilização de séries temporais não estacionárias em nível e cointegradas: o modelo vetorial de correção do erro (VECM). Este é um método mais simples e eficaz, que pode ser aplicado sem um embasamento rebuscado da teoria econômica, mas que não perde qualidade do resultado empírico e sua interpretação (COSTA, 2019; PAO; FU, 2013; CARMINATI; SCALCO, 2013; ARVANITOPOULOS; AGNOLUCCI, 2020).

## 2.1 Construção do modelo VEC

Considerando estudos precedentes, como Apergis e Payne (2011) e Pao e Fu (2013), o estudo partiu, na escolha de variáveis do modelo, de uma função de produção convencional agregada<sup>26</sup> de apenas um setor como um modelo da economia com a seguinte notação geral.

$$Y_t = f(K_t, L_t, E_t) \quad (1)$$

$$Y_t = K_t^{\beta_1} L_t^{\beta_2} E_t^{\beta_3} \quad (2)$$

Sendo  $Y$  o PIB real, uma aproximação do crescimento econômico,  $E$  o consumo de energia (neste modelo, usaremos as principais fontes encontradas como variáveis),  $K$  o capital utilizado<sup>27</sup>,  $L$  a força de trabalho, que foi sinalizada pelo número de empregos no mercado de trabalho formal, e  $t$  o período de tempo.

A escolha desta seleção de variáveis para o estudo das relações de causalidade entre crescimento econômico e consumo de energia segue o padrão da maioria de estudos citados no capítulo anterior. Pao e Fu (2013) indica tal escolha como uma forma de solucionar um possível problema de omissão de variáveis, sendo a estratégia dessa dissertação tentar manter o padrão para auxiliar o processo de comparabilidade da análise. Vale lembrar também que o propósito desta pesquisa é trazer resultados atualizados para se pensar sobre o nível de desenvolvimento do setor de energia renovável e sobre a possibilidade de desenvolvimento de uma economia mais limpa e resiliente sendo a revolução energética um dos fatores estratégicos para as transformações necessárias nessa economia, tal como Elkington (2020) e Xie et al. (2020) descrevem tão bem. Mirando nesse objetivo, o

---

<sup>26</sup> Seguindo o exemplo de estudos anteriores, é apresentada um função com a estrutura do tipo Cobb-Douglas.

<sup>27</sup> É preciso salientar que, com objetivo de aprimorar os resultados, o capital é representado em 2 variáveis, que agem de forma conjunta no modelo: pelo indicador de formação bruta de capital fixo e pelo indicador de utilização da capacidade instalada na indústria.

modelo com essas variáveis também pode ajudar a entender impactos indiretos nas relações analisadas, sendo esta uma estratégia amplamente empregada (APERGIS; PAYNE, 2011; APERGIS; PAYNE, 2012; BHATTACHARYA et al., 2016; KAHIA; AISSA; LANOUAR, 2017).

Sobre a variável  $E$ , a literatura normalmente estabelece apenas uma separação entre fontes renováveis e fontes não renováveis ou fósseis. Inclusive, este tipo de análise comparativa pode ajudar a pensar nas interações entre as fontes, como o efeito substituição, conforme é visto em Jebli e Youssef (2015), Gozgor, Lau e Lu (2018), Cabalu, Harris e Smith (2022), Apergis e Payne (2011) e outros. Contudo, Pao e Fu (2013) já buscavam uma melhor diferenciação entre as fontes renováveis para conseguir capturar o impacto de novas fontes, como solar e eólica, na relação com o crescimento econômico. Além disso, Hdom (2023) indica a necessidade de ter um olhar mais refinado sobre as fontes energéticas analisadas nos estudos a fim de entender melhor porque há tanta divergência entre os resultados encontrados na literatura. A partir dessas considerações e por conta dos dados encontrados, foram estabelecidas como variáveis quatro fontes energéticas conforme será descrito na seção 2.4 (eletricidade -  $elt$ , derivados do petróleo -  $dpet$ , álcool -  $alc$  e outros derivados do petróleo -  $out$ ). Com isso, a intenção é aprofundar mais tanto a análise da relação com o crescimento econômico quanto a relação entre as fontes na matriz energética brasileira. Segue abaixo então a função de produção que inicialmente foi pensada.

$$Y_t = K_t^{\beta_1} L_t^{\beta_2} ELT_t^{\beta_3} DPET_t^{\beta_4} ALC_t^{\beta_5} OUT_t^{\beta_6} \quad (3)$$

Com a intenção de reduzir distorções, controlar melhor a variabilidade e minimizar eventuais problemas de heterocedasticidade, houve a transformação logarítmica das variáveis. Este tipo de transformação também contribui para uma melhor análise do impacto das variáveis, pois os coeficientes encontrados ( $\beta$ ) podem ser interpretados como elasticidades (APERGIS; PAYNE, 2011)<sup>28</sup>.

O modelo VEC foi escolhido para o estudo por entender, a partir de pesquisas anteriores e das interações entre as variáveis, como um solucionador do problema de endogeneidade e consequente construção de equações simultâneas necessário para explicar as dinâmicas envolvidas no sistema. Ele é uma variação restrita do modelo VAR desenvolvida para séries não estacionárias e cointegradas. Logo, para que seja feita a análise das relações de causalidade, são necessários algumas etapas de verificação da existência de

---

<sup>28</sup> Considerando a equação 3, a transformação logarítmica resultaria em:  $y = \beta_1 k_t + \beta_2 l_t + \beta_3 elt_t + \beta_4 dpet_t + \beta_5 alc_t + \beta_6 out_t$ .

relações de longo prazo entre as variáveis: inicialmente, é estimada a ordem de integração das variáveis, por conta da exigência de alguns testes de cointegração e da escolha do modelo; em seguida, é realizado o teste de cointegração a partir do método Johansen. Os testes usados (de estacionariedade e de cointegração) são escolhidos a partir do volume de observações a ser analisado e outras possíveis características das séries temporais.

A possibilidade de não estacionariedade das séries temporais e de cointegração entre as variáveis indica a existência de uma relação de equilíbrio de longo prazo entre elas e, com isso, é possível indicar que há também relações de causalidade em pelo menos uma direção. O modelo VEC é tido como mais flexível por possibilitar entender as dinâmicas entre as variáveis em diferentes prazos: como o modelo é desenvolvido com vetores de cointegração, um destes poderia ser interpretado como uma aproximação log-linear da função de produção no longo prazo (equação 2), enquanto também permite um vetor de correção do erro que gradualmente realiza ajustes parciais de curto prazo para alcançar o equilíbrio. No sistema básico apresentado abaixo, temos o modelo simples com duas variáveis  $y_i$  apresentando o termo de erro  $\epsilon_{i,t}$ , que é zerado no equilíbrio de longo prazo. Nele, o coeficiente  $\alpha_i$  mede a velocidade de ajuste da variável  $y_i$  em direção ao equilíbrio.

$$\Delta y_{1,t} = \alpha_1(y_{2,t-1} - \beta y_{1,t-1}) + \epsilon_{1,t} \quad (4)$$

$$\Delta y_{2,t} = \alpha_2(y_{2,t-1} - \beta y_{1,t-1}) + \epsilon_{2,t} \quad (5)$$

A partir do VECM, são feitos outros modelos que serão vistos em conjunto para a análise de causalidade e trarão evidências sobre as hipóteses já mencionadas no capítulo anterior relacionadas ao nexa crescimento econômico-consumo de energia, assim como outras que podem ajudar a entender os mecanismos que estimulam o desenvolvimento do setor energético no Brasil. São eles: o FMOLS, variação do modelo linear que admite a cointegração entre variáveis e analisa as relações de longo prazo das variáveis com o crescimento econômico, tal como Apergis e Payne (2011); e, é estimada a função impulso resposta.

## 2.2 Testes empíricos e métodos econométricos

Esta seção é montada de forma a esclarecer os testes escolhidos para atender a lista de requisitos para o modelo VEC a partir da revisão da literatura recente.

Inicialmente, são feitos os testes de estacionariedade e foram escolhidos os seguin-

tes:<sup>29</sup>: ADF (básico, intercepto e com intercepto e tendência <sup>30</sup>), ADF com quebra (com intercepto e com intercepto e tendência), DF-GLS (com intercepto e com intercepto e tendência), PP (básico, com intercepto e com intercepto e tendência), KPSS (básico com quatro *lags* e com tendência) e ZA (com intercepto, com tendência e ambos). Essa escolha de testes inicialmente se deu a partir do que foi feito por Pao e Fu (2013), que realizaram os testes ADF, PP e KPSS: os autores indicaram que os testes ADF e PP, que mantêm a hipótese nula das séries serem  $I(1)$ , tem baixo poder de rejeição da hipótese nula, sendo o teste KPSS indicado como uma forma de trazer maior robustez ao resultado encontrado. Carminati e Scalco (2013) também consideraram DF-GLS (uma extensão do teste ADF que tem um poder maior para análises de dependência serial mais complexas) e KPSS, enquanto Arvanitopoulos e Agnolucci (2020) escolheu os testes DF-GLS e ZA, que permite uma quebra na série temporal em um ponto desconhecido no tempo. Por fim, foi incluído o teste ADF com quebra para uma comparação com o teste ZA, sendo um teste paramétrico parecido com este.

O teste ADF é o mais antigo método para esta análise e considera uma série temporal caracterizada por:  $Y_t = \rho Y_{t-1} + \varepsilon_t$  e assume que os resíduos são independentes e identicamente distribuídos, sendo feito o teste usando estes resíduos. Ele trabalha na forma de diferenças e a hipótese nula é da existência de raiz unitária. Além disso, o teste também pode determinar o número de diferenças necessárias para tornar a série estacionária. O teste com tendência, assim como o teste com intercepto, são extensões que ainda considera a possibilidade de a série ter uma tendência linear ou polinomial ou um intercepto que afetam a estacionariedade. O teste DF-GLS, como uma das extensões do teste ADF, tem como diferencial um poder maior de ajuste em amostras pequenas.

Já o teste PP é caracterizado por uma função similar ao teste ADF e também tem a hipótese nula de raiz unitária, mas é não paramétrico. Ele tem o objetivo de corrigir as estatísticas convencionais DF para presença de correlação serial e distribuições heterogêneas. Na análise usei as três especificações possíveis:

1. AR(1) sem *drift*:  $y_t = \rho y_{t-1} + \varepsilon_t$
2. AR(1) com *drift*:  $y_t = \alpha_0 + \rho y_{t-1} + \varepsilon_t$
3. AR(1) com tendência:  $y_t = \rho y_{t-1} + \delta t + \varepsilon_t$

O teste KPSS assume estacionariedade como hipótese nula e considera um modelo

---

<sup>29</sup> As explicações dos testes usados foram dadas por Silveira, Mattos e Konrath (2016) e estudos que indicaram o uso dos mesmos.

<sup>30</sup> A seleção de lags foi pelo critério SIC

com tendência, passeio aleatório e erro:

$$y_t = \sigma_t - \zeta_t + \varepsilon_t$$

$$\zeta_t = \zeta_{t-1} + u_t$$

onde  $u_t \sim \text{i.i.d.}(0, \sigma_u^2)$  e  $\varepsilon_t$  é um processo estacionário. Com isso, o teste verifica a presença de tendências determinísticas em uma série temporal. Como dito anteriormente, como ele parte da hipótese de um processo de tendência estacionária, ele é visto como um complemento importante para a série de testes, fazendo contraponto com os testes ADF e PP.

Por fim, temos o teste ZA (Zivot e Andrews), que é parecido com o teste PP e admite a possibilidade de uma quebra estrutural na série. Ele indica como hipótese nula que a série tem uma quebra estrutural, sendo considerado na alternativa que a série não tem ponto de quebra e é estacionária. Para complementar a análise de estacionariedade com possível ponto de quebra, foi realizado o teste ADF com ponto de quebra, pois este considera se há estacionariedade após o ponto de quebra.

Considerando que as variáveis não sejam estacionárias, é testada a cointegração entre elas, isto é, é detectado se há um equilíbrio de longo prazo, o que também indicaria que há causalidade em, pelo menos, uma direção<sup>31</sup>. Na hipótese de serem variáveis estacionárias na primeira diferença (isto é, integradas de ordem 1), o teste mais recomendado é o método de máxima verossimilhança de Johansen. Ele consiste em estimar os vetores de cointegração através de um vetor autorregressivo, por máxima verossimilhança, sendo baseado na relação entre o posto de uma matriz e suas raízes características. Na demonstração do procedimento de Johansen como um teste de cointegração com  $n$  variáveis, consideramos o vetor  $x$  de  $d$  defasagens (JOHANSEN; JUSELIUS, 1990):

$$x_t = A_1 x_{t-1} + A_2 x_{t-2} + A_3 x_{t-3} + \dots + A_d x_{t-d} + \zeta_t$$

onde  $x_t$  é o vetor de cointegração de variáveis ( $nx1$ );  $A_i$  é a matriz dos coeficientes ( $nxn$ ) e  $\zeta_t$  é o vetor de erros ( $nx1$ ). Seguindo uma sequência recursiva de subtrações em ambos os lados dos fatores  $x_{t-i}$ , obtém-se:

$$\Delta x_t = \sum_{t=1}^{d-1} \Pi_1 \Delta x_{t-1} + \Pi x_{t-d} + \zeta_t$$

$$\text{onde } \Pi = - \left( I - \sum_{i=1}^d A_i \right) \text{ e } \Pi = - \left( I - \sum_{j=1}^i A_j \right).$$

---

<sup>31</sup> Nas situações em que as variáveis são estacionárias em primeira diferença e cointegradas, é possível então realizar o teste Wald para analisar a causalidade Granger.

Isso representa o posto da matriz  $\Pi$ , que é o número de vetores independentes de cointegração. Caso o posto seja zero, a matriz é nula, não há cointegração e as variáveis são estacionárias. Entretanto, é possível que o posto seja um, tendo apenas um vetor de cointegração ou  $1 < \Pi < n$ , tendo múltiplos vetores. Como o posto de uma matriz é igual ao número de suas raízes características (autovalores) diferentes de zero, a análise dos vetores de cointegração pode ser feita através da análise da significância das raízes estimadas da matriz  $\Pi$ . Sendo assim, o teste proposto por Johansen é composto por:

$$\lambda_{traco}(r) = -N \sum_{t=r+1}^n \ln(1 - \hat{\lambda}_i)$$

$$\lambda_{max}(r, r + 1) = -N \ln(1 - \hat{\lambda}_{r+1})$$

onde  $\hat{\lambda}_i$  são os valores estimados dos autovalores obtidos da matriz estimada  $\Pi$  e  $N$  é o número de observações. Enquanto a primeira equação assume a hipótese nula de  $r^*$  vetores de cointegração, sendo a alternativa a hipótese de  $r > r^*$  vetores. Já a segunda equação testa a hipótese de existência de  $r$  vetores contra a alternativa de  $r + 1$  vetores.

Depois da verificação de cointegração, tanto Pao e Fu (2013) quanto Carminati e Scalco (2013) indicam a relevância de estimar a equação linear e determinar a relação de equilíbrio de longo prazo, mas são Apergis e Payne (2011) que descrevem a geração de um modelo FMOLS seguindo este padrão depois da evidência de que há cointegração entre variáveis. Kahia, Aissa e Lanouar (2017) citam FMOLS como um dos métodos amplamente indicados na literatura e indica como vantagens deste modelo a possibilidade de solucionar problemas de endogeneidade, corrigir a correlação serial e o viés de simultaneidade, quando houver.

Por fim, após a verificação de que as séries são não estacionárias e cointegradas, é preciso selecionar o número de defasagens do modelo a partir do critério de seleção de defasagem baseado em um modelo VAR básico estimado apenas com esse propósito. Assim como o número de vetores de cointegração, o número de defasagens e o tratamento de sazonalidade são indicações relevantes que devem ser realizadas no momento da estimação do modelo, considerando o uso de séries temporais com periodicidade mensal.

### 2.3 Definição do modelo

Seguindo o objetivo da dissertação, a escolha do modelo VEC também é feita considerando estudos anteriores citados no capítulo anterior. Esta seção é baseada nos artigos de Leite (2020), Costa (2019) e os autores que serviram de inspiração para o estudo e tem o objetivo de explicar melhor o modelo usado e como ele contribui para as análises das relações de causalidade.

De acordo com Costa (2019), no caso de uma análise multivariada com séries não estacionárias, é necessário um modelo VAR (Modelo Vetorial Autorregressivo) e, no caso de séries cointegradas, é aplicado o modelo VEC. Segundo Carminati e Scalco (2013, p. 364):

O modelo VEC é um vetor auto-regressivo (VAR) na forma da primeira diferença, embutindo explicitamente uma cointegração que captura a informação de longo prazo contida na tendência estocástica de cada série utilizada.

De acordo com Leite (2020), a partir de um VAR genérico em nível, o modelo pode ser descrito como:

$$\Delta y_t = \Pi y_{t-1} + \Gamma_1 \Delta y_{t-1} + \dots + \Gamma_{k-1} \Delta y_{t-k-1} + \mu_t \quad (6)$$

onde  $\Pi = -(I_k - A_1 - \dots - A_k)^{32}$  e  $\Gamma_i = -(I_k - A_{i+1} + \dots + A_k)$ , para  $i = 1, \dots, k-1$ . Além disso,  $\Pi y_{t-1}$  é o termo que contém as variáveis do modelo I(0) e I(1) e  $y_t$  contém apenas variáveis I(1),  $\Gamma_i$  é o parâmetro de curto prazo e  $\Pi y_{t-1}$  é o termo de longo prazo considerando as variações em  $y_t$ .

Para explicar a relevância do modelo, Pao e Fu (2013, p. 385) o descreve da seguinte maneira:

ele é um modelo usado para corrigir qualquer desequilíbrio na relação de cointegração, que poderá ser capturada pelo termo de correção do erro (ECT) e para testar as causalidades de curto e longo prazos entre as variáveis cointegradas.

Segue abaixo a sua descrição formal com as variáveis descritas na equação 3, segundo Pao e Fu (2013):

$$\begin{aligned} \Delta y_t = & \gamma_{10} + \sum_{i=1}^{m_1} \gamma_{11i} \Delta y_{t-i} + \sum_{i=1}^{n_1} \gamma_{12i} \Delta k_{t-i} + \sum_{i=1}^{p_1} \gamma_{13i} \Delta l_{t-i} + \sum_{i=1}^{q_1} \gamma_{14i} \Delta elt_{t-i} + \\ & \sum_{i=1}^{r_1} \gamma_{15i} \Delta dpet_{t-i} + \sum_{i=1}^{s_1} \gamma_{16i} \Delta alc_{t-i} + \sum_{i=1}^{u_1} \gamma_{17i} \Delta out_{t-i} + \delta_1 ECT_{t-1} + \mu_{1t} \quad (7) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta k_t = & \gamma_{20} + \sum_{i=1}^{m_2} \gamma_{21i} \Delta y_{t-i} + \sum_{i=1}^{n_2} \gamma_{22i} \Delta k_{t-i} + \sum_{i=1}^{p_2} \gamma_{23i} \Delta l_{t-i} + \sum_{i=1}^{q_2} \gamma_{24i} \Delta elt_{t-i} + \\ & \sum_{i=1}^{r_2} \gamma_{25i} \Delta dpet_{t-i} + \sum_{i=1}^{s_2} \gamma_{26i} \Delta alc_{t-i} + \sum_{i=1}^{u_2} \gamma_{27i} \Delta out_{t-i} + \delta_2 ECT_{t-1} + \mu_{2t} \quad (8) \end{aligned}$$

<sup>32</sup> No caso,  $I$  é a matriz identidade e  $A$  é a matriz dos coeficientes relacionados às  $k$  variáveis  $y_i$ .

$$\Delta l_t = \gamma_{30} + \sum_{i=1}^{m_3} \gamma_{31i} \Delta y_{t-i} + \sum_{i=1}^{n_3} \gamma_{32i} \Delta k_{t-i} + \sum_{i=1}^{p_3} \gamma_{33i} \Delta l_{t-i} + \sum_{i=1}^{q_3} \gamma_{34i} \Delta elt_{t-i} + \sum_{i=1}^{r_3} \gamma_{35i} \Delta dpet_{t-i} + \sum_{i=1}^{s_3} \gamma_{36i} \Delta alc_{t-i} + \sum_{i=1}^{u_3} \gamma_{37i} \Delta out_{t-i} + \delta_3 ECT_{t-1} + \mu_{3t} \quad (9)$$

$$\Delta elt_t = \gamma_{40} + \sum_{i=1}^{m_4} \gamma_{41i} \Delta y_{t-i} + \sum_{i=1}^{n_4} \gamma_{42i} \Delta k_{t-i} + \sum_{i=1}^{p_4} \gamma_{43i} \Delta l_{t-i} + \sum_{i=1}^{q_4} \gamma_{44i} \Delta elt_{t-i} + \sum_{i=1}^{r_4} \gamma_{45i} \Delta dpet_{t-i} + \sum_{i=1}^{s_4} \gamma_{46i} \Delta alc_{t-i} + \sum_{i=1}^{u_4} \gamma_{47i} \Delta out_{t-i} + \delta_4 ECT_{t-1} + \mu_{4t} \quad (10)$$

$$\Delta dpet_t = \gamma_{50} + \sum_{i=1}^{m_5} \gamma_{51i} \Delta y_{t-i} + \sum_{i=1}^{n_5} \gamma_{52i} \Delta k_{t-i} + \sum_{i=1}^{p_5} \gamma_{53i} \Delta l_{t-i} + \sum_{i=1}^{q_5} \gamma_{54i} \Delta elt_{t-i} + \sum_{i=1}^{r_5} \gamma_{55i} \Delta dpet_{t-i} + \sum_{i=1}^{s_5} \gamma_{56i} \Delta alc_{t-i} + \sum_{i=1}^{u_5} \gamma_{57i} \Delta out_{t-i} + \delta_5 ECT_{t-1} + \mu_{5t} \quad (11)$$

$$\Delta alc_t = \gamma_{60} + \sum_{i=1}^{m_6} \gamma_{61i} \Delta y_{t-i} + \sum_{i=1}^{n_6} \gamma_{62i} \Delta k_{t-i} + \sum_{i=1}^{p_6} \gamma_{63i} \Delta l_{t-i} + \sum_{i=1}^{q_6} \gamma_{64i} \Delta elt_{t-i} + \sum_{i=1}^{r_6} \gamma_{65i} \Delta dpet_{t-i} + \sum_{i=1}^{s_6} \gamma_{66i} \Delta alc_{t-i} + \sum_{i=1}^{u_6} \gamma_{67i} \Delta out_{t-i} + \delta_6 ECT_{t-1} + \mu_{6t} \quad (12)$$

$$\Delta out_t = \gamma_{70} + \sum_{i=1}^{m_7} \gamma_{71i} \Delta y_{t-i} + \sum_{i=1}^{n_7} \gamma_{72i} \Delta k_{t-i} + \sum_{i=1}^{p_7} \gamma_{73i} \Delta l_{t-i} + \sum_{i=1}^{q_7} \gamma_{74i} \Delta elt_{t-i} + \sum_{i=1}^{r_7} \gamma_{75i} \Delta dpet_{t-i} + \sum_{i=1}^{s_7} \gamma_{76i} \Delta alc_{t-i} + \sum_{i=1}^{u_7} \gamma_{77i} \Delta out_{t-i} + \delta_7 ECT_{t-1} + \mu_{7t} \quad (13)$$

onde

$$ECT_{t-1} = y_{t-1} - a_0 - a_1 k_{t-1} - a_2 l_{t-1} - a_3 elt_{t-1} - a_4 dpet_{t-1} - a_5 alc_{t-1} - a_6 out_{t-1} \quad (14)$$

Sendo  $\Delta$  o operador da primeira diferença,  $m$ ,  $n$ ,  $p$ ,  $q$ ,  $r$ ,  $s$  e  $u$  a defasagem selecionada nos testes de verossimilhança,  $\delta_i$  é o coeficiente de ajuste que mede a velocidade na qual os valores da variável em evidência retornam ao equilíbrio de longo prazo após a ocorrência de algum desvio e  $\mu$  é o termo de erro não correlacionado serialmente ou ruído

branco, como é descrito por Carminati e Scalco (2013). As equações 7-13 incluem tanto as variáveis dependentes com suas defasagens quanto o desequilíbrio anterior nos termos  $ECT_{t-1}$ .

Nos modelos com apenas um vetor de cointegração, a equação 3 é uma relação de longo prazo que pode, em princípio, ser estimada a partir da relação de cointegração do modelo VEC com o conjunto de variáveis indicado. Caso exista mais de uma relação de cointegração, há dificuldade em se identificar qual delas representariam a equação 3, sendo gerada uma complicação difícil de ser superada e, neste caso, se justifica concentrar a análise nas relações de curto e médio prazos entre as variáveis, ou seja, na análise da função de impulso resposta de um modelo VEC Estrutural, apesar de também apresentar desafios na escolha de identificação. Neste trabalho, utilizamos a hipótese que a matriz de relações contemporâneas entre as variáveis é triangular inferior.

Retomando a visão mais genérica para melhor descrição metodológica, a estrutura do modelo VEC Estrutural (SVEC) pode ser descrita como (LEITE, 2020):

$$A\Delta y_t = \Pi^* y_{t-1} + \Gamma_1^* \Delta y_{t-1} + \dots + \Gamma_{k-1} \Delta y_{t-k-1} + C^* D_t + B^* z_t + v_t \quad (15)$$

onde  $y$  representa as variáveis do modelo,  $\Pi^*$  é o vetor cointegrante,  $\Gamma_j^*$ ,  $C^*$  e  $B^*$  são as formas estruturais das matrizes dos parâmetros,  $D_t$  é o termo determinístico,  $z_t$  seria o termo de correção do erro e  $v_t$  representa o termo de erro estrutural com média zero, ruído branco e matriz de covariância invariante no tempo. Além disso, a matriz  $A$  representa as relações instantâneas entre as variáveis do modelo.

Se o objetivo ao utilizar um SVEC é identificar os vetores de cointegração, é necessário adotar pressupostos para este fim. Partindo da hipótese de que os vetores estejam relacionados aos resíduos do modelo ( $v_t = B\varepsilon_t$ ), a sua forma reduzida, desprezando as variáveis exógenas e os termos determinísticos, pode ser descrita como:

$$A\Delta y_t = \Pi^* y_{t-1} + \Gamma_1^* \Delta y_{t-1} + \dots + \Gamma_{k-1} \Delta y_{t-k-1} + B^* \varepsilon_t \quad (16)$$

E representando a equação 16 sob a forma de um VAR em nível, tem-se:

$$Ay_t = A^* y_{t-1} + \dots + A^* y_{t-k} + B^* \varepsilon_t \quad (17)$$

Dadas as estruturas das equações 16 e 17, pode-se obter a forma reduzida do modelo a partir da multiplicação por  $A^{-1}$ , sendo então:

$$\Delta y_t = \Pi y_{t-1} + \Gamma_1 \Delta y_{t-1} + \dots + \Gamma_{k-1} \Delta y_{t-k-1} + \mu_t \quad (18)$$

em que  $\mu_t = A^{-1}v_t$ . A partir deste ponto, segundo Leite (2020), seria possível analisar as relações de longo prazo e fazer a identificação dos vetores de cointegração a partir da

decomposição de Beveridge-Nelson. Considerando a hipótese de mais de um vetor de cointegração, essa é uma estratégia para desenvolver as análises das relações de causalidade.

### 2.3.1 As análises das relações de causalidade

Retomando a metodologia aplicada nesta dissertação, para as análises das relações de causalidade, foram utilizadas a função impulso-resposta e a FMOLS.

A análise da função de impulso-resposta é o método identificado por (CAVALCANTI, 2010) como parte do procedimento da investigação das interrelações entre as variáveis do modelo. Para tanto, é preciso que tenha ocorrido a etapa de identificação no modelo VAR gerado (no caso em questão, é um modelo VEC), realizada a partir da decomposição de Cholesky<sup>33</sup>, sendo um ponto crucial a ordenação das variáveis a partir de argumentos teóricos ou do conhecimento prévio acerca da natureza das relações contemporâneas entre as variáveis, já que uma das principais dificuldades no método é a indicação de que todas as possíveis ordenações são observacionalmente equivalentes. Logo, é válido dizer que a identificação carrega em si certo grau de arbitrariedade por conta da ordenação de variáveis e essa condição também impacta a função impulso-resposta decorrente. Contudo, a partir deste processo, é possível analisar o efeito contemporâneo de uma variável sobre a outra, sendo atendido um dos objetivos ao indicar a inferência causal a partir de testes estatísticos.

Por fim, conforme indicado por Apergis e Payne (2011), Pao e Fu (2013) e outros autores, em uma tentativa de trazer uma breve análise das relações de longo prazo, é gerado um FMOLS. Esse modelo linear pode ser entendido como uma última tentativa de aproximação com a equação 2.

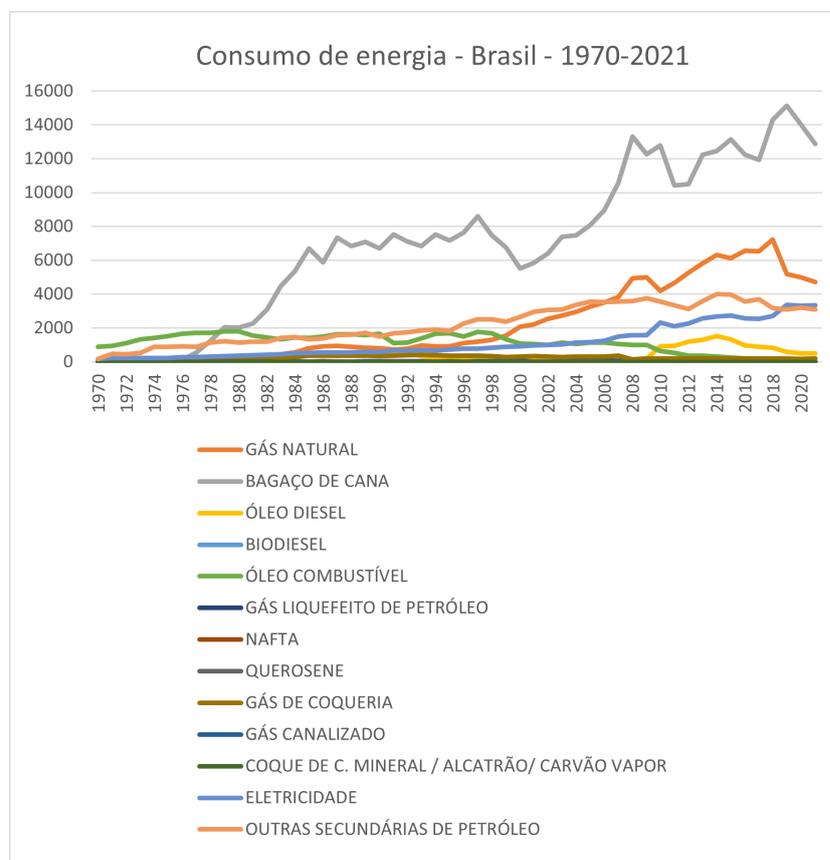
## 2.4 **Dados**

A escolha dos dados a serem utilizados para o modelo começou analisando as séries históricas de energia divulgadas pela Empresa de Pesquisa Energética, do Ministério de Minas e Energia (EPE-MME), como parte das publicações do Balanço Energético Nacional (BEN). Como a proposta do estudo é analisar a relação entre energia renovável e crescimento econômico, é preciso saber, em linhas gerais, a composição da matriz energética

---

<sup>33</sup> De forma resumida, Cavalcanti (2010) indica que este método impõe uma estrutura recursiva à matriz de relações contemporâneas entre as variáveis do modelo, de modo que a primeira variável não seja afetada contemporaneamente por nenhuma das demais, a segunda seja afetada apenas pela primeira, e assim por diante.

Figura 1 - Série histórica do consumo de energia por fontes publicada pela EPE, 2022



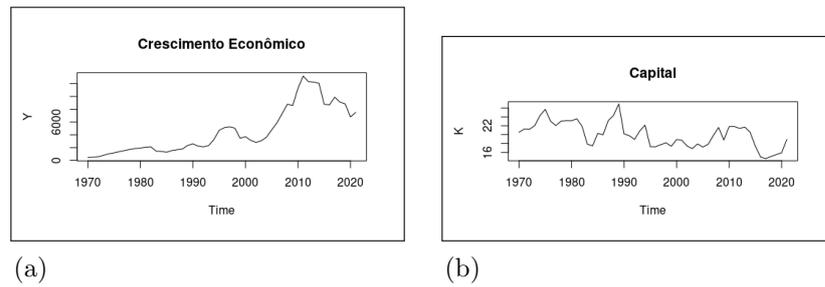
Fonte: O autor, 2024

brasileira e quando há a expansão das fontes renováveis.

Como é possível destacar, temos uma maior diversificação da matriz a partir do final dos anos 1990. De acordo com BRASIL, MME e EPE (2020) e com a figura 1, é apresentada: a contínua expansão do setor de energia; a redução gradativa do uso de carvão e substituição pelo petróleo (e derivados) como primeira fonte de energia primária do Brasil; substituição da lenha por Gás Liquefeito de Petróleo (GLP)<sup>34</sup> nos setores residencial e comercial com o aumento da urbanização do país; aumento da participação da energia hidráulica no período 1970-2000 a partir do desenvolvimento do setor elétrico; expansão dos produtos de cana em dois períodos (nos anos 1980 e a partir de 2007) a partir de políticas governamentais (Proálcool, inserção da tecnologia *flexfuel* em automóveis e o estímulo às novas fontes renováveis); o crescimento expressivo das novas fontes renováveis

<sup>34</sup> A evolução da indústria de gás natural se assemelha à produção de petróleo, com forte associação entre ambos no Brasil.

Figura 2 - Variáveis de controle - dados anuais



Legenda: Dados das variáveis de controle a partir da base do Banco Mundial, 2022: (a) Crescimento econômico (b) Capital

Fonte: O autor, 2024

a partir dos anos 1990 e a diversificação da matriz energética brasileira, que se destaca pelo elevado grau de renovabilidade.

Além disso, é importante analisar o comportamento das variáveis de controle requeridas para o desenvolvimento do modelo a ser usado: PIB, Capital e Trabalho. A seguir, são apresentadas as séries históricas de crescimento econômico e capital, com dados do Banco Mundial (Figura 30). A partir desse ponto, são apresentadas algumas dificuldades para a geração de modelos que pudessem ser analisados: a série histórica da mesma base para o fator trabalho começava apenas em 1990, o que encurtaria a amostra a ponto de inviabilizar a utilização do modelo VEC e análise das relações de causalidade entre as variáveis; o tipo de informação que seria usado para se pensar no fator trabalho; e a diferença entre capacidade instalada e capital utilizado.

Ao considerar também o fato de que há comparativamente poucas publicações que utilizam dados mensais na literatura sobre o tema a ser estudado e que isso poderia trazer uma contribuição para a análise, foram então buscadas as bases de dados com essa periodicidade. A questão passou a ser então entender a partir de que ponto seria feita a pesquisa dos dados: tanto a série de consumo de energia quanto o PIB mostram um período de expansão a partir dos anos 2000. Logo, segue abaixo a lista de séries históricas utilizadas no modelo:

- Crescimento econômico - a variável usada é o PIB real mensal em reais (*R\$*) a preços de 1995, organizado pela FGV/IBRE (Fundação Getúlio Vargas/ Instituto Brasileiro de Economia). Este indicador segue a mesma metodologia das Contas Nacionais Trimestrais (CNT) do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). A série organiza dados de janeiro de 2000 a dezembro de 2022.
- Capital - foram usadas duas bases para análise: o indicador IPEA (Instituto de

Pesquisa Econômica Aplicada) de formação bruta de capital fixo, que é um índice real encadeado dessazonalizado de janeiro de 1996 a novembro de 2022; e o indicador de utilização da capacidade instalada na indústria, que é um índice dessazonalizado com referência a 2006, organizado pela Confederação Nacional da Indústria (CNI) e disponibilizado pelo Ipeadata, que vai de janeiro de 1992 a julho de 2022. Há o entendimento de que o capital utilizado é um parâmetro melhor para o modelo que a variável estoque de capital apenas, mas a opção de usar as bases separadas no modelo foi útil para uma melhor ordenação da exogeneidade das variáveis na estimação das funções de impulso resposta e enriqueceu a análise. Sendo assim, usarei  $k$  para estoque de capital e  $uk$  para utilização do capital nas análises de resultados.

- Trabalho - apesar de o Brasil ser um país com um mercado informal de trabalho bastante significativo, a melhor base de dados para apresentar a realidade do Emprego no país é o CAGED (Cadastro Geral de Empregados e Desempregados), dispositivo legal utilizado pelo Ministério do Trabalho e Emprego (MTE) para acompanhar a evolução do mercado formal de trabalho no Brasil. A partir do Programa de Disseminação das Estatísticas do Trabalho (PDET), os dados do CAGED são apresentados de dezembro de 2002 a fevereiro de 2023.
- Dados de energia<sup>35</sup>
  - Álcool carburante (ALC) - dados da média de quantidade de consumo aparente por dia de cada mês medida por barril (mil), organizado pela Agência Nacional do petróleo (ANP) e disponibilizado pelo Ipeadata. Os dados vão de janeiro de 1979 a junho de 2022.
  - Derivados do petróleo (DPET) - A nomenclatura abrange os principais combustíveis fósseis, que são: GLP, gasolina A, gasolina de aviação, querosene iluminante, QAV (querosene de aviação), óleo diesel, óleo combustível e coque. Contabiliza os dados da média de quantidade de consumo aparente por dia de cada mês medida por barril (mil), organizado pela ANP e disponibilizado pelo Ipeadata. Os dados vão de janeiro de 1979 a junho de 2022.
  - Eletricidade (ELT) - Apesar dessa variável receber carga de diversas fontes, pela melhor parte da geração contabilizada no sistema integrado de transmissão ser renovável, será considerada como fonte renovável. Contabiliza os dados

---

<sup>35</sup> Os dados de energia foram selecionados de acordo com as disponibilidades nos bancos de dados e tentando seguir, de alguma maneira, o padrão das séries históricas em BRASIL, MME e EPE (2020, cap. 3).

da carga diária de eletricidade nos subsistemas integrados do ONS (Operador Nacional do Sistema Elétrico), medidos por MWmed. Foram compilados dados de janeiro de 2000 a julho de 2022 a partir da base da própria ONS.

- Outros derivados do petróleo (OUT) - Essa nomenclatura abrange os seguintes componentes: graxas, lubrificantes, parafinas, asfaltos, solventes, coque, nafta, extrato aromático, gasóleo de vácuo, óleo leve de reciclo, resíduo atmosférico (RAT), diluentes, n-parafinas, outros óleos de petróleo, minerais betuminosos, bem como outros produtos de menor importância. Contabiliza os dados da média de quantidade de consumo aparente por dia de cada mês medida por barril (mil), organizado pela ANP e disponibilizado pelo Ipeadata. Os dados vão de janeiro de 1979 a junho de 2022

A partir das bases de dados encontradas, os períodos das séries históricas e o objetivo da dissertação, o estudo usará os dados de dezembro de 2002 a maio de 2022. Como vimos, os dados de energia estão em métricas diferentes e, para adequação da base, as variáveis foram convertidas em 1000 tep (tonelada equivalente de petróleo). Além disso, todas as variáveis foram log-linearizadas a fim de minimizar as flutuações das séries e auxiliar no processo de análise, trazendo a vantagem que os parâmetros associados podem ser analisados como as elasticidades de cada variável. Para finalizar o tratamento dos dados, como uma forma de tratar a sazonalidade no uso de dados mensais, foi necessário inserir 11 *dummies* no conjunto de séries do modelo.

### 3 RESULTADOS

Neste capítulo, serão apresentados todos os resultados das etapas descritas no capítulo anterior, ordenados por seções e tabelas. Todas as etapas de testes foram realizadas no E Views 12 Student Version e no R<sup>36</sup>, seguindo orientação do co-orientador, a fim de assegurar a confiabilidade dos resultados. Os resultados dos testes realizados estão publicados na íntegra nos apêndices desta dissertação, mas será apresentado um resumo dos principais resultados para melhor encadeamento das ideias apresentadas.

#### 3.1 Testes de estacionariedade

Foram realizados todos os testes no programa Eviews, exceto Zivot Andrews, que foi apenas realizado no R. Tais testes foram realizados para estabelecer a escolha do modelo a ser usado nas próximas etapas. A realização de seis testes de estacionariedade com suas variantes teve o objetivo de estabelecer maior confiabilidade para as próximas etapas no estudo, considerando que, para garantir a estabilidade do modelo VECM, era necessário que todas as variáveis fossem I1 (estacionárias em primeira diferença). Segue abaixo um resumo dos resultados (figura 3).

Como destaque, vemos que os testes ADF, ADF com quebra, KPSS e PP não puderam rejeitar a hipótese de raiz unitária de todas as variáveis em nível, sendo indicado o teste com as variáveis em primeira diferença (figura 3); o teste ZA indicou em todos os testes valores significativos, tanto em nível quanto em primeira diferença, o que pode ser interpretado como a indicação de quebras estruturais nas séries usadas; por fim, o teste DF-GLS apresentou estacionariedade apenas na série *out* (outros derivados do petróleo). Diante dos resultados da maioria dos testes indicar estacionariedade em primeira diferença, é possível dar prosseguimento nas etapas do estudo.

#### 3.2 Testes de cointegração

Antes da realização do teste de cointegração, foi gerado um modelo VAR básico com a intenção de selecionar o número de defasagens a ser indicado nas etapas seguintes do estudo. O resultado completo pode ser visto no Apêndice C - Figura 33, mas segue na tabela 1 um resumo. Considerando o resultado de FPE (Final Prediction Error),

---

<sup>36</sup> Neste programa, foi realizado o teste Zivot-Andrews.

Figura 3 - Resumo dos testes de estacionariedade

Testes de estacionariedade (variáveis em nível)															
var.	ADF			ADF quebra		PP			KPSS		DF-GLS		ZA		
	bas.	int.	tend.	int.	tend.	bas.	int.	tend.	int.	tend.	int.	tend.	int.	tend.	ambos
y	2,22	-2,68	-1,90	-3,31	-4,37	2,04	-2,16	-3,23	1,64	0,48	0,94	-0,73	-6,74	-4,77	-5,87
l	1,55	-2,06	-2,41	-3,77	-4,11	3,63	-2,20	-1,43	1,59	0,47	0,51	-1,58	-6,47	-3,54	-5,15
k	0,89	-1,68	-1,58	-3,05	-4,12	0,65	-1,94	-2,12	0,70	0,38	-0,38	-1,36	-3,50	-4,10	-4,37
uk	-0,03	-1,65	-2,01	-3,13	-3,46	-0,16	-2,05	-2,41	0,99	0,22	-1,52	-1,93	-3,95	-3,10	-4,37
dpet	1,39	-1,63	-1,81	-3,92	-4,65	1,42	-1,99	-3,94	1,62	0,40	0,13	-1,76	-6,03	-5,73	-5,90
elt	3,72	-1,61	-2,23	-4,03	-10,91	2,72	-2,99	-11,03	1,97	0,43	2,23	-1,42	-12,90	-10,37	-12,04
alc	0,94	-2,15	-2,21	-3,33	-3,89	1,22	-1,67	-2,76	1,70	0,29	-0,20	-2,09	-6,01	-4,33	-4,66
out	-0,06	-3,77	-3,82	-4,64	-6,91	0,11	-3,19	-3,31	0,48	0,33	-2,88	-3,70	-6,04	-4,62	-7,65

Testes de estacionariedade (variáveis em primeira diferença)															
var.	ADF			ADF quebra		PP			KPSS		DF-GLS		ZA		
	bas.	int.	tend.	int.	tend.	bas.	int.	tend.	int.	tend.	int.	tend.	int.	tend.	ambos
y	-3,85	-4,49	-4,92	-18,96	-18,94	-25,82	-25,13	-26,14	0,27	0,07	-0,26	-1,57	-17,74	-17,02	-21,43
l	-1,54	-2,17	-2,27	-10,27	-10,56	-9,53	-10,23	-10,35	0,56	0,21	-0,28	-1,44	-17,56	-15,98	-30,91
k	-15,48	-15,51	-15,50	-21,95	-21,95	-22,55	-22,62	-22,62	0,10	0,07	-5,86	-14,60	-21,94	-21,19	-23,60
uk	-19,30	-19,26	-19,22	-21,55	-21,61	-18,96	-18,92	-18,88	0,07	0,07	-0,97	-2,43	-19,95	-19,40	-20,61
dpet	-2,89	-3,22	-3,30	-21,51	-21,47	-29,17	-30,74	-31,30	0,15	0,10	-0,03	-1,92	-20,75	-20,34	-22,81
elt	-3,91	-7,26	-7,34	-29,73	-29,68	-49,82	-81,87	-84,98	0,18	0,11	-1,69	-3,30	-27,48	-26,69	-30,41
alc	-2,96	-3,13	-3,41	-21,38	-21,46	-21,88	-22,63	-23,38	0,15	0,05	-0,62	-1,66	-19,50	-18,48	-24,30
out	-13,12	-13,09	-13,07	-13,51	-13,66	-13,50	-13,46	-13,43	0,06	0,04	-11,91	-12,81	-13,78	-13,47	-14,22

Fonte: O autor, 2024

lag	LogL	LR	FPE	AIC	SC	HQ
1	5976,7088	-	-	-	-49,49800	-
3	6229,310	-	1,29e-33	-53,04741	-	-51,27685
9	6601,032	142,4407	-	-	-	-

Tabela 1 - Seleção de defasagens

Fonte: O autor, 2024

HQ (Hannan-Quinn Information Criterion) e AIK (Akaike Information Criterion), que indicam três defasagens no VAR e o fato de que o VECM trabalha com variáveis em primeira diferença, será indicado a partir daqui o uso de duas defasagens.

Nesta etapa, foi feito o método Johansen no Eviews, com e sem a inclusão de 11 *dummies* e duas defasagens. Inicialmente, é preciso indicar que o programa dava um erro na matriz pela não diferenciação entre variáveis exógenas e endógenas quando era feita a tentativa de inclusão de *dummies*, sendo feito o teste sem tratamento de sazonalidade primeiro. Contudo, entendendo a importância do processo para a análise que usa séries temporais mensais, após a estimação do modelo VECM, foi realizado o método Johansen novamente, agora com base no conjunto de dados que já tinham o tratamento indicado. Segue abaixo um resumo sobre o número de vetores de cointegração do primeiro teste

Tabela 2 - Método Johansen

Teste do traço (sem restrições)				
VC	autovalor	traço	0.05	prob.
$r = 0$	0,46	284,12	159,53	0,00
$r \leq 1$	0,19	144,69	125,62	0,00
$r \leq 2$	0,15	95,70	95,75	0,05
$r \leq 3$	0,09	57,72	69,82	0,31

Fonte: O autor, 2024

Tabela 3 - Método Johansen

Teste do valor máximo (sem restrições)				
VC	autovalor	máx.	0.05	prob.
$r = 0$	0,46	139,43	52,36	0,00
$r \leq 1$	0,19	48,99	46,23	0,02
$r \leq 2$	0,15	37,98	40,08	0,08
$r \leq 3$	0,09	20,55	33,88	0,72

Fonte: O autor, 2024

realizado (tabelas 2-3).

O resultado completo dos testes pode ser visto no Apêndice C, mas conforme já indicado no resumo acima descrito, foram considerados dois vetores de cointegração no modelo VECM, apesar de ter sido levada em conta a divergência no teste do traço com tratamento de sazonalidade.

### 3.3 Modelo VECM e outros resultados acerca das relações de causalidade

Conforme foi indicado pelos testes descritos na seção 3.2, o modelo a ser estimado foi o VECM com dois vetores de cointegração e duas defasagens, estimado no Eviews 12 Student Version (Apêndice D, Figuras 39 - 40). O programa usado estabelece a normalização de dois vetores de cointegração (Figura 40) sem identificar exatamente quais seriam eles: esse tipo de situação não permite análises com base no resultado indicado, mas serve como etapa para os testes relacionados especificamente às análises de relações de causalidade.

Para uma avaliação do modelo gerado, ele foi analisado a partir dos testes LM (correlação serial), Portmanteau (autocorrelação dos resíduos), Cholesky (normalidade

dos resíduos) e o White (heterocedasticidade dos resíduos)<sup>37</sup>. Os resultados rejeitaram as hipóteses de autocorrelação, correlação serial e heterocedasticidade e confirmaram a normalidade dos resíduos, o que validou o modelo, sendo considerado bem ajustado. Ele gerou resultados estatisticamente significativos e serviu de base para a função impulso-resposta, seguindo o método de decomposição de Cholesky. Além disso, a partir do resultado dos testes de cointegração, foi gerado uma FMOLS, seguindo o padrão destacado por Apergis e Payne (2011) para entender o impacto das outras variáveis sobre o crescimento econômico.

Foram gerados cinco grupos de função impulso-resposta a partir da ordenação de exogeneidade das variáveis na escolha do método de decomposição de Cholesky e com método bayesiano de identificação dos intervalos de confiança das curvas apresentadas. Conforme indicado no capítulo anterior, ao estabelecer uma ordenação de variáveis, as primeiras indicadas não seriam contemporaneamente afetadas pelas últimas. Como todas as ordenações são possíveis e a ordenação ajuda a definir as funções impulso-resposta, o critério para escolha das ordenações importa e a estratégia de comparar os resultados a partir de várias ordenações está atrelada à busca de maior robustez das relações encontradas.

Para a primeira ordenação de exogeneidade, foi estabelecido como critério a perspectiva de curto prazo, sendo questionado a possibilidade de influência nas alterações para cada variável. A ordem das variáveis e suas justificativas são apresentadas a seguir:

1. estoque de capital ( $k$  ou  $cap$ ): no curto prazo, o estoque de capital é dado, sendo passível de alterações com planos de Estado e outras estratégias de desenvolvimento econômico do país no longo prazo.
2. crescimento econômico ( $y$  ou  $pib$ ): a economia é influenciada pelos fatores de produção e é exatamente pelo fato de que os diversos setores e firmas terem impacto no crescimento econômico, que os efeitos são minimizados e a economia é vista como um dado exógeno no curto prazo.
3. capital utilizado ( $uk$  ou  $usocap$ ): a utilização do capital está ligada à produção na economia, mas também depende do estoque de capital, que é uma variável exógena no curto prazo.
4. trabalho ( $l$  ou  $pes$ ): o número de vagas de trabalho também tem relação com a produção, mas passa por um processo de aquecimento do mercado de trabalho, que é ativado de forma descompassada, tentando acompanhar os diversos movimentos da economia e das inovações tecnológicas dos setores.

---

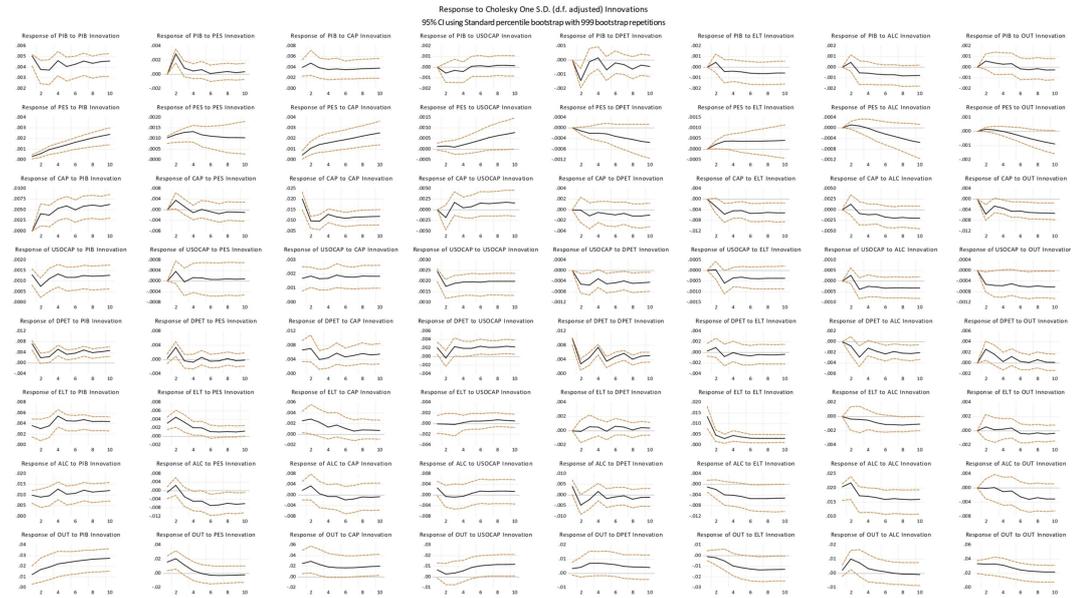
<sup>37</sup> Estes testes são apresentados no Apêndice E.

5. eletricidade (*elt*): o setor elétrico no Brasil é organizado de forma centralizada e mantém, de forma predominante, geradores hídricos. Logo, apesar de ser um setor que passa por um processo de maior diversidade em sua matriz e nas formas de geração (aceitando a geração compartilhada, por exemplo), apresenta variações pouco significativas no curto prazo.
6. derivados do petróleo (*dpet*): os principais derivados do petróleo são tidos como os combustíveis mais tradicionais, com forte impacto na economia e bastante adaptado aos fatores de produção. O Brasil, desde os estudos de Pao e Fu (2013), indicava um processo de independência energética, isto é, não dependia da oferta internacional do combustível fóssil para o atendimento da demanda do país. Com isso, apesar das pressões internacionais no mercado internacional, a oferta desta variável sofre influência significativa dos processos de exploração e prospecção internos, mas que afetam o médio e longo prazos do setor.
7. álcool (*alc*): a partir de diversas políticas setoriais implementadas nos anos 1990-2000, o álcool foi sendo desenvolvido como uma alternativa ao combustível fóssil e passa por um processo de expansão lento exatamente na tentativa de redução da dependência da economia ao petróleo e derivados. Com isso, a sua oferta está atrelada às variações de preço e oferta dos derivados do petróleo na economia, assim como aos incentivos dos programas que buscam maior diversificação energética, sustentabilidade ambiental e modicidade tarifária.
8. outros derivados do petróleo (*out*): essa variável sofre impacto das outras variáveis do modelo indicado e, com isso, é a última de nossa lista.

As outras ordenações de variáveis são as seguintes:

- *k - uk - l - elt - dpet - alc - out - y*: essa ordenação altera a posição do crescimento econômico para o último lugar com o intuito de verificar a influência de todas as variáveis sobre ele.
- *y - k - l - uk - elt - dpet - alc - out*: a terceira ordenação de variáveis considera a rigidez do mercado de trabalho, sendo este um componente mais exógeno que a utilização do capital.
- *k - l - uk - y - elt - dpet - alc - out*: a quarta ordenação considera as influências dos principais insumos para a produção e como isso afeta o crescimento econômico.
- *k - l - uk - elt - dpet - alc - out - y*: na última ordenação, novamente houve o intuito de verificar a influência de todas as variáveis sobre o crescimento econômico.

Figura 4 - Função impulso resposta 1- formato desagregado



Fonte: O autor, 2024

Os gráficos relativos às funções de impulso resposta são apresentados no formato desagregado ou convencional de todas as ordenações estabelecidas. Por fim, foi gerado uma FMOLS.

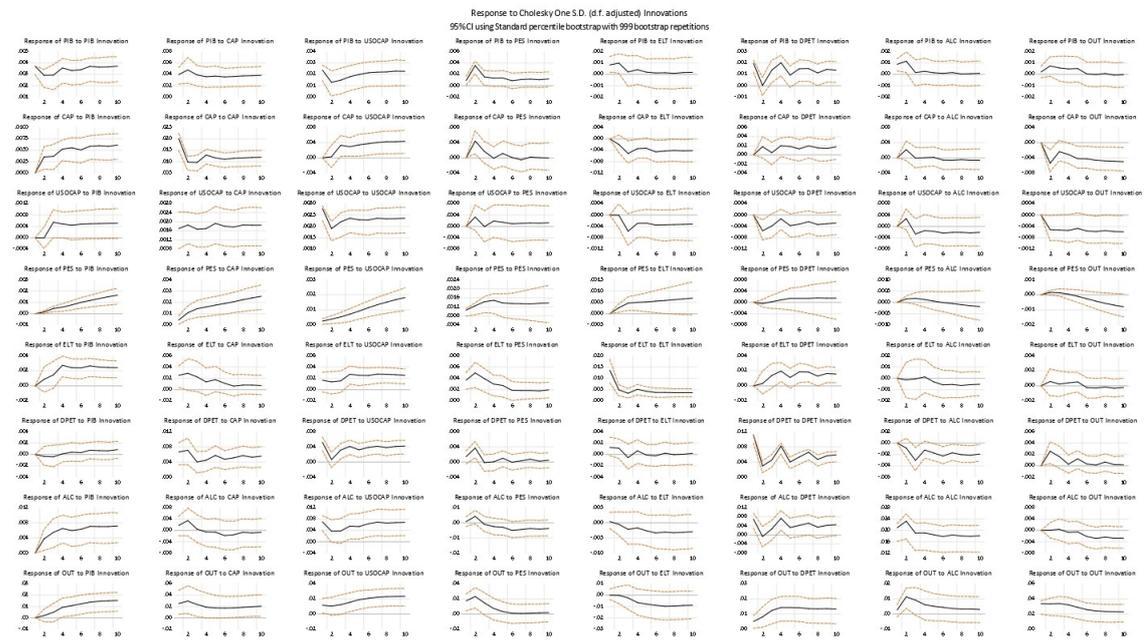
### 3.4 Análises das relações de causalidade

Conforme indicado no capítulo anterior, esta seção visa trazer uma análise sobre os resultados encontrados nos gráficos das funções de impulso-resposta e na FMOLS com o intuito de atualizar entendimentos sobre estudos no Brasil e sobre a evolução da transição energética no país e, porventura, buscar paralelos com estudos anteriores.

Antes de analisar as curvas das funções de impulso-resposta, é preciso reforçar como a identificação do modelo VEC foi feita. O processo tem como base a decomposição de Cholesky e impõe uma ordenação de variáveis, das mais exógenas às mais endógenas, feita a partir de argumentos teóricos e conhecimento prévio. Como indicado por Cavalcanti (2010), há duas limitações no método usado aqui: não considerar a simultaneidade entre as variáveis e a equivalência observacional de todas as possíveis ordenações das variáveis do VAR, não sendo possível diferenciar entre elas com base em critérios estatísticos.

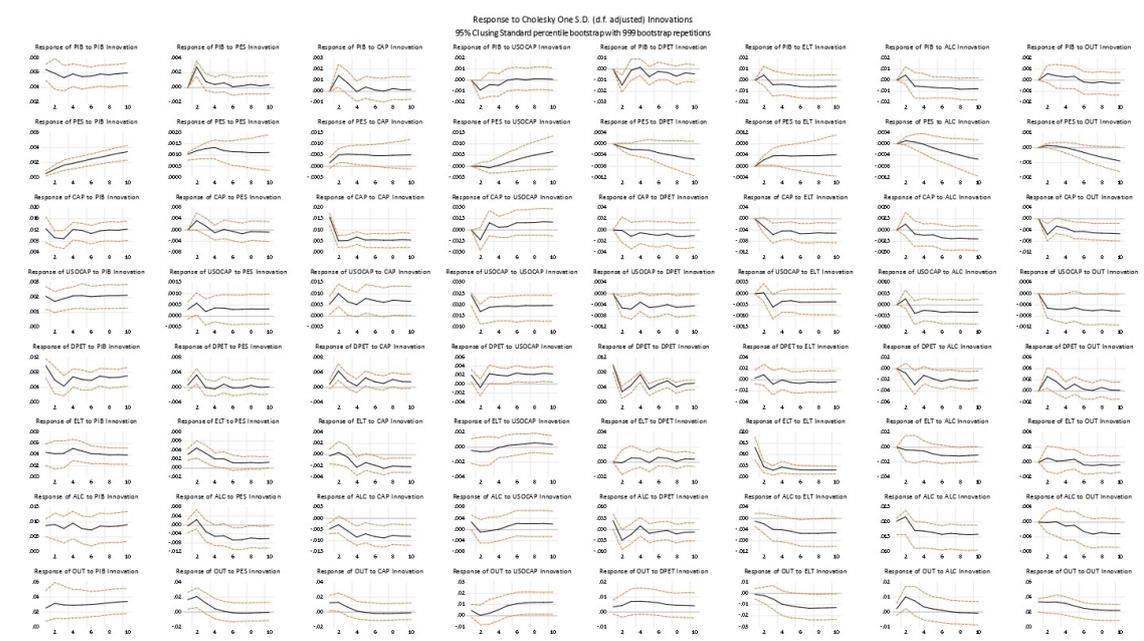
A partir dessas considerações, destaca-se então que as curvas poderiam sofrer alterações caso fossem estabelecidas outras ordenações a partir de critérios diferentes. Conforme já havia mencionado, a identificação do VECM é um processo complexo, a estratégia

Figura 5 - Função impulso resposta 2 - formato desagregado



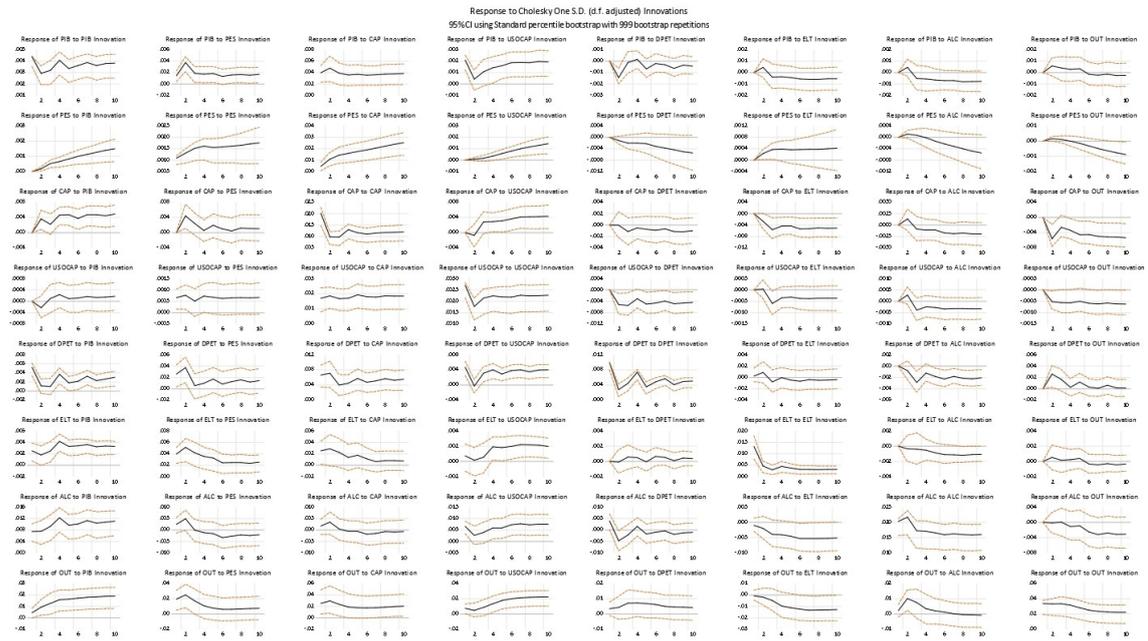
Fonte: O autor, 2024

Figura 6 - Função impulso resposta 3 - formato desagregado



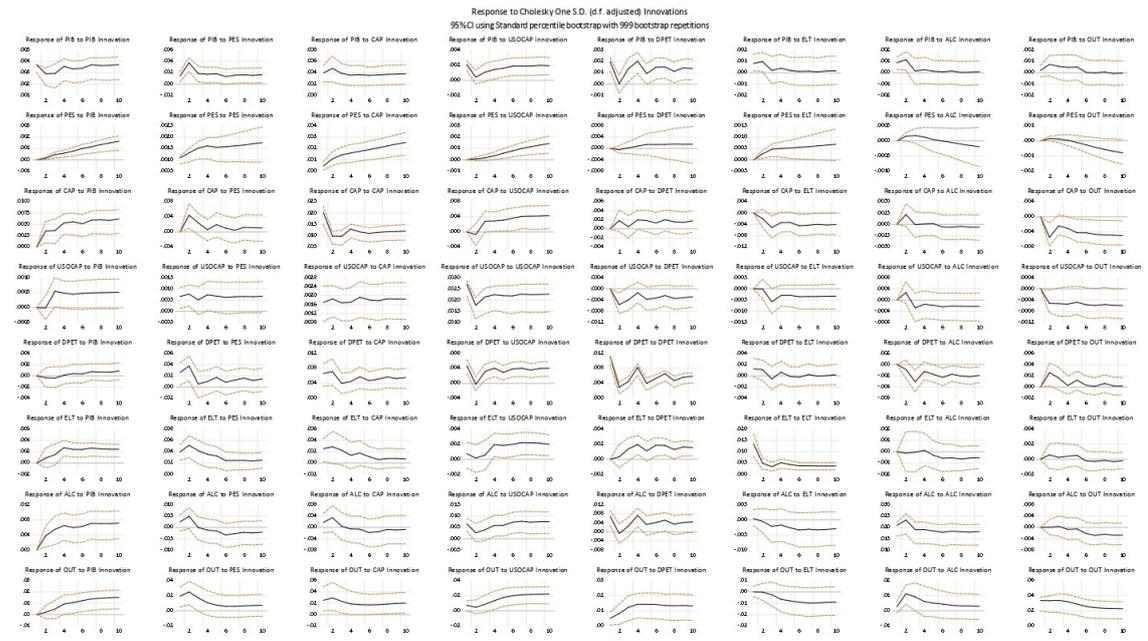
Fonte: O autor, 2024

Figura 7 - Função impulso resposta 4 - formato desagregado



Fonte: O autor, 2024

Figura 8 - Função impulso resposta 5 - formato desagregado



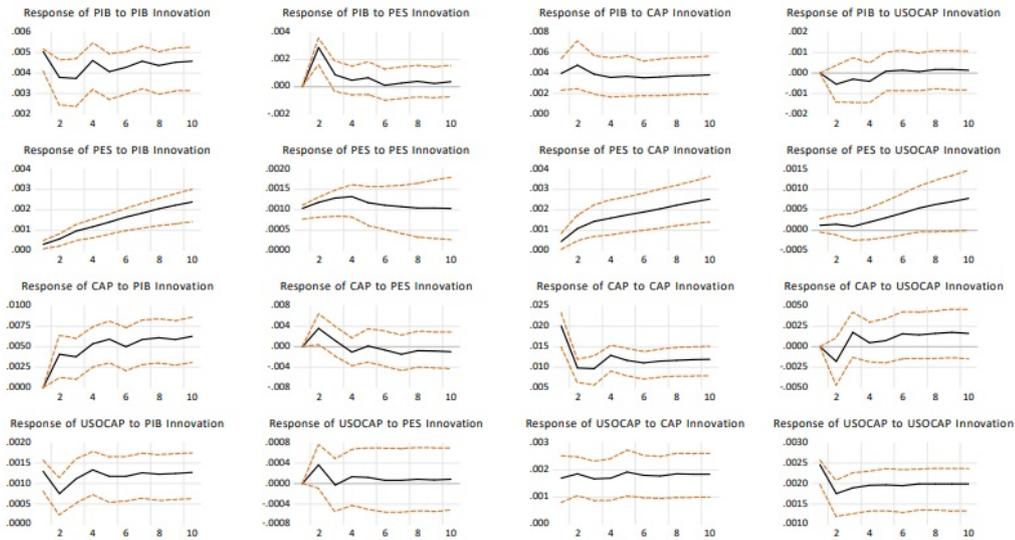
Fonte: O autor, 2024

Figura 9 - Modelo FMOLS

Dependent Variable: PIB Method: Fully Modified Least Squares (FMOLS) Date: 10/28/23 Time: 10:45 Sample (adjusted): 2003M01 2022M05 Included observations: 233 after adjustments Cointegrating equation deterministics: C Long-run covariance estimate (Bartlett kernel, Newey-West fixed bandwidth = 5.0000)				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
PES	0.299990	0.069306	4.328514	0.0000
CAP	0.069647	0.034204	2.036247	0.0429
USOCAP	0.235542	0.125019	1.884057	0.0608
DPET	0.228606	0.032733	6.984028	0.0000
ELT	0.101856	0.030405	3.350009	0.0009
ALC	0.071883	0.011480	6.261500	0.0000
OUT	0.003333	0.007639	0.436276	0.6631
C	0.614701	0.510022	1.205243	0.2294
R-squared	0.967753	Mean dependent var	4.960209	
Adjusted R-squared	0.966749	S.D. dependent var	0.055165	
S.E. of regression	0.010059	Sum squared resid	0.022767	
Long-run variance	0.000146			

Fonte: O autor, 2024

Figura 10 - Recorte da função impulso resposta - ordenação 1



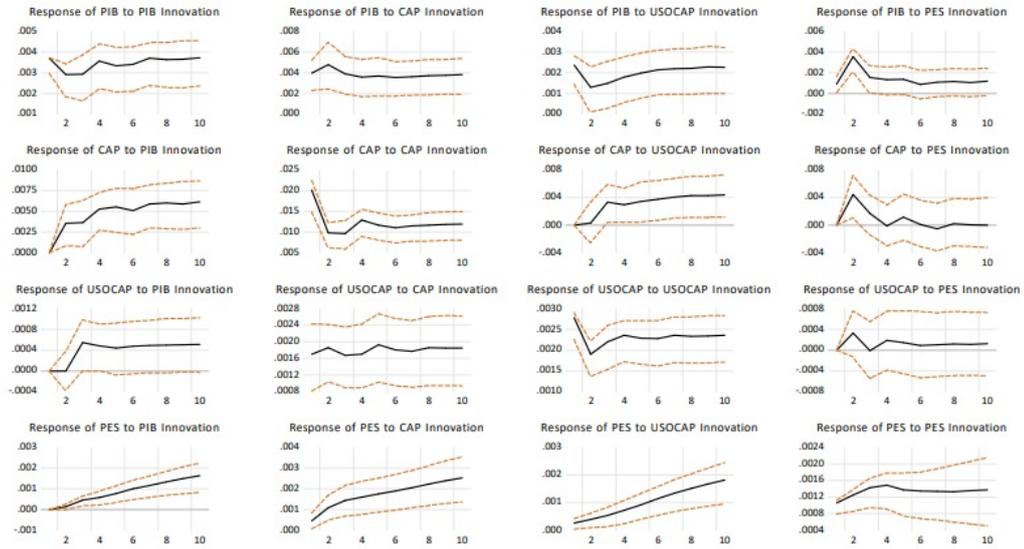
Fonte: O autor, 2024

adotada carrega em si alguma arbitrariedade, mas o método é econometricamente correto, já é amplamente replicado nos estudos de Macroeconomia e está apresentado aqui de forma detalhada e transparente, tornando-se viável a sua comparação com futuros estudos sobre o mesmo tema.

Inicialmente, ao observar todas as funções de impulso resposta de forma mais detalhada nos gráficos acima (figuras 10 a 14), destaca-se a forte relação entre estoque de capital com o crescimento econômico e como esses fatores, assim como o uso do capital, influenciam o trabalho, demonstrando os fatores que estimulam o aquecimento do mercado de trabalho no curto prazo. Apesar de notar algumas variações entre os gráficos, as relações são mantidas e pode-se inclusive falar em causalidade bidirecional entre crescimento econômico, capital (estoque e uso) e trabalho em algumas ordenações. No contexto do estudo, parece cabível pensar também na relevância do investimento em infraestrutura e da inovação tecnológica para estimular um ciclo virtuoso na economia e o desenvolvimento econômico. Sob este aspecto, Romeiro et al. (2020) traz indicações de planejamento de Estado relevantes no desenvolvimento de uma economia mais resiliente e de baixo carbono.

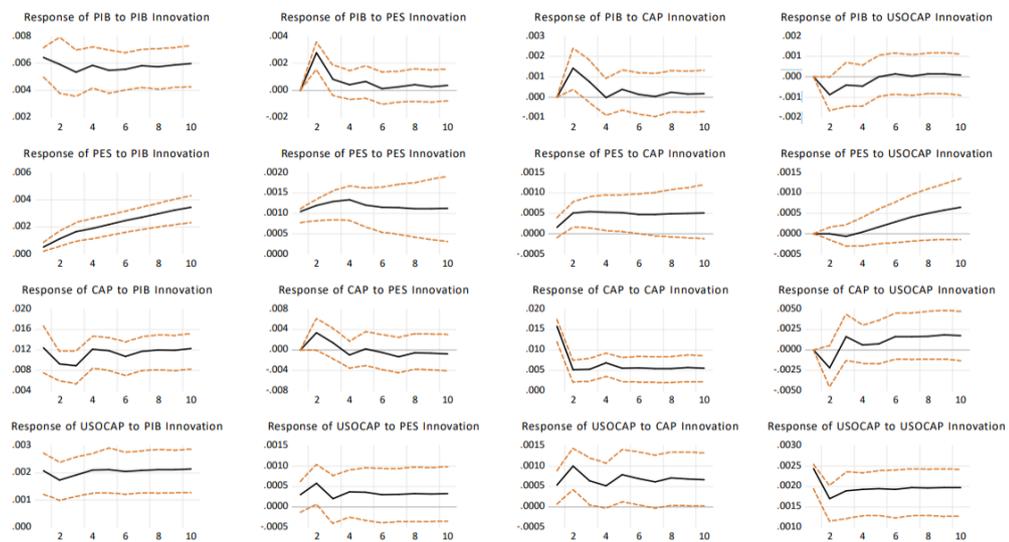
A partir das Figuras 15 a 19, é possível verificar o impacto do crescimento econômico e dos fatores de produção sobre as fontes de energia. Foi confirmado o impacto positivo estatisticamente significativo do crescimento econômico sobre todas as fontes de energia. Esse achado atesta a forte relação entre as variáveis, validando a hipótese de conservação. Contudo, os gráficos que apresentam o impacto das fontes de energia sobre o crescimento econômico (Figuras 22 a 24) são inconclusivos, ora apresentando um impacto não significativo estatisticamente, ora indicando um impacto positivo estatisticamente significativo,

Figura 11 - Recorte da função impulso resposta - ordenação 2



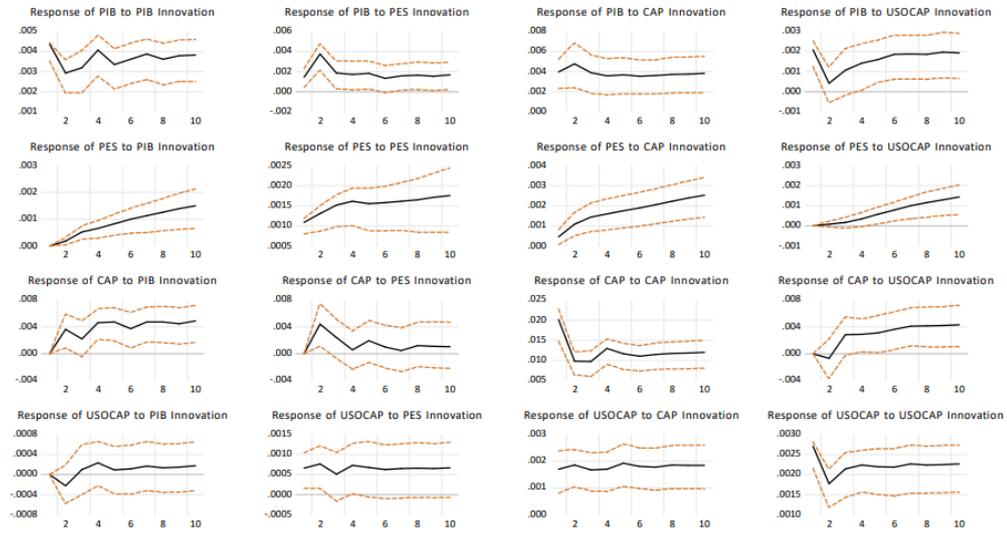
Fonte: O autor, 2024

Figura 12 - Recorte da função impulso resposta - ordenação 3



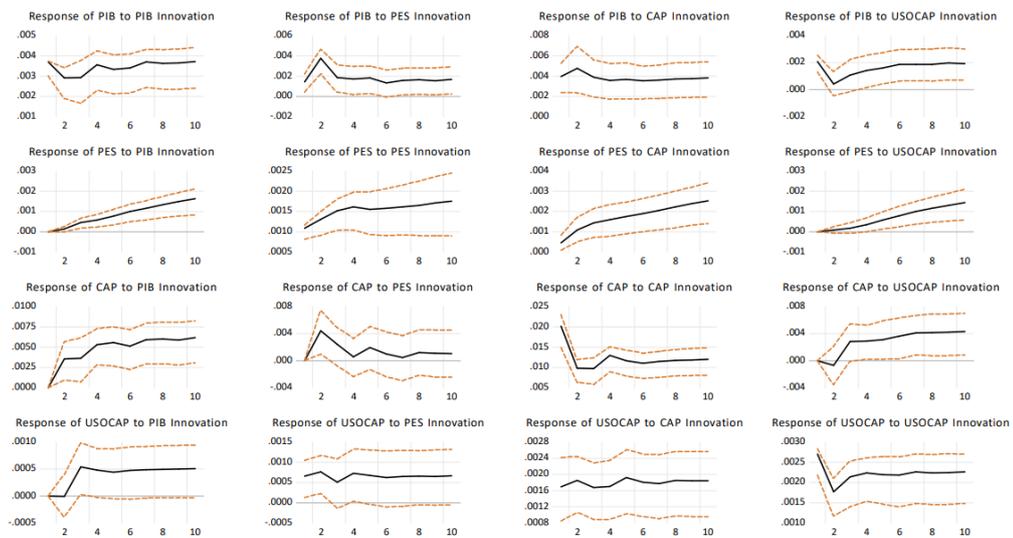
Fonte: O autor, 2024

Figura 13 - Recorte da função impulso resposta - ordenação 4



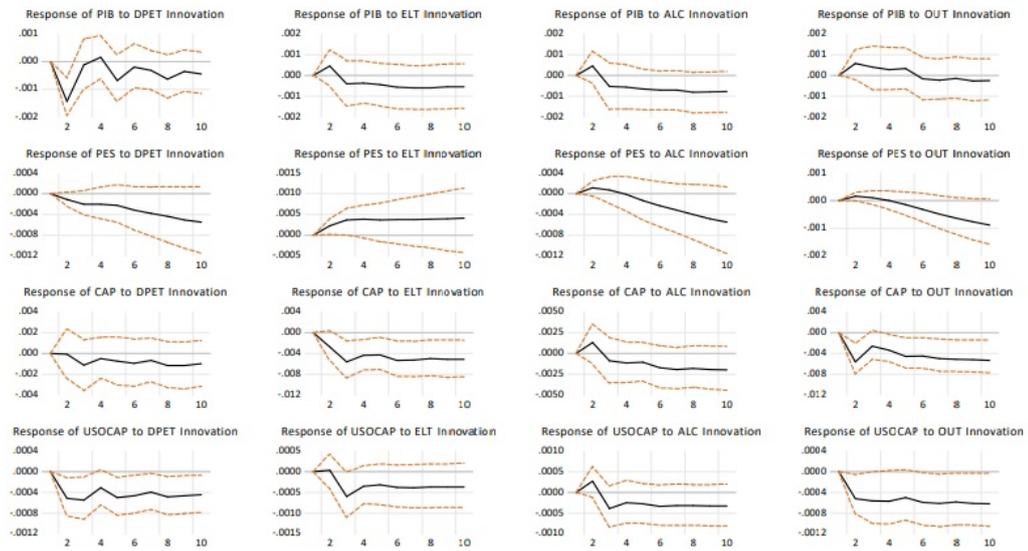
Fonte: O autor, 2024

Figura 14 - Recorte da função impulso resposta - ordenação 5



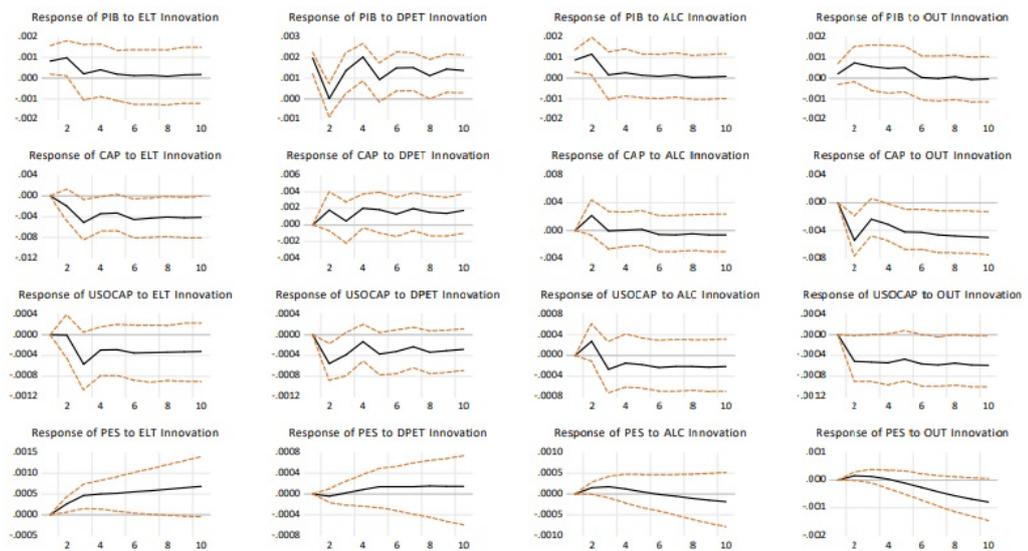
Fonte: O autor, 2024

Figura 15 - Recorte da função impulso resposta - ordenação 1



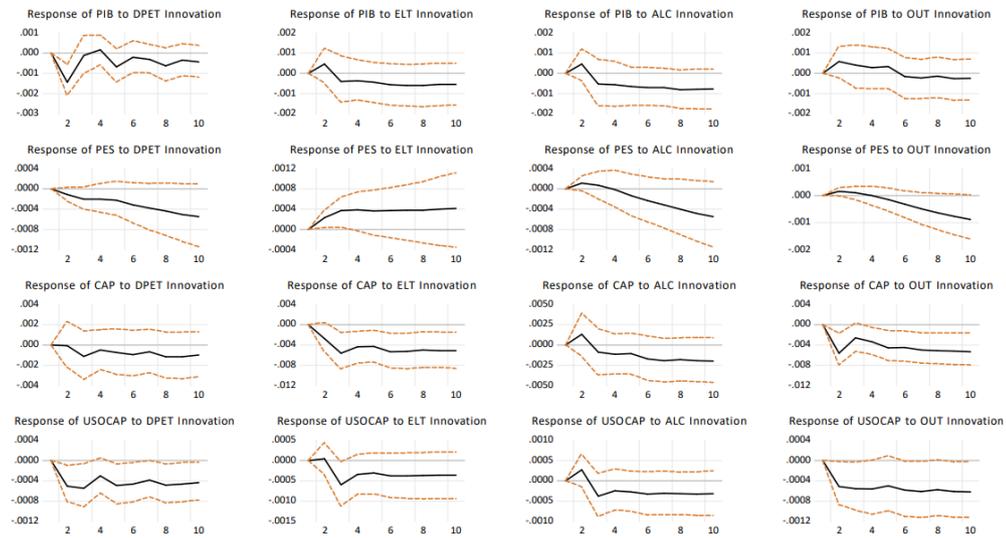
Fonte: O autor, 2024

Figura 16 - Recorte da função impulso resposta - ordenação 2



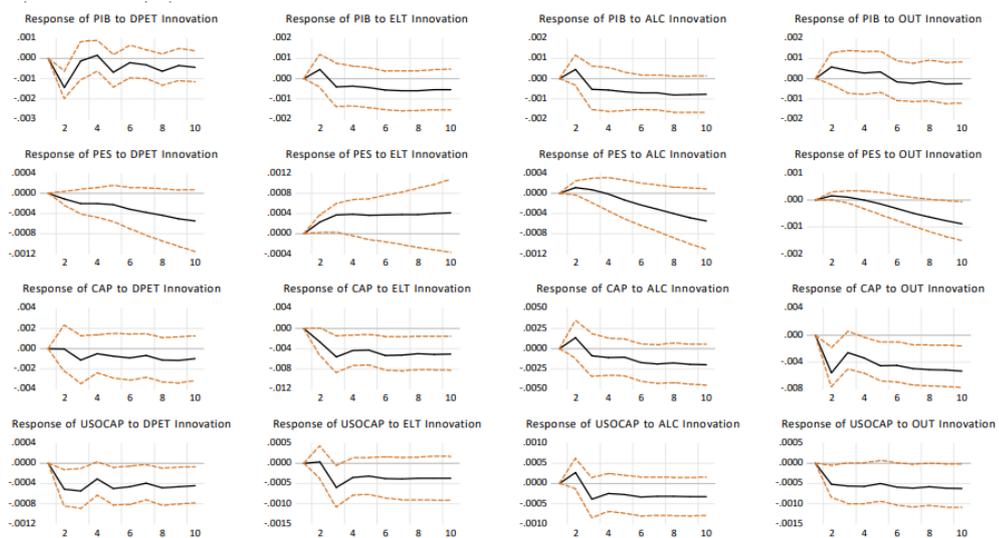
Fonte: O autor, 2024

Figura 17 - Recorte da função impulso resposta - ordenação 3



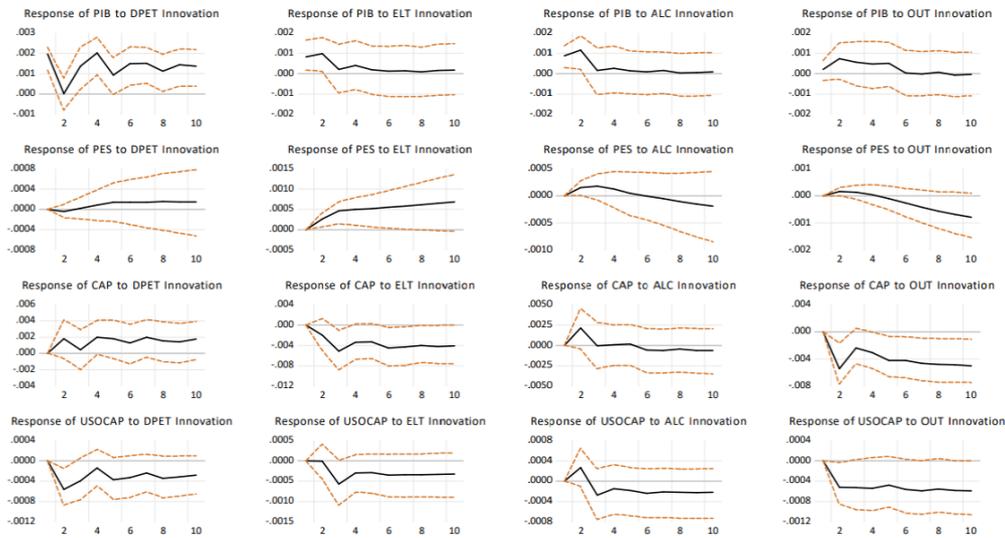
Fonte: O autor, 2024

Figura 18 - Recorte da função impulso resposta - ordenação 4



Fonte: O autor, 2024

Figura 19 - Recorte da função impulso resposta - ordenação 5



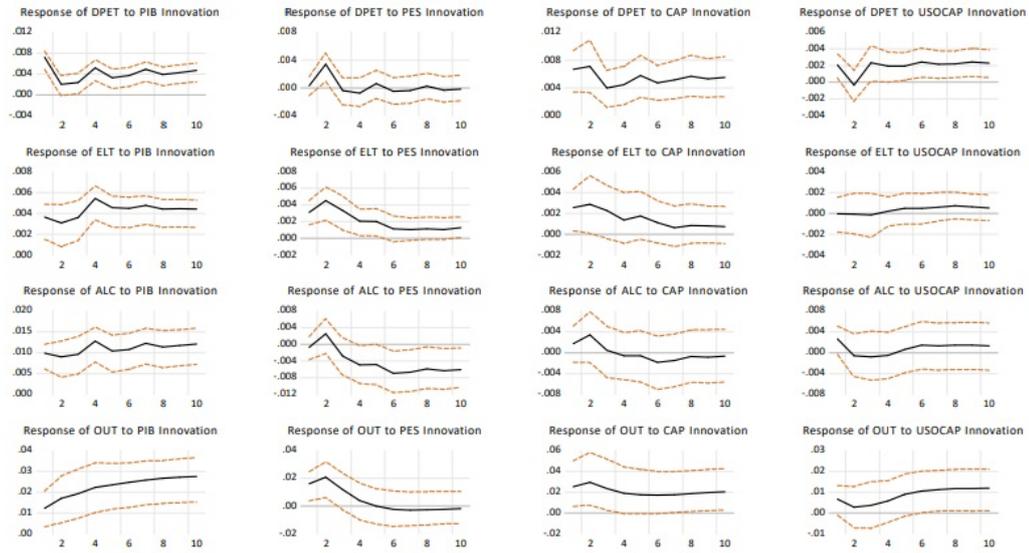
Fonte: O autor, 2024

principalmente dos derivados do petróleo (*dpet*), reforçando a discussão apresentada por Bhattacharya et al. (2016) sobre o nível de desenvolvimento do setor de renováveis e sobre a adaptação da economia às novas fontes energéticas e abrindo a possibilidade de questionamento se a economia não depende mais dos combustíveis fósseis, tal como havia sido indicado por Pao e Fu (2013). A interpretação inicial dos gráficos pode indicar tanto como uma economia aquecida aumenta o consumo de energia, quanto como o investimento estimula a expansão do setor energético, mas esta economia ainda não está adaptada à evolução de processos do setor energético, tais como a expansão das fontes, maior diversificação da matriz energética e maior eficiência energética.

Considerando que a orientação para as ordenações de variáveis foi a análise de curto prazo, isso pode estar associado aos custos de produção e de uso como bem intermediário, sendo possivelmente indicada apenas adaptação da economia às fontes fósseis dominantes. Portanto, o investimento indicado por estudos como o de Bhattacharya et al. (2016) não se referem apenas ao setor energético, mas principalmente aos outros setores que usarão a energia como um fator de produção, tal como é indicado por O'Sullivan, Overland e Sandalow (2017), Romeiro et al. (2020) e Elkington (2020). A economia precisa inovar e criar novas tecnologias para geração de energia, mas também se adaptar para conseguir utilizar melhor a energia e ampliar o acesso às novas fontes, sendo esta uma das ações estratégicas para redirecionamento a uma economia de baixo carbono.

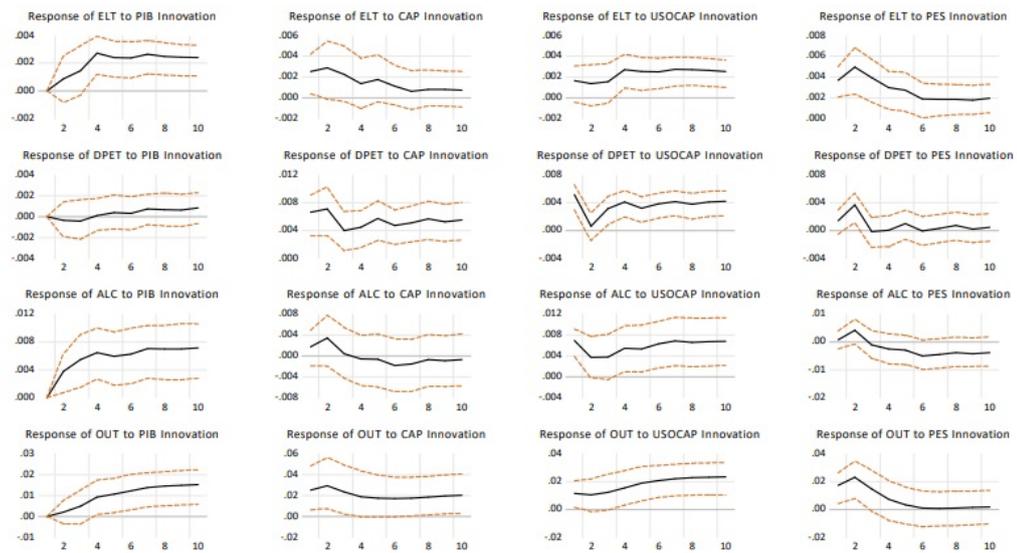
Contudo, os gráficos que apresentam o impacto das fontes de energia sobre o crescimento econômico (Figuras 20 a 24) são inconclusivos, ora apresentando um impacto não significativo estatisticamente, ora indicando um impacto positivo estatisticamente significativo, principalmente dos derivados do petróleo (*dpet*), reforçando a discussão apre-

Figura 20 - Recorte da função impulso resposta - ordenação 1



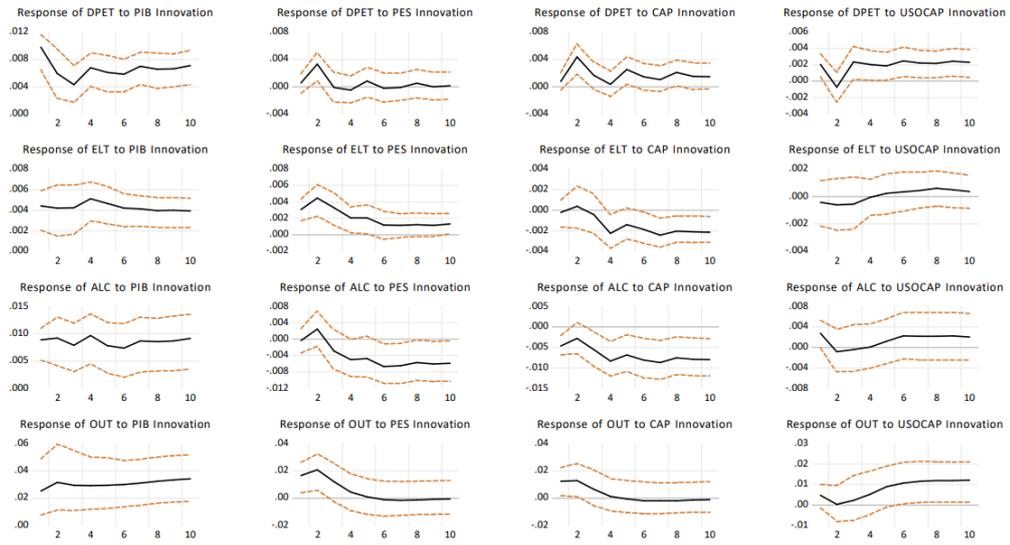
Fonte: O autor, 2024

Figura 21 - Recorte da função impulso resposta - ordenação 2



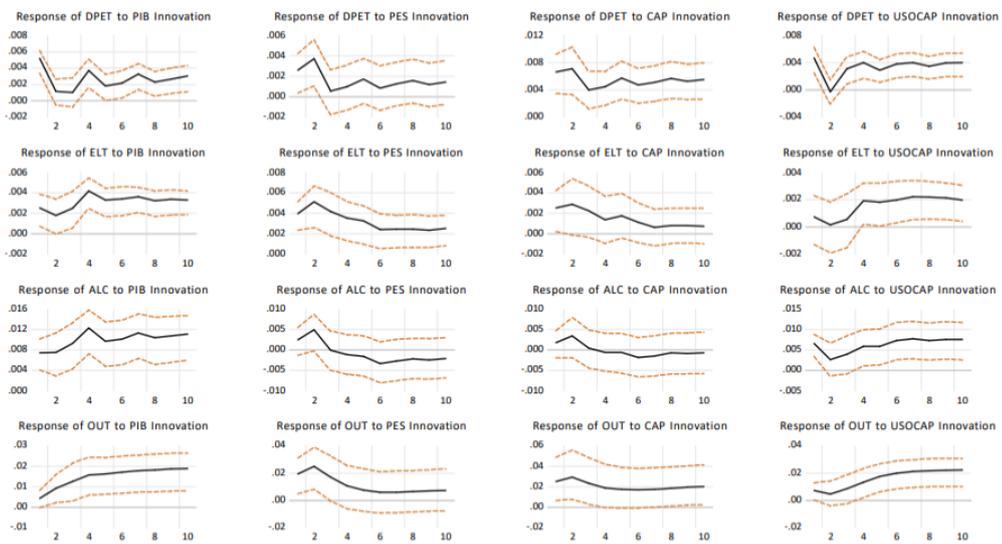
Fonte: O autor, 2024

Figura 22 - Recorte da função impulso resposta - ordenação 3



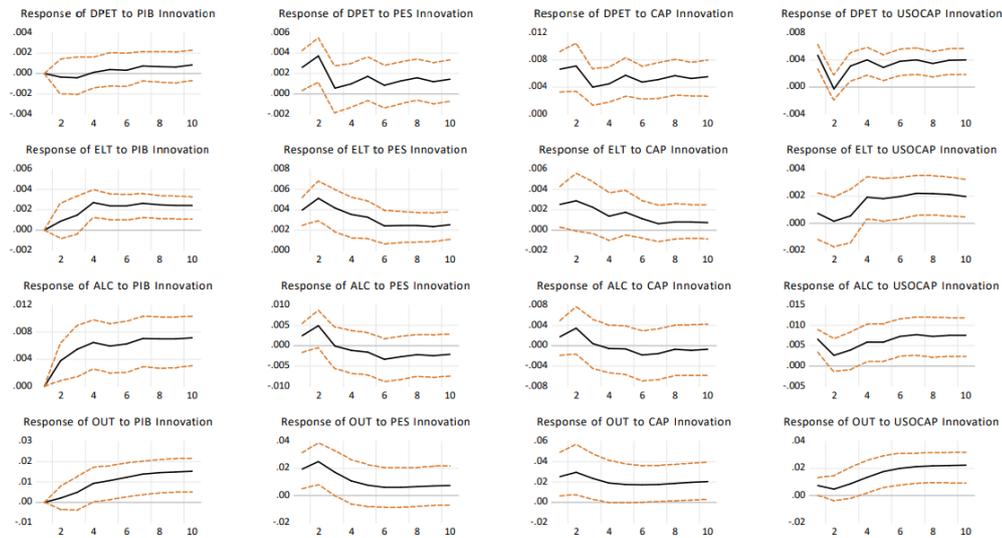
Fonte: O autor, 2024

Figura 23 - Recorte da função impulso resposta - ordenação 4



Fonte: O autor, 2024

Figura 24 - Recorte da função impulso resposta - ordenação 5



Fonte: O autor, 2024

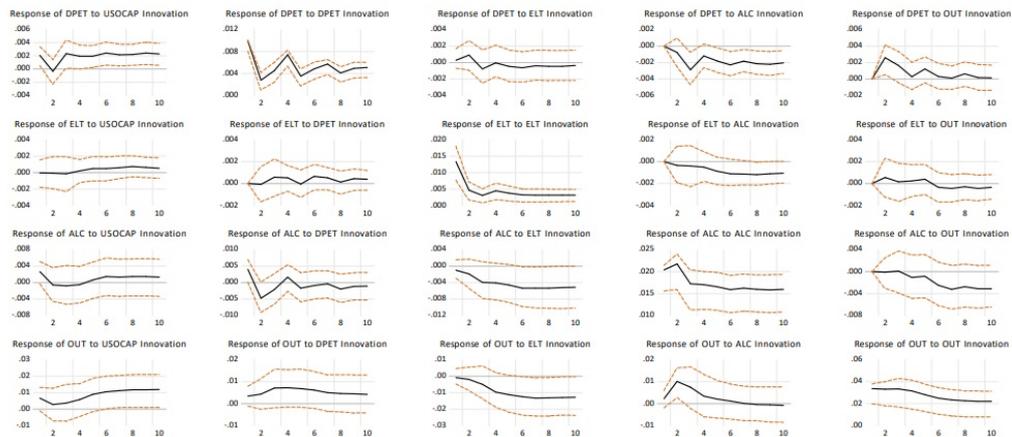
sentada por Bhattacharya et al. (2016) sobre o nível de desenvolvimento do setor de renováveis e sobre a adaptação da economia às novas fontes energéticas. A partir das figuras, também pode ser questionado se a economia não depende mais dos combustíveis fósseis, tal como havia sido indicado por Pao e Fu (2013).

Buscando aprofundar a compreensão sobre a dinâmica da economia com as fontes de energia, temos o impacto do estoque e uso de capital: é apresentado impacto positivo estatisticamente significativo do estoque de capital em quase todos os gráficos sobre as fontes de energia, exceto álcool, e impacto positivo estatisticamente significativo do uso do capital em quase todos os gráficos sobre as fontes de energia. Destaca-se que, mesmo com as pequenas variações apresentadas nos gráficos, todos apresentam um impacto maior das variáveis sobre as fontes fósseis.

Já analisando o impacto do trabalho sobre as fontes de energia, este é positivo estatisticamente significativo sobre as fontes, exceto álcool, em quase todos os gráficos. É relevante observar a interação entre trabalho e eletricidade: além de não apresentar variações significativas nos gráficos, é o impacto mais positivo e duradouro do trabalho sobre uma fonte de energia, sendo então um resultado robusto desta dinâmica.

Ao observar o impacto das fontes sobre os outros fatores de produção, destaca-se o efeito do álcool sobre o estoque e uso de capital e o efeito da eletricidade sobre o trabalho. No primeiro caso, é importante pensar que as inovações tecnológicas relacionadas ao álcool parecem estar surtindo efeito e trazendo um impacto positivo no curtíssimo prazo tanto sobre o estoque quanto sobre o uso do capital. Também é observado em alguns gráficos uma resposta positiva estatisticamente significativa do estoque de capital ao impulso dos derivados do petróleo, possivelmente indicando uma melhor adaptação das fontes fósseis à

Figura 25 - Recorte da função impulso resposta - ordenação 1



Fonte: O autor, 2024

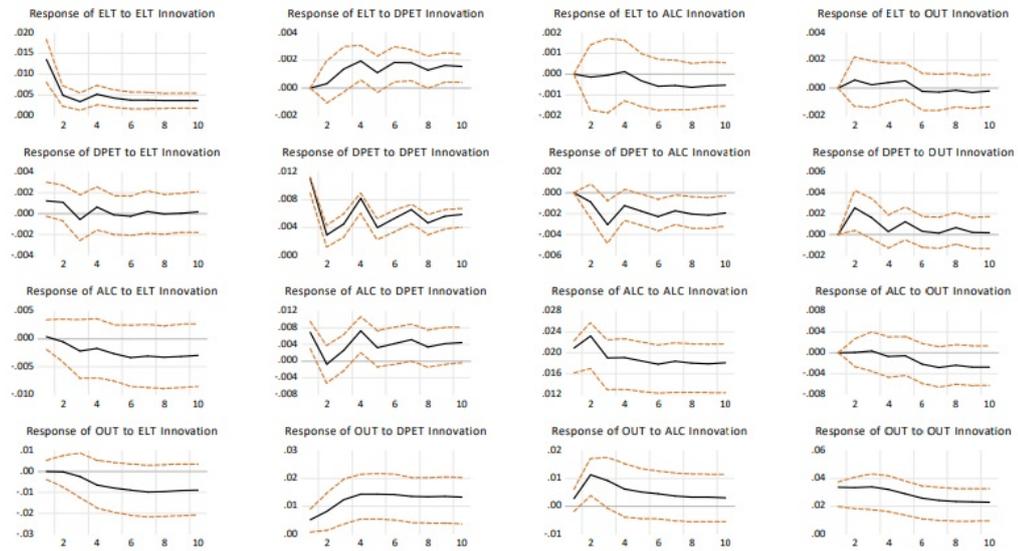
infraestrutura da da economia brasileira. Entretanto, por conta das interações do capital com as fontes renováveis na maioria dos gráficos, já pode se falar em um processo de inovação tecnológica que começa a se adequar ao uso das fontes renováveis.

No segundo evento destacado, observa-se o impacto positivo estatisticamente significativo da eletricidade sobre o trabalho em todos os gráficos da relação. Sobre a interação entre essas variáveis, é notável a relação de *feedback*. Por ter sido indicada em todos os gráficos e sem variações significativas, há robustez no resultado. Considerando a crescente expansão das novas fontes renováveis no setor elétrico e a alta proporção de renováveis na matriz elétrica, o resultado desta dissertação serve como um reforço aos apontamentos de Arvanitopoulos e Agnolucci (2020) e Gonçalves, Rodrigues e Chagas (2020) sobre o potencial de criação de vagas e desenvolvimento regional das novas fontes renováveis. Contudo, como o estudo brasileiro indica um aumento salarial e de vagas indiretas relacionadas a ocupações com baixa escolaridade, é reforçada a importância de maior investimento para qualificação da força de trabalho, a fim de incrementar o valor agregado da economia, possibilitar um processo de inovação tecnológica mais frequente e que também estimule o desenvolvimento de uma economia mais inclusiva e verde.

Como última questão a ser analisada a partir dos gráficos 25 a 29, tem-se a interação entre as fontes de energia, sendo aqui exposta a partir da fonte de estímulo:

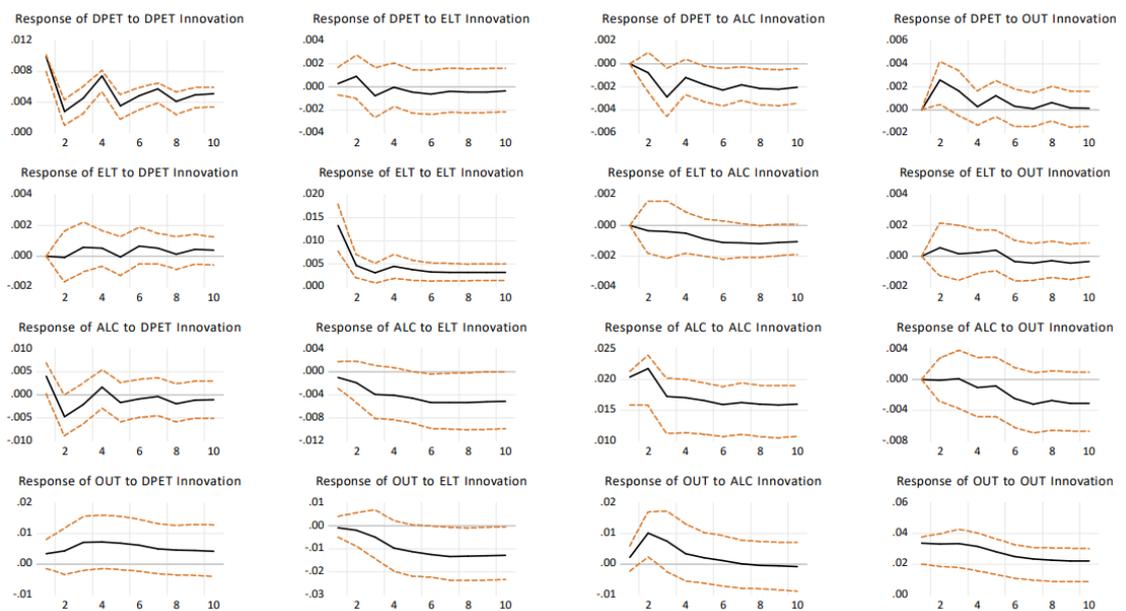
- derivados do petróleo: indicou impacto não significativo ou positivo nas outras fontes de energia
- eletricidade: indicou impacto negativo ou não significativo sobre álcool e outros derivados do petróleo
- álcool: indicou impacto negativo sobre derivados do petróleo e impacto positivo sobre outros derivados do petróleo

Figura 26 - Recorte da função impulso resposta - ordenação 2



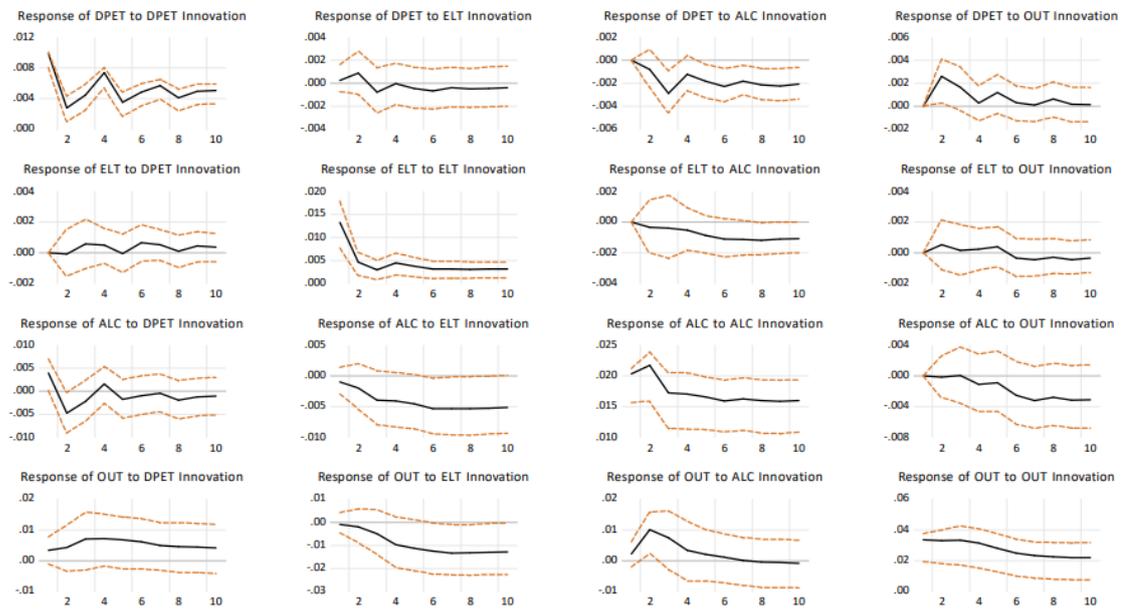
Fonte: O autor, 2024

Figura 27 - Recorte da função impulso resposta - ordenação 3



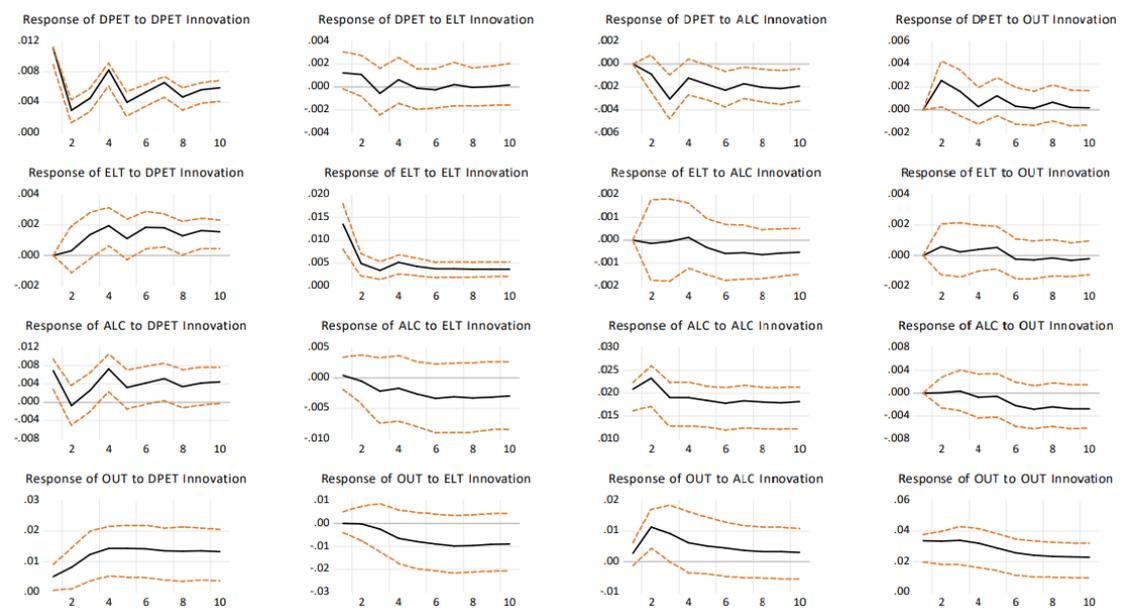
Fonte: O autor, 2024

Figura 28 - Recorte da função impulso resposta - ordenação 4



Fonte: O autor, 2024

Figura 29 - Recorte da função impulso resposta - ordenação 5



Fonte: O autor, 2024

- outros derivados do petróleo: impacto positivo sobre derivados do petróleo

Com base no resumo dos gráficos, é observado o efeito substituição entre álcool e os derivados do petróleo, como resultado das políticas de estímulo aos biocombustíveis, descrito por BRASIL, MME e EPE (2020) e Presotto e Talamini (2021) a partir de 2000: a Lei do Petróleo, o Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel e a Política Nacional de Biocombustíveis. O impacto negativo de 0,2% a 0,4% do álcool sobre os derivados do petróleo demonstra o início do sucesso e a necessidade de manutenção dos programas de expansão dos biocombustíveis, como alternativa já aceita aos principais combustíveis fósseis.

Sobre o impacto geral dos derivados do petróleo, é possível considerar a sua interação na economia como a fonte com maior participação na matriz energética do país. Os combustíveis fósseis tem impacto positivo na economia, principalmente a partir da adaptação do capital, e impacto não significativo com outras fontes de energia, demonstrando a estabilidade da matriz energética, que estimula uma coordenação de uso das fontes com melhor aproveitamento de consumo e menor emissão (BRASIL; MME; EPE, 2020).

A análise das interações da eletricidade com as outras fontes podem ser analisados a partir das fontes usadas na matriz elétrica e a concorrência para a produção de outros tipos de energia. Insumos como o bagaço de cana ou algum derivado secundário de petróleo que poderia ser usado para geração de eletricidade é transformado em álcool ou algum dos produtos relacionados em *out* e esse fenômeno ocorre de forma concomitante. Além disso, as energias renováveis também competem entre si, sendo visto de forma mais destacada o efeito substituição. Já o fato de a interação entre *dpet* e *elt* não ser significativa nos gráficos parece indicar que eles atuam na economia em processos não concorrentes, trazendo à tona a discussão feita por O'Sullivan, Overland e Sandalow (2017) sobre a necessidade de a revolução energética impactar principalmente setores que dependem exclusivamente dos combustíveis fósseis, como o setor de Transportes, por exemplo. A efetiva expansão das fontes renováveis só será possível se tais setores forem reestruturados no seu âmago e a adaptação a essas fontes ganhar escala, tal como é indicado nas medidas apresentadas por Romeiro et al. (2020).

Por fim, complementando a análise, um panorama geral do FMOLS, relacionado à análise do longo prazo, indica que todas as variáveis tem impacto positivo estatisticamente significativo no crescimento econômico, exceto Outros derivados do petróleo (*out*). Considerando os coeficientes como elasticidades, o modelo indica como os combustíveis fósseis ainda são a fonte mais relevante para a economia ( $dpet \simeq 0,229$ ) no longo prazo. A eletricidade, indicada como a segunda fonte mais relevante ( $elt \simeq 0,102$ ), seguida pelo álcool ( $alc \simeq 0,072$ ). Considerando a proporção de produção e consumo dessas fontes, estamos nos direcionando para uma matriz energética mais diversificada e limpa, mas ainda há um longo caminho no processo da transição energética.

## CONCLUSÃO

A dissertação teve como objetivo analisar a relação entre consumo de energia e crescimento econômico no Brasil entre dezembro de 2002 e maio de 2022. O estudo buscou como referências de pesquisas anteriores, tais como os realizados por Pao e Fu (2013) e Carminati e Scalco (2013), e tentou responder ao questionamento de Hdom (2023) sobre as divergências de resultados encontrados na literatura, ao apresentar como diferenciais uma periodicidade maior (séries temporais mensais) e a desagregação das fontes de energia (quatro fontes indicadas, seguindo o padrão da EPE). Além dos estudos destacados, que serviram de referência temática, outros artigos da revisão bibliográfica contribuíram para a definição da metodologia usada, sendo aplicado o método Johansen para o teste de cointegração; o modelo VECM como base de análise e, para as análises de causalidade, foram gerados o FMOLS, seguindo a indicação de Apergis e Payne (2011), e a função de impulso resposta, conforme foi feito por Arvanitopoulos e Agnolucci (2020).

Os testes de estacionariedade e cointegração indicaram que as variáveis eram integradas em  $I(1)$  e cointegradas, sendo então possível falar em uma relação de equilíbrio no longo prazo com relações de causalidade em pelo menos uma direção. Diante desses resultados e da indicação de dois vetores de cointegração, é gerado o modelo VECM com duas defasagens. O modelo estimado é testado e são rejeitadas as hipóteses de correlação serial e heterocedasticidade, além de confirmar a normalidade dos resíduos do modelo, validando a robustez do modelo gerado.

Diante dos resultados apresentados no capítulo anterior, destaca-se o questionamento sobre a adaptação da economia às fontes renováveis, feito inicialmente por Bhattacharya et al. (2016) e reforçado na análise dos resultados. A partir das duas ordenações de variáveis, as funções de impulso-resposta indicam de forma significativa o impacto positivo do crescimento econômico sobre as fontes de energia, sendo então validada a hipótese de conservação no curto e médio prazos, exceto o caso dos combustíveis fósseis (*dpet*), que apresentam o impacto positivo destes sobre o crescimento econômico na segunda ordenação, validando a hipótese de crescimento e possivelmente indicando a adaptação da economia. Esses resultados mostram como o investimento em infraestrutura e a inovação tecnológica são importantes para o desenvolvimento do setor energético, confirmamos a relevância da relação entre consumo de energia e crescimento econômico, mas ainda temos um longo caminho do setor de energia renovável, que ainda apresenta resultados negativos insignificantes sobre o crescimento econômico.

Retomando a análise sobre a adaptação da economia, vimos como o capital traz efeitos contemporâneos mais favoráveis para os combustíveis fósseis e a relação positiva contemporânea bidirecional entre eletricidade e trabalho. Esses resultados, somados às indicações do FMOLS, reforçam a hipótese de maior adaptação da economia às fontes não

renováveis, mas também indicam o potencial de criação de vagas das fontes renováveis, tal como é apresentado por Arvanitopoulos e Agnolucci (2020) e Gonçalves, Rodrigues e Chagas (2020). Longe de ser o único aspecto a ser considerado na construção do processo de revolução energética, ainda assim é um importante passo para o desenvolvimento regional. Considerando a reconhecida importância das fontes renováveis para a economia, é reforçada então a sugestão feita aos gestores públicos sobre a necessidade de mais investimentos e políticas de incentivos à expansão no setor de energia renovável e de inovação das tecnologias associadas, ou até mesmo, criação de novas tecnologias já adaptadas ao setor, assim como de qualificação da força de trabalho para acelerar o processo de inovação e desenvolvimento de uma economia mais inclusiva e verde, tal como é descrito por (XIE et al., 2020).

De qualquer forma, os efeitos das políticas governamentais citadas por Presotto e Talamini (2021) e dos processos identificados por BRASIL, MME e EPE (2020) já podem ser identificados nos resultados deste estudo a partir da relação entre os combustíveis fósseis e o álcool: por conta de leis, programas de incentivos, investimentos e inovação tecnológica, o álcool segue pelo processo de expansão a partir dos anos 2000 e passa a ser um substituto reconhecido à gasolina, assim como vem ocorrendo com outros biocombustíveis. Sendo assim, apesar de ainda não podermos afirmar que a economia brasileira estimula o desenvolvimento de uma economia verde, é possível identificar um lento processo de transição energética e novamente reiterar a sugestão de estudos anteriores como Romeiro et al. (2020), que já levam em conta tecnologias já desenvolvidas no país e que poderiam ser aproveitadas em larga escala a partir de programas de incentivos, políticas setoriais e outros direcionamentos do planejamento estratégico do Estado.

## REFERÊNCIAS

- AISSA, M. S. B.; JEBLI, M. B.; YOUSSEF, S. B. Output, renewable energy consumption and trade in Africa. *Energy Policy*, v. 66, p. 11–18, 2014.
- AL-MULALI, U. *et al.* Examining the bi-directional long run relationship between renewable energy consumption and GDP growth. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 22, p. 209–222, 2013.
- APERGIS, N.; PAYNE, J. E. CO<sub>2</sub> emissions, energy usage and output in Central America. *Energy Policy*, v. 37, p. 3282–3286, 2009.
- APERGIS, N.; PAYNE, J. E. Coal consumption and economic growth: evidence from a panel of OECD countries. *Energy Policy*, v. 38, p. 1353–1359, 2010.
- APERGIS, N.; PAYNE, J. E. The renewable consumption-growth nexus in Central America. *Applied Energy*, v. 88, p. 343–347, 2011.
- APERGIS, N.; PAYNE, J. E. Renewable and non-renewable energy consumption-growth nexus: evidence from a panel error correction model. *Energy Economics*, v. 34, p. 733–738, 2012.
- ARVANITOPOULOS, T.; AGNOLUCCI, P. The long-term effect of renewable electricity on employment in the United Kingdom. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 134, 2020.
- BHATTACHARYA, M. *et al.* The effect of renewable energy consumption on economic growth: evidence from top 38 countries. *Applied Energy*, v. 162, p. 733–741, 2016.
- BRASIL, Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. *Balço Energético Nacional 50 anos: cinquenta anos de estatísticas energéticas*. [S. l.]: EPE, 2020.
- CABALU, H.; HARRIS, M. N.; SMITH, M. Renewable energy consumption and economic growth in the US: a statewide analysis. *Energy Economics*, jun. 2022.
- CARMINATI, J. G. de O.; SCALCO, P. R. Relações de causalidade entre energia e crescimento econômico no Brasil. *Revista Brasileira de Energia*, v. 19, n. 2, p. 355–374, 2 sem. 2013.
- CAVALCANTI, M. A. H. Identificação de modelos var e causalidade granger: uma nota de advertência. *Economia Aplicada*, v. 2, p. 251–260, 2010.
- COSTA, H. C. *Cointegração e Vetor de Correção de Erros (VEC)*. 2019. Disponível em: <https://rpubs.com/hudsonchavs/vec>. Acesso em: 10 nov. 2023.
- COSTA, R. C. da; PRATES, C. P. T. O papel das fontes renováveis de energia no desenvolvimento do setor energético e barreiras à sua penetração no mercado. *BNDES Setorial*, n. 21, p. 5–30, mar. 2005. Biblioteca Digital BNDES.
- DESTEK, M. A.; ASLAN, A. Renewable and non-renewable energy consumption and economic growth in emerging economies: evidence from bootstrap panel causality. *Renewable Energy*, v. 111, p. 757–763, 2017.

- ELKINGTON, J. *Green Swans - The Coming Boom In Regenerative Capitalism*. [S. I.]: Greenleaf Book Group Press, 2020.
- GONG, X.; WANG, Y. Does energy security promote economic growth? Empirical evidence from a global sample. *SSRN.com*, jun. 2022.
- GONÇALVES, S.; RODRIGUES, T.; CHAGAS, A. The impact of wind power on the Brazilian Labor market. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 128, 2020.
- GOZGOR, G.; LAU, C. K. M.; LU, Z. Energy consumption and economic growth: new evidence from the OECD countries. *Energy*, v. 153, p. 27–34, 2018.
- GRAMKOW, C. A hora e a vez do verde. In: DWECK, E.; ROSSI, P.; OLIVEIRA, A. L. M. *Economia Pós-Pandemia: desmontando os mitos da austeridade fiscal e construindo um novo paradigma econômico*. [S. I.]: Autonomia Literária, 2020. cap. 19.
- HDOM, H. A. D. It's the promotion of a clean energy regime in OECD countries a challenge? *SSRN*, may 2023. Disponível em: [https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract\\_id=4435917](https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=4435917). Acesso em: 20 dez. 2023.
- JEBLI, M. B.; YOUSSEF, S. B. Output, renewable and non-renewable energy consumption and international trade: evidence from a panel of 69 countries. *Renewable Energy*, v. 83, p. 799–808, 2015.
- JOHANSEN, S.; JUSELIUS, K. Maximum likelihood estimation and inference on cointegration - with applications to the demand for money. *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, v. 52, n. 2, 1990.
- KAHIA, M.; AISSA, M. S. B.; LANOUAR, C. Renewable and non-renewable energy use- economic growth nexus: the case of MENA net oil importing countries. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 71, p. 127–140, 2017.
- LEITE Áydano R. Estimando a relação de cointegração e os efeitos dos choques dos gastos do governo e da dívida pública sobre o crescimento econômico no Brasil através de um modelo vec estrutural. *Revista de Economia - UFPR*, 2020.
- NTANOS, S. *et al.* Renewable energy and economic growth: evidence from European countries. *Sustainability*, v. 10, n. 2626, jul. 2018.
- O'SULLIVAN, M.; OVERLAND, I.; SANDALOW, D. *The geopolitics of renewable energy*. [S. I.], 2017.
- PAO, H.-T.; FU, H.-C. Renewable energy, non-renewable energy and economic growth in Brazil. *Renewable and Sustainable Reviews*, v. 25, p. 381–392, 2013.
- PRESOTTO, E.; TALAMINI, E. O uso de recursos energéticos renováveis e não renováveis e sua influência na variação da renda nacional. *Economia e Região*, v. 9, n. 2, p. 195–210, jul./dez. 2021.
- ROCHA, J. C. C. *Consumo de energia e crescimento econômico em países exportadores de petróleo*. 2013. Dissertação (Mestrado em Economia) – Faculdade de Economia, Universidade da Beira Interior, Covilhã, 2013.
- ROMEIRO, V. *et al.* *Uma nova economia para uma nova era: elementos para a construção de uma economia mais eficiente e resiliente para o Brasil*. [S. I.], 2020.

SADORSKY, P. Renewable energy consumption and income in emerging economies. *Energy Policy*, v. 37, p. 4021–4028, 2009.

SADORSKY, P. The impact of financial development on energy consumption in emerging economies. *Energy Policy*, v. 38, p. 2528–2535, 2010.

SADORSKY, P. Some future scenarios for renewable energy. *Futures*, v. 43, p. 1091–1104, 2011.

SHAHBAZ, M. *et al.* Does renewable energy consumption add in economic growth? an application of auto-regressive distributed lag model in Pakistan. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 44, p. 576–585, 2015.

SILVEIRA, A. G.; MATTOS, V. L. D. de; KONRATH, A. C. Avaliação da estacionariedade e teste de cointegração em séries temporais: o caso da demanda de energia elétrica residencial no Brasil. *RETEC*, v. 9, n. 3, jul./dez. 2016.

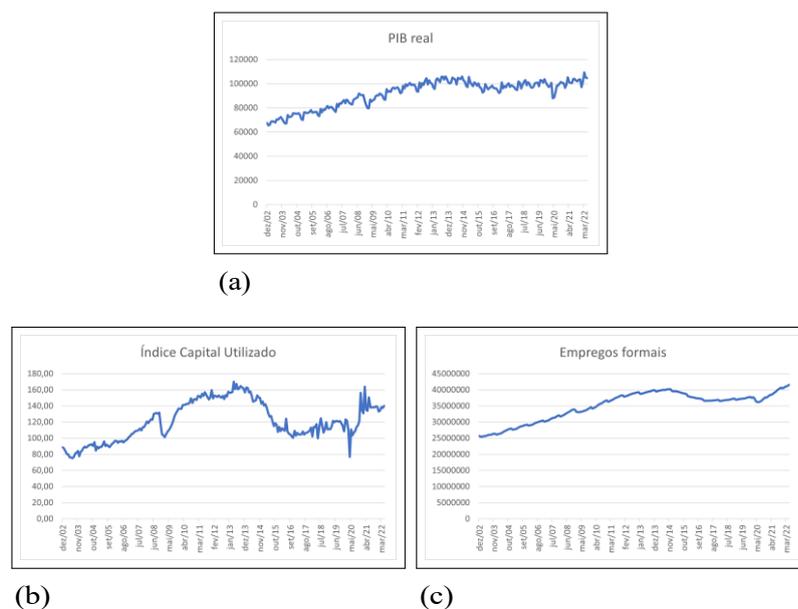
VIEIRA, A. C. F. Energias renováveis e sua eficiência na nova economia energética no Brasil. *Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade*, v. 8, n. 18, p. 211–223, 2021.

XIE, F. *et al.* How to coordinate the relationship between renewable energy consumption and green economic development: from the perspective of technological advancement. *Environmental Sciences Europe*, v. 32, n. 71, 2020.

## APÊNDICE A – Séries temporais usadas

Seguem abaixo os gráficos das séries temporais mensais usadas no estudo.

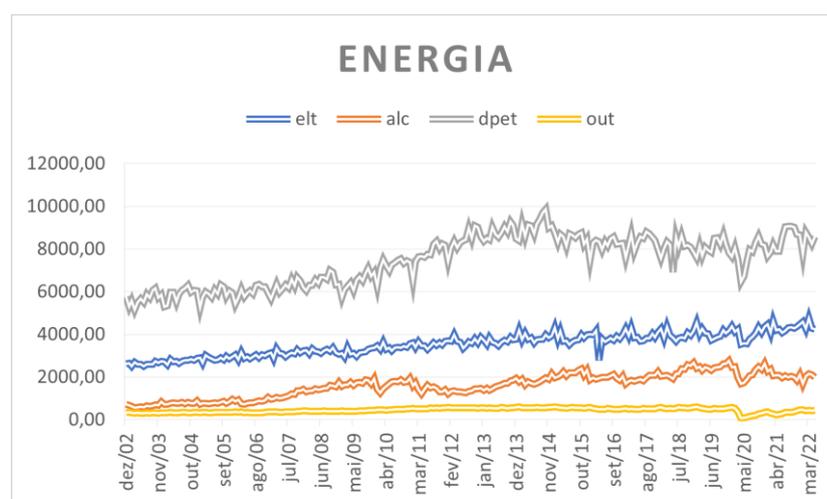
Figura 30 - Variáveis de controle - dados mensais



Legenda: Séries - Brasil: (a) Crescimento econômico - dados da FGV, 2023 (b) Capital - dados da Ipeadata, 2023 (c) Empregos formais - dados do CAGED, 2023

Fonte: O autor, 2024

Figura 31 - Dados mensais de energia - bases de dados ANS via Ipeadata, 2023 e ONS, 2023



Fonte: O autor, 2024

## APÊNDICE B – Testes de estacionariedade

Seguem abaixo os testes de estacionariedade para verificação do nível de integração das variáveis. É um requisito para a escolha do modelo a ser gerado que as variáveis sejam estacionárias em primeira diferença. Os testes foram realizados no Eviews e no R, sendo indicado em qual programa foi realizado na legenda.

Como é indicado pela maioria dos testes, a hipótese de raiz unitária não é rejeitada, logo as séries temporais usadas não são estacionárias em nível. Sendo assim, é necessário analisar as variáveis em primeira diferença, visto que a última etapa (modelo VECM), que fará a análise de causalidade entre as variáveis.

Figura 32 - Condição de estabilidade

Roots of Characteristic Polynomial	
Endogenous variables: PIB PES CAP USOCAP DPET ELT ALC OUT	
Exogenous variables: @SEAS(1) @SEAS(2) @SEAS(3) @SEAS(4) @SEAS(5) @SEAS(6) @SEAS(7) @SEAS(8) @SEAS(9) @SEAS(10) @SEAS(11)	
Lag specification: 1 2	
Date: 10/29/23 Time: 10:56	
Root	Modulus
1.000000	1.000000
1.000000	1.000000
1.000000	1.000000
1.000000	1.000000
1.000000	1.000000
1.000000	1.000000
0.927546	0.927546
-0.441660 + 0.621270i	0.762260
-0.441660 - 0.621270i	0.762260
-0.356962 - 0.540444i	0.647689
-0.356962 + 0.540444i	0.647689
-0.095547 - 0.578563i	0.586399
-0.095547 + 0.578563i	0.586399
0.488091 - 0.279201i	0.562305
0.488091 + 0.279201i	0.562305
0.265999 - 0.433647i	0.508729
0.265999 + 0.433647i	0.508729
-0.235812 - 0.441535i	0.500560
-0.235812 + 0.441535i	0.500560
-0.421414	0.421414
-0.275683	0.275683
0.270264	0.270264
-0.032873 - 0.115356i	0.119948
-0.032873 + 0.115356i	0.119948
VEC specification imposes 6 unit root(s).	

Fonte: O autor, 2024

Tabela 4 - Teste ADF - variáveis em nível

Variável	básico	intercepto	tendência
y	2,221512	-2,682692	-1,896488
k	0,891565	-1,676845	-1,576143
uk	-0,027993	-1,64799	-2,009003
l	1,550569	-2,058163	-2,408006
elt	3,721104	-1,607767	-2,234818
alc	0,942069	-2,150402	-2,212037
dpet	1,388667	-1,625212	-1,809449
out	-0,062104	-3,766086	-3,821409

Legenda: Teste realizado no Eviews

Fonte: O autor, 2024

Tabela 5 - Teste PP - variáveis em nível

Variável	básico	intercepto	tendência
y	2,044205	-2,163159	-3,229304
k	0,648783	-1,93665	-2,120687
uk	-0,156057	-2,052537	-2,405383
l	3,628901	-2,200207	-1,427108
elt	2,724378	-2,992957	-11,02735
alc	1,220488	-1,667783	-2,761339
dpet	1,419829	-1,988363	-3,942588
out	0,113875	-3,19414	-3,308165

Legenda: Teste realizado no Eviews

Fonte: O autor, 2024

Tabela 6 - Teste ADF com quebra-variáveis em nível

Variável	intercepto	tendência
y	-3,30589	-4,369113
k	-3,049462	-4,121246
uk	-3,13346	-3,46274
l	-3,768145	-4,110888
elt	-4,028144	-10,90948
alc	-3,330298	-3,89437
dpet	-3,924175	-4,653292
out	-4,640067	-6,908156

Legenda: Teste realizado no Eviews

Fonte: O autor, 2024

Tabela 7 - Teste KPSS - variáveis em nível

Variável	constante	tendência
y	1,636189	0,475294
k	0,696107	0,382654
uk	0,990009	0,217285
l	1,590906	0,471616
elt	1,965883	0,427495
alc	1,703863	0,287095
dpet	1,619518	0,403236
out	0,47816	0,334755

Legenda: Teste realizado no Eviews  
 Fonte: O autor, 2024

Tabela 8 - Teste ZA - variáveis em nível

Variável	intercepto	tendência	ambos
y	-6,7386	-4,767	-5,8694
k	-3,4959	-4,0985	-4,3735
uk	-3,9493	-3,0997	-4,374
l	-6,4715	-3,5414	-5,1512
elt	-12,9005	-10,3676	-12,0391
alc	-6,0055	-4,3339	-4,6568
dpet	-6,0279	-5,7299	-5,8987
out	-6,035	-4,6152	-7,6458

Legenda: Teste realizado no R - valores críticos do teste - com intercepto 10 pct: -4.58; 5 pct: -4.8; 1 pct: -5.34 / tendência 10 pct: -4.11; 5 pct: -4.42; 1 pct: -4.93 / ambos 10 pct: -4.82; 5 pct: -5.08; 1 pct: -5.57

Fonte: O autor, 2024

Tabela 9 - Teste DF-GLS - variáveis em nível

Variável	constante	tendência
y	0,940013	-0,734241
k	-0,377876	-1,364551
uk	-1,516097	-1,934585
l	0,510524	-1,583807
elt	2,229573	-1,423046
alc	-0,202978	-2,086204
dpet	0,134918	-1,761991
out	-2,882856	-3,703524

Legenda: Teste realizado no Eviews  
 Fonte: O autor, 2024

Tabela 10 - Teste ADF - variáveis em primeira diferença

Variável	básico	intercepto	tendência
y	-3,849971	-4,491194	-4,91594
k	-15,48289	-15,51014	-15,49896
uk	-19,30217	-19,25991	-19,21624
l	-1,537974	-2,174293	-2,273218
elt	-3,908625	-7,255708	-7,343549
alc	-2,955931	-3,134733	-3,406037
dpct	-2,891504	-3,221939	-3,299954
alc	-13,12005	-13,09249	-13,06546

Legenda: Teste realizado no Eviews

Fonte: O autor, 2024

Tabela 11 - Teste PP - variáveis em primeira diferença

Variável	básico	constante	tendência
y	-25,81542	-25,12836	-26,1417
k	-22,54674	-22,61987	-22,61764
uk	-18,96219	-18,92357	-18,88373
l	-9,526459	-10,23165	-10,34783
elt	-49,81506	-81,87476	-84,98427
alc	-21,87875	-22,63018	-23,37804
dpct	-29,16621	-30,73809	-31,30033
out	-13,49503	-13,45576	-13,42717

Legenda: Teste realizado no Eviews

Fonte: O autor, 2024

Tabela 12 - Teste ADF com quebra- variáveis em primeira diferença

Variável	intercepto	tendência
y	-18,95725	-18,93675
k	-21,94555	-21,95054
uk	-21,55043	-21,61387
l	-10,27373	-10,55896
elt	-29,73448	-29,68322
alc	-21,37639	-21,4551
dpct	-21,50779	-21,46991
out	-13,50743	-13,66261

Legenda: Teste realizado no Eviews

Fonte: O autor, 2024

Tabela 13 - Teste KPSS - variáveis em primeira diferença

Variável	constante	tendência
y	0,267091	0,068501
k	0,096876	0,072834
uk	0,066783	0,067062
l	0,555235	0,208056
elt	0,176719	0,105472
alc	0,150811	0,046945
dpet	0,152707	0,100662
out	0,058595	0,038777

Legenda: Teste realizado no Eviews

Fonte: O autor, 2024

Tabela 14 - Teste ZA - variáveis em primeira diferença

Variável	ZA com intercepto	tendência	ambos
y	-17,7409	-17,0218	-21,4318
k	-21,9363	-21,1933	-23,6014
uk	-19,9489	-19,3994	-20,6071
l	-17,5616	-15,9766	-30,9108
elt	-27,4849	-26,6883	-30,4086
alc	-19,4983	-18,4758	-24,3015
dpet	-20,7498	-20,3401	-22,8058
out	-13,7823	-13,4721	-14,2184

Legenda: Teste realizado no R - valores críticos do teste

-com intercepto 10 pct: -4.58; 5 pct: -4.8; 1 pct:

-5.34 / tendência 10 pct: -4.11; 5 pct: -4.42; 1

pct: -4.93 / ambos 10 pct: -4.82; 5 pct: -5.08; 1

pct: -5.57

Fonte: O autor, 2024

Tabela 15 - Teste DF-GLS - variáveis em primeira diferença

Variável	constante	tendência
y	-0,255117	-1,573361
k	-5,858234	-14,60319
uk	-0,967312	-2,431367
l	-0,275441	-1,440158
elt	-1,687361	-3,295641
alc	-0,621027	-1,660955
dpet	-0,025159	-1,920099
out	-11,9136	-12,80629

Legenda: Teste realizado no Eviews

Fonte: O autor, 2024

## APÊNDICE C – Teste de cointegração

Figura 33 - Seleção de defasagens

VAR Lag Order Selection Criteria						
Endogenous variables: PIB PES CAP USOCAP DPET ELT ALC OUT						
Exogenous variables: C @SEAS(1) @SEAS(2) @SEAS(3) @SEAS(4) @SEAS(5)						
Date: 10/28/23 Time: 10:07						
Sample: 2002M12 2022M05						
Included observations: 224						
Lag	LogL	LR	FPE	AIC	SC	HQ
0	3977.069	NA	1.23e-25	-34.65240	-33.19027	-34.06222
1	5976.708	3642.199	3.86e-33	-51.93489	-49.49800*	-50.95125
2	6100.035	215.8229	2.29e-33	-52.46460	-49.05296	-51.08750
3	6229.310	216.9966	1.29e-33*	-53.04741*	-48.66101	-51.27685*
4	6270.685	66.49520	1.61e-33	-52.84540	-47.48424	-50.68138
5	6324.371	82.44713	1.82e-33	-52.75332	-46.41740	-50.19583
6	6368.481	64.58976	2.26e-33	-52.57573	-45.26506	-49.62478
7	6428.398	83.45463	2.46e-33	-52.53926	-44.25384	-49.19486
8	6487.079	77.54377	2.76e-33	-52.49178	-43.23160	-48.75392
9	6601.032	142.4407*	1.92e-33	-52.93778	-42.70285	-48.80646
10	6667.522	78.36370	2.08e-33	-52.96002	-41.75033	-48.43524

\* indicates lag order selected by the criterion  
 LR: sequential modified LR test statistic (each test at 5% level)  
 FPE: Final prediction error  
 AIC: Akaike information criterion  
 SC: Schwarz information criterion  
 HQ: Hannan-Quinn information criterion

Fonte: O autor, 2024

Figura 34 - Método Johansen para teste de cointegração

Date: 10/28/23 Time: 10:03						
Sample (adjusted): 2003M05 2022M05						
Included observations: 229 after adjustments						
Trend assumption: Linear deterministic trend						
Series: PIB PES CAP USOCAP DPET ELT ALC OUT						
Lags interval (in first differences): 1 to 4						
<b>Unrestricted Cointegration Rank Test (Trace)</b>						
Hypothesized No. of CE(s)	Eigenvalue	Trace Statistic	0.05 Critical Value	Prob.**		
None *	0.456021	284.1169	159.5297	0.0000		
At most 1 *	0.192598	144.6915	125.6154	0.0020		
At most 2	0.152829	95.70059	95.75366	0.0504		
At most 3	0.085842	57.72018	69.81889	0.3120		
At most 4	0.066127	37.16693	47.85613	0.3397		
At most 5	0.048932	21.49994	29.79707	0.3272		
At most 6	0.029190	10.01107	15.49471	0.2799		
At most 7	0.013994	3.227161	3.841465	0.0724		
Trace test indicates 2 cointegrating eqn(s) at the 0.05 level						
* denotes rejection of the hypothesis at the 0.05 level						
**MacKinnon-Haug-Michelis (1999) p-values						
<b>Unrestricted Cointegration Rank Test (Maximum Eigenvalue)</b>						
Hypothesized No. of CE(s)	Eigenvalue	Max-Eigen Statistic	0.05 Critical Value	Prob.**		
None *	0.456021	139.4254	52.36261	0.0000		
At most 1 *	0.192598	48.99087	46.23142	0.0247		
At most 2	0.152829	37.98041	40.07757	0.0845		
At most 3	0.085842	20.55326	33.87687	0.7173		
At most 4	0.066127	15.66699	27.58434	0.6939		
At most 5	0.048932	11.48887	21.13162	0.5985		
At most 6	0.029190	6.783910	14.26460	0.5150		
At most 7	0.013994	3.227161	3.841465	0.0724		
Max-eigenvalue test indicates 2 cointegrating eqn(s) at the 0.05 level						
* denotes rejection of the hypothesis at the 0.05 level						
**MacKinnon-Haug-Michelis (1999) p-values						
<b>Unrestricted Cointegration Coefficients (normalized by b*S11*b=I):</b>						
PIB	PES	CAP	USOCAP	DPET	ELT	ALC
-55.73851	-56.78056	28.71708	56.87173	-9.186297	70.77656	1.922775
188.3050	-128.6367	-2.212780	47.42132	-3.706182	-21.56061	-4.394951
0.621746	-1.273152	49.52901	-244.1109	-51.47074	13.85571	-13.32701
-87.41175	-54.59846	28.25173	-25.87876	55.48023	13.68062	12.05486
133.7077	-129.6186	5.889613	-13.20569	-9.583730	17.18048	-5.664583
-25.04888	6.693075	-9.413790	-3.130700	16.81823	12.41919	-5.986060
-1.065542	1.655861	-12.05099	9.040301	-15.40635	1.871039	8.581165
-46.92615	-34.82308	23.33023	-12.39913	29.31101	-26.57723	11.79716
<b>Unrestricted Adjustment Coefficients (alpha):</b>						
D(PIB)	0.001602	0.001006	0.001074	-0.001191	-0.001280	0.000497
D(PES)	0.000736	0.000554	3.24E-05	-5.14E-05	-0.000124	8.84E-06
D(CAP)	-0.002522	0.003178	-0.000916	-0.002766	-0.002688	-0.000196
D(USOCAP)	-0.000209	0.000471	0.000625	0.000116	-0.000442	0.000165
D(DPET)	0.001284	0.003635	0.003446	-0.002148	-0.001296	-0.000560
D(ELT)	-0.006737	0.002542	-6.71E-05	0.000401	-0.001464	0.000283
D(ALC)	-0.002060	0.007561	0.000194	-0.002382	0.000935	0.002969
D(OUT)	-0.001106	0.007122	-0.005749	0.000169	-0.008476	-0.001735

Legenda: Teste realizado sem restrições e sem tratamento de sazonalidade Fonte: O autor, 2024

Figura 35 - Método Johansen para teste de cointegração - continuação

2 Cointegrating Equation(s):		Log likelihood		6039.124		
Normalized cointegrating coefficients (standard error in parentheses)						
PIB	PES	CAP	USOCAP	DPET	ELT	ALC
1.000000	0.000000	-0.213845	-0.258827	0.054375	-0.578247	-0.027818
		(0.03853)	(0.18680)	(0.05216)	(0.05180)	(0.01459)
0.000000	1.000000	-0.295835	-0.747529	0.108409	-0.678858	-0.006556
		(0.04969)	(0.24094)	(0.06727)	(0.06681)	(0.01882)
Adjustment coefficients (standard error in parentheses)						
D(PIB)	0.100131	-0.220331				
	(0.11274)	(0.08072)				
D(PES)	0.063329	-0.113055				
	(0.02112)	(0.01512)				
D(CAP)	0.739079	-0.265650				
	(0.27799)	(0.19905)				
D(USOCAP)	0.100394	-0.048715				
	(0.04112)	(0.02944)				
D(DPET)	0.612929	-0.540466				
	(0.21905)	(0.15684)				
D(ELT)	0.854104	0.055601				
	(0.20173)	(0.14444)				
D(ALC)	1.538678	-0.855664				
	(0.38252)	(0.27389)				
D(OUT)	1.402675	-0.853324				
	(0.61577)	(0.44090)				

Legenda: Vetores de cointegração a partir do teste realizado sem restrições e sem tratamento de sazonalidade

Fonte: O autor, 2024

Figura 36 - Método Johansen para teste de cointegração

Date: 10/29/23 Time: 10:55						
Sample (adjusted): 2003M03 2022M05						
Included observations: 231 after adjustments						
Trend assumption: Linear deterministic trend						
Series: PIB PES CAP USOCAP DPET ELT ALC OUT						
Exogenous series: @SEAS(1) @SEAS(2) @SEAS(3) @SEAS(4) @SEAS(5) @SEAS(6) @SEAS(7) @SEAS(8)						
Warning: Critical values assume no exogenous series						
Lags interval (in first differences): 1 to 2						
<b>Unrestricted Cointegration Rank Test (Trace)</b>						
Hypothesized No. of CE(s)	Eigenvalue	Trace Statistic	0.05 Critical Value	Prob.**		
None *	0.388726	278.0396	159.5297	0.0000		
At most 1 *	0.203974	164.3392	125.6154	0.0000		
At most 2 *	0.153770	111.6426	95.75366	0.0026		
At most 3 *	0.116515	73.07396	69.81889	0.0268		
At most 4	0.080855	44.45756	47.85613	0.1007		
At most 5	0.043187	24.98154	29.79707	0.1621		
At most 6	0.034890	14.78357	15.49471	0.0638		
At most 7 *	0.028083	6.580089	3.841465	0.0103		
Trace test indicates 4 cointegrating eqn(s) at the 0.05 level						
* denotes rejection of the hypothesis at the 0.05 level						
**MacKinnon-Haug-Michelis (1999) p-values						
<b>Unrestricted Cointegration Rank Test (Maximum Eigenvalue)</b>						
Hypothesized No. of CE(s)	Eigenvalue	Max-Eigen Statistic	0.05 Critical Value	Prob.**		
None *	0.388726	113.7004	52.36261	0.0000		
At most 1 *	0.203974	52.69661	46.23142	0.0090		
At most 2	0.153770	38.56862	40.07757	0.0732		
At most 3	0.116515	28.61640	33.87687	0.1865		
At most 4	0.080855	19.47602	27.58434	0.3786		
At most 5	0.043187	10.19797	21.13162	0.7258		
At most 6	0.034890	8.203485	14.26460	0.3584		
At most 7 *	0.028083	6.580089	3.841465	0.0103		
Max-eigenvalue test indicates 2 cointegrating eqn(s) at the 0.05 level						
* denotes rejection of the hypothesis at the 0.05 level						
**MacKinnon-Haug-Michelis (1999) p-values						
Unrestricted Cointegrating Coefficients (normalized by b*S11*b=l):						
PIB	PES	CAP	USOCAP	DPET	ELT	ALC
-50.43918	-89.00345	48.25622	46.48239	-25.31490	96.35360	-1.999504
176.1178	-64.83840	-41.08689	124.3258	19.14723	-51.85687	-0.017341
-75.75543	8.509113	-25.67952	181.5664	44.91841	13.53327	13.98707
-107.7054	-8.268822	16.08848	-0.624726	54.01392	3.239761	11.50056
108.4113	-131.5612	13.99251	-45.90173	10.50819	2.024124	-0.295296
29.94953	20.40395	-24.82505	27.10051	-26.25523	30.06419	-5.330358
-25.19232	6.209308	8.593572	18.07107	-10.24928	-6.208574	12.44783
-8.425331	24.90707	1.985287	4.736728	5.904138	6.317603	-5.608634
Unrestricted Adjustment Coefficients (alpha):						
D(PIB)	-0.000349	0.000249	-0.000683	0.000323	-0.001447	0.000304
D(PES)	0.000487	0.000308	-8.34E-05	0.000132	-0.000102	-3.63E-06
D(CAP)	-0.004833	0.004750	-0.001002	0.000133	-0.002089	0.002201
D(USOCAP)	-0.000152	0.000126	-0.000789	0.000513	-0.000227	0.000303
D(DPET)	0.000728	0.000930	-0.003311	-0.001061	-0.002460	0.000464
D(ELT)	-0.003778	0.002069	-0.002185	0.001068	-0.000830	-0.001751
D(ALC)	0.000645	0.004215	-0.002582	-0.001140	-0.001493	0.000198
D(OUT)	0.000312	0.011566	-0.000175	0.006822	-0.007396	0.001397

Legenda: Teste realizado sem restrições

Fonte: O autor, 2024

Figura 37 - Método Johansen para teste de cointegração - continuação

2 Cointegrating Equation(s):		Log likelihood	6356.607			
Normalized cointegrating coefficients (standard error in parentheses)						
PIB	PES	CAP	USOCAP	DPET	ELT	ALC
1.000000	0.000000	-0.358171	0.424987	0.176588	-0.573374	0.006762
		(0.03595)	(0.16644)	(0.05785)	(0.05814)	(0.01462)
0.000000	1.000000	-0.339204	-0.763098	0.184352	-0.757646	0.018634
		(0.04497)	(0.20817)	(0.07235)	(0.07271)	(0.01829)
Adjustment coefficients (standard error in parentheses)						
D(PIB)	0.061427	0.014929				
	(0.07755)	(0.04661)				
D(PES)	0.029728	-0.063316				
	(0.01416)	(0.00851)				
D(CAP)	1.080379	0.122105				
	(0.24218)	(0.14557)				
D(USOCAP)	0.029830	0.005371				
	(0.03924)	(0.02359)				
D(DPET)	0.127003	-0.125116				
	(0.16937)	(0.10180)				
D(ELT)	0.554936	0.202116				
	(0.17271)	(0.10381)				
D(ALC)	0.709738	-0.330693				
	(0.27962)	(0.16807)				
D(OUT)	2.021304	-0.777666				
	(0.56694)	(0.34077)				

Legenda: Vetores de cointegração a partir do teste realizado sem restrições Fonte: O autor, 2024

Figura 38 - Método Johansen para teste de cointegração - continuação

4 Cointegrating Equation(s):		Log likelihood	6390.200			
Normalized cointegrating coefficients (standard error in parentheses)						
PIB	PES	CAP	USOCAP	DPET	ELT	ALC
1.000000	0.000000	0.000000	0.000000	-0.957934	0.434858	-0.177383
				(0.16641)	(0.22287)	(0.04864)
0.000000	1.000000	0.000000	0.000000	-1.624248	1.044768	-0.237760
				(0.34768)	(0.46565)	(0.10162)
0.000000	0.000000	1.000000	0.000000	-3.914902	3.677762	-0.597600
				(0.67196)	(0.89995)	(0.19641)
0.000000	0.000000	0.000000	1.000000	-0.629864	0.727168	-0.070352
				(0.15936)	(0.21343)	(0.04658)
Adjustment coefficients (standard error in parentheses)						
D(PIB)	0.078440	0.006448	-0.004331	-0.109535		
	(0.09474)	(0.04651)	(0.02950)	(0.09445)		
D(PES)	0.021807	-0.065119	0.015097	0.045730		
	(0.01726)	(0.00847)	(0.00538)	(0.01721)		
D(CAP)	1.141927	0.112479	-0.400511	0.183990		
	(0.29781)	(0.14620)	(0.09273)	(0.29688)		
D(USOCAP)	0.034344	-0.005591	0.016025	-0.135077		
	(0.04595)	(0.02256)	(0.01431)	(0.04580)		
D(DPET)	0.492140	-0.144520	0.064916	-0.451127		
	(0.20110)	(0.09872)	(0.06262)	(0.20048)		
D(ELT)	0.605404	0.174692	-0.194027	-0.315772		
	(0.20914)	(0.10267)	(0.06512)	(0.20849)		
D(ALC)	1.028143	-0.343230	-0.094091	0.085969		
	(0.34141)	(0.16760)	(0.10631)	(0.34035)		
D(OUT)	1.299849	-0.835563	-0.345938	1.416395		
	(0.68970)	(0.33857)	(0.21475)	(0.68755)		

Legenda: Vetores de cointegração a partir do teste realizado sem restrições Fonte: O autor, 2024

## APÊNDICE D – VECM

A partir dos procedimentos realizados no Eviews, foi estabelecido o modelo VEC com 2 vetores de cointegração e 2 defasagens. Após gerar o modelo, foram realizados os testes de normalidade, heterocedasticidade, correlação serial e autocorrelação dos resíduos, como será apresentado no Apêndice E.

Figura 39 - Estimativas do modelo VEC

Vector Error Correction Estimates								
Date: 10/28/23 Time: 10:15								
Sample (adjusted): 2003M03 2022M05								
Included observations: 231 after adjustments								
Standard errors in ( ) & t-statistics in [ ]								
Cointegrating Eq:	CointEq1	CointEq2						
PIB(-1)	1.000000	0.000000						
PES(-1)	0.000000	1.000000						
CAP(-1)	-0.358171 (0.03595) [-9.96200]	-0.339204 (0.04497) [-7.54306]						
USOCAP(-1)	0.424987 (0.16644) [2.55340]	-0.763098 (0.20817) [-3.66567]						
DPET(-1)	0.176588 (0.05785) [3.05255]	0.184352 (0.07235) [2.54788]						
ELT(-1)	-0.573374 (0.05814) [-9.86256]	-0.757646 (0.07271) [-10.4195]						
ALC(-1)	0.006762 (0.01462) [0.46241]	0.018634 (0.01829) [1.01885]						
OUT(-1)	-0.059163 (0.00917) [-6.45241]	0.009900 (0.01147) [0.86329]						
C	-3.510935	-3.464957						
Error Correction:	D(PIB)	D(PES)	D(CAP)	D(USOCAP)	D(DPET)	D(ELT)	D(ALC)	D(OUT)
CointEq1	0.061427 (0.07755) [0.79210]	0.029728 (0.01416) [2.09899]	1.080379 (0.24218) [4.46113]	0.029830 (0.03924) [0.76013]	0.127003 (0.16937) [0.74988]	0.554936 (0.17271) [3.21311]	0.709738 (0.16807) [2.53825]	2.021304 (0.56694) [3.56531]

(a)

CointEq2	0.014929 (0.04661) [0.32028]	-0.063316 (0.00851) [-7.43745]	0.122105 (0.14557) [0.83883]	0.005371 (0.02359) [0.22771]	-0.125116 (0.10180) [-1.22902]	0.202116 (0.10381) [1.94694]	-0.330693 (0.16807) [-1.96758]	-0.777666 (0.34077) [-2.28206]
D(PIB(-1))	-0.276531 (0.11696) [-2.36436]	0.005768 (0.02136) [0.27003]	-0.128496 (0.36524) [-0.35181]	-0.031451 (0.05919) [-0.53139]	-0.223086 (0.25543) [-0.87336]	-0.323217 (0.26048) [-1.24086]	0.309181 (0.42171) [0.73316]	-1.472083 (0.85504) [-1.72165]
D(PIB(-2))	-0.318484 (0.10471) [-3.04164]	0.029167 (0.01912) [1.52520]	-0.495098 (0.32699) [-1.51411]	0.035356 (0.05299) [0.66726]	-0.488232 (0.96456) [-2.13501]	-0.278357 (0.23320) [-1.19366]	-0.476134 (0.37754) [-1.26114]	-1.898946 (0.76548) [-2.48071]
D(PES(-1))	2.433000 (0.44165) [5.50883]	0.092153 (0.08066) [1.14247]	6.620037 (1.37923) [4.79979]	0.601632 (0.22350) [2.69192]	1.900882 (0.96456) [1.97072]	2.844581 (0.98361) [2.89197]	4.039694 (1.59246) [2.53676]	5.972099 (3.22880) [1.84964]
D(PES(-2))	-1.633482 (0.45462) [-3.59304]	-0.140817 (0.08303) [-1.69597]	-0.333113 (1.41974) [-0.23463]	-0.341206 (0.23006) [-1.48312]	-2.684691 (0.99289) [-2.70392]	0.759919 (1.01250) [0.75054]	-6.513771 (1.63923) [-3.97368]	-10.00324 (3.32361) [-3.00975]
D(CAP(-1))	0.103528 (0.03030) [3.41657]	0.009694 (0.00553) [1.75169]	-0.136454 (0.09463) [-1.44199]	0.063076 (0.01533) [4.11346]	0.195339 (0.06618) [2.95170]	0.253662 (0.06749) [3.75877]	0.316756 (0.10926) [2.89914]	0.633150 (0.22153) [2.85812]
D(CAP(-2))	0.026841 (0.02562) [1.04760]	0.002032 (0.00468) [0.43426]	-0.175053 (0.08001) [-2.18783]	0.017836 (0.01297) [1.37567]	0.045853 (0.05596) [0.81945]	0.142291 (0.05706) [2.49364]	0.075177 (0.09238) [0.81376]	0.064739 (0.18731) [0.34563]
D(USOCAP(-1))	-0.292014 (0.18596) [-1.57033]	-0.059150 (0.03396) [-1.74164]	-1.101910 (0.54540) [-1.89748]	-0.255426 (0.09410) [-2.71434]	-0.756604 (0.40613) [-1.86297]	-0.278653 (0.41415) [-0.67284]	-1.341603 (0.67050) [-2.00089]	-3.603877 (1.35948) [-2.65093]
D(USOCAP(-2))	-0.006822 (0.17465) [-0.03906]	-0.040191 (0.03190) [-1.26003]	0.530973 (0.54540) [0.97354]	0.012330 (0.08838) [0.13952]	0.733375 (0.38143) [1.92272]	-0.230314 (0.38896) [-0.59213]	-0.784002 (0.62972) [-1.24500]	-0.844385 (1.27679) [-0.66133]
D(DPET(-1))	-0.173250 (0.04053) [-4.27443]	-0.008751 (0.00740) [-1.18216]	-0.195686 (0.12658) [-1.54599]	-0.058861 (0.02051) [-2.86978]	-0.724815 (0.08852) [-8.18810]	-0.142694 (0.09027) [-1.58077]	-0.978138 (0.14614) [-6.69294]	-0.277327 (0.29632) [-0.93592]
D(DPET(-2))	0.031660 (0.03891) [0.81360]	-0.001466 (0.00711) [-0.20630]	-0.003949 (0.12152) [-0.03250]	-0.027213 (0.01969) [-1.38197]	-0.363546 (0.08499) [-4.27776]	-0.016251 (0.08666) [-0.18752]	-0.139326 (0.14031) [-0.99300]	0.470698 (0.28448) [1.65459]
D(ELT(-1))	0.086375	-0.012737	0.502100	0.024872	0.041651	-0.181055	0.106878	0.516539

(b)

Figura 40 - Estimativas do modelo VEC (continuação)

	(0.04497) [ 1.92084]	(0.00821) [-1.55087]	(0.14043) [ 3.57549]	(0.02276) [ 1.09299]	(0.09821) [ 0.42411]	(0.10015) [-1.80788]	(0.16214) [ 0.65917]	(0.32874) [ 1.57125]
D(ELT(-2))	-0.005483 (0.03600) [-0.15231]	-0.004485 (0.00657) [-0.68222]	0.071244 (0.11242) [ 0.63373]	-0.023003 (0.01822) [-1.26270]	-0.057389 (0.07862) [-0.72995]	-0.145282 (0.08017) [-1.81210]	-0.058142 (0.12980) [-0.44794]	0.245384 (0.26318) [ 0.93240]
D(ALC(-1))	0.019693 [ 0.92040]	0.006089 [ 1.55826]	0.073228 [ 1.09592]	0.014618 [ 1.35005]	-0.045412 [ -0.97181]	-0.026498 [ -0.55608]	0.071083 [ 0.92138]	0.388526 [ 2.48381]
D(ALC(-2))	-0.073619 [ -3.45716]	-0.006183 [ -1.58972]	-0.067334 [ -1.01252]	-0.033336 [ -3.09355]	-0.172766 [ -3.71481]	-0.042442 [ -0.89492]	-0.310995 [ -0.45036]	-0.176108 [ -1.13122]
D(OUT(-1))	0.020855 [ 1.56436]	0.007075 [ 2.90590]	-0.105331 [ -2.53009]	-0.013753 [ -2.03872]	0.086150 [ 2.95898]	0.046699 [ 1.57290]	0.040915 [ 0.85119]	0.116525 [ 1.19563]
D(OUT(-2))	0.010831 [ 0.74823]	0.004566 [ 1.72712]	-0.000702 [ -0.01552]	0.006210 [ 0.84783]	0.052373 [ 1.65668]	0.006691 [ 0.20756]	0.105388 [ 2.01925]	0.106634 [ 1.00768]
C	-0.007516 [ -3.36454]	0.000347 [ 0.84960]	-0.006614 [ -0.94812]	-0.000571 [ -0.50542]	-0.009401 [ -1.92696]	0.003304 [ 0.66409]	0.047071 [ 5.84387]	0.030326 [ 1.85695]
@SEAS(1)	-0.010327 [ -3.40319]	-0.004664 [ -8.41532]	0.006460 [ 0.68174]	-0.000806 [ -0.52486]	-0.034463 [ -5.20041]	0.011813 [ 1.74799]	-0.111920 [ -10.2294]	-0.028558 [ -1.28735]
@SEAS(2)	0.014079 [ 3.05665]	0.001528 [ 1.81654]	0.072758 [ 5.05835]	0.005035 [ 2.16029]	0.019377 [ 1.92633]	-0.001244 [ -0.12128]	-0.005700 [ -0.34323]	0.019031 [ 0.56518]
@SEAS(3)	0.028198 [ 5.58163]	0.000797 [ 0.86336]	0.026575 [ 1.68444]	-0.001231 [ -0.48157]	0.001179 [ 0.10683]	0.039856 [ 3.54236]	-0.086242 [ -4.73452]	-0.059650 [ -1.61509]
@SEAS(4)	0.002575 [ 0.49896]	-0.000699 [ -0.74165]	-0.007805 [ -0.48421]	0.002588 [ 0.99068]	0.023851 [ 2.11587]	-0.025722 [ -2.23766]	-0.040292 [ -2.16502]	-0.045309 [ -1.20075]
@SEAS(5)	0.019481 [ 0.00337]	0.001109 [ 0.00061]	0.021728 [ 0.01051]	-0.000592 [ 0.00170]	0.023371 [ 0.00735]	0.001447 [ 0.00750]	-0.021638 [ 0.01214]	0.032253 [ 0.02461]

(a)

@SEAS(6)	[ 5.78629]	[ 1.80416]	[ 2.06652]	[ -0.34734]	[ 3.17841]	[ 0.19294]	[ -1.78245]	[ 1.31038]
@SEAS(7)	0.003340 [ -0.99633]	0.001478 [ 2.41387]	-0.010149 [ -0.96951]	-0.001649 [ -0.97203]	0.010104 [ 1.38018]	-0.037471 [ -5.01923]	-0.054845 [ -4.53775]	-0.046653 [ -1.90377]
@SEAS(8)	0.023014 [ 9.64347]	0.001674 [ 3.84072]	-0.006019 [ -0.80759]	0.000201 [ 0.16658]	0.028258 [ 5.42178]	-0.008285 [ -1.55878]	-0.021115 [ -2.45387]	0.002197 [ 0.12594]
@SEAS(9)	0.009978 [ 3.13038]	0.001142 [ 1.96181]	-0.023595 [ -2.37048]	0.000571 [ 0.35432]	0.030960 [ 4.44749]	-0.007018 [ -0.98866]	-0.041367 [ -3.59941]	-0.055260 [ -2.37146]
@SEAS(10)	0.004894 [ 1.88634]	0.001288 [ 2.71887]	-0.017590 [ -2.17096]	2.77E-07 [ 0.00021]	0.030319 [ 5.35083]	-0.011303 [ -1.95619]	-0.029250 [ -2.01188]	-0.029250 [ -1.54213]
@SEAS(11)	0.009765 [ 3.97468]	0.002161 [ 4.81697]	-0.015808 [ -2.06047]	0.000182 [ 0.14617]	0.018445 [ 3.43783]	0.002168 [ 0.39622]	-0.038444 [ -4.33996]	-0.052935 [ -2.94731]
@SEAS(11)	-0.001561 [ -0.55456]	0.001266 [ 2.46107]	-0.019825 [ -2.25461]	0.000186 [ 0.13051]	-0.000839 [ -0.13650]	-0.023278 [ -3.71220]	-0.058844 [ -5.79609]	-0.041141 [ -1.99867]
R-squared	0.806403	0.794919	0.411893	0.246779	0.693736	0.768902	0.628222	0.301207
Adj. R-squared	0.778471	0.765330	0.327042	0.138106	0.649549	0.735560	0.574583	0.200386
Sum sq. resids	0.008320	0.000278	0.081139	0.002131	0.039684	0.041267	0.108166	0.444666
S.E. equation	0.006434	0.001175	0.020092	0.003256	0.014051	0.014329	0.023198	0.047035
F-statistic	28.87029	26.86557	4.854298	2.270829	15.69988	23.06077	11.71191	2.987542
Log likelihood	853.9661	1246.728	590.9137	1011.309	673.5213	669.0036	557.7064	394.4294
Akaike AIC	-7.133905	-10.53444	-4.856396	-8.496179	-5.571613	-5.532499	-4.568887	-3.155233
Schwarz SC	-6.886938	-10.08737	-4.409329	-8.049111	-5.124545	-5.085431	-4.121820	-2.708166
Mean dependent	0.000861	0.000917	0.000967	7.02E-06	0.000808	0.000987	0.002194	0.000516
S.D. dependent	0.013669	0.002426	0.024492	0.003507	0.023735	0.027864	0.035566	0.052599
Determinant resid covariance (dof adj.)		5.27E-34						
Determinant resid covariance		1.73E-34						
Log likelihood		6356.607						
Akaike information criterion		-52.81911						
Schwarz criterion		-49.00414						
Number of coefficients		256						

(b)

Fonte: O autor, 2024

## APÊNDICE E – Testes sobre o modelo

Para avaliar o modelo gerado e indicado no apêndice anterior, foram realizados os testes apresentados a seguir:

Figura 41 - Testes de correlação

VEC Residual Serial Correlation LM Tests						
Date: 10/28/23 Time: 10:21						
Sample: 2002M12 2022M05						
Included observations: 231						
Null hypothesis: No serial correlation at lag h						
Lag	LRE* stat	df	Prob.	Rao F-stat	df	Prob.
1	84.56288	64	0.0436	1.334581	(64, 1079.3)	0.0438
2	103.9983	64	0.0012	1.655946	(64, 1079.3)	0.0012
3	84.96511	64	0.0409	1.341175	(64, 1079.3)	0.0411
Null hypothesis: No serial correlation at lags 1 to h						
Lag	LRE* stat	df	Prob.	Rao F-stat	df	Prob.
1	84.56288	64	0.0436	1.334581	(64, 1079.3)	0.0438
2	179.0850	128	0.0019	1.426140	(128, 1296.3)	0.0020
3	228.6363	192	0.0363	1.205736	(192, 1310.7)	0.0377
*Edgeworth expansion corrected likelihood ratio statistic.						

(a)

VEC Residual Portmanteau Tests for Autocorrelations					
Null Hypothesis: No residual autocorrelations up to lag h					
Date: 10/28/23 Time: 10:20					
Sample: 2002M12 2022M05					
Included observations: 231					
Lags	Q-Stat	Prob.*	Adj Q-Stat	Prob.*	df
1	14.51489	---	14.57800	---	---
2	42.58437	---	42.89263	---	---
3	105.9446	0.6433	107.0866	0.6135	112
*Test is valid only for lags larger than the VAR lag order.					
df is degrees of freedom for (approximate) chi-square distribution					
after adjustment for VEC estimation (Bruggemann, et al. 2005)					
*df and Prob. may not be valid for models with exogenous variables					

(b)

Legenda: Testes utilizados: (a) LM de correlação serial e (b) Portmanteau de autocorrelação

Fonte: O autor, 2024

Figura 42 - Teste Cholesky de Normalidade dos Resíduos do modelo VEC

VEC Residual Normality Tests				
Orthogonalization: Cholesky (Lutkepohl)				
Null Hypothesis: Residuals are multivariate normal				
Date: 10/29/23 Time: 13:39				
Sample: 2002M12 2022M05				
Included observations: 231				
Component	Skewness	Chi-sq	df	Prob.*
1	-1.204160	55.82509	1	0.0000
2	-0.257730	2.557355	1	0.1098
3	1.035106	41.25062	1	0.0000
4	0.482692	8.970161	1	0.0027
5	-0.394466	5.990722	1	0.0144
6	-5.305282	1083.622	1	0.0000
7	-0.657485	16.64303	1	0.0000
8	-2.372521	216.7110	1	0.0000
Joint		1431.570	8	0.0000
Component	Kurtosis	Chi-sq	df	Prob.
1	8.738234	316.9256	1	0.0000
2	9.326886	385.2838	1	0.0000
3	11.59951	711.7836	1	0.0000
4	4.720667	28.49669	1	0.0000
5	3.548685	2.897662	1	0.0887
6	61.35608	32777.28	1	0.0000
7	5.803161	75.63046	1	0.0000
8	27.03241	5558.984	1	0.0000
Joint		39857.29	8	0.0000
Component	Jarque-Bera	df	Prob.	
1	372.7506	2	0.0000	
2	387.8411	2	0.0000	
3	753.0343	2	0.0000	
4	37.46685	2	0.0000	
5	8.888384	2	0.0117	
6	33860.91	2	0.0000	
7	92.27350	2	0.0000	
8	5775.695	2	0.0000	
Joint		41288.86	16	0.0000
*Approximate p-values do not account for coefficient estimation				

Fonte: O autor, 2024

Figura 43 - Teste Heterocedasticidade dos Resíduos do modelo VEC

VEC Residual Heteroskedasticity Tests (Levels and Squares)					
Date: 10/29/23 Time: 13:37					
Sample: 2002M12 2022M05					
Included observations: 231					
Joint test:					
Chi-sq	df	Prob.			
2258.499	1692	0.0000			
Individual components:					
Dependent	R-squared	F(47,183)	Prob.	Chi-sq(47)	Prob.
res1*res1	0.330274	1.920130	0.0012	76.29331	0.0044
res2*res2	0.436940	3.021490	0.0000	100.9333	0.0000
res3*res3	0.381750	2.404188	0.0000	88.18429	0.0003
res4*res4	0.390155	2.490984	0.0000	90.12579	0.0002
res5*res5	0.244448	1.259722	0.1437	56.46742	0.1622
res6*res6	0.170069	0.797875	0.8176	39.28583	0.7806
res7*res7	0.414873	2.760697	0.0000	95.83572	0.0000
res8*res8	0.469501	3.445921	0.0000	108.4547	0.0000
res2*res1	0.418852	2.806256	0.0000	96.75485	0.0000
res3*res1	0.397512	2.568947	0.0000	91.82528	0.0001
res3*res2	0.444294	3.112999	0.0000	102.6320	0.0000
res4*res1	0.357785	2.169177	0.0001	82.64834	0.0010
res4*res2	0.412306	2.731624	0.0000	95.24259	0.0000
res4*res3	0.412473	2.733510	0.0000	95.28123	0.0000
res5*res1	0.311623	1.762609	0.0044	71.98487	0.0110
res5*res2	0.413735	2.747781	0.0000	95.57287	0.0000
res5*res3	0.369554	2.282359	0.0001	85.36707	0.0005
res5*res4	0.303610	1.697527	0.0073	70.13389	0.0160
res6*res1	0.233617	1.186897	0.2127	53.96563	0.2255
res6*res2	0.409881	2.704402	0.0000	94.68249	0.0000
res6*res3	0.345724	2.057411	0.0004	79.86215	0.0020
res6*res4	0.209844	1.034041	0.4245	48.47405	0.4133
res6*res5	0.201063	0.979877	0.5167	46.44546	0.4954
res7*res1	0.298397	1.655984	0.0100	68.92969	0.0202
res7*res2	0.283445	1.540182	0.0235	65.47573	0.0385
res7*res3	0.350159	2.098029	0.0003	80.88674	0.0015
res7*res4	0.331990	1.935066	0.0011	76.68974	0.0040
res7*res5	0.210199	1.036255	0.4208	48.55603	0.4101
res7*res6	0.178498	0.846017	0.7465	41.23314	0.7093
res8*res1	0.446029	3.134940	0.0000	103.0327	0.0000
res8*res2	0.468323	3.429657	0.0000	108.1826	0.0000
res8*res3	0.451743	3.208194	0.0000	104.3526	0.0000
res8*res4	0.441717	3.080657	0.0000	102.0367	0.0000
res8*res5	0.457309	3.281032	0.0000	105.6384	0.0000
res8*res6	0.438713	3.043324	0.0000	101.3426	0.0000
res8*res7	0.378547	2.371725	0.0000	87.44430	0.0003