**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Impactos econômicos e regionais dos investimentos em geração de energia
elétrica no Brasil**

Tiago Barbosa Diniz

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor em
Ciências. Área de concentração: Economia Aplicada

**Piracicaba
2019**

Tiago Barbosa Diniz
Bacharel em Ciências Econômicas

**Impactos econômicos e regionais dos investimentos em geração de energia elétrica
no Brasil**

versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientador:
Prof. Dr. **JOAQUIM BENTO DE SOUZA FERREIRA FILHO**

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor em
Ciências. Área de concentração: Economia Aplicada

Piracicaba
2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA – DIBD/ESALQ/USP

Diniz, Tiago Barbosa

Impactos econômicos e regionais dos investimentos em geração de energia elétrica no Brasil / Tiago Barbosa Diniz. - - versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2019.

102 p.

Tese (Doutorado) - USP / Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”.

1. Energia renovável 2. Investimentos 3. Brasil 4. Modelos EGC I. Título

AGRADECIMENTOS

À Universidade de São Paulo (USP) e à Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ) pela estrutura e oportunidade concedida.

À CAPES que durante o curso colaborou com o suporte financeiro necessário para minha dedicação aos estudos tanto no Brasil quanto no exterior.

Ao Instituto Escolhas pelo financiamento da etapa final desta pesquisa e, sobretudo, pelo esforço inédito que vem empreendendo na promoção de estudos na área de economia do meio-ambiente, ajudando a qualificar o debate e servindo de inspiração para outras instituições.

Ao Prof. Dr. Marcelo Cunha (IE/Unicamp) por toda a colaboração, discussão e aprimoramento de ideias para a concepção deste trabalho.

Ao *Centre of Policy Studies* – CoPS e todo o seu time pela recepção, companherismo e todo conhecimento fornecido em EGC, sem o qual o desenvolvimento deste trabalho seria muito mais árduo e longo. Em especial, agradeço ao Professor Mark Horridge pela amizade, disponibilidade e ensinamentos, imprescindíveis para esta Tese e, sobretudo, para minha formação.

Ao Professor Joaquim Bento, meu orientador, por todo entusiasmo e confiança para a realização deste trabalho. Indubitavelmente, a sua seriedade e mentoria foram determinantes na minha trajetória acadêmica e profissional.

À todos os meus colegas de ambiente acadêmico pela amizade e convivência rica e divertida que tivemos, em especial aos companheiros de moradia André Bastos, Julyerme Tonin e Ansu Mancal.

À Jaciani Pereira e Luiz Lubi pela parceria e apoio cruciais para a concretização do meu doutorado e à todos os meus colegas de trabalho na CHESF pelo suporte e compreensão para a conclusão desta Tese.

À minha amada companheira, Letícia Santiago, pelo carinho, compreensão e companherismo em todos os momentos e experiências dessa jornada.

E, aos meus amigos, familiares e, especialmente, aos meus pais, pelo apoio incondicionalmente concedido em todos os períodos de minha vida e formação universitária.

SUMÁRIO

RESUMO	5
ABSTRACT	6
LISTA DE FIGURAS	7
LISTA DE TABELAS	8
1. INTRODUÇÃO	9
1.1. CONTEXTO	9
1.2. PROBLEMA ECONÔMICO	11
1.3. OBJETIVOS	13
1.4. ESTRUTURA DO TRABALHO	14
2. REVISÃO DE LITERATURA	15
2.1. BREVE HISTÓRICO DA AVALIAÇÃO ECONÔMICA DE POLÍTICAS ENERGÉTICAS	15
2.2. A ANÁLISE DOS IMPACTOS ECONÔMICOS DOS INVESTIMENTOS EM GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA	17
3. METODOLOGIA	27
3.1. O MODELO TERM-BR10	29
3.2. A BASE DE DADOS DO TERM-BR10	35
3.3. A GERAÇÃO DE ELETRICIDADE NO TERM-BR10	37
4. SIMULAÇÕES	43
4.1. O PLANO DECENAL DE EXPANSÃO DE ENERGIA	43
4.2. ESTRATÉGIA DE SIMULAÇÃO	47
5. RESULTADOS	55
5.1. AGREGADOS MACROECONÔMICOS E PRODUÇÃO SETORIAL	55
5.2. EMPREGO E IMPACTOS DISTRIBUTIVOS	63
5.3. ANÁLISE DE SENSIBILIDADE	66
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	69
REFERÊNCIAS	73
APÊNDICES	81
ANEXOS	99

RESUMO

Impactos econômicos e regionais dos investimentos em geração de energia elétrica no Brasil

Para atender os seus compromissos climáticos, o Brasil planeja elevar a participação das fontes renováveis, além da hidrelétrica, na oferta de eletricidade. Segundo o Plano Decenal de Expansão de Energia (PDE 2026), a expansão da capacidade instalada no período 2017-2026 será predominantemente com investimentos na geração à gás, eólica e solar. No entanto, as áreas disponíveis e aptas para tais projetos estão concentradas, em sua maioria, nas regiões com menor PIB *per capita*, a exemplo da Nordeste, de modo que a expansão da capacidade instalada pode ter implicações econômico-regionais, que podem ser intensificados a depender da configuração da matriz elétrica. Não obstante a importância da temática, ainda há uma evidente lacuna na literatura. Este trabalho, portanto, analisa essa questão com o objetivo de verificar quais os impactos econômicos e regionais dos investimentos em geração de energia elétrica, com base nos cenários de expansão delineados no PDE 2026. Para tanto, é utilizado o TERM-BR10, modelo de equilíbrio geral computável, regional (*bottom-up*), dinâmico-recursivo e para o qual foi desenvolvido um módulo específico para simulações com o setor elétrico em que são representados oito tipos de geração de eletricidade (eólica, solar, hidráulica, biomassa, térmicas à gás, carvão, diesel e óleo combustível e outras térmicas) e em que se permite a substituição entre os diferentes tipos de geração em nível regional. Para as simulações, assume-se como linha de base a expansão prevista no Caso 8 – Expansão Dirigida, do PDE 2026, por ser a que tem menos interferência de diretrizes políticas. Já as expansões previstas para o Caso 1 (cenário de referência), o Caso 4 (redução no custo de investimento na geração solar) e o Caso 5 (sem novas usinas hidrelétricas) foram adotadas como cenários alternativos. Os resultados obtidos evidenciam que, em relação a linha de base, um plano de expansão com maior inserção de geração solar (Caso 4) pode impactar elevação acumulada de 0,45% no PIB brasileiro e de até 2,15% em regiões específicas, sendo as áreas mais beneficiadas aquelas da região Nordeste do país. Também verifica-se que um cenário sem novas usinas hidrelétricas (UHE) não implica perdas ao Brasil em termos de PIB ou emprego, o que é particularmente relevante face as exigências ambientais cada vez mais rigorosas sob esse tipo de geração. Ademais, foi também observado que as diretrizes de política inseridas nos cenários alternativos do PDE têm benefícios distributivos, com impactos positivos maiores para as regiões mais pobres e famílias com renda mais baixa.

Palavras-chave: Energia renovável; Investimentos; Brasil; Modelos EGC

ABSTRACT

Economic and regional impacts of investments in electricity generation in Brazil

To comply with climate agreements, Brazil intends to raise the share of non-hydro renewables in electricity supply. According to the Brazilian Decennial Energy Plan (PDE 2026), the country will expand its installed capacity in the period 2017-2026 mostly by investments in gas, wind and solar sources. However, areas suitable for those projects are regionally concentrated and, in some cases, in the poorest regions such as the Northeast. Hence, the expansion of power supply also have economic and regional implications that could be enhanced according to the configuration of the electricity matrix. Despite that, there is still a gap in the literature regarding to this topic. We explore this analyzing the economic and regional impacts of the investments in electricity generation, under various policy scenarios provided by the PDE 2026. For that, we apply a regional recursive-dynamic CGE model for Brazil, TERM-BR10, specially enhanced to deal with electricity features. TERM-BR10 has eight electricity generation types (wind, solar, hydropower, biomass, gas, diesel and oil, coal and others) and allows substitution between them in a regional level. For simulation purposes, we assume the expansion of electricity matrix of Case 8 from PDE 2026 as our baseline. In fact, this expansion is the one with less policy interventions. As our policy scenarios we assume: Case 1 (reference scenario), Case 4 (scenario with reduction in cost of investment for solar) and Case 5 (no new hydro dams). Our results show that in comparison to the baseline a supply plan with more insertion of solar source, as Case 4, could increase the national GDP by 0.45% and by 2.15% in specific regions. In this case, the Northeast regions are the most benefited. The results also show that a scenario without new hydro dams does not imply in economic loss, in terms of national GDP or employment. This is quite relevant, specially when take into account that environmental concerns have been raising for hydro projects. Besides, we also came to the conclusion that policy guidelines have welfare and distributive benefits, with greater impact to poorest regions and low income households.

Keywords: Renewable electricity; Investments; Brazil; CGE modelling

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Estimativa de investimentos (2020-2026) por tipo de geração para cenários selecionados do PDE 2026, valores em R\$ milhões.	11
Figura 2. Potencial eólico e solar do Brasil	12
Figura 3. Estrutura da demanda por emprego na geração de energia elétrica, por fonte.	13
Figura 4. Estrutura geral de produção no modelo TERM-BR10.	32
Figura 5. Geração e distribuição de eletricidade no TERM-BR10.	41
Figura 6. Processo de elaboração dos planos de expansão no PDE 2026.	44
Figura 7. Premissas gerais e de políticas para cenários selecionados do PDE 2026.	46
Figura 8. Produção das indústrias de geração de eletricidade: desvio acumulado (%) em relação à linha de base, no período 2016-2035	57
Figura 9. PIB regional: desvio acumulado (%) em relação à linha de base, no período 2016-2035	61
Figura 10. Emprego regional: desvio acumulado (%) em relação à linha de base no período 2016-2035, por cenário de política	63
Figura 11. Consumo das famílias: desvio acumulado (%) em relação à linha de base, no período 2016-2035, por categoria de renda e cenário de política.	66
Figura 12. Análise de sensibilidade: desvio acumulado (%) do PIB real em relação à linha de base no período 2016-2035, no Cenário 4	67
Figura 13. Exemplos de estruturas de produção em modelos EGC que incorporaram a substituição entre tecnologias de geração de eletricidade.	102

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Evolução da Capacidade Instalada (MW) no Sistema Interligado Nacional (SIN) por fonte nos anos 2016/2026 para o cenário de referência do PDE 2026.....	10
Tabela 2. Classificação dos trabalhos por tipo projetos, efeitos estimados e abordagem metodológica dos estudos revisados em Capros et al. (1992).....	16
Tabela 3. Alguns estudos relacionados aos impactos econômicos de políticas energéticas e investimentos em geração de energia elétrica, com publicação entre 2007-2017.....	23
Tabela 4. Agregação regional do TERM-BR10 para simulação do PDE 2026	37
Tabela 5. Estrutura de custos das indústrias de geração de eletricidade no TERM-BR10.....	38
Tabela 6. Expansão planejada (MW) para 2020-2026 nos cenários selecionados do PDE 2026	47
Tabela 7. Equivalência entre os cenários de simulação e as trajetórias de expansão da capacidade instalada no PDE 2026.....	51
Tabela 8. Agregados macroeconômicos: desvio acumulado (%) em relação à linha de base, no período 2016-2035	55
Tabela 9. Produção setorial: desvio acumulado (%) em relação à linha de base, no período 2016-2035.....	59
Tabela 10. Salário real: desvio acumulado (%) em relação à linha de base, no período 2016-2035, por região e cenário de política.....	64
Tabela 11. Salário real: desvio acumulado (%) em relação à linha de base, no período 2016-2035, por cenário de política e faixa salarial	65
Tabela 12. Variáveis macroeconômicas: média e limite inferior e superior do desvio acumulado (%) em relação à linha de base no período 2016-2035, para Cenário 4 (análise de sensibilidade).....	68
Tabela 13. Critérios utilizados para a regionalização da produção das indústrias do modelo TERM-BR10.....	81
Tabela 14. Distribuição do investimento nas indústrias de geração de eletricidade do TERM-BR10.....	86
Tabela 15. Relação dos produtos e indústrias, pós agregação, no TERM-BR10.....	87
Tabela 16. Valores utilizados para os parâmetros de elasticidade no TERM-BR10.....	88
Tabela 17. Critério de distribuição regional (%) para a expansão planejada no PDE, por fonte.	90
Tabela 18. Agregados macroeconômicos: desvio acumulado (%) em relação à linha de base no período 2016-2035, por região e cenário de política.....	91
Tabela 19. Produção dos setores de eletricidade: desvio acumulado (%) em relação à linha de base no período 2016-2035, por região e cenário de política.....	92
Tabela 20. Produção setorial: desvio acumulado (%) em relação à linha de base no período 2016-2035, por região no Cenário 1.....	93
Tabela 21. Produção setorial: desvio acumulado (%) em relação à linha de base no período 2016-2035, por região no Cenário 4.....	95
Tabela 22. Produção setorial: desvio acumulado (%) em relação à linha de base no período 2016-2035, por região no Cenário 5.....	97

1. INTRODUÇÃO

1.1. Contexto

Ao longo dos anos, o setor elétrico no Brasil foi desenvolvido em resposta aos impulsos econômicos, sobretudo aos industriais. A primeira fase de investimentos de grande porte no setor deu-se com o processo de substituição de importações e com a instalação da indústria pesada e eletrointensiva no país, a exemplo dos setores metalúrgicos e siderúrgicos. Essa lógica de desenvolvimento persistiu nos anos seguintes, seja como resposta as necessidades do mercado interno, cujo processo de urbanização e industrialização se intensificou desde os anos 1940, seja como resposta às restrições externas, como os choques do Petróleo na década de 1970. (LANDI, 2006)

Em paralelo, também ocorreram avanços e mudanças institucionais que, em última instância, buscavam dotar o país de capacidade de planejamento e de um arcabouço institucional que viabilizasse os investimentos públicos e privados para a garantia do fornecimento (LANDI, 2006). Como resultado desse processo e de suas peculiaridades geográficas, o Brasil construiu uma matriz elétrica predominantemente hidráulica, com essa fonte representando aproximadamente 69% da capacidade instalada da geração elétrica no ano de 2016, de acordo com a Empresa de Pesquisa Energética (EPE).

O país, contudo, não mais atravessa um processo de industrialização nem de urbanização como outrora, não havendo, portanto, pressões repentinas por energia, mas um aumento gradual da demanda devido à intensificação energética e ao crescimento demográfico e econômico. Por outro lado, há nos últimos anos uma crescente preocupação internacional com respeito às implicações decorrentes das mudanças climáticas e, por conseguinte, à redução de emissões de gases do efeito estufa (IPCC, 2014).

Nesse contexto, o Brasil, como uma liderança regional e um país continental com grande parte de seu território coberto pela floresta amazônica, tem um papel de destaque. Os recentes acordos internacionais firmados pelo Governo Federal, de fato, ressaltam essa posição. Ao final de 2015, na 21ª Conferência das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas (COP21), o país se comprometeu a reduzir em 37% as suas emissões de CO₂ equivalentes até 2025 e sinalizou a intenção de reduzir em 43% até 2030, tomando como base o ano de 2005 (BRASIL, 2015), posição reafirmada em outras reuniões internacionais, a exemplo da COP22 e da COP23.

Tais metas impõem, além da redução do desmatamento e aumento do reflorestamento, uma maior participação das fontes renováveis na matriz energética brasileira. Nos compromissos brasileiros está a expansão das fontes renováveis, além da hidroeletricidade, para 28% a 33% da matriz energética em 2030. Mais especificamente, o país pretende elevar a participação das fontes eólica, biomassa e solar para ao menos 23% da geração de energia elétrica em 2030 (BRASIL, 2015). Para efeito de comparação, de acordo com EPE (2016b) essas fontes foram responsáveis por 14% da geração de eletricidade em 2015.

Apesar de não se configurar numa obrigação legal, esses compromissos têm norteado os formuladores de política no setor energético. Com efeito, os cenários oficiais de expansão da oferta de eletricidade, delineados no Plano Decenal de Expansão de Energia 2026 (PDE 2026), estimam que durante o período 2017-2026 o país mais do que dobrará a sua capacidade instalada em geração eólica e irá elevar substancialmente sua capacidade instalada para a fonte solar. Por outro lado, pretende-se reduzir a participação da capacidade de geração elétrica através do óleo combustível e do óleo Diesel (Tabela 1).

Tabela 1. Evolução da Capacidade Instalada (MW) no Sistema Interligado Nacional (SIN) por fonte nos anos 2016/2026 para o cenário de referência do PDE 2026

	2016	%	2026	%	Var %
Renováveis	118.445	83,8	166.690	81,1	40,7
Hidráulica	95.518	67,6	111.624	54,3	16,9
Eólica	10.025	7,1	28.470	13,9	184,0
Biomassa	12.881	9,1	16.936	8,2	31,5
Solar	21	0,0	9.660	4,7	45900,0
Não Renováveis	22.947	16,2	26.634	13,0	16,1
Urânio	1.990	1,4	3.395	1,7	70,6
Gás Natural	12.532	8,9	17.339	8,4	38,4
Carvão	3.174	2,2	3.514	1,7	10,7
Óleo	3.721	2,6	1.774	0,9	-52,3
Diesel	1.530	1,1	612	0,3	-60,0
Alternativa de Ponta¹	0	0,0	12.198	5,9	---
TOTAL SIN	141.392	100,0	205.522	100,0	45,4

Fonte: EPE (2017). ¹Pode contemplar usinas térmicas (gás natural), hidráulicas, baterias e gerenciamento de demanda

Para concretizar esse plano o governo brasileiro estima investir cerca de R\$ 174 bilhões somente em novos empreendimentos, ou seja, aqueles ainda não contratados. Desse montante aproximadamente R\$ 138 bilhões (79,0%) serão destinados a fontes renováveis, sendo 36,0% para a expansão eólica, 18,6% para a hidráulica, 17,0% para a solar fotovoltaica e 7,6% para os investimentos em biomassa (EPE, 2017). Esses percentuais, ressalta-se, podem

ser ainda mais elevados, tendo em vista que o PDE 2026 também apresenta cenários (Casos, na linguagem utilizada no plano) para condições climáticas e econômicas distintas, em que pode haver maior ou menor inserção das fontes alternativas. Não obstante, os investimentos destinados às fontes eólicas e solar se sobressaem (Figura 1).

Figura 1. Estimativa de investimentos (2020-2026) por tipo de geração para cenários selecionados do PDE 2026, valores em R\$ milhões.

Fonte: EPE (2017). Elaboração própria do autor.

Notas: (1) valores estimados com taxa de câmbio referencial de R\$ 3,26 / US\$ com base dezembro/2016.

(2) Na linguagem do PDE 2026, os cenários são também denominados Casos. O Caso 5 é o cenário alternativo que não contempla novas UHE. Contudo, permite a expansão das Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs), motivo pelo qual existem investimentos na geração pela fonte hidráulica

* Pode contemplar usinas térmicas (gás natural), hidráulicas, baterias e gerenciamento de demanda.

1.2. Problema Econômico

Os investimentos que irão impulsionar essa expansão da oferta estão distribuídos ao longo do território nacional conforme a aptidão de cada área para determinado tipo de geração. Assim, a implantação de usinas de biomassa, por exemplo, tende a ocorrer nas regiões Sudeste e Centro-Oeste (PEREIRA et al., 2012), ao passo que as usinas hidrelétricas previstas na expansão são predominantemente localizadas nas regiões Sul e Norte (EPE, 2017). Parcela expressiva das inversões, contudo, será destinada à região Nordeste, que detém o maior potencial para a expansão das fontes eólicas e solar (Figura 2).

Figura 2. Potencial eólico e solar do Brasil

Fonte: Atlas Eólico Brasileiro e Atlas Solarimétrico do Brasil.

Logo, há uma nítida configuração espacial para esses investimentos, de modo que uma determinada região poderá receber mais ou menos recursos a depender do cenário de expansão considerado para a matriz elétrica. Por conseguinte, a definição da matriz implicará impactos econômicos distintos entre as regiões, que por sua vez podem ser potencializados ao se levar em conta que:

- i) parte expressiva dos investimentos é destinada à região Nordeste, cujos indicadores econômico-sociais como o PIB *per capita* e renda familiar são os mais baixos do país¹;
- ii) a expansão da matriz elétrica, conforme exposto, será baseada majoritariamente em fontes alternativas, sobretudo solar e eólica. Estas possuem índices de geração de emprego superiores aos das fontes tradicionais (BLYTH, W. et al., 2014; IRENA, 2011; MORENO; LÓPEZ, 2008; SIMAS; PACCA, 2014;), além de uma demanda por emprego, no caso das fontes

¹ De acordo com a Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios do ano de 2015, rendimento médio mensal real de todos os trabalhos das pessoas de 15 anos ou mais de idade na região Nordeste foi de R\$ 1.223,00, ao passo que a média nacional foi R\$ 1.853,00.

eólicas e solares, concentrada nos segmentos indústrias (Figura 3), em que os salários são relativamente mais elevados; e

- iii) os encadeamentos produtivos e distribuição setorial dos investimentos são distintos entre os tipos de geração. Enquanto a implantação de um parque solar ou eólico tem a maior parte do seu dispêndio em máquinas e equipamentos, comumente de alto valor agregado, a implantação de uma usina hidrelétrica, por exemplo, tem a maior parte de seu custo associada às atividades de construção civil (TOURKOLIAS et al., 2014; CANSINO et al., 2014; CURSINO NETO, 2007; BRACIANI, 2011). Logo, para cada perfil de matriz elétrica, os investimentos são distintos, assim como impactos setoriais ao longo das cadeias produtivas associadas a cada tipo de geração.

Figura 3. Estrutura da demanda por emprego na geração de energia elétrica, por fonte.

Fonte: adaptado de Pollin et al. (2009).

Nota: as informações de Pollin et al. (2009) são oriundas da economia norte-americana e podem divergir da realidade de outras economias.

Portanto, o que se observa é que a expansão da matriz elétrica brasileira, tal como delineada pelos órgãos oficiais e em consonância com os compromissos climáticos firmados pelo país, pode ter implicações econômicas e regionais relevantes. Ademais, infere-se que esses efeitos possam ser potencializados, sobretudo regionalmente, de acordo com a configuração estabelecida para essa expansão.

1.3. Objetivos

O objetivo principal do trabalho é analisar os impactos econômicos e regionais dos investimentos em geração de energia elétrica no Brasil. Mais especificamente, serão

analisados os impactos (e as diferenças entre eles, caso existam) dos investimentos planejados nos diversos cenários propostos pelo PDE 2026, em variáveis econômicas regionais e nacionais, identificando as regiões mais e menos afetadas e os consequentes os efeitos distributivos por classe de renda.

Para tanto, também foram empreendidos esforços em objetivos específicos, tais como:

- i) o desenvolvimento e sistematização de uma base de dados com informações econômicas, sociais e do setor elétrico a nível estadual e com detalhamento setorial;
- ii) a calibração de um modelo de equilíbrio geral computável (EGC) para o Brasil, com base na matriz de insumo-produto de 2010. Esse modelo tem, entre outras características, detalhamento regional, que permite simulações à nível regional e a obtenção dos resultados também nacionalmente (*bottom-up*); e
- iii) o desenvolvimento, dentro do modelo EGC, de um módulo específico para simulações com o setor elétrico, que representa os diversos tipos de geração e contempla possibilidades de substituição entre essas fontes à nível regional.

1.4. Estrutura do Trabalho

Além desta introdução, esta Tese é composta por mais cinco capítulos. No segundo é realizada uma breve revisão de literatura sobre os trabalhos que tratam dos impactos econômicos e regionais de políticas energéticas, com foco para aqueles que utilizam modelos de equilíbrio geral computável e que avaliam os investimentos em geração de energia elétrica. O terceiro capítulo é dedicado à metodologia. Nele são apresentados os aspectos gerais dos modelos EGC, as características do modelo utilizado neste trabalho e de sua base de dados, assim como descrito o funcionamento do setor elétrico na metodologia utilizada. O quarto capítulo, por sua vez, é reservado para as simulações, sendo apresentados os cenários de expansão da capacidade instalada previstos pelo PDE 2026 e a estratégia utilizada para simular os seus impactos econômicos e regionais. Os resultados do trabalho são, então, apresentados no quinto capítulo, no qual são expostos os impactos em variáveis macroeconômicas, regionais e distributivas. No sexto e último capítulo são tecidas as considerações finais do trabalho. Esta Tese também contém anexos e apêndices.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Breve histórico da avaliação econômica de políticas energéticas

Os trabalhos que relacionam energia e questões econômicas têm sido desenvolvidos majoritariamente após o choque do petróleo na década de 1970, a partir do qual ficou clara, para os países desenvolvidos e subdesenvolvidos, a importância da energia na economia (BHATTACHARYYA, 1996). Segundo Bergman (1988) houve, a partir desse contexto, uma demanda por informações sobre como os preços relativos dos produtos e fatores, assim como a alocação de recursos, seriam influenciados por aumentos dos custos de energia, mudanças tecnológicas no setor energético e outros aspectos das políticas energéticas. Essa demanda, ainda segundo o autor, induziu o desenvolvimento de uma série de modelos econômico-energéticos baseados essencialmente nas teorias de equilíbrio geral e neoclássica de crescimento econômico, sendo creditados como trabalhos iniciais no assunto Hudson e Jorgenson (1975) e Manne (1977).

A partir dos anos 1980, além dos aspectos energéticos, passou a ser de interesse da comunidade internacional os temas relacionados a poluição ambiental e aquecimento global. Por essas questões serem problemas que se manifestam no longo prazo e possuem uma estreita conexão com os setores energéticos, houve um forte estímulo ao desenvolvimento de modelos que buscassem compreender os efeitos de políticas e as interações entre as áreas econômica, energética e ambiental (BHATTACHARYYA, 1996). Em decorrência, foram desenvolvidas análises sob os mais diversos arcabouços metodológicos, desde modelos econométricos a modelos multisetoriais de crescimento e modelos aplicados de equilíbrio geral (BERGMAN, 1988; BHATTACHARYYA, 1996). Logo, consolidou-se no meio científico uma área destinada ao estudo econômico de políticas energéticas, inicialmente com foco preponderante sobre o emprego e, posteriormente, as demais variáveis econômicas e sobre os efeitos econômicos das restrições ambientais.

Capros et al. (1992), em extensa pesquisa de literatura sobre os métodos e pesquisas que avaliavam os impactos dos investimentos energéticos sobre o emprego, mapearam cerca de 200 trabalhos aplicados a diversos países, entre os quais Estados Unidos, Canadá, países Europeus e alguns países em desenvolvimento. De acordo com os autores, 40% dos estudos utilizaram modelos de Insumo-Produto, 36% desenvolveram e empregaram multiplicadores de emprego, 10% usaram multiplicadores já publicados e somente 14% desenvolveram modelos mais complexos. Técnicas avançadas como modelos econométricos, matrizes de

contabilidade social (SAM) e modelos de programação linear eram raramente utilizados (CAPROS; KARADELOGLOU; MENTZAS, 1992).

Os autores também classificaram os trabalhos de acordo com o tipo de estudo, tipo de efeito estimado e os métodos utilizados (Tabela 2). De acordo com Capros et al. (1992), os modelos de equilíbrio geral eram utilizados, até então, para avaliar as relações entre energia e crescimento econômico, sob uma estrutura de análise *top-down*.

Tabela 2. Classificação dos trabalhos por tipo projetos, efeitos estimados e abordagem metodológica dos estudos revisados em Capros et al. (1992)

Tipo de Estudo	Efeitos Estimados	Métodos
Projetos / estudos de caso	Diretos	Estimativas técnico-econômicas e taxas proporcionais
Análise de impacto	Diretos e indiretos	Multiplicadores econômicos, parcelas e multiplicadores de Insumo-Produto
Planejamento regional	<i>Bottom-up</i>	Modelos econômicos, Insumo-Produto, econometria regional
Crescimento econômico	<i>Top-down</i>	Programação matemática, insumo-produto, modelos EGC
Regulação macroeconômica	<i>Top-down</i>	Modelos econométricos, modelos setoriais

Fonte: adaptado de Capros et al. (1992).

Associado à evolução metodológica na avaliação econômica das políticas energéticas, verificou-se o crescimento paulatino da participação de fontes renováveis na matriz energética mundial. Conforme destacado por Lehr et al. (2008), a implementação das fontes alternativas de energia passou a fazer parte do debate de política econômica devido aos seus altos índices de geração de empregos, uma vez que seus benefícios na mitigação das mudanças climáticas e na redução da dependência das importações energéticas são indiscutíveis. Desse modo, a partir do início dos anos 2000 o desenvolvimento de trabalhos que avaliam os impactos de políticas energéticas (incluindo as fontes alternativas) se intensificou.

No setor elétrico, em particular, o que se observou foi que os estudos deram maior ênfase à análise dos mecanismos e formas de promoção das energias renováveis (ER). Isso se deu, sobretudo, em meados da década de 2000, época em que estas fontes ainda não tinham preços tão competitivos quanto as tradicionais e que, portanto, ainda havia a necessidade de subsídios para a sua promoção, em especial nos Estados Unidos e Europa. Dessa forma, vários trabalhos foram concebidos para analisar de uma forma mais ampla os efeitos econômicos dessas políticas, sobretudo em termos de PIB e emprego, considerando formatos

alternativos de financiamento (KUSTER et al., 2007; BOHRINGER et al., 2013 e FORTES et al., 2015). Ademais, esta agenda também levou a avanços relevantes em termos metodológicos, especialmente no que diz respeito aos modelos computáveis de equilíbrio geral, em que módulos energéticos têm sido mais usualmente incorporados (ARNDT et al., 2010; RAUSCH; MOWERS, 2014; FORTES et al., 2015) e nos quais a geração de energia elétrica tem sido cada vez mais detalhada (ARORA; CAI, 2014; PETERS, 2016).

2.2. A análise dos impactos econômicos dos investimentos em geração de energia elétrica

Na literatura atual, existe uma série de estudos dedicados a investigar as implicações econômicas dos investimentos em fontes energéticas, inclusive geração de eletricidade. A maior parte desses trabalhos tem focado sua análise econômica sobre variáveis como o PIB, o emprego e a renda (bem-estar); e alguns que utilizam metodologias e dados mais abrangentes avançam sobre a análise das emissões de CO₂ (Tabela 3, ao final do capítulo).

Em termos metodológicos, verifica-se a utilização em larga escala dos modelos de Insumo-Produto, no entanto, não de forma tão predominante tal como outrora encontrado por Capros et al. (1992). Cansino et al. (2014), ressalta que embora os modelos EGC tenham sido usados para avaliação de sistemas e políticas energéticas sob uma ótica econômica, os impactos econômicos das energias renováveis têm sido geralmente estimados por modelos de insumo-produto. Porém, o autor salienta que os desenvolvimentos mais recentes têm utilizado a abordagem EGC. Adicionalmente, outras metodologias também têm sido aplicadas, a exemplo de modelos econométricos, estudos de casos, realização de entrevistas e modelos híbridos (Tabela 3).

No que diz respeito aos resultados encontrados na literatura, verifica-se que os trabalhos que utilizaram a metodologia de insumo-produto têm concluído que os investimentos e a instalação de projetos de fontes alternativas (solar fotovoltaica, eólica e biomassa, especialmente) têm um índice de empregabilidade superior aos das fontes tradicionais (LEHR et al., 2008; MORENO; LÓPEZ, 2008; POLLIN; HEINTZ; GARRETT-PELTIER, 2009; BLYTH, W. *et al*, 2011). Ademais, conforme pontuado por Pollin et al. (2009) e BLYTH et al. (2011), os empregos gerados por essas fontes são atividades mais especializadas e com maior remuneração média. Em Pollin et al. (2009) são reportados dados para os Estados Unidos em que se verifica que a cada US\$ 1 milhão investido, os *green investments* geram 11,4 postos de trabalho a mais do que os combustíveis fósseis e criam 3,9

postos de alta remuneração e qualificação, enquanto que nos combustíveis fósseis essa geração é de 1,5 postos de trabalho.

Os estudos que incluem os efeitos sobre o PIB também têm obtido resultados convergentes, com os investimentos e implementação fontes renováveis impactando, além do emprego, o Produto Interno Bruto positivamente. Arce et al. (2012), ao analisar cenários de política energética para o Marrocos, verificaram por meio de um modelo de insumo-produto dinâmico que no cenário mais conservador, em que haveria permanência das importações dos componentes necessários para construção dos parques solares e eólicos, haveria aumento de 1,21% do PIB ao final do período 2010-2040 com a geração de 270 mil empregos, aproximadamente. No caso de um cenário mais otimista (e planejado pelo governo marroquino), ocorreria paulatina redução na importação de componentes e o incremento no PIB chegaria a 1,99%, com a geração de 500 mil postos de trabalho.

Markaki et al. (2013), em estudo aplicado a Grécia, também usando modelo de insumo-produto, obtiveram impactos positivos dos investimentos em fontes alternativas e em eficiência energética sobre o PIB e o emprego. No entanto, os autores verificaram que os ganhos, em termos de geração de empregos, advindos dos programas de eficiência energética são relativamente superiores aos dos projetos de energia alternativas.

Já os trabalhos que utilizaram modelos de equilíbrio geral computável não obtiveram resultados tão homogêneos. Bohringer et al. (2013), por exemplo, ao analisar os impactos da política de promoção de energia renovável na Alemanha, verificaram que os efeitos sobre o mercado de trabalho e a economia são difusos e divergentes a depender da forma com o qual os subsídios do programa são financiados. Por meio de um modelo EGC, eles concluíram que para baixos níveis de subsídios (em relação ao preço pagos pelos consumidores) o financiamento via impostos *lump-sum* levaria a resultados positivos. Contudo, conforme os subsídios se elevam estes benefícios são exauridos e convertidos em perdas. Além disso, a implementação de energias renováveis implicaria perdas caso fosse financiada via impostos sobre o trabalho. Adicionalmente, os autores também simularam o financiamento dessa expansão com taxa sobre o preço da eletricidade e com a eliminação dos subsídios concedidos à indústria do carvão. A conclusão principal é de que nível baixos de subsídios na promoção das fontes renováveis podem ser economicamente benéficos, ao passo que subsídios elevados são prejudiciais para a economia como um todo.

Fortes et al. (2015), em estudo similar, investigaram quais os impactos para a economia de Portugal caso o país dobrasse a proporção de energia renovável no consumo e produção de eletricidade de ano de 2010 até 2030. Usando dois modelos híbridos, o HYBTEP

e o HyBGEM, as autoras analisaram essa expansão sobre dois formatos distintos: via imposto *lump-sum* e com tributos sobre o trabalho. Os resultados do modelo HYBTEP foram de que não haveria ganhos econômicos com este tipo de política, pelo contrário, poderia ocorrer perdas de até 2,4% do PIB, caso os custos fossem totalmente absorvidos pelos agentes privados. Já os resultados do modelo HyBGEM evidenciaram ganhos econômicos de até 1,3% do PIB, caso os subsídios para suportar essa expansão fossem arcados com os impostos sobre o trabalho. Porém, sob esta hipótese, foi verificado o aumento da taxa de desemprego. Por fim, as autoras salientam que, embora não seja possível uma comparação direta entre os resultados dos dois modelos, pois são distintos, é ainda possível, para o caso português, obter ganhos de bem-estar com essa expansão.

Já Rivers (2013), em um estudo voltado para os Estados Unidos, usou um modelo de equilíbrio geral analítico e simplificado, com somente três setores, para analisar os efeitos das políticas de suporte as energias renováveis sobre o desemprego. Ele observou que essas tais políticas podem reduzir o desemprego, desde que atendidas algumas condições: a substituição entre capital e trabalho seja limitada e a mobilidade internacional de capital restrita. Rivers (2013) conclui que os impactos da adoção de energias renováveis sobre o emprego são relativamente pequenos e sugere que o foco do debate acerca dessa implantação deve-se pautar sobre outra métrica.

Cansino et al. (2014), por sua vez, analisou a implementação de plantas de energia solar do PASENER (*Plan Andaluz de Sostenibilidad Energetica*) na região de Andaluzia, na Espanha, para o período 2007-2013. Usando um modelo EGC, os autores computaram que a instalação adicional de 335,9 MW causaria uma elevação de 10,83% no PIB da região e uma geração adicional de 215 mil empregos. Ao considerar que a instalação dos parques solares seria em substituição às usinas térmicas, haveria o abatimento estimado de 205.475 toneladas de CO₂ (CANSINO et al., 2014).

Em uma aplicação mais ampla dos modelos EGC, Dai et al. (2016) utilizaram uma versão dinâmica para analisar a implantação em larga escala de fontes renováveis na China com o horizonte 2050. Os autores trabalharam com dois cenários energéticos-econômicos: um em que é simulada a política de energia renovável do país (obtida em publicações especializadas), cujo inserção dessas fontes é moderada, e outro cenário em que é utilizado o máximo potencial dessas fontes, no qual o investimento apenas em fontes renováveis (não incluindo combustíveis fósseis) chega a atingir 10% do investimento total do país.

Os resultados evidenciam que a China poderia explorar seu potencial de energia renovável ao máximo sem implicar grandes perdas na economia: -0,27% do PIB ao final do

cenário de máximo aproveitamento de energia renovável, ao passo que seriam criados 4,1 milhões de empregos e as emissões de CO₂ seriam reduzidas em 34%, quando comparada com a trajetória de evolução natural da economia. Sob o cenário normativo, em 2035, por exemplo, as emissões de CO₂ seriam 38% superiores ao registrado em 2010 (DAI et al., 2016). Ademais, os autores também ressaltam a importância dos seus resultados para a estrutura da economia, uma vez que a adoção das fontes renováveis elevaria as indústrias de máquinas, aparelhos eletrônicos e pesquisa e desenvolvimento a outros patamares, em detrimento da construção civil, por exemplo.

Verifica-se, de um modo geral, que a despeito dos avanços metodológicos e a abrangência cada vez mais ampla dos trabalhos, a maioria dos estudos ainda é direcionada aos países europeus, aos EUA e a China (Tabela 3). Para o Brasil, em específico, a literatura ainda é relativamente restrita, cabendo destaque para os trabalhos de Scaramucci et al. (2006), Pereira et al. (2013), Simas e Pacca (2013), Simas e Pacca (2014), Santos et al. (2013), Chen et al. (2013) e os relatórios técnicos do Instituto Escolhas (2016, 2017).

Scaramucci et al. (2006) estudaram os impactos econômicos do racionamento elétrico da década de 2000, sob dois formatos de oferta de eletricidade: um considerando a matriz elétrica vigente na época (com aproximadamente 90% da oferta sendo da hidroeletricidade) e um segundo cenário, em que haveria a inserção da geração elétrica com base no bagaço de cana-de-açúcar. Usando um modelo de equilíbrio geral, os autores verificaram que para o nível de 20% de racionamento (redução no consumo) o impacto sobre o PIB seria de cerca de 3%, quando considerada a configuração da oferta elétrica tal como a existente, e de menos de 1%, ao se levar em conta a geração com base no bagaço de cana-de-açúcar. Os resultados obtidos por Scaramucci et al. (2006) evidenciam, de certa forma, que a oferta de eletricidade composta por tecnologias distintas tem benefícios não apenas de segurança energética, mas também econômicos.

Já Pereira et al. (2013) elaboraram cenários de aumento das fontes alternativas no setor elétrico brasileiro para o horizonte 2010-2030. Foram delimitados, além de um cenário de referência, um que contempla a não adição de novos projetos que usem carvão e um outro, mais amplo, sem adicionar projetos de combustíveis fósseis na matriz. Utilizando multiplicadores de emprego reportados na literatura, os autores estimaram que no cenário sem a adição de plantas a carvão, a criação de emprego seria 20% superior à do cenário base e as emissões de gases efeito estufa 25% menores, ambos ao final do período. No caso do cenário em que não há a expansão de fontes fósseis e, portanto, há maior inserção das energias

alternativas, os resultados foram que a criação de postos de trabalho seria mais que 120% superior à do cenário base, enquanto as emissões 50% menores (PEREIRA et al., 2013).

Simas e Pacca (2013), por seu turno, dedicaram-se a estimar os empregos gerados pela instalação de projetos eólicos. Os autores entrevistaram cerca de 20 empresas e coletaram dados primários de 6 usinas em diferentes estágios de construção. Com isso, foi possível estimar os empregos por ano, inclusive com a classificação setorial: operação e manutenção (O&M), construção, transporte e indústria. Para cada MW instalado são gerados em média 11,7 empregos por ano, sendo 3,5 na indústria, 7,7 na construção e 0,6 em O&M (SIMAS; PACCA, 2013).

Em trabalho posterior, os autores utilizaram o modelo de insumo-produto para também estimar os empregos gerados com a implantação de usinas de energia eólica. Sob esse novo escopo metodológico, que considera empregos diretos e indiretos, os resultados foram de 13,53 empregos médio por ano para parques com torres de metal e 14,11 para os de torres de concreto (SIMAS; PACCA, 2014).

Santos et al. (2013), por outro lado, buscaram avaliar os impactos estruturais e regionais na economia brasileira das mudanças nas tarifas elétricas no período 1995-2008. Os autores utilizaram o ENERGY-BR – modelo regional de equilíbrio geral calibrado para matrizes de insumo-produto regionais estimadas para o ano de 2004. O ENERGY-BR é estático, representativo das 27 unidades da federação e possui o setor de geração de eletricidade desagregado em 7 tipos de geração: hidroelétrica e as térmicas a gás natural, diesel, óleo combustível, carvão, biomassa e outros combustíveis. O modelo não contempla as fontes eólica e solar.

Os autores realizaram três simulações. A primeira considerando um aumento uniforme de 1% na tarifa elétrica de todas as regiões para testar o modelo; a segunda com o aumento das tarifas no período 1995-2004, em que as variações no preço da eletricidade foram convergentes; e uma terceira simulação referente às variações da tarifa elétrica no período 2004-2008, para o qual houve divergência regional. Santos et al. (2013) concluíram que a elevação das tarifas tem impacto negativo sobre a economia do país (-0,026% do PIB para o período 2004-2008), afetando mais os estados das regiões Norte e Nordeste em que a relação GWh/PIB é mais elevada e, segundo os autores, a possibilidade de substituição entre os compostos energéticos mais restrita.

Por sua vez, Instituto Escolhas (2016) utilizou modelo de insumo-produto híbrido para verificar o impacto dos investimentos em geração de energia elétrica sob o PIB, emprego e as emissões de gases efeito estufa, sob quatro pares de cenários distintos (*Business as usual*

X cenários de eficiência energética) desenvolvidos por instituições e especialistas da área energética: Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro – COPPE/UFRJ, Greenpeace Brasil, Instituto Tecnológico da Aeronáutica – ITA e Associação Beneficente da Indústria Carbonífera de Santa Catarina com o apoio da ABCM (Associação Brasileira do Carvão Mineral) – SATC.

Com base em premissas econômicas e de eficiência energética foram delineados cenários de configuração da matriz elétrica para 2050 e estimados os investimentos necessários para alcançá-la. Observou-se que os impactos desses investimentos no cenário de eficiência energética em relação ao cenário base (BAU) foram positivos para o emprego (não superiores a 0,34%, em 2050) nos quatro cenários analisados. Para o PIB, verificou-se impactos de até 0,74% em 2050, caso do cenário do Greenpeace. No entanto, os resultados não foram homogêneos, com o cenário delineado pelo ITA resultando num efeito de -0,01% do PIB. Com relação às emissões de GEEs, todos os cenaristas projetaram quedas nas emissões de poluentes da economia no longo prazo (ESCOLHAS, 2016).

Chen et al. (2013), por outro lado, utilizaram um modelo EGC dinâmico para avaliar os impactos econômicos da redução das emissões de carbono, por meio de taxaço, no uso energético e nos processos industriais, sob diferentes cenários de mitigação do desmatamento. Os autores verificaram que conforme menor for o controle do desmatamento, maior seria a queda do PIB devido a incidência de taxas sobre o carbono nos setores produtivos, realizadas para se alcançar as metas de redução de emissões não supridas pela mitigação do desmatamento. As variações no PIB poderiam atingir -1,54% em 2040. No entanto, os autores também realizaram simulações em que os *carbon tax* seriam utilizados para possibilitar redução nos impostos sobre o trabalho ou para subsidiar a energia eólica em até 50%. Em ambos os casos, os resultados indicaram que as perdas econômicas seriam minimizadas para 0,05% e 0,15%, respectivamente (CHEN et al., 2013).

Utilizando um modelo EGC híbrido, o IMACLIM-R BR, o Instituto Escolhas (2017) analisou os impactos da adoção de uma matriz elétrica para o Brasil com emissões GEE zero em 2050, sob dois cenários: um economicamente otimista e outro pessimista. Sob essas condições, seriam evitadas a emissão de 58,5 e 40,1 milhões de toneladas equivalentes de CO₂, respectivamente. Segundo o Instituto, os indicadores macroeconômicos e sociais mostraram que os impactos sobre a economia, sobre a renda e sobre os gastos das famílias seriam pequenos em ambos os cenários, viabilizando, portanto, a implementação de uma matriz elétrica sem emissões GEE a longo prazo.

Em suma, o que tem se verificado na literatura, nacional e internacional, é um relativo consenso de que a expansão oferta de eletricidade por meio das fontes alternativas, além de benefícios climáticos e ambientais, é um instrumento de política e desenvolvimento econômico, induzindo a geração de empregos e crescimento do PIB. Em alguns casos específicos, quando não favoráveis, os estudos mostram que as perdas econômicas são relativamente pequenas face aos ganhos ambientais. Evidencia-se, também, que ainda são raros os trabalhos que analisam impactos sistêmicos da implementação de uma política a nível regional (*bottom-up*). Particularmente para o Brasil, essa carência é ainda mais evidente, uma vez que não há trabalhos direcionados a investigar os desdobramentos econômicos-setoriais dos investimentos em geração de energia elétrica, sobretudo renováveis, a nível regional. Lacuna esta, ressalta-se, que este trabalho busca preencher.

Tabela 3. Alguns estudos relacionados aos impactos econômicos de políticas energéticas e investimentos em geração de energia elétrica, com publicação entre 2007-2017.

Trabalho	País de aplicação	Objeto de análise	Variáveis de interesse	Metodologia
Kuster et al. (2007)	Alemanha e países selecionados	Avaliação de políticas energéticas e subsídios	Emprego e emissões	Modelo EGC/MPSGE
Lehr et al. (2008)	Alemanha	Impactos do aumento de participação da energia renovável sobre o emprego	Emprego	Modelo econométrico de insumo-produto (PANTA RHEI)
Moreno e Lopez (2008)	Espanha	Instalação de projetos de energia renovável	Empregos	Taxas de emprego por projeto
Pollin et al. (2009)	EUA	Políticas energéticas	PIB, Emprego e renda	Insumo-Produto
Lu et al. (2010)	China	Crescimento de investimentos nos setores energéticos	PIB, renda e emissões	Modelo EGC
Sastresa et al. (2010)	Espanha	Criação de uma nova metodologia para avaliar a criação de emprego da RE	Empregos	Estudo de caso / entrevistas
Boeters e Koornneef (2011)	Europa	Custos econômicos da meta de 20% da energia ser de renováveis até 2020	Renda Nacional	Modelo EGC (Worldscan)
Cetin e Egrican (2011)	Turquia	Impactos da energia solar sobre o emprego	Emprego	Revisão de Literatura
Tourkolias e Mirasgedis (2011)	Grécia	Implementação de fontes renováveis (eólica, solar PV e outras)	Emprego	Insumo-Produto
BLYTH et al. (2011)	Global / UK	Investimento em energia renovável e eficiência energética	Emprego	Revisão de Literatura
Arce et al. (2012)	Marrocos	Investimento estrangeiro em RE	PIB e Emprego	Insumo-Produto (dinâmico)
Lehr et al. (2012)	Alemanha	Grandes investimentos em energia renováveis (RE)	Emprego	Modelo econométrico de insumo-produto (PANTA RHEI)

Trabalho	País de aplicação	Objeto de análise	Variáveis de interesse	Metodologia
Böhringer et al. (2013)	Alemanha	Subsídio a produção de eletricidade por fontes renováveis	Emprego e bem-estar	Modelo EGC (estático)
Chen et al. (2013)	Brasil	Impactos econômicos da redução de CO ₂ no uso de energia e nos processos industriais	PIB	Modelo EGC (dinâmico)
Markaki et al. (2013)	Grécia	Investimentos em <i>green energy</i>	Produção e Emprego	Insumo-Produto
Paul et al. (2013)	EUA	Implementação de 80% de energia limpa na matriz elétrica norte-americana	Preços e emissões de CO ₂	Modelo de mercado de eletricidade (Haiku model)
Pereira et al. (2013)	Brasil	Cenários de aumento das fontes alternativas no setor elétrico	Emprego e emissões de gases efeito estufa	Multiplicadores de emprego reportados na literatura
Rivers (2013)	EUA	Políticas de apoio a fontes renováveis	Taxa de Desemprego	Modelo de equilíbrio geral computável
Santos et al. (2013)	Brasil	Impactos estruturais e regionais das mudanças nas tarifas de eletricidade	PIB	Modelo de equilíbrio geral computável
Simas e Pacca (2013)	Brasil	Instalação de usinas de energia eólica	Empregos	Entrevistas
Simas e Pacca (2014)	Brasil	Investimentos em energia eólica	Emprego	Insumo-Produto
Cansino et al. (2014)	Espanha	Instalação de projetos de energia solar	produção setorial, emprego e outras variáveis macroeconômicas	Modelo EGC (estático)
Rausch e Mowers (2014)	EUA	Políticas de gases efeito estufa direcionadas ao setor elétrico	CO ₂ e bem-estar econômico	Modelo EGC (dinâmico)
Vandyck e Van Regemorter (2014)	Bélgica	Aumento dos impostos especiais de consumo sobre o petróleo	Impactos macroeconômicos e distributivos	Modelo EGC com microsimulação
Fortes et al. (2015)	Portugal	Impactos econômicos do programa de Expansão das Fontes Renováveis	PIB, Emprego e consumo	Modelos EGC híbrido (<i>HyBGEM</i> e <i>HYBTEP</i>)
Acar e Yeldan (2016)	Turquia	Subsídios para produção e investimentos na indústria de carvão	Variáveis macroeconômicas e emissões de CO ₂	Modelo EGC dinâmico
Arndt et al. (2016)	África do Sul	Imposto sobre carbono na geração à carvão e redução de tarifa para importação de componentes para usinas hidráulicas	Emissões e variáveis macroeconômicas	Modelo EGC integrado com modelo energético
Bhattacharya et al. (2016)	os 38 maiores em consumo de energia renovável	Consumo de energia no crescimento econômico	PIB	Dados em painel

Trabalho	País de aplicação	Objeto de análise	Variáveis de interesse	Metodologia
Dai et al. (2016)	China	Impactos econômicos do desenvolvimento de energia renovável em larga escala	Investimento, PIB, produção setorial e emprego	Modelo EGC (dinâmico)
Inglesi-Lotz (2016)	Países da OCDE	Consumo de energia renovável e sua participação no consumo de energia total	PIB	Dados em painel
Instituto Escolhas (2016)	Brasil	4 cenários de expansão de energia (BAU e FEE)	PIB, emprego e emissões	Modelo de insumo-produto híbrido
Kober et al. (2017)	América Latina	Estimar investimentos em geração de energia	Valor dos investimentos	Multi-Model CLIMACAP-LAMP
Kolsuz e Yeldan (2017)	Turquia	Políticas integradas de redução de emissão e inovação tecnológica	Empregos e	Modelo EGC dinâmico
Instituto Escolhas (2017)	Brasil	Impactos de uma matriz elétrica com zero emissões GEE em 2050	Variáveis macroeconômicas	Modelo EGC híbrido (IMACLIM-R BR)

Fonte: elaboração própria do autor

3. METODOLOGIA

Para avaliar os impactos econômicos e regionais dos investimentos em geração de energia elétrica no Brasil é utilizado um modelo de equilíbrio geral computável (EGC) que, dentre outras características, permite que sejam observados os impactos de uma política de forma sistêmica em toda a economia.

Segundo Ferreira Filho (2010) e Dixon e Rimmer (2010), os modelos EGC fazem parte de uma categoria mais ampla, a dos modelos multi-setoriais de planejamento ou *economic-wide models*, na qual há a descrição quantitativa e desagregada dos setores de uma economia. De acordo com Dixon e Rimmer (2010), essa categoria de modelos teve sua origem com os trabalhos de Leontief na década de 1930 e 1940 e foi seguida pelo desenvolvimento dos modelos de programação linear, a exemplo de Sandee (1960), Manne (1963) e Evans (1972). Os modelos EGC são, então, o último avanço, em termos de complexidade e grau de endogenização dos preços, dos *economic-wide models* e tem o seu desenvolvimento inicial atribuído à Johansen (1960).

De forma simplificada, Dixon e Rimmer (2010) descrevem que

...In input-output modelling, the *economy* organized production of each commodity (the vector X) to satisfy a vector of final demands (the vector Y) with given technology specified by the input-output coefficient matrix (A). In programming models, the *economy* organized production to maximize a welfare function subject to Leontief's technology specification and subject to constraints on the availability of primary factors. (DIXON, P; RIMMER, M., 2010, p. 5)²

Logo, os modelos de insumo-produto e programação linear carecem de uma descrição explícita do comportamento dos agentes econômicos. De outro modo, os modelos EGC, tal como proposto por Johansen (1960), atribuem comportamento individual aos agentes. De uma forma geral, sob esse tipo de modelagem, as famílias maximizam sua utilidade sujeitas à uma restrição orçamentária; as indústrias escolhem os insumos que minimizam o custo de sua função de produção para atendimento a demanda pelos seus produtos; e o capital é alocado entre as indústrias de modo a maximizar o seu retorno. A produção total da economia é, portanto, determinada pela ação dos agentes individuais num processo coordenado pelo ajuste de preços para equalizar a oferta e demanda nos mercados de produtos e fatores (DIXON, P; RIMMER, M., 2010).

² “Na modelagem de insumo-produto, a economia organiza a produção de cada produto (X) para satisfazer um vetor de demanda final (Y) dada a tecnologia especificada pelos coeficientes da matriz de insumo-produto. Nos modelos de programação linear, a economia define a produção para maximizar uma função de bem-estar sujeita à tecnologia tipo Leontief e à restrições na oferta de fatores primários”, em tradução livre.

Diniz (2013), então, caracteriza os modelos de equilíbrio geral computável como sendo representações do conjunto da economia em seu âmbito global, nacional e/ou regional e são estruturados com base em blocos de equações que especificam o comportamento e as relações entre os agentes econômicos, tais como as famílias, o governo e o setor de produção. Além disso, também podem ser representados aspectos que dizem respeito ao mercado de trabalho, estoque de capital, relação entre bens domésticos e importados, utilização de fatores de produção, entre outros.

A interação não-linear entre preços e quantidades para a obtenção do equilíbrio walrasiano do sistema³, a limitação no uso dos fatores de produção e a representação de toda estrutura da economia, por exemplo, são algumas das características que diferenciam os modelos EGC de outras metodologias, tal como a de insumo-produto (DINIZ, 2013).

Nesse sentido, Mahul e Durand (2000) argumentam que os modelos EGC seriam o método mais adequado para avaliar os grandes impactos econômicos em função de um choque, já que os preços e as quantidades se ajustam para garantir o equilíbrio. No entanto, tais modelos impõem custos no seu desenvolvimento e interpretação de resultados, devido a sua complexidade (RICH et. al., 2005).

Não obstante, Flores Jr. (2010) destaca que

As long as CGE continues to be the only available technique providing a global, inter-related way of capturing economy-wide effects of several different policies, it will stand as a useful methodology. ... In fact, this is the sole reason why it remains precious; it is the only tool we have with such property (FLORES JR., 2010, p. 30)⁴

Desse modo, a utilização desse tipo de modelo tem sido comum na literatura atual, sendo essa modelagem empregada para compreender os efeitos econômicos de diferentes tipos de políticas: acordos comerciais, políticas fiscais, reformas tributárias, políticas ambientais, reformas microeconômicas, dentre outras (DIXON, P; RIMMER, M., 2010). No caso das políticas energéticas, conforme já pontuado, esses modelos têm sido utilizados desde década de 1970 para elucidar as implicações, na economia como um todo, de choques na oferta de energia, elevação de preço, aumentos de demanda e mudanças tecnológicas (BERGMAN, 1988; BHATTACHARYYA, 1996). Além disso, os modelos evoluíram para a

³ Para uma explanação mais detalhada sobre a Lei de Walras e as características gerais dos modelos computáveis de equilíbrio geral, ver Ferreira Filho (2010).

⁴ “Enquanto os modelos EGC continuarem sendo a única técnica que permite capturar os efeitos econômicos de uma forma global e inter-relacionada de uma série de políticas distintas, ainda permanecerão sendo uma metodologia útil... De fato, esta é principal razão pela qual estes modelos persistem preciosos, pois são as únicas ferramentas que temos com tais propriedades”, em tradução livre.

incorporação de dados ambientais, possibilitando a avaliação integrada dessas políticas (BYE, 2008).

Os modelos EGC podem ser classificados em estáticos ou dinâmicos. No primeiro caso, os modelos são utilizados para uma análise de estática comparativa. Isto é, compara-se a situação de uma economia inicialmente em equilíbrio (T_0) com um novo ponto de equilíbrio (T_1) obtido após choque em uma variável exógena do modelo. Não são tecidas inferências nem observada a trajetória da economia na passagem do ponto T_0 para o T_1 . Essa abordagem é comumente utilizada quando não há preocupação com a evolução temporal da economia, ou seja, aplica-se a questões como o que ocorre com a economia caso um determinado imposto seja elevado em X% ou caso a produtividade de determinado setor aumente em Y%.

Os modelos dinâmicos, por outro lado, permitem que seja verificada a evolução da economia ao longo do tempo. Para tanto, são incorporados explicitamente no modelo a acumulação de capital e os mecanismos de investimento, além de ser descrita a trajetória de variáveis usualmente exógenas, tal como a evolução da população, os preços de exportações, produtividade, etc. O modelo é então resolvido para cada período, sendo o equilíbrio obtido no período T a base inicial para as simulações no período T+1, característica esta nomeada de dinâmico-recursiva. Não obstante as complexidades adicionais, esse tipo de modelo permite observar mudanças estruturais na economia e a simulação de políticas que são implementadas gradualmente no tempo, tal como planos de investimentos.

Quando regionais, os modelos EGC podem ainda ser categorizados em *top-down* ou *bottom-up*. No caso dos modelos *top-down*, os resultados são obtidos para a economia nacional e a sua distribuição regional é feita de acordo com participação de cada região na produção industrial, no consumo das famílias, etc⁵. Já nos modelos *bottom-up*, cada região é representada por um modelo que, por sua vez, são interligados entre si por uma matriz de comércio inter-regional e pelo mercado de fatores. Assim, é possível simulações a nível regional, sendo os resultados nacionais uma agregação dos regionais.

3.1. O modelo TERM-BR10

O TERM (*The Enormous Regional Model*) foi originalmente desenvolvido para a Austrália no início dos anos 2000 pelo CoPS – *Centre of Policy Studies*. Desde então, diferentes versões do modelo têm sido adaptadas para outros países, como a China, Estados

⁵ Assume-se nesse processo que cada indústria tem a mesma tecnologia em todas as regiões. Para uma descrição completa e detalhada do procedimento *top-down* ver DPSV (1982).

Unidos, Brasil e Indonésia para analisar políticas relacionadas ao meio-ambiente, migração, comércio entre outras temáticas⁶. No Brasil, em específico, o modelo (TERM-BR) tem sido aplicado desde meados dos anos 2000 para o estudo de questões relacionadas à mudança do uso do solo, políticas agrícolas, desmatamento, emissões e mudanças na legislação ambiental, tal como em Ferreira Filho e Horridge (2006, 2010, 2014, 2016) e Diniz e Ferreira Filho (2015). O modelo utilizado neste trabalho, o TERM-BR10, pertence a essa família de modelos e é a versão mais recente do TERM para o Brasil.

O TERM-BR10 é um modelo de equilíbrio geral dinâmico-recursivo e regional (*bottom-up*), similar e desenvolvido a partir do seu antecedente, o TERM-BR. Logo, herda de seu antecessor todos os aspectos centrais no que diz respeito à montagem e organização da base de dados, estrutura de produção e sistema de equações⁷. As modificações incorporadas no TERM-BR10 estão fundamentalmente associadas à inserção de um módulo para as simulações com o setor elétrico, contemplando o detalhamento das fontes de geração e a possibilidade de substituição entre estas a nível regional, e a uma nova base de dados – a Matriz de Insumo-Produto (MIP) de 2010, ao passo que a versão anterior do modelo era calibrada para a MIP 2005.

O TERM-BR10 é representativo das 27 unidades da federação (UF), em que cada região se assemelha a um modelo, mas que são interdependentes e conectados entre si através do mercado de produtos e fatores. Com esse arcabouço, a estrutura produtiva (produção dos setores econômicos, pagamentos aos fatores, impostos e margens) é representada para cada UF separadamente. A interligação entre as regiões é, então, realizada pela mobilidade de fatores, alocados entre as regiões de acordo com os preços relativos; e, por meio do comércio inter-regional de produtos nos moldes do modelo gravitacional proposto por Horridge (2012).

Os bens produzidos por um determinado setor em uma determinada região podem ser absorvidos pelas indústrias e/ou pela demanda final (consumo das famílias, exportações, investimento e governo) desta mesma região ou das demais⁸. Por sua vez, cada indústria pode produzir um único produto, como por exemplo a indústria de açúcar produzindo apenas o produto açúcar, sendo esse caso denominado de matriz de produção diagonal; ou pode produzir vários produtos, tal como além do produto açúcar esta indústria produzir também eletricidade. Neste caso, a matriz de produção é classificada como multiproduto e o processo

⁶ Ver <https://www.copsmodels.com/term.htm>

⁷ Horridge (2012) apresenta em detalhes todas as características dos modelos TERM, tais como a estrutura da base de dados, procedimento de regionalização e estimação da matriz de comércio.

⁸ Mais precisamente, nem todos os produtos são transacionáveis inter-regionalmente, sendo possível no modelo definir os produtos como não-transacionáveis, ou de outro modo, que serão consumidos/absorvidos localmente. Essa classificação é usualmente empregada para serviços, tais como educação, saúde, etc.

produtivo guiado por uma função Elasticidade de Transformação Constante (CET), que, entre outras características, induz a produção do bem com preço relativo mais elevado.

Nos modelos EGC, é usual as indústrias definirem a sua produção com uma combinação de insumos intermediários e fatores primários. No TERM-BR10 esse processo se dá através de uma função de produção de coeficientes fixos (Leontief). Ou seja, para produzir, por exemplo, um par de sapatos são utilizados a combinação de insumos (couro, borracha, etc.) e o composto de fatores primários (capital e trabalho, por exemplo) numa proporção fixa. A combinação dos insumos intermediários é coordenada por função CES (Elasticidade de Substituição Constante), que aloca o consumo/uso dos bens de acordo com os preços relativos dada uma elasticidade de substituição. Os bens intermediários podem ser domésticos e/ou importados, sendo que os insumos domésticos podem ser oriundos de qualquer região. Ambos os processos alocativos são derivados de um mecanismo CES. A definição do composto de fator primário, que no TERM-BR10 contempla o trabalho (dez categorias), o capital e a terra, também segue uma agregação CES (Figura 4).

A estrutura de produção baseada em funções CES, tal como a do TERM-BR10, ressalta-se, é frequente nos modelos EGC. A utilização em larga escala desse tipo de função justifica-se pelos seus atributos – permite vários níveis de substituição, sendo a Leontief e a Cobb-Douglas casos particulares da CES, ao mesmo tempo que demanda a estimação de poucos parâmetros⁹. Além disso, Wing (2006) argumenta que

The CES formulation is a convenient method of aggregating technologies' outputs because it allows their marginal costs to differ while ensuring that their activity levels are positive. Moreover, the CES function tends to be stable – its homothetic, share preserving character implies that price changes will tend not to induce extreme deviations of technologies' market shares from their benchmark values, even with large elasticities of substitution (WING, S. 2006, p. 3852).¹⁰

As elasticidades utilizadas no TERM-BR10 foram obtidas na literatura especializada, na base de dados do GTAP (*Global Trade Analysis Project*) e na versão anterior do TERM-BR. Na Figura 4 são reportadas a elasticidade de transformação (SIGMAOUT) e a

⁹ Originalmente proposta por Arrow et al. (1961), a função CES pode ser definida como $Y = A \left[\sum_{i=1}^n \delta_i X_i^{-\rho} \right]^{-1/\rho}$, em que $\sum_i \delta_i = 1$ e $\rho > -1$ e $\rho \neq 0$. A elasticidade de substituição é então definida por $\sigma = \frac{1}{1+\rho}$. Maiores detalhes sobre a função e suas propriedades matemáticas pode ser obtidas em Dixon et al. (1980).

¹⁰ “A formulação CES é um método conveniente de agregar a produção de tecnologias distintas, pois permite que estas apresentem diferentes custos marginais ao mesmo em que assegura os níveis de produção positivos. Além disso, as funções CES tendem a ser estáveis – sua homoteticidade, e a característica de preservação das proporções, implicam que as variações de preços não tendem a induzir variações extremas na parcela de cada tecnologia no total produzido com relação a sua base, mesmo que com elevadas elasticidades de substituição”, em tradução livre.

elasticidade de substituição entre os bens intermediários ($\sigma = 0,3$). As demais, por serem distintas entre os setores e/ou produtos, são apresentadas na Tabela 16, no Apêndice.

Figura 4. Estrutura geral de produção no modelo TERM-BR10.

Fonte: elaboração própria.

No que tange aos componentes da demanda final, a demanda por exportações é determinada pelo preço e pela elasticidade da demanda por exportações, sendo possível a definição de produtos cuja venda ao exterior está mais relacionada aos preços externos (minério, por exemplo) ou que variam em conjunto com as exportações totais da economia. Já as famílias maximizam a sua utilidade sujeitas a uma restrição orçamentária por meio de uma

função *Klein-Rubin*¹¹. Esse tipo de função permite que existam parcelas de consumo de subsistência e o seu processo de maximização leva a um sistema linear de dispêndio, no qual a demanda por cada bem é uma função linear dos preços de todos os bens e da renda (dispêndio total).

Além dessas características gerais, assumem-se hipóteses adicionais, tais como:

- i) o comércio inter-regional tem possibilidade de déficits;
- ii) nas regiões, o consumo das famílias tende a seguir a renda regional;
- iii) a mobilidade de trabalho (fluxo migratório) segue o salário real relativo, que por sua vez está relacionado com a atividade econômica e oferta de trabalho nas regiões;
- iv) o fator terra é utilizado majoritariamente pela pecuária e setores agrícolas, mas as atividades de mineração, petróleo, gás natural e geração hidráulica também utilizam uma pequena parcela desse fator, que é considerado exógeno nas simulações;
- v) todos os usuários (indústrias + demanda final) de um determinado produto demandam-no das outras regiões em proporções fixas. Isto é, se os aparelhos eletrônicos do estado da Bahia forem supridos 50% pelo Amazonas e 50% por São Paulo, por exemplo, esta proporção é a mesma para todos os agentes (indústrias, famílias, governo, etc.). De acordo com Horridge (2012), tal simplificação é essencial, pois permite que a base de dados do modelo seja estruturada em matrizes de menores dimensões, tornando factível a solução computacional para modelos de grande porte.

A dinâmica-recursiva do TERM-BR10 consiste basicamente de três mecanismos: i) relação entre investimento e estoque de capital, em que o investimento em um período T , torna-se estoque de capital no período $T+1$ ¹²; ii) uma relação positiva entre investimento e a taxa de retorno; iii) e uma relação entre a variação do salário real e a oferta de mão-de-obra regional.

Assim como na maioria dos modelos EGC, o estoque de capital no TERM-BR10 é determinado pela variação do investimento menos a taxa de depreciação do capital, sendo definido por,

¹¹ Essas funções são também conhecidas por Stone-Geary.

¹² Nesse caso é assumido 1 período de gestação para o investimento. Essa hipótese pode ser flexibilizada para períodos superiores, $T+2$, $T+3$, etc.

$$K_{j,t+1} = K_{j,t}(1 - D_{j,t}) + I_{j,t} \quad (1)$$

Em que,

$K_{j,t}$ é o estoque de capital da indústria j no período t ;

$I_{j,t}$ é o investimento na indústria j no período t ; e

$D_{j,t}$ é a taxa de depreciação da indústria j no período t .

A variação do investimento, por sua vez, é coordenada por dois componentes: i) a relação investimento/capital é positivamente relacionada com as taxas esperadas de retorno; e ii) as taxas esperadas de retorno do capital convergem para as taxas atuais (de equilíbrio) por meio de ajustamento parcial, tal como definido por Horridge (2002) e apresentado no Anexo A.

Já a dinâmica do mercado de trabalho é coordenada pelos seguintes mecanismos:

- i) em uma determinada região, o salário real é determinado pela oferta e demanda por trabalho;
- ii) a oferta de trabalho em cada região é, além da sua força de trabalho, afetada pela migração inter-regional;
- iii) a migração inter-regional do trabalho, por sua vez, é positivamente relacionada com o salário real. Isto é, se a variação do salário real em determinada região é superior à variação da média nacional haverá migração oriunda das outras regiões e caso a variação no salário seja inferior a nacional há a emigração desta região para as demais.

A combinação desses mecanismos é que determinam o salário real e o equilíbrio nos mercados de trabalho regional e nacional¹³. Para efeito de ilustração, uma determinada região que devido a um choque de política registrasse nível de emprego inferior ao da sua trajetória base pressionaria negativamente o salário real, *ceteris paribus*. O salário real relativamente baixo em relação à média nacional, por seu turno, ocasionaria a emigração do trabalho, reduzindo a oferta nesta região. Após períodos sucessivos, o equilíbrio no mercado de trabalho desta região seria obtido com nível de salário e emprego inferiores aos da trajetória base, ao passo que o restante do país registraria, em termos relativos, níveis superiores.

¹³ O Anexo B apresenta as equações que determinam o equilíbrio no mercado de trabalho. Maiores detalhes desses mecanismos também podem ser obtidos em Wittwer et al (2012).

3.2. A base de dados do TERM-BR10

O TERM-BR10 é calibrado para a Matriz de Insumo-Produto ano-base 2010, publicada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) no final do ano de 2016. Essa versão da MIP consiste de 67 setores e 127 produtos. A eletricidade (setor e produto) é originalmente representada de forma agregada juntamente com o gás e outros bens de utilidade pública (“Eletricidade, gás e outras utilidades”)¹⁴. Logo, não é possível observar os aspectos relacionados aos tipos de geração isoladamente e, portanto, esse formato não é apropriado para se trabalhar com o setor elétrico, haja vista a diversificação da matriz elétrica brasileira.

Desse modo, Cunha (2017)¹⁵ utilizou os dados do Balanço Energético Nacional de 2016 (BEN 2016), publicado pela EPE, para desagregar o setor/produto “Eletricidade, gás e outras utilidades” em 12 diferentes setores/produtos: um para a distribuição de gás, um para a transmissão e distribuição de eletricidade e 10 tipos de geração – eólica, solar, hidrelétrica e as térmicas à biomassa (açúcar), biomassa (etanol), óleo combustível, diesel, carvão, gás natural e outros tipos de geração. Nota-se que com essa desagregação há indústrias separadas para representar a produção de eletricidade por biomassa como co-produto da produção de açúcar e etanol: os setores de biomassa (açúcar) e biomassa (etanol), respectivamente.

O produto “Petróleo, gás natural e serviços de apoio” e o seu setor correspondente também foram desagregados em dois setores e produtos, um para o Petróleo e outro para o gás natural. Após a desagregação, a base de dados passou a ser representativa de 136 produtos e 76 setores¹⁶. Por fim, foi utilizado o procedimento de diagonalização proposto por Horridge (2005) para transformar a matriz de produção multiproduto em uma matriz diagonal, com dimensão 136 produtos x 136 setores, de modo que cada setor produz um único produto.

A produção/oferta das regiões (o modelo é representativo das 27 unidades da federação) foi obtida através de parcelas da produção nacional. Como critério de distribuição, foram utilizadas informações oficiais da Pesquisa Agrícola Municipal de 2010 (PAM/IBGE), do Balanço Energético Nacional (BEN 2016), do Cadastro Central de Empresas (CEMPRE/IBGE), dentre outras fontes (Tabela 13, no Apêndice). A demanda regional foi estimada usando a Pesquisa de Orçamentos Familiares de 2008 (POF/IBGE). As 27 regiões, conforme já pontuado, são conectadas através de matrizes de comércio, estimadas com base

¹⁴ Estritamente, o produto é “Eletricidade, gás e outras utilidades” e o setor “Energia elétrica, gás natural e outras utilidades”. Por simplificação, adota-se aqui o nome do produto para se referir a ambos.

¹⁵ Cunha (2017) é um trabalho não publicado. O acesso a esse material foi obtido por comunicação pessoal.

¹⁶ Originalmente, a Matriz de Insumo-Produto 2010 continha 4 produtos e 3 setores relativos as atividades de transporte. Ambos foram agregados de modo aos transportes serem representados por 1 produto e 1 setor.

na oferta e demanda regionais utilizando modelos tipo gravitacional, tal como definido por Horridge (2012).

Na MIP 2010 o investimento (Formação bruta de capital fixo) é representado por um vetor da demanda final. Verificam-se nos dados que somente 30 bens, dos 127 que compõe a MIP original, são utilizados como insumos para investimento na economia. Para a calibragem do TERM-BR10, esse vetor de investimento foi desagregado entre as 136 indústrias. Para tanto, foram utilizadas informações constantes em Miguez et al. (2016), em que é estimado uma Matriz de Absorção de Investimento para a MIP 2010. Para os setores de eletricidade foram empregados dados adicionais obtidos em Tourkolias et al. (2014), Cansino et al. (2014), Cursino Neto (2007) e Braciani (2011). Além disso, também foram coletadas informações em entrevistas realizadas com especialistas em energia renovável da Eletrobras CHESF. A composição do vetor de investimento para cada tipo de geração de eletricidade do modelo consta na Tabela 14, no apêndice.

A base de dados também distingue 10 diferentes tipos de trabalho, classificados de acordo com os salários, como *proxy* para qualificação. O total dessa remuneração compõe o rendimento das famílias, que é a unidade de consumo no modelo. As famílias, por sua vez, também são classificadas em 10 categorias, conforme o seu nível de rendimento. As informações relativas aos rendimentos e ao dispêndio familiar foram obtidas na Pesquisa Nacional por Amostra Domiciliar (PNAD) e na Pesquisa de Orçamento Familiar (POF), ambas de autoria do IBGE. Para o setor elétrico, também foram utilizadas informações da Relação Anual de Informações Sociais (RAIS), do Ministério do Trabalho e Emprego, para melhor calibrar a distribuição vetor de salários/qualificação nos setores de geração.

Para o propósito deste trabalho, a geração de eletricidade através das térmicas a óleo combustível e a diesel foi agregada em um único produto/setor, pois o Brasil não mais planeja investir nessas fontes nem renovar os contratos que irão expirar durante o horizonte do PDE 2026 (EPE, 2017). Além disso, as *commodities* eletricidade de biomassa (açúcar) e de biomassa (etanol) foram agregadas em um só produto que representa a eletricidade gerada a partir do bagaço de cana-de-açúcar (“GerBagaco”). Por sua vez, a indústria biomassa (açúcar) foi agregada com o setor de açúcar e a biomassa (etanol) com o setor de etanol. Assim, ambas as indústrias de Açúcar e de Etanol produzem a eletricidade “GerBagaco” além de seu próprio produto (açúcar e etanol, respectivamente). Esse é o único caso em que, após a agregação, a matriz de produção do TERM-BR10 não é diagonal. Os outros setores e produtos foram agregados, de modo a compor 39 indústrias e 40 produtos (Tabela 15, em apêndice).

As 27 unidades da federação foram agregadas em 11 regiões considerando tanto a relevância na atividade econômica quanto na geração de eletricidade (novos investimentos), conforme critério apresentado na Tabela 4. A base de dados agregada do modelo é então composta por 11 regiões, 40 produtos (sendo 8 tipos de eletricidade e 1 Transmissão e Distribuição – T&D) e 39 indústrias, sendo 7 especificamente para a geração elétrica e 1 para T&D. (Tabela 15, no Apêndice).

Tabela 4. Agregação regional do TERM-BR10 para simulação do PDE 2026

Região	Unidades da Federação
RestNO	Rondônia, Acre, Amazonas, Roraima, Amapá e Tocantins
Para	Pará
MaranPiaui	Maranhão e Piauí
CearaRGNorte	Ceará e Rio Grande do Norte
PEparaibAL	Paraíba, Pernambuco e Alagoas
BahiaSE	Bahia e Sergipe
RestSE	Minas Gerais, Espírito Santo e Rio de Janeiro
SaoPaulo	São Paulo
RestSUL	Paraná e Santa Catarina
RGSul	Rio Grande do Sul
CentroOest	Mato Grosso do Sul, Mato Grosso, Goiás e Distrito Federal

Fonte: elaboração própria.

3.3. A geração de eletricidade no TERM-BR10

A inserção da geração de eletricidade nos modelos de equilíbrio geral tem merecido esforço recorrente da literatura especializada (McFARLAND et al., 2004; WING, S., 2008; RODRIGUES, R.; LINARES, P., 2014; ARORA, V.; CAI, Y., 2014; PETERS, J., 2016; TRUONG, T.; HAMASAKI, H., 2018). No entanto, não há ainda definida uma visão uniforme ou predominante, sendo a forma de modelar variável de acordo com o objeto e a economia em estudo.

Os principais aspectos e desafios estão centrados na compatibilização das informações tecnológicas das fontes de geração com os dados econômicos dos modelos, na estrutura de produção adequada para se representar o setor e nas elasticidades de substituição entre os diversos tipos de geração.

No TERM-BR10, conforme já mencionado, a desagregação do setor de eletricidade entre a Transmissão e Distribuição e os diversos tipos de geração foi realizada por Cunha

(2017)¹⁷, com base nos dados do Balanço Energético Nacional (BEN 2016). Já a estrutura de custos (ou tecnologia) de cada tipo de geração foi obtida em informações de projetos de engenharia, nas entrevistas realizadas com os especialistas da Eletrobras CHESF e na literatura, sendo o resultado dessa compilação apresentado na Tabela 5.

Tabela 5. Estrutura de custos das indústrias de geração de eletricidade no TERM-BR10.

	Insumos intermediários		Impostos		Fatores de Produção		
	Doméstico	Importado	Produto	Produção	Trabalho	Capital	Terra
Térmicas							
<i>Diesel e óleo</i>	69,1%	1,8%	0,1%	4,3%	2,0%	22,7%	0,0%
<i>Carvão</i>	71,0%	1,5%	0,1%	1,1%	2,2%	24,0%	0,0%
<i>Gás</i>	39,0%	28,7%	0,2%	1,8%	2,2%	28,0%	0,0%
Renováveis							
<i>Hidroelétricas</i>	15,4%	1,9%	1,0%	1,4%	10,8%	59,1%	10,4%
<i>Eólica</i>	14,5%	1,8%	0,9%	1,4%	11,6%	69,9%	0,0%
<i>Solar</i>	1,0%	0,1%	0,9%	0,1%	3,0%	94,9%	0,0%
Outras Gerações¹	17,3%	2,2%	0,9%	1,7%	17,6%	60,4%	0,0%
T&D	57,3%	4,4%	0,7%	3,1%	7,5%	27,0%	0,0%

Fonte: elaboração própria, com base nos dados do modelo TERM-BR10.

¹ contempla a fonte nuclear e outras gerações térmicas.

Em relação à estrutura de produção do setor elétrico, a literatura contém abordagens distintas, com trabalhos categorizando a eletricidade em subestruturas conforme as características das fontes de geração em relação ao despacho energético (*base-load* e *peak-load*); ao tipo de combustível, se fóssil ou não-fóssil; e ao recurso energético utilizado, se renovável ou não-renovável (Figura 14, em anexo). A ideia principal que norteia os diversos tipos de estruturas é a de que a eletricidade obtida por diferentes fontes não é precisamente substituta perfeita devido as propriedades de sua geração, tais como intermitência, tipo de combustível/insumo, fator de capacidade, possibilidade de armazenamento, entre outras (Hirth et al., 2016). Desse modo, julga-se adequado categoriza-la para orientar, ou impor restrições, a substituição entre a eletricidade advinda dos diversos tipos de geração.

Peters (2016) ressalta que não há consenso sobre a melhor forma de representação e tampouco se um formato é superior ao outro. Porém, há de se observar a aderência da estrutura de produção utilizada ao problema em análise. A separação da eletricidade por tipo de despacho, por exemplo, é comumente utilizada em modelos híbridos e/ou quando se deseja diferenciar a eletricidade (e o seu preço) conforme sua característica horária, tal como em Rodrigues e Linares (2014). Já a estruturação entre fóssil e não-fóssil, em geral, está associada à aplicações para países em que insumos fósseis, tal como o carvão, são preponderantes na

¹⁷ Comunicação pessoal. Ver nota de rodapé 15.

matriz elétrica e a estudos que buscam obter inferências sobre os efeitos de políticas na emissão de CO₂. De outra forma, os trabalhos que dividem a eletricidade entre renováveis e não-renováveis, em sua maior parte, dedicaram-se a analisar os efeitos econômicos dos mecanismos de promoção das fontes eólica e solar. Em suma, a opção e a adequação de cada tipo de estrutura estão relacionadas ao propósito do trabalho e a outros fatores, como as características da economia em análise, o perfil da matriz energética e a organização do setor¹⁸.

No Brasil, em particular, o setor elétrico tem o planejamento centralizado, sendo o Ministério de Minas e Energia (MME) o responsável por estabelecer suas diretrizes e políticas. O setor é estruturado a nível nacional sob os pilares da universalização do acesso, garantia de fornecimento e modicidade tarifária. A autossuficiência regional, por exemplo, não é um dos objetivos diretos do sistema, cuja a ideia é racionalizar a exploração dos recursos no país como um todo. A definição do parque gerador é, então, planejada e coordenada pelos órgãos competentes de modo a atingir os três objetivos centrais e atender diretrizes de política energética. Logo, o perfil da geração de eletricidade é majoritariamente definido pelo lado da oferta, cabendo aos agentes demandantes pouco espaço na definição da matriz elétrica.

O sistema é operado de forma integrada nacionalmente através do SIN (Sistema Interligado Nacional), cuja gestão está a cargo do Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS). O SIN está alicerçado no fundamento de que com a transferência de energia entre os subsistemas¹⁹ é possível obter ganhos sinérgicos advindos da exploração dos diversos regimes hidrológicos nas bacias hidrográficas e do aproveitamento, ainda que em menor escala, dos recursos eólicos e solares, tendo como princípios a segurança, garantia e economicidade do atendimento ao mercado. Então, respeitadas as restrições de transmissão e a segurança do abastecimento, o Operador coordena os despachos (e intercâmbio) de energia de modo a otimizar o atendimento à demanda com o menor custo possível.

A descrição do setor elétrico aqui realizada, salienta-se, é simplificada. Na realidade, o planejamento, o funcionamento e a operação do setor são muito mais complexas e repletas

¹⁸ Esse parágrafo apresenta somente uma visão geral e não-exaustiva da literatura para efeito de ilustração das aplicações mais usuais dos tipos de estruturas de produção. Outros formatos, tipos de aplicação, abordagens e lógicas distintas das aqui apresentadas podem ser encontradas na literatura.

¹⁹ O Sistema Interligado Nacional é constituído por quatro subsistemas: Sul, Sudeste/Centro-Oeste, Nordeste e a maior parte da região Norte. A área dos subsistemas preserva semelhança com a delimitação geográfica do país, sendo que o subsistema Nordeste não contempla o estado do Maranhão e o subsistema Sudeste/Centro-Oeste inclui os estados de Rondônia e Acre, sendo estes excluídos do subsistema Norte.

de peculiaridades e regulações²⁰. No entanto, os modelos de equilíbrio geral computável buscam analisar os aspectos sistêmicos em uma economia, e, portanto, aspectos centrais do setor é que precisam ser retratados, ou seja, as características da oferta e demanda e seus mecanismos de mercado.

Assim, no TERM-BR10 o setor elétrico foi modelado com as seguintes características:

- i) o setor de Transmissão e Distribuição (T&D) coleta toda eletricidade produzida pelos setores de geração (inclusive o de açúcar e de etanol) regionalmente, sendo a parcela de cada tipo de eletricidade nesse composto determinada sob um mecanismo CES²¹. Ou seja, a substituição entre a eletricidade oriunda de cada tipo de geração é realizada a nível regional, conforme variações na produção e nos preços relativos (Figura 5).
- ii) Em cada região, o setor de T&D fornece a eletricidade para os consumidores – famílias, indústrias, etc. Se houver excesso, a eletricidade é distribuída para as demais regiões via comércio inter-regional.
- iii) O consumo de cada região, caso esta não seja autossuficiente, pode ser, então, um composto da eletricidade local e da produzida pelas demais regiões.

Com essa forma de estruturação, o modelo espelha os aspectos centrais da organização real do setor: os empreendimentos são instalados em regiões propícias para o seu tipo de geração e o aproveitamento da eletricidade se dá a nível nacional via otimização de custo. Por sua vez, a opção por não segregar os tipos de eletricidade em subestruturas foi norteadas pelo fato de que a maior parte da capacidade instalada nas regiões está concentrada em até 3 tipos de fontes, não fazendo, então, sentido a categorização; e, principalmente, por o PDE 2026 já levar em consideração as características distintas de cada geração no seu planejamento nacional, ou seja, uma determinada região pode, por exemplo, especializar-se na produção de uma fonte sem armazenamento, pois outras regiões poderão suprir esse atributo ao sistema. Logo, em uma região os tipos de eletricidades, mesmo que distintos, podem ter um grau de substituição elevado, sobretudo ao se levar em conta um horizonte de médio e longo prazo.

²⁰ Ver www.aneel.org.br e www.ccee.org.br para maiores detalhes sobre o setor elétrico.

²¹ Alguns trabalhos utilizam a função de produção CRESH para realizar esse tipo de agregação. A CES é um caso particular da CRESH. Este tipo de função é mais ampla e permite, por exemplo, elasticidades de substituição distintas entre os tipos de geração dentro do mesmo *nest* (ARORA, V.; CAI, Y., 2014). Porém, a CRESH possui uma maior quantidade de parâmetros, implicando sua correta implementação à disponibilidade de dados e estimativas apropriadas. Ver Dixon et al. (1980) para maiores detalhes acerca de ambas as funções.

Ademais, o setor de Transmissão e Distribuição, diferentemente dos demais, utiliza seus insumos intermediários numa proporção constante por meio de uma função Leontief (ou, analogamente, assume-se $\sigma = 0$ na CES dos insumos intermediários da Figura 4). Isso significa que para absorver, por exemplo, 10% a mais do composto geração de eletricidade, o setor de T&D também demandará mais 10% dos outros insumos, como máquinas, produtos manufaturados, etc. Por outro lado, as demais indústrias da economia podem efetuar substituição entre, por exemplo, gás natural e eletricidade (T&D) da mesma forma em que realizam a substituição entre quaisquer outros insumos.

Figura 5. Geração e distribuição de eletricidade no TERM-BR10.

Fonte: elaboração própria.

A elasticidade de substituição entre os tipos de eletricidade, tal como a estrutura de produção, é um tema para o qual ainda não há convergência na literatura, com trabalhos utilizando elasticidades baixas e outros considerando até alguns tipos de tecnologias como

substitutas perfeitas, atribuindo elasticidade infinita (Figura 13, em anexo). A definição desse parâmetro, logicamente, guarda estreita conexão com as características do mercado em estudo.

No caso brasileiro, conforme exposto, a estrutura e lógica de funcionamento do sistema elétrico permite um razoável grau de substituição entre as fontes, sobretudo regionalmente. Além disso, o objetivo deste trabalho é a análise dos cenários de expansão da capacidade instalada propostos pelo PDE 2026, de modo que o modelo tem que estar apto para absorver os investimentos e a mudança de perfil da matriz elétrica, que é substancial em algumas regiões²².

Dessa forma, foi adotado no TERM-BR10 o valor 5,0 para essa elasticidade de substituição (SIGMAELEC), número este coincidente com outros trabalhos, tal como Chateau et al. (2014). No entanto, dada a incerteza e importância associada a esse parâmetro optou-se, adicionalmente, pela realização de uma análise de sensibilidade (*Systematic Sensitivity Analysis* – SSA) nos moldes propostos por Pearson e Arndt (1998). Esse procedimento permite observar a robustez dos resultados com relação a variações (incertezas) nos parâmetros do modelo ou nos choques realizados.

²² Na região BahiaSE, por exemplo, em 2015 a fonte hidráulica correspondeu por cerca de 61% da capacidade instalada e a fonte eólica 17%. Considerando a expansão do cenário de referência, em 2035, esses percentuais são de aproximadamente 27% e 38%, respectivamente.

4. SIMULAÇÕES

4.1. O Plano Decenal de Expansão de Energia

4.1.1. Visão geral

O Plano Decenal de Expansão de Energia (PDE) é o documento elaborado pelo Ministério de Minas e Energia que apresenta para a sociedade e investidores a visão de futuro do Governo Brasileiro para o setor energético para o horizonte de 10 anos. No PDE estão as diretrizes e considerações oficiais no que diz respeito a eficiência energética, a demanda por energia e eletricidade, a oferta de combustíveis e eletricidade, as estimativas de investimentos e a análise socioambiental da matriz energética planejada. O Plano tem periodicidade anual e contém material suplementar e notas técnicas detalhando a metodologia, a análise socioambiental realizada e outros temas relacionados ao PDE. O Plano analisado neste trabalho é o PDE 2026 que abrange o período 2017-2026 e cuja publicação foi realizada pela EPE em julho de 2017²³.

No PDE 2026, a análise do setor elétrico, em linhas gerais, consiste de uma previsão de demanda, desenvolvida com base em premissas macroeconômicas, demográficas e de eficiência energética, e de um plano de expansão da oferta, no qual é especificada uma matriz elétrica que irá garantir o fornecimento de eletricidade compatível com a demanda prevista.

No processo de construção dos planos de expansão é utilizado um Modelo de Decisão de Investimentos²⁴, cujo objetivo é prover uma carteira de custo mínimo (construção e operação) com base na otimização dos projetos que são passíveis de expansão e/ou de construção no horizonte do PDE. Condições exógenas ao modelo, como, por exemplo, diretrizes de política energética, podem ser inseridas como condições de contorno no processo. A matriz ótima é também submetida a outras análises que incorporam restrições não contempladas pelo Modelo de Decisão de Investimento. Após os devidos ajustes, o plano de expansão de oferta é submetido para apreciação pelas instâncias decisórias da política energética (Figura 6).

Nesse processo, ressalta-se, o PDE 2026 trouxe inovações importantes, fornecendo não um, mas vários cenários de expansão que, por sua vez, consideram incertezas e diferentes

²³ Ao final de 2018 foi lançado o PDE 2027. No entanto, este trabalho já estava em sua revisão final, motivo pelo qual não foi possível realizar as simulações para esta última versão do plano.

²⁴ A descrição aqui apresentada é simplificada. Maiores detalhes a respeito do Modelo de Decisão de Investimentos podem ser obtidos em: http://epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-40/topico-67/NT%20DEE%20028_17.pdf

restrições ambientais e energéticas. São apresentadas, por exemplo, alternativas que contemplam situações como a exclusão de novas Usinas Hidrelétricas no plano de expansão e a redução nos custos de investimento para a fonte solar. Ademais, também foi apresentado um cenário ótimo que não inclui diretrizes políticas.

Figura 6. Processo de elaboração dos planos de expansão no PDE 2026.

Fonte: elaboração própria com base em EPE (2017).

4.1.2. Premissas econômicas e cenários de expansão da oferta de eletricidade

Os cenários, que no PDE 2026 também são denominados “Casos”, foram desenvolvidos com base em premissas demográficas e econômicas. O Plano considera que a população brasileira irá continuar crescendo, todavia a taxas decrescentes. Durante o período 2017-2026 é esperado um crescimento médio de 0,6% ao ano, o que corresponde ao incremento de aproximadamente 13 milhões de habitantes no período. Regionalmente, as estimativas são de que nas regiões Norte e Nordeste a população cresça a taxas mais elevadas do que nas demais, porém não o suficiente para causar mudanças substanciais na distribuição demográfica brasileira (EPE, 2017).

Na economia, o PDE 2026 assume que o Produto Interno Bruto mundial irá crescer a uma taxa média de 3,8% ao ano, enquanto que o comércio internacional 4,0%. Por outro lado,

devido às suas condições econômicas e políticas, o Brasil deve experimentar um desempenho aquém do internacional. Para o período 2017-2026, assume-se que a PIB brasileiro irá crescer a uma taxa média anual de 2,5%, sendo que ao final do período essa taxa chega a alcançar os 3,0% a.a.²⁵.

A demanda por eletricidade, por sua vez, é associada a tais premissas. Estima-se que no cenário de referência o consumo de eletricidade cresça a taxas médias de 3,7% ao ano. Pelo lado da oferta, o PDE 2026 contém um cenário de referência e sete cenários alternativos, nos quais são considerados diferentes graus de incertezas em variáveis importantes para o planejamento. Contudo, no documento só há informações detalhadas por tipo de geração para seis destes, delimitando, a priori, a análise para esses casos²⁶.

Dentre os cenários do PDE 2026 com informações detalhadas disponíveis, optou-se por restringir o estudo a quatro casos: i) Caso 1 – cenário de referência; ii) Caso 4 – cenário com redução no custo da fonte solar; iii) Caso 5 – cenário que não contempla novas hidrelétricas; e iv) Caso 8 – cenário de expansão dirigida, que é o cenário com a menor intervenção governamental possível.

A escolha foi balizada pelo fato desses cenários compartilharem as mesmas premissas econômicas e restrições exógenas no planejamento (Figura 7). Portanto, são diretamente comparáveis. Ademais, esses cenários contêm aspectos relevantes das políticas energética e ambiental, tais como a escassez hidrológica e o crescimento acentuado de fontes alternativas. Inclusive, o Caso 8 contempla uma expansão sem interferência de políticas energéticas, sendo as ações governamentais adotadas no cenário somente as imprescindíveis para tornar a expansão de menor custo exequível.

A expansão da capacidade instalada, em todos os casos, consiste dos projetos já contratados²⁷, que basicamente suprem o adicional de oferta até 2020, e de novos projetos elencados para o período 2020-2026. Para este intervalo, os empreendimentos (e fontes) podem ser diferentes entre os cenários, sendo o *mix* definido de acordo com as diretrizes de políticas consideradas para cada caso (Figura 7). Desse modo, as distinções entre os cenários são relativas somente à expansão planejada (ainda não contratada).

²⁵ O PDE 2026 também apresenta um cenário sob condições otimistas. Nesse caso, o crescimento anual médio do PIB é de 3.2%. Porém, esse caso não é analisado neste trabalho.

²⁶ Os cenários para os quais não há projeção detalhada são: i) Caso 3, construído sob incertezas na demanda; e ii) Caso 6, que considera restrição hidrológica no subsistema Nordeste..

²⁷ Os projetos contratados são predominantemente hidroelétricos, eólicos e térmicos. Para uma descrição detalhada, consultar EPE (2017).

Figura 7. Premissas gerais e de políticas para cenários selecionados do PDE 2026

Fonte: elaboração própria com base em EPE (2017).

Para cada um dos cenários, o PDE 2026 detalha a expansão por fonte, ano de entrada em operação e localização macrorregional (Tabela 6). Ressalta-se que, mesmo concebida para atender a mesma demanda, a capacidade instalada pode ser distinta entre os cenários devido às especificidades das fontes que compõe cada matriz planejada, tais como intermitência,

sazonalidade, fator de capacidade, etc. Consequentemente, o volume de investimento estimado também é particular a cada caso (Tabela 6).

Tabela 6. Expansão planejada (MW) para 2020-2026 nos cenários selecionados do PDE 2026

	Caso 1	Caso 4	Caso 5	Caso 8
Hidrelétrica	2.631	2.631	-	2.631
PCH e CGH	1.500	1.500	1.500	1.500
Biomassa	2.804	2.804	2.804	2.804
Biomassa Florestal	400	400	400	400
Eólica (Sul)	2.365	2.006	2.187	2.790
Eólica (Nordeste)	9.460	8.024	8.749	11.159
Fotovoltaica	7.000	10.508	7.000	6.000
Gás Natural ¹ (Sudeste)	112	-	995	83
Gás Natural ¹ (Sul)	1.054	1.198	-	1.459
Gás Natural ¹ (Nordeste)	1.500	1.500	1.500	-
Alternativa de Ponta ² (Sul)	3.070	4.049	368	4.181
Alternativa de Ponta ² (Nordeste)	184	1.436	-	939
Alternativa de Ponta ² (Sudeste)	8.944	7.117	12.457	7.686
Carvão Nacional	-	-	2.000	-
TOTAL (MW)	41.024	43.173	39.960	41.633
Investimento estimado (R\$ milhões)	174.480	180.853	167.468	179.227

Fonte: EPE (2017).

¹ Para essas usinas foi adotado o gás natural do tipo ciclo combinado.

² Alternativa de ponta refere-se as fontes e/ou instalações que estão sendo consideradas para atender a demanda nos horários de maior utilização. Seguindo a NT DEA 015/17, assume-se usinas a gás natural como alternativas de ponta.

4.2. Estratégia de Simulação

4.2.1. Cálculo dos choques

O PDE 2026 apresenta os planos de expansão para os diversos cenários a nível macrorregional, não fornecendo maiores detalhes sobre a localização dos empreendimentos. Dessa forma, foi necessário estipular critérios para distribuir os investimentos previstos no PDE 2026 entre as 27 regiões (UFs) do TERM-BR10, que após a agregação são resumidas a 11 regiões.

Para delimitar a localização dos projetos já contratados utilizou-se o WEBMAP²⁸, disponibilizado pela EPE. Essa ferramenta apresenta informações detalhadas sobre a capacidade instalada (MW), a localização (UF) e o ano de início da operação. Com base nesses dados, regionalizou-se a expansão dos empreendimentos já contratados, detalhando-os anualmente. Já para a expansão planejada, foi utilizada como base o relatório técnico NT

²⁸ <https://gisepeprd.epe.gov.br/webmapepe/>

DEA 015/17, publicado pela EPE juntamente com o PDE 2026. O relatório é dedicado a análise socioambiental do PDE 2026 e contém informações sobre a localização das usinas hidrelétricas, nucleares e das usinas térmicas a gás e a carvão. Também são tecidas considerações para a expansão das fontes eólica, solar e biomassa. Para estes casos, particularmente, também foram considerados os resultados dos últimos leilões de venda promovidos pela ANEEL. Os percentuais utilizados para distribuir os investimentos do PDE 2026 entre as regiões do TERM-BR10 são apresentados na Tabela 17, no Apêndice.

O resultado desse processo é uma matriz de expansão da capacidade instalada (projetos contratados + planejados) prevista em cada cenário do PDE 2026 ano a ano, desagregada por fontes de geração para cada cenário e com o detalhamento regional do TERM-BR10 para o período 2017-2026. Assumindo a capacidade instalada de 2016 como ano base, é possível, então, calcular para cada uma das regiões e/ou cada tipo de geração as taxas de crescimento (linear, ano a ano, geométrica, etc.) da capacidade instalada correspondentes à expansão prevista em cada cenário do PDE 2026. Para efeito de simulação, foi assumida uma expansão linear, isto é, o mesmo montante de MW é adicionado a cada ano de modo que ao final do período alcança-se a capacidade instalada prevista pelo PDE 2026.

O cálculo dos choques para a simulação foi realizado da seguinte forma:

- i) aplicou-se ao estoque de capital das indústrias de geração de eletricidade do TERM-BR10 as variações correspondentes no PDE 2026. Ou seja, foi atribuído ao estoque de capital do modelo o crescimento (ou decrescimento, no caso da geração a diesel e a óleo) da capacidade instalada prevista no Plano Decenal;
- ii) calculou-se qual o investimento necessário para essa nova trajetória do estoque de capital, com base na relação descrita na Equação (1).

As variações percentuais do investimento em relação ao ano precedente são, então, os choques para analisar os efeitos da política. Assume-se 1 ano como o período de gestação do investimento²⁹. Portanto, para simular a expansão do estoque de capital nos anos do PDE (2017-2026) os choques no investimento foram realizados no intervalo 2016-2025. Por fim, para cada um dos cenários tem-se uma matriz de três dimensões para os choques (setores de

²⁹ A priori, uma usina hidrelétrica levaria cerca de 4 ou 5 anos em fase de construção (investimento) antes de se tornar um ativo disponível para a operação (estoque de capital). Mas, as usinas eólicas, solares, biomassa e gás têm fase construção em torno de 1 ou 2 anos. Então, para um plano de investimentos diluído em 10 anos e com toda a diversidade de fontes aqui contemplada, seria indiferente assumir um período de gestação distinto somente para as UHEs. Assim, por efeito de simplificação, foi consideração 1 ano para todos os setores.

geração x regiões x anos). O tamanho mínimo que esses dados poderiam ser expostos em duas dimensões resultaria em pelo menos 36 tabelas, motivo pelo qual essas informações não constam no Apêndice, mas podem ser obtidas mediante solicitação ao autor.

4.2.2. Definição da linha de base e dos cenários de política

O objetivo central deste trabalho é a avaliação dos impactos econômicos e regionais dos investimentos em geração de eletricidade propostos nos cenários do PDE 2026. Para tanto, foi estabelecida uma linha de base, descrevendo o que seria uma trajetória “natural” da economia e da oferta de eletricidade, e cenários alternativos ou de políticas que incorporam as diretrizes governamentais para a matriz elétrica. Os desvios dos resultados dos cenários alternativos em relação aos da linha de base são, então, interpretados como os efeitos das diretrizes políticas.

A simulação consiste de três etapas. Na primeira é realizada a atualização da base de dados de 2010 até o ano de 2015, com base na evolução dos agregados macroeconômicos. A segunda etapa corresponde ao período de investimento do PDE (2016-2025), ao passo que a terceira etapa da simulação diz respeito aos anos 2026-2035, que seria uma extensão do período do PDE com o intuito de captar os desdobramentos (*spread out effects*) dos investimentos na economia.

Em uma simulação dinâmica e, sobretudo, de longo prazo, como é o caso aqui desenvolvido, a trajetória do sistema econômico é influenciada, e em boa medida determinada, pela evolução dos fatores primários (disponibilidade de fatores) e progresso tecnológico (produtividade). O TERM-BR10, conforme já apresentado, tem três fatores primários – trabalho, capital e terra – para os quais se assumem as seguintes trajetórias:

- i) A oferta de mão-de-obra segue as projeções regionais da força de trabalho³⁰. No entanto, o trabalho pode movimentar-se entre as regiões de acordo com os salários relativos.
- ii) O capital é determinado endogenamente e a sua evolução está associada ao investimento, descontando-se a depreciação. O investimento setorial, por sua vez, é positivamente relacionado com a taxa de retorno (Horridge, 2002). A exceção é o investimento nos setores de geração de eletricidade que está sendo controlado para efeito de simulação.

³⁰ Considera-se como força de trabalho a população na faixa etária de 15 aos 64 anos. As projeções têm como base os dados oficiais publicados pelo IBGE.

- iii) A terra é majoritariamente utilizada pelos setores agrícolas e pecuária, mas mineração, petróleo, gás natural e a geração hidráulica usam pequenas quantidades desse fator. Para o período 2016-2035, considera-se que a área agrícola em cada região irá se expandir a uma taxa uniforme, sendo aproximadamente $\frac{1}{4}$ da taxa de crescimento observada nos últimos cinco anos (2010-2015). As exceções cabem a região RestNO, para a qual não é considerada expansão de área agrícola, e ao setor de Cana-de-açúcar para o qual não se permite incremento de área nos estados das regiões Sul e Sudeste. Ademais, não é considerada expansão do fator terra para a pecuária e não há competição pela fator terra entre os setores.

Para o progresso tecnológico, assume-se um crescimento médio anual de 2% para a produtividade da terra em todos os setores, inclusive a pecuária, e de 0,5% para o setor de Transmissão e Distribuição. Neste caso, o incremento da produtividade tem a mesma interpretação que a redução das “perdas totais” do SIN, para a qual o PDE 2026 planeja redução de 19,6%, perdas registradas em 2016, para 18,7% em 2026. O incremento de 0,5% ao ano na produtividade da T&D é então uma equivalência aproximada dessa meta.

No lado da demanda, considera-se para as exportações (quantidade) um crescimento anual de 2,5%, ao passo que para o PIB são adotadas as taxas previstas pelo PDE para o período 2017-2026 e um crescimento médio de 3,0% ao ano para o intervalo 2027-2035. Os gastos do governo seguem o consumo das famílias, que por sua vez são determinados endogenamente no modelo.

Conforme discutido anteriormente, a linha de base da simulação visa retratar o que seria uma trajetória natural da economia. Assim, para as características econômicas desse cenário foram assumidas as premissas acima descritas e para a expansão do setor elétrico foi assumida a evolução da capacidade instalada do Caso 8 (expansão dirigida), que o PDE 2026 considera ser o cenário exequível com a menor interferência governamental e, portanto, aderente aos propósitos de uma linha de base. Já os cenários alternativos ou de política são definidos pelas mesmas características econômicas da linha de base, mas com a trajetória dos setores de geração de eletricidade sendo aquelas descritas no Caso 1 (cenário de referência), no Caso 4 (redução no custo da energia solar) e no Caso 5 (sem novas UHE), conforme sintetizado na Tabela 7.

Tabela 7. Equivalência entre os cenários de simulação e as trajetórias de expansão da capacidade instalada no PDE 2026

Cenário de Simulação	Trajетória da capacidade instalada (PDE 2026)
Linha de Base (<i>bussiness as usual</i>)	Caso 8 – cenário de expansão dirigida
Cenários Alternativos e/ou de política	
Cenário 1 – referência	Caso 1 – cenário de referência
Cenário 4 – redução do custo de energia solar	Caso 4 – redução no custo da fonte solar
Cenário 5 – sem grandes hidrelétricas	Caso 5 – sem novas hidrelétricas

Fonte: elaboração própria.

Nota: as premissas econômicas são iguais para todos os cenários de simulação.

4.2.3. Fechamento do Modelo

É comum os modelos de equilíbrio geral terem mais incógnitas do que equações, de forma que para solucionar o modelo é preciso exogenizar algumas variáveis. A determinação de quais variáveis são endógenas e quais são exógenas é que se denomina de fechamento do modelo (*closure*). Essa escolha, contudo, é orientada pela teoria econômica e pelo caráter analítico que se deseja atribuir ao modelo, tal como o horizonte de análise (curto ou longo prazo).

Em geral, como curto prazo assume-se um ambiente econômico que tenha uma dotação fixa de fatores, como o capital e a terra, e alguma rigidez associada às preferências, produtividade e contratos, como por exemplo, salários. No longo prazo, por outro lado, é usual considerar a possibilidade de expansão dos fatores e mudanças em parâmetros de eficiência tecnológica, mas taxas de retorno ao capital, por exemplo, seriam exógenas. Não há, no entanto, um único ou correto fechamento, ficando a cargo do modelador defini-lo conforme a abordagem empregada na análise de cada problema. Tampouco há uma definição exata do que seria curto e longo prazo. Segundo Horridge (2000), há evidências econométricas de que o equilíbrio de curto prazo seria alcançado em cerca de 2 anos, enquanto que experimentos de longo prazo que envolvem ajustes no estoque de capital levariam 10 ou 20 anos. Salienta-se, que apenas o fechamento e a interpretação dos resultados guardam conexão com o horizonte temporal. O modelo, por si só, é atemporal (Horridge, 2000).

Para a análise aqui desempenhada, partiu-se de um fechamento de longo prazo, em que as principais variáveis exógenas seguiriam a trajetória apresentada na seção anterior. Contudo, aqui há uma hipótese adicional que faz com o que o fechamento do modelo se distinga dos fechamentos de longo prazo tradicionais: assume-se que os investimentos

previstos pelo PDE 2026 são financiados com poupança externa, o que implica que a balança comercial como proporção do PIB é determinada endogenamente.

A priori, há outras opções para financiar o plano de investimentos, tais como poupança doméstica e/ou aumento de tributos. O primeiro caso implicaria redução do consumo, o que no caso brasileiro seria improvável haja vista a recessão econômica dos últimos anos. Além disso, historicamente o Brasil tem uma baixa propensão a poupar³¹. Já o aumento de tributos seria um mecanismo de difícil implementação, pois: i) o país já tem uma carga tributária relativamente elevada, aproximadamente 32,7% do PIB em 2017 segundo dados da Receita Federal do Brasil; e ii) para um financiamento com neutralidade tributária, seria necessário tributar setores específicos em prol de outros, o que geraria distorções econômicas. Mesmo considerando impostos adicionais sobre as gerações fósseis, tal como diesel, óleo e carvão, essa alternativa seria difícil, dado que o valor adicionado desses setores (base tributária) é pequeno em relação ao montante de recursos previstos no PDE. Ademais, o próprio plano já considera a perda de participação relativa das fontes fósseis na capacidade instalada durante o horizonte de planejamento, não fazendo sentido tributar setores que estão em gradual extinção.

O financiamento externo, em contraste, é uma opção factível. Com efeito, devido a austeridade fiscal que o país tem vivenciado, os projetos de infraestrutura têm sido majoritariamente conduzidos via concessões. No setor elétrico, o investimento estrangeiro tem capitaneado esse processo, tendo sido responsável por mais de 75% do investimento total no segmento³². Não obstante, a hipótese do financiamento via poupança externa pode ter rebatimentos em variáveis importantes, tal como apreciação cambial e seus subsequentes efeitos sobre a economia.

4.2.4. Método de Solução

Para a solução do modelo foi utilizado o GEMPACK (*General Equilibrium PACKage*). O GEMPACK é uma suíte de programas especializada em modelos EGC e possui

³¹ Os dados do IBGE evidenciam uma taxa média de poupança interna de aproximadamente 16% do PIB para o período 2012-2016. Taxa esta inferior a taxa de investimento média do período, cerca de 19% do PIB.

³² De acordo com os dados do Banco Central do Brasil, em 2017, o investimento estrangeiro em capital no setor de elétrico correspondeu a aproximadamente 75% do total (desembolsos do BNDES + investimento estrangeiro em capital).

ferramentas para manipulação de dados, edição de textos, visualização gráfica e resolução de simulações estáticas e dinâmicas, entre outros softwares³³.

Seguindo a tradição australiana de modelagem EGC, o TERM-BR10, apesar de ser composto por funções lineares e não-lineares, é linearizado para sua escrita e resolução. Dessa forma, os resultados obtidos são variações percentuais, mas, sendo também possível obter os valores em níveis. O modelo é escrito no programa Tabmate usando a linguagem TABLO. O GEMPACK transforma o texto em linguagem de máquina e procede com a sua resolução.

Para as simulações deste trabalho, o TERM-BR10 foi compilado num sistema de aproximadamente 405 mil equações, as quais, após a condensação³⁴, foram reduzidas para cerca de 34,4 mil equações. O RunDynam, software do GEMPACK específico para simulações dinâmicas, foi utilizado para a resolução do modelo. O método de solução empregado foi Euler com 48 *steps*, com exceção dos anos iniciais e finais do período de investimento, para os quais foi adotado 500 *steps* em virtude dos valores elevados para os choques.

³³ Ver <https://www.copsmodels.com/gempack.htm>

³⁴ Condensação é o procedimento de redução do número de equações em um sistema linear, que pode ser realizado através da substituição de variáveis por suas equações determinantes e/ou pela omissão de variáveis exógenas e que não são alvos de choque na simulação. Para detalhes matemáticos e formas de implementação da condensação no GEMPACK, ver Harrison et al. (2014).

5. RESULTADOS

5.1. Agregados macroeconômicos e produção setorial

Os resultados obtidos mostram que os três cenários alternativos de expansão da capacidade instalada (Caso 1, Caso 4 e Caso 5 do PDE 2026) apresentam desvios positivos em relação à linha de base (Caso 8 do PDE 2026) nos agregados macroeconômicos, evidenciando que as diretrizes de políticas energéticas, a priori, resultam em benefícios econômicos. A exceção coube às exportações, cuja variação acumulada em relação ao cenário base foi negativa. Contudo, esse resultado é uma consequência do fechamento adotado, no qual se assumiu a hipótese de que o plano de investimentos do PDE 2026 seria financiado com poupança externa, o que implicou apreciação cambial. Os resultados também confirmam as inter-relações entre o estoque de capital e o investimento e entre o consumo das famílias e o Produto Interno Bruto (Tabela 8).

Tabela 8. Agregados macroeconômicos: desvio acumulado (%) em relação à linha de base, no período 2016-2035

	PIB	Consumo das Famílias	Investimento	Estoque de Capital	Exportações	Taxa de Câmbio
Cenário 1 (Referência)	0,12	0,14	0,40	0,27	-0,82	-0,24
Cenário 4 (Solar)	0,45	0,52	1,43	1,11	-2,58	-0,90
Cenário 5 (sem UHE)	0,07	0,09	0,24	0,18	-0,47	-0,12

Fonte: resultados da pesquisa. Elaboração própria.

No cenário de referência, aquele mais próximo à linha de base, o PIB apresentou uma variação positiva acumulada de 0,12%, em decorrência dos maiores investimentos na energia solar e nas usinas a gás natural. O Cenário 4, intensivo na fonte solar e que detém o maior volume de recursos estimado pelo PDE 2026, foi o cenário que registrou os maiores impactos: 0,45% para o PIB e 1,43% para o investimento agregado. Por sua vez, o cenário que não considera a construção de novas hidrelétricas, o Cenário 5, também apresentou desvio acumulado positivo (0,07% do PIB) mesmo tendo, em unidades monetárias estimadas pelo PDE 2026, menos recursos investidos do que o cenário da linha de base. O que também ocorre para o Cenário 1.

Esses resultados evidenciam que não há uma relação direta entre o total de recursos investidos (estimado fora do modelo) e o seu impacto na economia em termos de PIB, estoque de capital, entre outras variáveis macroeconômicas. Esses impactos são influenciados,

também, pelos desdobramentos que cada tipo de geração tem sobre a sua cadeia produtiva. Nesta simulação, em particular, o Cenário 5 (sem novas UHE) possui mais investimentos na energia solar e na geração térmica à carvão do que o cenário base. Essas tecnologias, por sua vez, tem um vetor de investimento mais concentrado em equipamentos e maquinários, enquanto que a indústria de hidroeletricidade é intensiva em construção (Tabela 14, em Apêndice). Os resultados obtidos pelo TERM-BR10, então, refletem o impacto econômico ao se considerar todas essas características e seus subsequentes efeitos.

A produção de eletricidade, por seu turno, aumenta ou diminui conforme as variações dos preços relativos e a expansão do estoque de capital (capacidade instalada)³⁵. Com efeito, os resultados estão aderentes a expansão planejada pelo PDE 2026. No Cenário 5, por exemplo, observa-se o aumento da produção de eletricidade a base de carvão (“GerTermoCarv”) e a redução da produção de hidroeletricidade (“GerHidro”), o que reflete as diferenças de capacidade instalada entre este cenário e a linha de base. No caso da geração de biomassa, em que a expansão da capacidade instalada é a mesma para todos os cenários, observa-se variações mínimas na produção dos setores de açúcar e etanol (Figura 8), sendo estas associadas a oscilações de preços. Em virtude desses desvios negativos na produção, o produto eletricidade de biomassa (“GerBagaco”) apresentou variação acumulada de -1,8% no cenário de referência.

³⁵ Ressalta-se que o modelo é calibrado para a matriz de insumo-produto 2010 e a sua base de dados, incluindo a produção setorial e capacidade instalada, representada em unidades monetárias. Os resultados, portanto, são variações percentuais desses valores e não de unidades ou medidas físicas.

Figura 8. Produção das indústrias de geração de eletricidade: desvio acumulado (%) em relação à linha de base, no período 2016-2035

Fonte: elaboração própria com base nos resultados da pesquisa.

Por outro lado, o setor de geração fotovoltaica (“GerFotovolt”) registrou aumento em todos os cenários, ao passo que a produção de energia eólica sofreu redução. Resultado este também aderente as matrizes elétricas planejadas, em que a maior inserção da fonte solar implica menor participação da eólica devido aos seus atributos energéticos serem similares. O Cenário 4, obviamente, foi aquele em que o setor fotovoltaico apresentou maior aumento (47,4%).

As demais indústrias também tiveram seu desempenho afetado em decorrência dos investimentos nos setores de geração elétrica e suas subsequentes variações na produção. No cenário de referência, o setor de gás natural registrou desvio acumulado de 0,82%, em resposta ao aumento da geração térmica com base nesse insumo. Essa variação foi de 1,15% no Cenário 5, no qual também se observou maior produção e capacidade instalada de geração térmica a gás em relação ao Cenário base.

De outra forma, no Cenário 4 foi o setor de eletrônicos que se destacou, crescendo 1,15% e refletindo o maior investimento na geração fotovoltaica, enquanto que a indústria de gás natural teve a produção reduzida em 1,45% neste cenário (Tabela 9). Outro resultado a ser destacado é o do setor de Serviços de Pesquisa e Desenvolvimento (“SevPesqDesn”), cujo desempenho é melhor no Cenário 4, evidenciando a maior conexão desse tipo de serviço especializado com as fontes alternativas do que com as tradicionais. As indústrias diretamente relacionadas aos outros tipos de geração, tal como a de Óleo Combustível e a de Cana-de-

açúcar, por outro lado, registraram declínio nos três cenários analisados. Portanto, em consonância com a produção de eletricidade derivada desses insumos.

Ainda na análise setorial, cabe destaque a construção civil. Esse setor, cuja utilização é intensiva por parte do investimento em geração hidrelétrica, registrou crescimento nos três cenários, inclusive no Cenário 5 (sem novas UHE). Nesse caso em específico, vale analisar que para suprir a ausência de novas UHE no planejamento foram inseridas usinas térmicas a carvão e, além disso, as Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs) permaneceram na expansão. Essa nova matriz de investimentos resultou em crescimento do PIB (Tabela 7). O resultado do setor de construção é então o efeito líquido da mudança no perfil do investimento e da variação no nível de atividade econômica.

Tabela 9. Produção setorial: desvio acumulado (%) em relação à linha de base, no período 2016-2035

	Cenário 1 (referência)	Cenário 4 (solar)	Cenário 5 (sem novas UHE)
1 Agricultura	-0,11	-0,25	-0,05
2 CanaDeAcucar	-0,18	-0,41	-0,16
3 Pecuaria	0,92	4,07	0,48
4 PescaAcq	-0,23	-0,92	-0,12
5 Mineracao	-0,29	-1,04	-0,10
6 GasNat	0,82	-1,45	1,21
7 Petro	-0,13	-0,37	-0,14
8 CarnesPeixes	-0,21	-0,60	-0,03
9 Laticinios	0,02	0,18	0,04
10 Acucar	-0,57	-1,37	-0,48
11 AlimentBebid	-0,03	-0,01	0,00
12 TextilCouro	0,02	0,09	0,02
13 MadCelulose	-0,02	0,00	0,01
14 OutCombust	0,05	0,23	0,00
15 OleoComb	-0,35	-1,06	-0,26
16 DieselBiodis	-0,05	-0,07	-0,03
17 EtanolCombust	-0,02	0,00	-0,04
18 Quimicos	0,01	0,11	0,00
19 OutManuf	0,05	0,15	0,03
20 Metalurgia	0,03	0,12	0,02
21 Eletronicos	0,26	1,15	0,21
22 Automoveis	0,07	0,33	0,05
23 MaqExtConst	-0,27	-1,19	-0,20
24 Gas	0,06	0,50	0,11
25 GerTermoOut	-0,23	-0,42	-0,27
26 GerEolica	-6,81	-13,49	-9,61
27 GerDiesOil	-1,34	-6,64	0,17
28 GerTermoCarv	-0,56	-3,96	36,00
29 GerTermoGas	3,49	-2,17	9,20
30 GerHidro	-0,07	-0,10	-2,65
31 GerFotovolt	8,19	47,04	8,11
32 TeDEletric	1,01	2,88	1,10
33 AguaEsgRes	0,14	0,52	0,09
34 Construcão	0,28	0,84	0,17
35 Comercio	0,09	0,39	0,07
36 Transporte	-0,13	-0,34	-0,08
37 Servicos	0,08	0,31	0,05
38 SevPesqDesn	0,23	0,91	0,20
39 SevArquiEng	-0,04	0,02	-0,05

Fonte: elaboração própria com base nos resultados da pesquisa.

Regionalmente, as diferenças entre os cenários são ainda mais nítidas. No Cenário de Referência (Caso 1), verifica-se que as regiões à Nordeste do país, como Maranhão, Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte e Paraíba, são as que registraram os maiores ganhos em termos de PIB,

com variações acumuladas de 1,62%, 1,77% e 2,15%, respectivamente. De fato, essas regiões, em conjunto com a BahiaSE, são aquelas em que há a maior expansão da capacidade instalada, sobretudo nas fontes alternativas. Quando comparado à linha de base (Caso 8), essas regiões possuem mais investimento em energia solar e na geração térmica a gás natural, compensando a menor expansão da geração eólica no cenário de referência. Os resultados, portanto, retratam que a mudança no perfil da expansão gerou ganhos econômicos à região. De outra forma, as regiões ao Sul do país, RestSul e RGSul, foram as que acumularam os menores desvios em relação ao cenário base, 0,11% e 0,06%, respectivamente, expondo a baixa sensibilidade dessa região as políticas incorporadas pelo cenário de referência.

Porém, no Cenário 5 (sem novas UHEs), a região Sul do país registrou declínio no PIB: RestSul (-0,17%) e RGSul (-0,15%). Esse resultado, em boa medida, reflete a ausência dos investimentos em usinas hidrelétricas no estado do Paraná e no Rio Grande do Sul, que estavam previstas na linha de base, mas não são contempladas no Cenário 5. O resultado também evidencia, para o caso da região RGSul, que a expansão da geração térmica à carvão prevista no Cenário 5 não foi suficiente para evitar perdas econômicas ao estado. A região RestNO também registrou perdas econômicas da ordem de 0,19% do PIB em decorrência da UHE Tabajara não ser incluída na expansão do Cenário 5. Já o Pará não acumulou desvio negativo em relação à base, sobretudo, por a usina de Belo Monte³⁶ já ter sido contratada e, portanto, está contemplada em todos os cenários de planejamento.

Em relação as demais regiões, observou-se desvios de baixa magnitude em relação à base, com exceção daquelas que compõem o Nordeste brasileiro. Para estas, verifica-se no Cenário 5 investimentos na geração a gás natural e uma redução da expansão da geração eólica associada ao aumento da fotovoltaica, sendo o efeito líquido positivo para MaranPiaui (0,29%), CearaRGNorte (0,35%) e PEparaibAL (0,47%), e praticamente neutro na BahiaSE, região que é destino da maior parte da expansão eólica e, portanto, foi mais sensível a redução da expansão desta fonte nesse cenário em relação à linha de base.

No Cenário 4, em que há um crescimento substancial da geração fotovoltaica, o Nordeste brasileiro é o maior beneficiado, mesmo levando-se em conta a redução na expansão da geração eólica deste cenário. O destaque cabe as regiões PEparaibAL (2,15%), CearaRGNorte (1,77%) e MaranPiaui (1,62%), cuja variações acumuladas no PIB foram

³⁶ A Usina Hidrelétrica Belo Monte está instalada no rio Xingu, no estado do Pará. Com capacidade instalada de 11.233,1 MW e quantidade média de geração de energia de 4.571 MW, Belo Monte é a maior hidrelétrica 100% brasileira (a usina de Itaipu é Binacional). Em junho de 2018, a Usina já estava com mais de 90% da sua construção concluída, de acordo com informações da Norte Energia S.A.

superiores a 1,50%. O RestNO, a BahiaSE e o CentroOest também apresentaram crescimento expressivo (Figura 9).

No que diz respeito aos demais agregados macroeconômicos, verificou-se que o consumo das famílias, o investimento e o estoque de capital oscilaram em consonância com o PIB em todas as regiões. O destaque analítico, nesse caso, coube a região CearaRGNorte que registrou a maior elevação no investimento mesmo não tendo registrado o maior desvio acumulado no PIB. Isso se explica devido a composição regional do investimento, que será discutida mais adiante neste texto, e ao fato de que o preço do investimento nessa região acumulou desvio relativamente maior do que nas demais. A quedas nas exportações do CearaRGNorte (-6,52%) foi a mais acentuada entre as regiões (Tabela 18, no Apêndice). A propósito, todas as regiões em todos os cenários registraram queda acumulada nas exportações em razão da hipótese adotada no fechamento do modelo.

Figura 9. PIB regional: desvio acumulado (%) em relação à linha de base, no período 2016-2035

Fonte: elaboração própria com base nos resultados da pesquisa.

No que tange à produção de eletricidade a nível regional, os resultados mostram-se aderentes ao perfil de expansão da capacidade instalada. No Cenário 5, por exemplo, as regiões ao Sul do país apresentaram elevação substancial na geração de eletricidade à base de carvão na comparação com a linha de base, desvio que foi acompanhado por uma redução da geração a gás e das hidrelétricas. A geração eólica, por sua vez, registrou queda na produção em todas as regiões para os três casos analisados, refletindo o controle exercido sobre sua expansão nas diretrizes dos cenários de política. A aderência à expansão da capacidade

instalada também foi verificada para a geração fotovoltaica, que cresceu em todos os cenários nas regiões nordestinas, e para a geração a gás, cujo crescimento está associado a uma usina adicional na região Nordeste e aos investimentos nesta fonte como alternativa de ponta na região Sudeste. Os resultados detalhados podem ser observados na Tabela 19, no Apêndice.

Regionalmente, os demais setores também apresentaram comportamento aderente ao perfil da expansão do parque de geração elétrica. A indústria de gás natural registrou desvio acumulado positivo no Cenário 1 para todas as regiões, da mesma forma que o setor de eletrônicos, cuja crescimento no Cenário 4 deu-se em todas as localidades. O segmento de Construção, por sua vez, teve seu desempenho atrelado tanto às variações do PIB quanto do investimento regional. Desse modo, acumulou desvio negativo nas regiões RestNO (-0,20%), RestSul (-0,64%) e RGSul (-0,47%) no Cenário 5, conforme apresentado na Tabela 20, no Apêndice.

Ainda no nível setorial, observa-se resultado peculiar para a Pecuária, que mesmo não estando diretamente associada aos setores de geração, acumulou desvios positivos na sua produção nacional (4,07%) e regional. Esse setor, em particular, tem o seu único produto, a pecuária, usado principalmente pelos segmentos de CarnePeixes (45,3%) e Laticínios (17,5%), e pelo consumo familiar (14,3%) e investimento (11,9%). Contudo, essas participações divergem de sobremaneira entre as regiões, chegando ao investimento a responder por 36,4% e 33,7% o uso desse produto no CearaRGNorte e CentroOeste, respectivamente, enquanto que na região Sul a maior parte da pecuária é utilizada pelo setor de CarnePeixes: RestSul (78,0%) e RGSul (50,5%). Por sua vez, a *commodity* CarnePeixes, que mais utiliza o produto da Pecuária, tem mais de 60% de sua demanda atribuída ao consumo familiar, sendo que nas localidades das regiões Norte e Nordeste esse percentual é superior a 80% e na região RestSul é de 31%, em virtude da elevada parcela de exportação (56%)

Assim, o resultado peculiar do setor pecuarista é explicado por: i) pelo aumento do consumo familiar que impulsiona a demanda por CarnePeixes e, conseqüentemente, pelo produto da Pecuária; e ii) pelo aumento do investimento que, por conseguinte, eleva a demanda sobre a pecuária como bem de investimento. As diferenças na composição regional tanto do consumo quanto do investimento explicam, então, as variações distintas apresentadas pelo segmento da Pecuária entre as regiões (Tabela 20 no Apêndice).

5.2. Emprego e impactos distributivos

Apesar das variações no crescimento econômico serem distintas entre os cenários de política e a linha de base, o emprego agregado não registrou desvios significativos, pois as projeções de população e força de trabalho são as mesmas para todos os cenários. No entanto, a nível regional observaram-se diferenças relevantes. As regiões localizadas no Nordeste do país foram aquelas em que houve aumento no nível de emprego, ao passo que as regiões do Sul e Sudeste do país registraram até variações negativas, sendo esses resultados mais assertivos para o Cenário 4 (Figura 10).

Figura 10. Emprego regional: desvio acumulado (%) em relação à linha de base no período 2016-2035, por cenário de política

Fonte: elaboração própria com base nos resultados da pesquisa.

Com efeito, esses resultados evidenciam que as variações observadas para o emprego estão diretamente relacionadas ao desempenho do PIB regional. No Cenário 4, por exemplo, o crescimento econômico relativamente superior das regiões nordestinas refletiu-se nitidamente no mercado de trabalho, inclusive com a migração de mão-de-obra por parte de áreas economicamente mais expressivas, como o estado de São Paulo. Já no Cenário 5, a região RestNO apresentou queda no nível de emprego, em decorrência das restrições energéticas a que a região está sujeita. Para a trajetória do cenário de referência, os resultados também retrataram o movimento migratório, consolidando o deslocamento da mão-de-obra das regiões São Paulo, RestSul e Pará para RestNO, PEparaibAL, CearáRGNorte e Maranhão.

As variações registradas para o emprego são, em magnitude, relativamente menores do que as registradas pelas demais variáveis. No entanto, vale salientar que isso não significa que esses resultados sejam menos importantes. Pelo contrário, são relevantes. Para efeito de ilustração, em 2035 a força de trabalho na região CearaRGNorte é estimada em aproximadamente 9,34 milhões de pessoas. Considerando-se o Cenário 4, a variação acumulada de 0,07% representa 6.580 postos de trabalho. Ou seja, vagas adicionais derivadas das diferenças que o perfil de investimentos desse cenário tem em relação a linha de base. No caso da região PEparaibAL esse montante é de 9.941 postos.

Além disso, os resultados para o mercado de trabalho também apresentaram aderência com as variações no salário real, sendo as regiões com maior crescimento no emprego aquelas em que se verificaram os maiores incrementos na remuneração. E, no sentido contrário, as regiões em que se constatou perda de emprego foram aquelas em que os salários registraram baixo crescimento ou variações negativas (Tabela 10).

Tabela 10. Salário real: desvio acumulado (%) em relação à linha de base, no período 2016-2035, por região e cenário de política

	Cenário 1	Cenário 4	Cenário 5
RestNO	0,35	1,29	-0,05
Para	0,21	0,75	0,12
MaranPiaui	0,56	2,07	0,36
CearaRGNorte	0,67	2,75	0,51
PEparaibAL	0,64	2,35	0,52
BahiaSE	0,19	1,29	0,09
RestSE	0,18	0,48	0,25
SaoPaulo	0,12	0,38	0,09
RestSUL	0,05	0,24	-0,16
RGSul	0,02	0,12	-0,16
CentroOest	0,24	0,72	0,19

Fonte: elaboração própria com base nos resultados da pesquisa.

Quando observada sob a ótica da qualificação, dessas variações no mercado de trabalho emergem resultados interessantes. A variação no salário real foi relativamente superior para as classes de remuneração mais baixas, que representam o trabalhador com menor nível de instrução (Tabela 11). A priori, esse resultado contraria as mudanças no perfil do investimento, que privilegiam a inserção de mais fontes alternativas, cuja demanda por trabalho qualificado é mais elevada do que as fontes tradicionais. Contudo, vale ressaltar que as regiões que mais cresceram economicamente foram as situadas na região Nordeste, onde a maior parcela da mão-de-obra está nos níveis mais baixos de instrução e que também foram

estimulados em virtude dos efeitos multiplicadores dos investimentos. Logo, os resultados refletem essas características regionais.

Não obstante, as classes dos trabalhadores mais qualificados também registraram crescimento, refletindo a maior inserção das fontes alternativas, que é intensiva em mão-obra-qualificada, e do crescimento de setores mais especializados, tal como o eletrônico e de maquinário. Esses resultados são mais expressivos no Cenário 4 (Tabela 11).

Tabela 11. Salário real: desvio acumulado (%) em relação à linha de base, no período 2016-2035, por cenário de política e faixa salarial

	Cenário 1	Cenário 4	Cenário 5
OCC1	0,52	2,26	0,29
OCC2	0,27	1,03	0,17
OCC3	0,20	0,68	0,14
OCC4	0,16	0,49	0,12
OCC5	0,16	0,56	0,12
OCC6	0,17	0,60	0,11
OCC7	0,19	0,67	0,12
OCC8	0,17	0,62	0,11
OCC9	0,20	0,73	0,12
OCC10	0,19	0,65	0,13

Fonte: elaboração própria com base nos resultados da pesquisa.

Em razão tanto do crescimento regional quanto dos resultados para o mercado de trabalho, o consumo das famílias de baixa renda foi o que registrou o maior crescimento, em ambos os cenários (Figura 11). Observa-se, então, que os resultados evidenciam de forma nítida que as intervenções de políticas realizadas no âmbito do planejamento energético têm impactos econômicos e redistributivos relevantes.

Figura 11. Consumo das famílias: desvio acumulado (%) em relação à linha de base, no período 2016-2035, por categoria de renda e cenário de política

Fonte: elaboração própria com base nos resultados da pesquisa.

5.3. Análise de sensibilidade

Conforme já destacado, tal como em Chateau et al. (2014), foi adotado no TERM-BR10 o valor 5,0 para a elasticidade de substituição entre a eletricidade dos diversos tipos de geração, a SIGMAELEC. Contudo, não há consenso na literatura tampouco estimativas robustas sobre o valor desse parâmetro. Dado o papel central que essa elasticidade tem para a simulação deste trabalho, optou-se pela realização de uma análise de sensibilidade (*Systematic Sensitivity Analysis – SSA*) nos moldes propostos por Pearson e Arndt (1998).

A análise de sensibilidade (SSA) permite verificar o quão sensível são os resultados com relação a variações (incertezas) nos parâmetros do modelo ou nos choques realizados. Basicamente, o procedimento consiste na resolução do modelo para diferentes valores de parâmetros (a serem estipulados pelo modelador) e o posterior cômputo da média e desvio padrão desses resultados³⁷.

No caso deste trabalho, o procedimento foi aplicado para analisar a robustez dos resultados com relação ao parâmetro SIGMAELEC. Optou-se por variações ordinárias de 1,0 no valor da elasticidade e para todas as regiões simultaneamente. Logo, o modelo foi resolvido assumindo valores de 4,0, 5,0 e 6,0 para a elasticidade de substituição entre a

³⁷ Para maiores detalhes sobre os conceitos, as hipóteses e os métodos estatísticos e computacionais utilizados na análise de sensibilidade ver o documento *Systematic Sensitivity Analysis – Help*, que compõe a ajuda do software RunDynam.

eletricidade dos diversos tipos de geração. A análise de sensibilidade (SSA) foi realizada somente para o Cenário 4, que contém os maiores choques e os maiores desvios acumulados, assumindo-se uma distribuição triangular com quadratura Liu³⁸.

Com base na SSA, verifica-se a baixa variabilidade dos resultados com relação a mudanças no valor da SIGMAELEC, evidenciando a robustez do modelo. Para o Produto Interno Bruto, por exemplo, os resultados registraram variações desprezíveis face às mudanças no valor da elasticidade. Conforme ilustrado pela Figura 12, a trajetória do PIB pouco se distingue entre as simulações, o que significa que o resultado obtido no trabalho não varia significativamente, a despeito do valor utilizado para o parâmetro de substituição SIGMAELEC ser 4,0, 5,0 ou 6,0.

Figura 12. Análise de sensibilidade: desvio acumulado (%) do PIB real em relação à linha de base no período 2016-2035, no Cenário 4

Fonte: elaboração própria com base nos resultados da pesquisa.

As exportações, variável que se apresentou mais sensível, também não registrou oscilações relevantes o suficiente para afetar a interpretação dos resultados tampouco a confiabilidade no modelo, comportamento este igualmente verificado para as demais variáveis macroeconômicas (Tabela 12).

³⁸ O RunDynam também permite realizar a SSA utilizando uma distribuição uniforme e a quadratura Stroud. Para maiores detalhes e diferenças conceituais entre as distribuições e as quadraturas, ver *Systematic Sensitivity Analysis – Help*.

Tabela 12. Variáveis macroeconômicas: média e limite inferior e superior do desvio acumulado (%) em relação à linha de base no período 2016-2035, para Cenário 4 (análise de sensibilidade)

	Limite Inferior	Média	Limite Superior
PIB	0,444	0,447	0,450
Consumo das Famílias	0,495	0,508	0,521
Investimento	1,318	1,390	1,462
Estoque de Capital	1,090	1,094	1,098
Exportações	-2,711	-2,482	-2,253
Taxa de Câmbio	-0,772	-0,689	-0,606

Fonte: elaboração própria com base nos resultados da pesquisa.

No que tange a análise regional, os resultados também se mostraram robustos e com variações mínimas em relação a mudança de valor do SIGMAELEC. No entanto, em virtude da massiva quantidade de dados, o detalhamento desses resultados não é aqui reportado, mas pode ser obtido por meio de solicitação ao autor.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O trabalho realizou uma avaliação dos impactos econômicos e regionais dos investimentos em geração de energia elétrica, tomando como base os cenários de planejamento da expansão da capacidade instalada previstos no Plano Decenal de Expansão de Energia (PDE 2026). Para tanto, foi utilizado um modelo regional de equilíbrio geral computável, o TERM-BR10, que contém um módulo específico para as simulações com o setor elétrico.

Os cenários delineados no PDE 2026 caracterizam uma posição privilegiada para o país no que diz respeito a oferta de eletricidade: o Brasil pode atender as suas diretrizes de política energética e suas restrições naturais e, ao mesmo tempo, fornecer matrizes elétricas diversificadas, economicamente viáveis e compatíveis com os compromissos climáticos e ambientais do país.

Os resultados obtidos neste trabalho, por sua vez, evidenciam que essa flexibilidade pode acarretar impactos econômicos e regionais relevantes de acordo com a matriz elétrica planejada, uma vez que cada tipo de geração possui encadeamentos produtivos distintos e que cada região tem a sua vocação específica para a produção de eletricidade.

Os investimentos previstos para o cenário de referência do PDE 2026 (Cenário 1) – aquele em que são inseridas as diretrizes básicas do planejamento energético e que o país irá oficialmente perseguir – impactariam positivamente o PIB brasileiro em 0,12%, quando comparado com o cenário isento de diretrizes de políticas (linha de base). As regiões nordestinas seriam as mais favorecidas, em virtude, sobretudo, dos investimentos adicionais em geração eólica contemplados nesse cenário.

Ao se considerar uma expansão com maior inserção da fonte solar (Cenário 4), o impacto sobre o PIB poderia chegar a 0,45% no agregado nacional e ser superior a 1,50% na maior parte da região Nordeste, localidade com maior potencial para esse tipo de geração. Esse resultado, salienta-se, é importante para o Brasil, pois: i) o custo do investimento na geração solar tem declinado acentuadamente, tornando a fonte relativamente mais competitiva e viabilizando a sua expansão em larga escala; e ii) a região Nordeste, maior beneficiada com a expansão dessa fonte, possui os piores indicadores socioeconômicos do país. Logo, *ceteris paribus*, evidencia-se uma externalidade positiva dos investimentos em energia solar sobre a desigualdade regional.

Além disso, constatou-se que a expansão da capacidade instalada sem novas usinas hidrelétricas (Cenário 5) não geraria perdas econômicas ao país, mesmo que algumas

localidades, a exemplo dos estados da região Sul, fossem negativamente afetadas. Esse resultado é especialmente peculiar para o Brasil, onde a expansão do setor elétrico foi majoritariamente capitaneada pela fonte hidráulica. Não obstante, observado sob um contexto mais amplo, em que os grandes projetos hidrelétricos têm tido o seu benefício econômico cada vez mais questionado (ANSAR et al., 2014) e os requisitos e compensações ambientais têm sido exigidos com mais rigor, o resultado pode ser interpretado como uma vantagem comparativa para os formuladores de política, que podem dispor de uma matriz sem grandes UHEs, tal como a delineada no PDE 2026, e que não traz prejuízos à economia nacional.

O trabalho também colocou em foco desdobramentos de segunda ordem, mas não menos importantes, das diretrizes de política energética – os seus impactos sociais e de bem-estar. Os resultados mostram para todos os cenários analisados que há um fluxo migratório da força de trabalho para a região Nordeste com origem, sobretudo, no Sudeste. Movimento este associado às variações do salário real, que foram mais elevadas nos estados nordestinos. Os reflexos de emprego, salário real e crescimento econômico relativamente mais elevados foram observados nos indicadores de consumo, cujo desempenho foi melhor na região Nordeste e nas famílias de renda mais baixa. Contudo, cabe ressaltar que esses efeitos positivos foram observados em todo o país, em escalas diferentes de intensidade.

Em suma, conclui-se que há uma nítida sinergia entre o planejamento energético e o desenvolvimento econômico e regional, cuja amplitude está associada a configuração da matriz elétrica e os subsequentes investimentos em cada tipo de geração. Nesse sentido, o trabalho traz contribuição salutar ao fornecer a comunidade acadêmica e a sociedade brasileira um ferramental analítico robusto, flexível e detalhado o suficiente para que se possa simular, analisar e compreender as implicações das diretrizes de política energética e, portanto, elucidar o debate sobre esse tema.

Não obstante, ainda há avanços substanciais a serem incorporados nesse campo de estudos tanto a nível metodológico quanto analítico. A representação de maiores detalhes do setor elétrico nas simulações, incluindo a geração distribuída e a apresentação explícita de outras tecnologias, e a incorporação do módulo de emissões de gases efeito estufa no TERM-BR10 são alguns exemplos de tópicos metodológicos a serem explorados nessa agenda de pesquisa.

Analiticamente, próximos trabalhos podem investigar quais seriam os impactos se a expansão do setor elétrico fosse financiada por outros instrumentos, tais como tributos, subsídios, etc. Apesar do atual contexto não ser favorável a tais alternativas, conforme já

discutido, a modelagem trabalhada no TERM-BR10 permite esse tipo de simulação, inclusive sob detalhamento setorial e regional.

Por fim, cabe salientar que as conclusões obtidas nesse trabalho se restringem a análise econômica e regional dos cenários apresentados no PDE 2026, não qualificando ou caracterizando um cenário como pior ou melhor do que os demais.

REFERÊNCIAS

- ACAR, S.; YELDAN, A. E. Environmental impacts of coal subsidies in Turkey: A general equilibrium analysis. **Energy Policy**, v. 90, p. 1–15, mar. 2016.
- ANSAR, A. *et al.* Should we build more large dams? The actual costs of hydropower megaproject development. **Energy Policy**, v. 69, p. 43–56, jun. 2014.
- ARCE, R. DE *et al.* A simulation of the economic impact of renewable energy development in Morocco. **Energy Policy**, v. 46, p. 335–345, jul. 2012.
- ARNDT, C. An Introduction to Systematic Sensitivity Analysis via Gaussian Quadrature. **GTAP Technical Paper No. 2**. Center for Global Trade Analysis, Purdue University, West Lafayette, IN, USA. p. 15, jul. 1996.
- ARNDT, C. *et al.* Biofuels, poverty, and growth: a computable general equilibrium analysis of Mozambique. **Environment and Development Economics**, v. 15, n. 01, p. 81, fev. 2010.
- _____. A sequential approach to integrated energy modeling in South Africa. **Applied Energy**, v. 161, p. 591–599, jan. 2016.
- ARORA, V.; CAI, Y. Disaggregating Electricity Generation Technologies in CGE Models. **SSRN Electronic Journal**, 2014.
- ARROW, K., CHENERY, H., MINHAS, B., & SOLOW, R.. Capital-Labor Substitution and Economic Efficiency. **The Review of Economics and Statistics**, 43(3), 225-250, 1961. doi:10.2307/1927286
- BERGMAN, L. Energy Policy Modeling: A Survey of General Equilibrium Approaches. **Stockholm School of Economics**. v. 1988, p. 377–399, 1988.
- 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, jan. 2016.
- BHATTACHARYYA, S. C. Applied general equilibrium models for energy studies: a survey. **Energy Economics**, v.18, p. 145-164, 1996.
- BLYTH, W. *et al.* Low carbon jobs: the evidence for net job creation from policy support for energy efficiency and renewable energy. **UKERC Technology & Policy Assessment Function**. REF UKERC/RR/TPA/2014/002. p. 69, November 2014 v.2.
- BRACIANI, U. **Estrutura dos Custos para Implantação das Usinas de Geração de Energia Elétrica no Brasil**, Monografia de Bacharelado em Economia, Florianópolis, UFSC, 2011.

- BRASIL. **Intended Nationally Determined Contribution Towards Achieving the Objective of the United Nations Framework Convention on Climate Change**. 2015.
- BOETERS, S.; KOORNNEEF, J. Supply of renewable energy sources and the cost of EU climate policy. **Energy Economics**, v. 33, n. 5, p. 1024–1034, set. 2011.
- BÖHRINGER, C.; KELLER, A.; WERF, E. VAN DER. Are green hopes too rosy? Employment and welfare impacts of renewable energy promotion. **Energy Economics**, v. 36, p. 277–285, mar. 2013.
- BYE, B. Macroeconomic modeling for energy and environmental analyses: Integrated economy-energy-environment models as efficient tools. **Statistics Norway, Research Department**, 2008/14, 2008.
- CANSINO, J. M. *et al.* The economic influence of photovoltaic technology on electricity generation: A CGE (computable general equilibrium) approach for the Andalusian case. **Energy**, v. 73, p. 70–79, ago. 2014.
- CAPROS, P.; KARADELOGLOU, P.; MENTZAS, G. Employment impacts of energy: A survey and framework for analysis. **Socio-Economic Planning Sciences**, v. 26, n. 4, p. 257–274, out. 1992.
- ÇETIN, M.; EĞRICAN, N. Employment impacts of solar energy in Turkey. **Energy Policy**, v. 39, n. 11, p. 7184–7190, nov. 2011.
- CHEN, Y.-H. H.; TIMILSINA, G. R.; LANDIS, F. Economic implications of reducing carbon emissions from energy use and industrial processes in Brazil. **Journal of Environmental Management**, v. 130, p. 436–446, nov. 2013.
- NETO, J. C. **A estruturação e conformação do investimento na geração de energia por meio hidráulico: uma contribuição ao estudo das variáveis influentes no retorno**. São Paulo: FECAP, 2007. Dissertação (Mestrado em Ciências Contábeis) – Fundação Escola de Comércio Álvares Penteado, São Paulo, 2007.
- DAI, H. *et al.* Green growth: The economic impacts of large-scale renewable energy development in China. **Applied Energy**, v. 162, p. 435–449, jan. 2016.
- DINIZ, T. B. 2013. **Impactos socioeconômicos do Código Florestal Brasileiro: uma discussão à luz de um modelo computável de equilíbrio geral**. Dissertação de Mestrado, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba. Recuperado em 2014-08-30, de <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11132/tde-21022013-150919/>

- DINIZ, T. B.; FERREIRA FILHO, J. B. Impactos Econômicos do Código Florestal Brasileiro: uma discussão à luz de um modelo computável de equilíbrio geral. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Brasília, v. 53, n.2, p. 229-250, jun. 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/1234-56781806-9479005302003>
- DIXON, P.B.; BOWLES, S.; KENDRICK, D. **Notes and Problems in Microeconomic Theory**, North-Holland, Amsterdam, 1980.
- DIXON, P.B.; PARMENTER, B.R.; SUTTON, J.; VINCENT, D.P. [DPSV]. **ORANI: A Multisectoral Model of the Australian Economy**, North-Holland, Amsterdam, 1982.
- DIXON, P.B.; RIMMER, M.T. **Johansen's Contribution to CGE Modelling: Originator and Guiding Light for 50 Years**. General Paper No. G-203. Centre of Policy Studies and the Impact Project. Clayton: Monash University Press, 2010. 52 p.
- EPE - Empresa de Pesquisa Energética. **Balanco Energético Nacional 2016**. EPE, 2016a.
- _____. **Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2016**. EPE, 2016b.
- _____. **Plano Decenal de Energia – PDE 2026**. EPE, 2017.
- FERREIRA FILHO, J.B.S. **Introdução aos modelos de equilíbrio geral: conceitos, teoria e aplicações**. 2010. 31 p. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 2010. Disponível em: <<http://www.economia.esalq.usp.br/~jbsferre>>. Acesso em: 15 dez. 2010.
- FERREIRA FILHO, J. B. S.; HORRIDGE, M. J. Ethanol expansion and indirect land use change in Brazil. **Land Use Policy**, v. 36, p. 595-604, 2014.
- FERREIRA FILHO, J. B. S.; RIBEIRA, L; HORRIDGE, M. J. Deforestation Control and Agricultural Supply in Brazil. **American Journal of Agricultural Economics**, v. 97, p. 589-601, 2015.
- FLORES Jr; R.G. Are CGE models still useful for economic policymaking? In MIGUEL, C; LIMA, J.D; GIORDANO, P; GUZMÁN, J; SCHUSCHNY, A; WATANUKI, M. (Ed.). **Modeling Public Policies in Latin America and the Caribbean**. United Nations: Santiago, 2010. Chap. 1, p. 21-31.
- FORTES, P.; SEIXAS, J.; PROENCA, S. **How renewable energy promotion impacts the Portuguese economy?** 2015 12th International Conference on the European Energy Market (EEM). **Anais... In: 2015 12TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON THE EUROPEAN ENERGY MARKET (EEM)**. Lisbon, Portugal: IEEE, maio 2015. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/7216778/>>. Acesso em: 2 set. 2018
- HIRTH, L.; UECKERDT, F.; EDENHOFER, O. Why Wind Is Not Coal: On the Economics of Electricity Generation. **The Energy Journal**, v. 37, n. 3, 1 jul. 2016.

- HORRIDGE, M. TABLO program to transform an ORANIG03 database so that the MAKE matrix is diagonal: ie, a commodity x industry table becomes a commodity x commodity table. Setembro, 2005. Disponível em: <https://www.copsmodels.com/archivep/tpmh0062.zip>
- _____. **ORANI-G: A Generic Single-Country Computable General Equilibrium Model**. CoPS/IMPACT Working Paper Number OP-93, Centre of Policy Studies, Victoria University, 2000.
- _____. **ORANIGRD: a Recursive Dynamic version of ORANIG**. Fev, 2002. Disponível em: <https://www.copsmodels.com/ftp/oranig/oranigrd.zip>
- HORRIDGE, M.; MADDEN, J.; WITTWER, G.; The impact of the 2002–03 drought on Australia. **Journal of Policy Modeling**. 27:285–308, 2005.
- HORRIDGE, J. M.; PEARSON, K. Systematic Sensitivity Analysis with Respect to Correlated Variations in Parameters and Shocks. **GTAP Technical Paper No. 30**, p. 18. Mar, 2011
- HORRIDGE, M. The TERM Model and Its Database. In: WITTWER, G. (Ed.). **Economic Modeling of Water**. Dordrecht: Springer Netherlands, 2012. v. 3p. 13–35.
- HUDSON, E.A., JORGENSEN, D.W. U.S. Energy Policy and Economic Growth, **Bell Journal of Economics and Management Science** 5(2):46 1-5 14, 1975.
- IBGE. **Matriz de insumo-produto: Brasil: 2010**. 59p. Rio de Janeiro, 2016.
- _____. **Estatísticas do cadastro central de empresas: 2010**. 181p. Rio de Janeiro, 2012.
- _____. **Pesquisa Agrícola Municipal: culturas temporárias e permanentes**. Rio de Janeiro, 2010.
- _____. **Produção da Pecuária Municipal**. Rio de Janeiro, 2010.
- _____. **Pesquisa de orçamentos familiares 2008-2009: análise do consumo alimentar pessoal no Brasil**. 150p. Rio de Janeiro, 2011.
- _____. **Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios – síntese de indicadores: 2015**. 101p. Rio de Janeiro, 2016.
- INGLESI-LOTZ, R. The impact of renewable energy consumption to economic growth: A panel data application. **Energy Economics**, v. 53, p. 58–63, jan. 2016.
- INSTITUTO ESCOLHAS. Quanto custa zerar as emissões da geração de eletricidade no brasil até 2050? 88p. São Paulo, 2017.
- _____. **Impactos de mudanças na matriz elétrica brasileira**. 83p. São Paulo, 2016.

- IPCC, 2014: **Climate Change 2014: Synthesis Report**. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.
- IRENA. Renewable Energy Jobs: Status, Prospects & Policies. **IRENA Working Paper**, 2011.
- JOHANSEN, L. **A Multisectoral Study of Economic Growth**. Contributions to Economic Analysis 21, North-Holland Publishing Company, 1960.
- KOBER, T. *et al.* A multi-model study of energy supply investments in Latin America under climate control policy. **Energy Economics**, v. 56, p. 543–551, maio 2016.
- KOLSUZ, G.; YELDAN, A. E. Economics of climate change and green employment: A general equilibrium investigation for Turkey. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 70, p. 1240–1250, abr. 2017.
- KÜSTER, R.; ELLERSDORFER, I. R.; FAHL, U. A CGE-Analysis of Energy Policies Considering Labor Market Imperfections and Technology Specifications. **SSRN Electronic Journal**, 2007.
- LANDI, M. **Energia elétrica e políticas públicas: a experiência do setor elétrico brasileiro no período 1934 a 2005**. São Paulo, 2006. Tese (Doutorado em Energia) – Programa Interunidades em Energia, Instituto de Energia e Eletrotécnica, Universidade de São Paulo.
- LEHR, U. *et al.* Renewable energy and employment in Germany. **Energy Policy**, v. 36, n. 1, p. 108–117, jan. 2008.
- LEHR, U.; LUTZ, C.; EDLER, D. Green jobs? Economic impacts of renewable energy in Germany. **Energy Policy**, v. 47, p. 358–364, ago. 2012.
- SASTRESA, E.L. *et al.* Local impact of renewables on employment: Assessment methodology and case study. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 14, n. 2, p. 679–690, fev. 2010.
- LU, C.; ZHANG, X.; HE, J. A CGE analysis to study the impacts of energy investment on economic growth and carbon dioxide emission: A case of Shaanxi Province in western China. **Energy**, v. 35, n. 11, p. 4319–4327, nov. 2010.
- MANNE, A. **ETA-Macro: A Model of Energy Economy Interactions**. EA-592 Research Report 1014. Palo Alto: Electric Power Research Institute, 1977.

- MAHUL, O.; DURAND, B. Simulated economic consequences of foot-and-mouth disease epidemics and their public control in France. **Preventive Veterinary Medicine**, Amsterdam, v. 47, n. 1-2, p. 23-38, 2000.
- MARKAKI, M. *et al.* The impact of clean energy investments on the Greek economy: An input–output analysis (2010–2020). **Energy Policy**, v. 57, p. 263–275, jun. 2013.
- MCFARLAND, J. R.; REILLY, J. M.; HERZOG, H. J. Representing energy technologies in top-down economic models using bottom-up information. **Energy Economics**, v. 26, n. 4, p. 685–707, jul. 2004.
- MORENO, B.; LÓPEZ, A. J. The effect of renewable energy on employment. The case of Asturias (Spain). **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 12, n. 3, p. 732–751, abr. 2008.
- PAUL, A.; PALMER, K.; WOERMAN, M. Modeling a clean energy standard for electricity: Policy design implications for emissions, supply, prices, and regions. **Energy Economics**, v. 36, p. 108–124, mar. 2013.
- PEARSON, K. R.; ARNDT, C. Implementing Systematic Sensitivity Analysis Using GEMPACK. **GTAP Technical Papers No.3**. p. 51, 1998.
- PEREIRA, A. O. *et al.* Perspectives for the expansion of new renewable energy sources in Brazil. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 23, p. 49–59, jul. 2013.
- PEREIRA, M. G. *et al.* The renewable energy market in Brazil: Current status and potential. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 16, n. 6, p. 3786–3802, ago. 2012.
- PETERS, J. C. GTAP-E-Power: An Electricity-detailed Economy-wide Model. **Journal of Global Economic Analysis**, v. 1, n. 2, p. 156–187, 30 dez. 2016.
- POLLIN, R.; HEINTZ, J.; GARRETT-PELTIER, H. The Economic Benefits of Investing in Clean Energy. p. 69, [s.d.].
- RAUSCH, S.; MOWERS, M. Distributional and efficiency impacts of clean and renewable energy standards for electricity. **Resource and Energy Economics**, v. 36, n. 2, p. 556–585, maio 2014.
- RICH, K.M.; MILLER, G.Y.; WINTER-NELSON, A. A review of economic tools for the assessment of animal disease outbreaks. **Revue Scientifique et Technique Office International des Epizooties**, Paris, v. 24, n. 3, p. 833-845, 2005.
- RIVERS, N. Renewable energy and unemployment: A general equilibrium analysis. **Resource and Energy Economics**, v. 35, n. 4, p. 467–485, nov. 2013.

- RODRIGUES, R.; LINARES, P. Electricity load level detail in computational general equilibrium – Part I – Data and calibration. **Energy Economics**, v. 46, p. 258–266, nov. 2014.
- _____. Electricity load level detail in computational general equilibrium – part II – welfare impacts of a demand response program. **Energy Economics**, v. 47, p. 52–67, jan. 2015.
- SANTOS, G. F.; HADDAD, E.A.; HEWINGS, G.J.D. Energy policy and regional inequalities in the Brazilian economy. **Energy Economics** 36, 241-255. 2013.
- SCARAMUCCI, J. A. *et al.* Energy from sugarcane bagasse under electricity rationing in Brazil: a computable general equilibrium model. **Energy Policy**, v. 34, n. 9, p. 986–992, jun. 2006.
- SIMAS, M.; PACCA, S. Socio-economic Benefits of Wind Power in Brazil. **Journal of Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems**, v. 1, n. 1, p. 27–40, mar. 2013.
- _____. Assessing employment in renewable energy technologies: A case study for wind power in Brazil. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 31, p. 83–90, mar. 2014.
- TOURKOLIAS, C.; MIRASGEDIS, S. Quantification and monetization of employment benefits associated with renewable energy technologies in Greece. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 15, n. 6, p. 2876–2886, ago. 2011.
- TRUONG, T. P.; HAMASAKI, H. **Disaggregating the electricity sector in a CGE model to allow competition theory to explain the introduction of new technologies to the sector**. 21st Annual Conference on Global Economic Analysis. p. 56. Cartagena, Colombia, maio, 2018.
- VANDYCK, T.; VAN REGEMORTER, D. Distributional and regional economic impact of energy taxes in Belgium. **Energy Policy**, v. 72, p. 190–203, set. 2014.
- WING, I. S. The synthesis of bottom-up and top-down approaches to climate policy modeling: Electric power technologies and the cost of limiting US CO₂ emissions. **Energy Policy**, v. 34, n. 18, p. 3847–3869, dez. 2006.
- _____. The synthesis of bottom-up and top-down approaches to climate policy modeling: Electric power technology detail in a social accounting framework. **Energy Economics**, v. 30, n. 2, p. 547–573, mar. 2008.
- WITTEWER, G. (ED.). **Economic modeling of water: the Australian CGE experience**. Dordrecht: Springer, 2012.

_____. (ED.). **Multi-regional Dynamic General Equilibrium Modeling of the U.S. Economy: USAGE-TERM Development and Applications.** Cham: Springer International Publishing, 2017.

APÊNDICES

Tabela 13. Critérios utilizados para a regionalização da produção das indústrias do modelo TERM-BR10

Produto (MIP 2010)	Pesquisa	Ano	Variável
Arroz, trigo e outros cereais	PAM	2010	Valor da produção (Mil Reais)
Milho em grão	PAM	2010	Valor da produção (Mil Reais)
Algodão herbáceo, outras fibras da lav. temporária	PAM	2010	Valor da produção (Mil Reais)
Cana-de-açúcar	PAM	2010	Valor da produção (Mil Reais)
Soja em grão	PAM	2010	Valor da produção (Mil Reais)
Outros produtos e serviços da lavoura temporária	PAM	2010	Valor da produção (Mil Reais)
Laranja	PAM	2010	Valor da produção (Mil Reais)
Café em grão	PAM	2010	Valor da produção (Mil Reais)
Outros produtos da lavoura permanente	PAM	2010	Valor da produção (Mil Reais)
Bovinos e outros animais vivos, prods. animal, caça e serv.	PPM	2010	Efetivo dos rebanhos (Cabeças)
Leite de vaca e de outros animais	PPM	2010	Valor da produção (Mil Reais)
Suínos	PPM	2010	Efetivo dos rebanhos (Cabeças)
Aves e ovos	PPM	2010	Valor da produção (Mil Reais)
Produtos da exploração florestal e da silvicultura	PEVS	2010	Valor da produção (Mil Reais)
Pesca e aquicultura (peixe, crustáceos e moluscos)	PPM	2013	Valor da produção (Mil Reais)
Carvão mineral	CEMPRE	2010	Salários e outras remunerações (Mil Reais)
Minerais não-metálicos	CEMPRE	2010	Salários e outras remunerações (Mil Reais)
Gas Natural	BEN / MME	2010	Produção 10^6 m3 a
Petróleo e serviços de apoio	BEN / MME	2010	Produção 10^3 m3 a
Minério de ferro	CEMPRE	2010	Salários e outras remunerações (Mil Reais)
Minerais metálicos não-ferrosos	CEMPRE	2010	Salários e outras remunerações (Mil Reais)
Carne de bovinos e outros prod. de carne	CEMPRE	2010	Salários e outras remunerações (Mil Reais)
Carne de suíno	CEMPRE	2010	Salários e outras remunerações (Mil Reais)
Carne de aves	CEMPRE	2010	Salários e outras remunerações (Mil Reais)
Pescado industrializado	CEMPRE	2010	Salários e outras remunerações (Mil Reais)
Leite resfriado, esterilizado e pasteurizado	CEMPRE	2010	Salários e outras remunerações (Mil Reais)
Outros produtos do laticínio	CEMPRE	2010	Salários e outras remunerações (Mil Reais)
Açúcar	CEMPRE	2010	Salários e outras remunerações (Mil Reais)
Conservas de frutas, legumes, outros vegetais e sucos de frutas	CEMPRE	2010	Salários e outras remunerações (Mil Reais)
Óleos e gorduras vegetais e animais	CEMPRE	2010	Salários e outras remunerações (Mil Reais)
Café beneficiado	CEMPRE	2010	Salários e outras remunerações (Mil Reais)
Arroz beneficiado e produtos derivados do arroz	CEMPRE	2010	Salários e outras remunerações (Mil Reais)

Produto (MIP 2010)	Pesquisa	Ano	Variável
Produtos derivados do trigo, mandioca ou milho	CEMPRE	2010	Salários e outras remunerações (Mil Reais)
Rações balanceadas para animais	CEMPRE	2010	Salários e outras remunerações (Mil Reais)
Outros produtos alimentares	CEMPRE	2010	Salários e outras remunerações (Mil Reais)
Bebidas	CEMPRE	2010	Salários e outras remunerações (Mil Reais)
Produtos do fumo	CEMPRE	2010	Salários e outras remunerações (Mil Reais)
Fios e fibras têxteis beneficiadas	CEMPRE	2010	Salários e outras remunerações (Mil Reais)
Tecidos	CEMPRE	2010	Salários e outras remunerações (Mil Reais)
Art. têxteis de uso doméstico e outros têxteis	CEMPRE	2010	Salários e outras remunerações (Mil Reais)
Artigos do vestuário e acessórios	CEMPRE	2010	Salários e outras remunerações (Mil Reais)
Calçados e artefatos de couro	CEMPRE	2010	Salários e outras remunerações (Mil Reais)
Produtos de madeira, exclusive móveis	CEMPRE	2010	Salários e outras remunerações (Mil Reais)
Celulose	CEMPRE	2010	Salários e outras remunerações (Mil Reais)
Papel, papelão, embalagens e artefatos de papel	CEMPRE	2010	Salários e outras remunerações (Mil Reais)
Serviços de impressão e reprodução	CEMPRE	2010	Salários e outras remunerações (Mil Reais)
Combustíveis para aviação	CEMPRE	2010	Salários e outras remunerações (Mil Reais)
Gasoálcool	CEMPRE	2010	Salários e outras remunerações (Mil Reais)
Naftas para petroquímica	CEMPRE	2010	Salários e outras remunerações (Mil Reais)
Óleo combustível	CEMPRE	2010	Salários e outras remunerações (Mil Reais)
Diesel - biodiesel	CEMPRE	2010	Salários e outras remunerações (Mil Reais)
Outros produtos do refino do petróleo	CEMPRE	2010	Salários e outras remunerações (Mil Reais)
Etanol e outros biocombustíveis	CEMPRE	2010	Salários e outras remunerações (Mil Reais)
Produtos químicos inorgânicos	CEMPRE	2010	Salários e outras remunerações (Mil Reais)
Adubos e fertilizantes	CEMPRE	2010	Salários e outras remunerações (Mil Reais)
Produtos químicos orgânicos	CEMPRE	2010	Salários e outras remunerações (Mil Reais)
Resinas, elastômeros e fibras artif. e sintéticas	CEMPRE	2010	Salários e outras remunerações (Mil Reais)
Defensivos agrícolas e desinfestantes domissanitários	CEMPRE	2010	Salários e outras remunerações (Mil Reais)
Produtos químicos diversos	CEMPRE	2010	Salários e outras remunerações (Mil Reais)
Tintas, vernizes, esmaltes e lacas	CEMPRE	2010	Salários e outras remunerações (Mil Reais)
Perfumaria, sabões e artigos de limpeza	CEMPRE	2010	Salários e outras remunerações (Mil Reais)
Produtos farmacêuticos	CEMPRE	2010	Salários e outras remunerações

Produto (MIP 2010)	Pesquisa	Ano	Variável
			(Mil Reais)
Artigos de borracha	CEMPRE	2010	Salários e outras remunerações
			(Mil Reais)
Artigos de plástico	CEMPRE	2010	Salários e outras remunerações
			(Mil Reais)
Cimento	CEMPRE	2010	Salários e outras remunerações
			(Mil Reais)
Artefatos de cimento, gesso e semelhantes	CEMPRE	2010	Salários e outras remunerações
Vidros, cerâmicos e outros prod. de			
minerais não-metálicos	CEMPRE	2010	(Mil Reais)
			Salários e outras remunerações
Ferro-gusa e ferroligas	CEMPRE	2010	(Mil Reais)
Semi-acabados, laminados planos, longos			
e tubos de aço	CEMPRE	2010	Salários e outras remunerações
			(Mil Reais)
Produtos da metalurgia de metais não-			
ferrosos	CEMPRE	2010	Salários e outras remunerações
			(Mil Reais)
Peças fundidas de aço e de metais não			
ferrosos	CEMPRE	2010	Salários e outras remunerações
			(Mil Reais)
Produtos de metal, excl. máquinas e			
equipamentos	CEMPRE	2010	Salários e outras remunerações
			(Mil Reais)
			Salários e outras remunerações
Componentes eletrônicos	CEMPRE	2010	(Mil Reais)
Máquinas para escritório e equip. de			
informática	CEMPRE	2010	Salários e outras remunerações
			(Mil Reais)
Material eletrônico e equip. de			
comunicações	CEMPRE	2010	Salários e outras remunerações
			(Mil Reais)
Equip. de medida, teste e controle, ópticos e			
eletromédicos	CEMPRE	2010	Salários e outras remunerações
			(Mil Reais)
			Salários e outras remunerações
Máquinas, aparelhos e materiais elétricos	CEMPRE	2010	(Mil Reais)
			Salários e outras remunerações
Eletrodomésticos	CEMPRE	2010	(Mil Reais)
			Salários e outras remunerações
Tratores e outras máquinas agrícolas	CEMPRE	2010	(Mil Reais)
Máquinas para a extração mineral e a			
construção	CEMPRE	2010	Salários e outras remunerações
			(Mil Reais)
			Salários e outras remunerações
Outras máquinas e equipamentos mecânicos	CEMPRE	2010	(Mil Reais)
			Salários e outras remunerações
Automóveis, camionetas e utilitários	CEMPRE	2010	(Mil Reais)
Caminhões e ônibus, incl. cabines,			
carrocerias e reboques	CEMPRE	2010	Salários e outras remunerações
			(Mil Reais)
Peças e acessórios para veículos			
automotores	CEMPRE	2010	Salários e outras remunerações
			(Mil Reais)
Aeronaves, embarcações e outros			
equipamentos de transporte	CEMPRE	2010	Salários e outras remunerações
			(Mil Reais)
			Salários e outras remunerações
Móveis	CEMPRE	2010	(Mil Reais)
			Salários e outras remunerações
Produtos de indústrias diversas	CEMPRE	2010	(Mil Reais)
Manutenção, reparação e instalação de			
máquinas e equipamentos	CEMPRE	2010	Salários e outras remunerações
			(Mil Reais)
Gás	BEN 2016	2015	
Geração TermoOutros	BEN 2016	2015	Geração de eletricidade (GWh)
Geração Eólica	BEN 2016	2015	Geração de eletricidade (GWh)
Geração TermoOleo	BEN 2016	2015	Geração de eletricidade (GWh)
Geração TermoOleoDiesel	BEN 2016	2015	Geração de eletricidade (GWh)
Geração TermoCarvão	BEN 2016	2015	Geração de eletricidade (GWh)

Produto (MIP 2010)	Pesquisa	Ano	Variável
Geração TermoBiomassa	BEN 2016	2015	Geração de eletricidade (GWh)
Geração TermoGas	BEN 2016	2015	Geração de eletricidade (GWh)
Geração Hidro	BEN 2016	2015	Geração de eletricidade (GWh)
Geração Fotovoltaica	BEN 2016	2015	Geração de eletricidade (GWh)
T&D Eletricidade	BEN 2016	2015	
Água, esgoto, reciclagem e gestão de resíduos	CEMPRE	2010	Salários e outras remunerações (Mil Reais)
Edificações	CEMPRE	2010	Salários e outras remunerações (Mil Reais)
Obras de infra-estrutura	CEMPRE	2010	Salários e outras remunerações (Mil Reais)
Serviços especializados para construção	CEMPRE	2010	Salários e outras remunerações (Mil Reais)
Comercio	CEMPRE	2010	Salários e outras remunerações (Mil Reais)
Transporte	CEMPRE	2010	Salários e outras remunerações (Mil Reais)
Armazenamento e serviços auxiliares aos transportes	CEMPRE	2010	Salários e outras remunerações (Mil Reais)
Correio e outros serviços de entrega	CEMPRE	2010	Salários e outras remunerações (Mil Reais)
Serviços de alojamento em hotéis e similares	CEMPRE	2010	Salários e outras remunerações (Mil Reais)
Serviços de alimentação	CEMPRE	2010	Salários e outras remunerações (Mil Reais)
Livros, jornais e revistas	CEMPRE	2010	Salários e outras remunerações (Mil Reais)
Serviços cinematográficos, música, rádio e televisão	CEMPRE	2010	Salários e outras remunerações (Mil Reais)
Telecomunicações, TV por assinatura e outros serv. relacionados	CEMPRE	2010	Salários e outras remunerações (Mil Reais)
Desenvolvimento de sistemas e outros serviços de informação	CEMPRE	2010	Salários e outras remunerações (Mil Reais)
Intermediação financeira, seguros e previdência complementar	CEMPRE	2010	Salários e outras remunerações (Mil Reais)
Aluguel efetivo e serviços imobiliários	CEMPRE	2010	Salários e outras remunerações (Mil Reais)
Aluguel imputado	CEMPRE	2010	Salários e outras remunerações (Mil Reais)
Serviços jurídicos, contabilidade e consultoria	CEMPRE	2010	Salários e outras remunerações (Mil Reais)
Pesquisa e desenvolvimento	CEMPRE	2010	Salários e outras remunerações (Mil Reais)
Serviços de arquitetura e engenharia	CEMPRE	2010	Salários e outras remunerações (Mil Reais)
Publicidade e outros serviços técnicos	CEMPRE	2010	Salários e outras remunerações (Mil Reais)
Aluguéis não-imob. e gestão de ativos de propriedade intelectual	CEMPRE	2010	Salários e outras remunerações (Mil Reais)
Condomínios e serviços para edifícios	CEMPRE	2010	Salários e outras remunerações (Mil Reais)
Outros serviços administrativos	CEMPRE	2010	Salários e outras remunerações (Mil Reais)
Serviços de vigilância, segurança e investigação	CEMPRE	2010	Salários e outras remunerações (Mil Reais)
Serviços coletivos da administração pública	CEMPRE	2010	Salários e outras remunerações (Mil Reais)
Serviços de previdência e assistência social	CEMPRE	2010	Salários e outras remunerações (Mil Reais)

Produto (MIP 2010)	Pesquisa	Ano	Variável
Educação pública	MEC/INEP	2010	Número de Matrículas (Ensino básico e superior)
Educação privada	MEC/INEP	2010	Número de Matrículas (Ensino básico e superior)
Saúde pública	DATASUS	2010	Valor total (procedimentos Hospitalares) + Valor aprovado (procedimentos ambulatoriais)
Saúde privada	DATASUS	2010	Valor total (procedimentos Hospitalares) + Valor aprovado (procedimentos ambulatoriais)
Serviços de artes, cultura, esporte e recreação	CEMPRE	2010	Salários e outras remunerações (Mil Reais)
Organizações patronais, sindicais e outros serviços associativos	CEMPRE	2010	Salários e outras remunerações (Mil Reais)
Manutenção de computadores, telefones e objetos domésticos	CEMPRE	2010	Salários e outras remunerações (Mil Reais)
Serviços pessoais	CEMPRE	2010	Salários e outras remunerações (Mil Reais)
Serviços domésticos	CEMPRE	2010	Salários e outras remunerações (Mil Reais)

Fonte: elaboração própria

Tabela 14. Distribuição do investimento nas indústrias de geração de eletricidade do TERM-BR10

	Ger TermoOut	Ger Eolica	Ger TermoOleo	Ger TermoDies	Ger TermoCarv	BagAcucar	BagEtanol	Ger TermoGas	Ger Hidro	Ger Fotovolt
1 Laranja	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2 CafeGrao	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3 OutPrLavPerm	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4 BovOutrAnim	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003
5 Suinos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6 AvesOvos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7 ExplFlorSilv	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8 Petro	0,002	0,003	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,003
9 ProdMadeira	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10 ProduMetal	0,044	0,115	0,044	0,044	0,044	0,043	0,043	0,044	0,018	0,003
11 MaqEscEquInf	0,017	0,019	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017	0,022
12 MatEletrCom	0,009	0,061	0,009	0,009	0,009	0,009	0,009	0,009	0,017	0,186
13 EqMedContOpt	0,041	0,003	0,041	0,041	0,041	0,040	0,040	0,041	0,040	0,003
14 MaqApaEquEle	0,023	0,141	0,023	0,023	0,023	0,023	0,023	0,023	0,023	0,183
15 Eletrodome	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16 TratMaqAgric	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,003	0,003	0,004	0,003	0,005
17 MaqExtConst	0,043	0,011	0,043	0,043	0,043	0,042	0,042	0,043	0,021	0,013
18 OutMaqEquip	0,345	0,160	0,345	0,345	0,345	0,211	0,211	0,345	0,088	0,191
19 Automoveis	0,012	0,013	0,012	0,012	0,012	0,012	0,012	0,012	0,012	0,015
20 CaminhOnib	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,005
21 OutrEquTran	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,005
22 Moveis	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,004
23 OutAtivIndst	0,072	0,081	0,072	0,072	0,072	0,036	0,036	0,072	0,022	0,047
24 ManRepMaqEqp	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,042	0,042	0,002	0,018	0,002
25 ConstEdif	0,096	0,108	0,096	0,096	0,096	0,095	0,095	0,096	0,094	0,123
26 ConstInfra	0,136	0,111	0,136	0,136	0,136	0,318	0,318	0,136	0,514	0,079
27 SevEspConst	0,085	0,096	0,085	0,085	0,085	0,060	0,060	0,085	0,059	0,031
28 DesenSistOut	0,009	0,010	0,009	0,009	0,009	0,009	0,009	0,009	0,009	0,012
29 SevPesqDesn	0,009	0,029	0,009	0,009	0,009	0,008	0,008	0,009	0,008	0,045
30 SevArquiEng	0,037	0,017	0,037	0,037	0,037	0,015	0,015	0,037	0,022	0,019
Total	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

Fonte: elaboração do autor

Tabela 15. Relação dos produtos e indústrias, pós agregação, no TERM-BR10.

1 Agricultura	11 AlimentBebid	21 Eletronicos	31 GerHidro
2 CanaDeAcucar	12 TextilCouro	22 Automoveis	32 GerFotovolt
3 Pecuaria	13 MadCelulose	23 MaqExtConst	33 TeDEletric
4 PescaAcq	14 OutCombust	24 Gas	34 AguaEsgRes
5 Mineracao	15 OleoComb	25 GerTermoOut	35 Construcão
6 GasNat	16 DieselBiodis	26 GerEolica	36 Comercio
7 Petro	17 EtanolCombust	27 GerDiesOil	37 Transporte
8 CarnesPeixes	18 Quimicos	28 GerTermoCarv	38 Servicos
9 Laticinios	19 OutManuf	29 GerBagaco*	39 SevPesqDesn
10 Acucar	20 Metalurgia	30 GerTermoGas	40 SevArquiEng

Fonte: elaboração do autor. * GerBagaco é apenas um produto.

Tabela 16. Valores utilizados para os parâmetros de elasticidade no TERM-BR10.

	SIGMA1LAB	SIGMA1PRIM	ARMSIGMA	SIGMADOMDOM
1 Agricultura	0,35	0,25	4,14	1,00
2 CanaDeAcucar	0,35	0,25	0,00	1,00
3 Pecuaria	0,35	0,44	3,90	1,00
4 PescaAcq	0,35	1,00	3,90	1,00
5 Mineracao	0,35	1,00	1,02	5,00
6 GasNat	0,35	1,00	0,20	5,00
7 Petro	0,35	1,00	0,20	5,00
8 CarnesPeixes	0,35	1,00	3,50	5,00
9 Laticinios	0,35	1,00	1,80	5,00
10 Acucar	0,35	0,83	5,90	5,00
11 AlimentBebid	0,35	1,00	2,58	5,00
12 TextilCouro	0,35	1,00	1,60	5,00
13 MadCelulose	0,35	1,00	0,63	5,00
14 OutCombust	0,35	1,00	0,20	5,00
15 OleoComb	0,35	1,00	0,20	5,00
16 DieselBiodis	0,35	1,00	0,20	5,00
17 EtanolCombus	0,35	0,95	1,20	5,00
18 Quimicos	0,35	1,00	0,58	5,00
19 OutManuf	0,35	1,00	1,37	5,00
20 Metalurgia	0,35	1,00	0,88	5,00
21 Eletronicos	0,35	1,00	0,50	5,00
22 Automoveis	0,35	1,00	2,39	5,00
23 MaqExtConst	0,35	1,00	1,80	5,00
24 Gas	0,35	1,00	2,10	1,00
25 GerTermoOut	0,35	0,15	2,10	1,00
26 GerEolica	0,35	0,15	2,10	1,00
27 GerDiesOil	0,35	0,15	2,10	1,00

28 GerTermoCarv	0,35	0,15	2,10	1,00
GerBagaco*	-	-	2,10	1,00
29 GerTermoGas	0,35	0,15	2,10	1,00
30 GerHidro	0,35	0,15	2,10	1,00
31 GerFotovolt	0,35	0,15	2,10	1,00
32 TeDEletric	0,35	1,00	2,10	10,00
33 AguaEsgRes	0,35	1,00	2,10	1,00
34 Construcão	0,35	1,00	2,10	1,00
35 Comercio	0,35	1,00	2,10	5,00
36 Transporte	0,35	1,00	6,25	5,00
37 Servicos	0,35	1,00	1,48	1,81
38 SevPesqDesn	0,35	1,00	0,00	1,00
39 SevArquiEng	0,35	1,00	0,00	1,00

Fonte: elaboração do autor. * GerBagaco é apenas um produto.

Tabela 17. Critério de distribuição regional (%) para a expansão planejada no PDE, por fonte.

	<u>Hidro</u>	<u>PCH</u>	<u>Biomassa</u>		<u>Eólica</u>		<u>Fotovolt</u>	<u>Gás Natural</u>			<u>Alternativa de Ponta</u>			<u>Carvão</u>
			Biomassa	Florestal	Sul	NE		SE	SUL	NE	Sul	NE	SE	
Rondonia	14,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Acre	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Amazonas	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Roraima	28,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Para	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Amapa	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Tocantins	0,0	2,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Maranhao	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,0	5,0	0,0	0,0	5,0	0,0	5,0	0,0	0,0
Piaui	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,0	10,0	0,0	0,0	5,0	0,0	5,0	0,0	0,0
Ceara	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	20,0	10,0	0,0	0,0	20,0	0,0	20,0	0,0	0,0
RGNorte	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	20,0	5,0	0,0	0,0	5,0	0,0	5,0	0,0	0,0
Paraiba	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,0	5,0	0,0	0,0	5,0	0,0	5,0	0,0	0,0
Pernambuco	0,0	3,0	0,0	0,0	0,0	10,0	15,0	0,0	0,0	20,0	0,0	20,0	0,0	0,0
Alagoas	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,0	0,0	0,0	5,0	0,0	5,0	0,0	0,0
Sergipe	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,0	0,0	5,0	0,0	0,0
Bahia	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	30,0	25,0	0,0	0,0	30,0	0,0	30,0	0,0	0,0
MinasG	0,0	13,0	15,0	10,0	0,0	0,0	15,0	20,0	0,0	0,0	0,0	0,0	20,0	0,0
EspSanto	0,0	5,0	0,0	10,0	0,0	0,0	0,0	5,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,0	0,0
RioJaneiro	0,0	8,0	0,0	10,0	0,0	0,0	0,0	15,0	0,0	0,0	0,0	0,0	15,0	0,0
SaoPaulo	0,0	7,0	25,0	10,0	0,0	0,0	5,0	25,0	0,0	0,0	0,0	0,0	25,0	0,0
Parana	17,5	15,0	10,0	10,0	0,0	0,0	0,0	0,0	35,0	0,0	35,0	0,0	0,0	0,0
StaCatari	0,0	10,0	0,0	10,0	15,0	0,0	0,0	0,0	30,0	0,0	30,0	0,0	0,0	15,0
RGSul	29,0	6,0	0,0	10,0	85,0	0,0	0,0	0,0	35,0	0,0	35,0	0,0	0,0	85,0
MtGrSul	3,2	11,0	15,0	10,0	0,0	0,0	0,0	10,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,0	0,0
MtGrosso	7,9	8,0	10,0	10,0	0,0	0,0	0,0	15,0	0,0	0,0	0,0	0,0	15,0	0,0
Goias	0,0	10,0	25,0	10,0	0,0	0,0	0,0	10,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,0	0,0
DF	0,0	2,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Total	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Fonte: elaboração própria.

Tabela 18. Agregados macroeconômicos: desvio acumulado (%) em relação à linha de base no período 2016-2035, por região e cenário de política

	Norte		Nordeste				Sudeste		Sul		Centro Oeste
	RestNO	Para	MaranPiaui	CearaRGNorte	PEparaibAL	BahiaSE	RestSE	SaoPaulo	RestSUL	RGSul	CentroOest
PIB											
Caso 1	0,21	0,09	0,40	0,46	0,54	0,07	0,10	0,06	0,01	0	0,11
Caso 4	0,82	0,35	1,62	1,77	2,15	0,85	0,29	0,22	0,11	0,06	0,37
Caso 5	-0,19	0,06	0,29	0,35	0,47	0,01	0,17	0,05	-0,17	-0,15	0,07
Consumo das Famílias											
Caso 1	0,29	0,12	0,48	0,61	0,58	0,1	0,12	0,05	-0,02	-0,05	0,17
Caso 4	1,03	0,44	1,72	2,45	2,11	0,97	0,24	0,11	0,01	-0,11	0,42
Caso 5	-0,13	0,07	0,32	0,47	0,49	0,03	0,20	0,04	-0,22	-0,21	0,14
Investimento											
Caso 1	0,80	0,41	1,23	2,08	1,02	0,21	0,32	0,13	-0,15	-0,02	0,58
Caso 4	2,93	1,63	4,85	8,61	4,38	2,42	0,90	0,25	0,06	0,46	0,92
Caso 5	0,16	0,32	0,74	1,59	0,74	-0,06	0,46	0,16	-1,01	-0,66	0,70
Exportações (volume)											
Caso 1	-1,28	-1,19	-0,77	-1,83	-1,50	-0,83	-0,8	-0,78	-0,8	-0,68	-1,01
Caso 4	-4,17	-3,93	-2,72	-6,52	-4,91	-2,81	-2,56	-2,29	-2,6	-2,22	-2,87
Caso 5	-0,46	-0,66	-0,64	-1,21	-0,97	-0,52	-0,65	-0,48	-0,12	-0,23	-0,70
Emprego Agregado											
Caso 1	0,01	-0,01	0,02	0,02	0,02	0	0	-0,01	-0,01	0	0
Caso 4	0,03	-0,04	0,06	0,07	0,08	0,03	-0,01	-0,05	-0,02	-0,01	-0,02
Caso 5	-0,03	0	0,01	0,01	0,02	-0,01	0	-0,01	-0,01	0	0,01
Salário Real											
Caso 1	0,34	0,19	0,52	0,65	0,62	0,17	0,18	0,12	0,05	0,02	0,23
Caso 4	1,20	0,69	1,87	2,59	2,24	1,15	0,46	0,37	0,24	0,11	0,65
Caso 5	-0,06	0,12	0,35	0,51	0,52	0,08	0,24	0,09	-0,17	-0,16	0,18
Estoque de Capital											
Caso 1	0,48	0,18	1,00	1,13	1,43	0,18	0,24	0,17	0,05	0,01	0,21
Caso 4	1,91	0,78	4,23	4,44	5,84	2,25	0,71	0,62	0,32	0,19	0,87
Caso 5	-0,53	0,11	0,75	0,88	1,23	0,03	0,40	0,14	-0,37	-0,37	0,10

Fonte: elaboração própria.

Tabela 19. Produção dos setores de eletricidade: desvio acumulado (%) em relação à linha de base no período 2016-2035, por região e cenário de política

	RestNO	Para	MaranPiaui	CearaRGNorte	PEparaibAL	BahiaSE	RestSE	SaoPaulo	RestSUL	RGSul	CentroOest
Eólica											
<i>Caso 1</i>	-0,1	-0,1	-7,0	-6,1	-8,8	-6,8	-0,1	-0,1	-9,6	-8,5	-0,1
<i>Caso 4</i>	-0,1	-0,2	-13,0	-12,1	-16,5	-12,9	-0,2	-0,2	-17,7	-15,7	-0,2
<i>Caso 5</i>	0,0	-0,1	-9,7	-8,6	-12,2	-9,5	-0,2	-0,1	-13,6	-12,0	-0,1
DieselÓleo											
<i>Caso 1</i>	0,0	0,0	-0,1	-0,1	-0,2	-0,5	0,0	0,0	-0,1	0,0	-0,1
<i>Caso 4</i>	0,0	0,0	0,0	-1,9	-0,8	-0,7	0,1	0,0	-0,1	-0,1	-0,1
<i>Caso 5</i>	0,0	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,5	-0,1	0,0	-0,1	0,0	-0,1
Carvão											
<i>Caso 1</i>	0,0	-0,1	-0,2	-0,4	-2,3	-0,4	-0,2	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1
<i>Caso 4</i>	-0,1	-0,2	-0,2	-7,8	-2,9	-1,5	-0,2	-0,1	-0,1	-0,3	-0,2
<i>Caso 5</i>	0,0	-0,1	-0,1	-0,4	-2,2	-0,4	-0,2	0,0	56,2	95,8	-0,1
Gás											
<i>Caso 1</i>	0,0	0,0	3,3	16,3	14,4	-1,5	5,8	9,2	-9,5	-7,5	4,5
<i>Caso 4</i>	0,0	-0,1	9,2	14,6	36,7	-27,5	-3,5	-5,3	-16,9	-13,4	-9,7
<i>Caso 5</i>	0,0	-0,1	2,4	12,3	10,8	-1,4	26,2	41,0	-68,7	-60,5	10,2
Hidrelétrica											
<i>Caso 1</i>	-0,1	-0,1	-0,1	-0,2	-0,3	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	0,0	-0,1
<i>Caso 4</i>	0,0	-0,2	-0,4	-1,0	-0,8	-0,4	-0,2	-0,2	-0,1	-0,1	-0,2
<i>Caso 5</i>	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,2	-0,1	-0,2	-0,1	-1,7	-11,2	-1,6
Solar											
<i>Caso 1</i>	0,0	0,0	12,6	11,9	14,1	-4,8	10,5	8,6	0,0	0,0	0,0
<i>Caso 4</i>	-0,1	0,0	57,0	53,0	63,2	26,4	47,6	39,0	0,0	0,0	-0,1
<i>Caso 5</i>	0,0	0,0	12,7	11,9	14,1	-4,8	10,5	8,6	0,0	0,0	-0,1
Outras											
<i>Caso 1</i>	-0,2	-0,1	-0,3	-0,3	-0,5	-0,2	-0,3	-0,1	-0,1	-0,1	-0,3
<i>Caso 4</i>	-0,4	-0,3	-0,7	-1,9	-1,5	-1,0	-0,5	-0,3	-0,2	-0,2	-0,3
<i>Caso 5</i>	0,0	-0,1	-0,2	-0,3	-0,4	-0,2	-0,3	-0,2	0,0	0,1	-0,3
T&D											
<i>Caso 1</i>	-0,1	-0,1	3,3	5,4	5,5	-2,0	2,1	1,2	-0,7	-0,8	0,5
<i>Caso 4</i>	-0,1	-0,2	13,9	15,4	23,2	3,7	2,5	0,7	-1,3	-1,4	-2,7
<i>Caso 5</i>	-4,7	-0,1	2,9	4,2	5,3	-2,2	7,1	4,6	-5,0	-4,8	0,9

Fonte: elaboração própria

Tabela 20. Produção setorial: desvio acumulado (%) em relação à linha de base no período 2016-2035, por região no Cenário 1

	RestNO	Para	MaranPiaui	CearaRGNorte	PEparaibAL	BahiaSE	RestSE	SaoPaulo	RestSUL	RGSul	CentroOest
1 Agricultura	-0,14	-0,11	-0,15	-0,32	0,00	-0,06	-0,13	-0,12	-0,08	-0,15	-0,13
2 CanaDeAcucar	-0,19	-0,10	-0,15	-0,18	-0,24	-0,11	-0,11	-0,20	-0,09	-0,06	-0,24
3 Pecuaria	0,90	0,38	1,32	2,17	1,50	1,49	0,27	0,08	0,07	0,15	0,63
4 PescaAcq	-0,26	-0,20	-0,27	-0,39	-0,08	-0,13	-0,10	-0,10	-0,11	-0,06	-0,16
5 Mineracao	-0,47	-0,53	-0,74	-0,71	-0,09	-0,23	-0,30	-0,06	0,04	-0,03	-0,21
6 GasNat	0,30	0,67	0,78	1,55	1,06	0,69	1,02	0,30	0,32	0,18	0,27
7 Petro	-0,14	0,05	-0,25	-0,40	-0,16	-0,09	-0,12	-0,08	0,03	0,04	-0,01
8 CarnesPeixes	-1,58	-0,28	-0,47	-3,27	-0,11	-0,78	0,05	-0,29	-0,21	-0,04	-0,16
9 Laticinios	-1,14	-0,02	-0,59	-2,70	0,31	-0,63	0,25	-0,04	0,02	0,09	0,04
10 Acucar	-0,40	-0,41	-0,50	-0,96	-0,55	-0,06	-0,95	-0,45	-0,32	-0,12	-1,49
11 AlimentBebid	-0,26	0,10	-0,19	-0,33	0,07	0,05	-0,01	0,00	-0,03	-0,10	-0,06
12 TextilCouro	-0,27	0,17	-0,30	-0,55	0,10	0,03	0,03	0,05	0,20	0,11	-0,16
13 MadCelulose	-0,20	-0,09	-0,20	-0,36	0,18	0,07	-0,15	0,01	-0,02	0,03	-0,08
14 OutCombust	0,03	0,11	0,09	-0,01	0,15	0,22	0,05	0,06	0,06	0,01	0,01
15 OleoComb	-0,41	-0,38	-0,44	-0,53	-0,33	-0,37	-0,35	-0,30	-0,29	-0,35	-0,43
16 DieselBiodis	-0,21	-0,15	-0,23	-0,41	-0,21	0,04	-0,04	-0,02	0,02	-0,02	-0,17
17 EtanolCombus	-0,16	0,02	-0,20	-0,39	-0,22	0,10	0,02	0,08	0,11	0,26	-0,09
18 Quimicos	-0,13	-0,09	-0,29	-0,50	-0,05	-0,02	0,03	0,01	0,09	0,04	-0,17
19 OutManuf	-0,19	0,06	-0,08	-0,23	0,01	-0,03	0,06	0,06	0,07	0,07	0,02
20 Metalurgia	-0,27	-0,25	-0,19	-0,53	-0,12	-0,13	0,06	0,01	0,12	0,13	-0,10
21 Eletronicos	0,12	0,51	0,40	0,43	0,85	0,17	0,37	0,24	0,31	0,29	0,29
22 Automoveis	-0,09	0,06	-0,19	-0,44	-0,27	0,05	0,06	0,07	0,15	0,15	0,00
23 MaqExtConst	-0,50	-0,25	-0,77	-0,74	-1,07	-0,33	-0,23	-0,30	-0,26	-0,17	-0,16
24 Gas	0,03	-0,01	0,13	0,14	0,29	0,05	0,06	0,02	0,00	-0,03	0,02
25 GerTermoOut	-0,17	-0,12	-0,27	-0,30	-0,48	-0,19	-0,25	-0,14	-0,09	-0,08	-0,25
26 GerEolica	-0,06	-0,07	-6,95	-6,13	-8,75	-6,76	-0,12	-0,07	-9,57	-8,48	-0,12
27 GerDiesOil	-0,01	-0,01	-0,09	-0,05	-0,17	-0,47	-0,04	-0,01	-0,05	-0,03	-0,05

28 GerTermoCarv	-0,03	-0,06	-0,16	-0,40	-2,29	-0,42	-0,15	-0,06	-0,06	-0,10	-0,13
29 GerTermoGas	-0,04	-0,03	3,27	16,33	14,39	-1,49	5,78	9,19	-9,48	-7,49	4,48
30 GerHidro	-0,06	-0,07	-0,14	-0,16	-0,26	-0,08	-0,12	-0,07	-0,05	-0,04	-0,13
31 GerFotovolt	-0,03	-0,01	12,64	11,85	14,05	-4,76	10,53	8,63	-0,01	-0,01	-0,04
32 TeDEletric	-0,06	-0,07	3,26	5,36	5,51	-2,03	2,11	1,15	-0,72	-0,76	0,51
33 AguaEsgRes	0,15	0,05	0,30	0,32	0,46	0,08	0,11	0,08	0,04	0,01	0,10
34 Construcão	0,23	0,29	0,53	0,86	0,51	0,17	0,27	0,19	0,00	0,05	0,34
35 Comercio	0,15	0,07	0,29	0,33	0,41	0,05	0,08	0,05	0,00	-0,01	0,14
36 Transporte	-0,21	-0,09	-0,33	-0,51	-0,27	-0,09	-0,12	-0,09	-0,04	-0,08	-0,27
37 Servicos	0,05	0,05	0,16	0,07	0,28	0,05	0,08	0,06	0,03	0,01	0,07
38 SevPesqDesn	-0,09	0,49	2,13	1,01	1,62	-0,12	0,23	0,20	0,20	0,19	0,19
39 SevArquiEng	-0,09	0,13	0,58	0,80	0,77	-0,07	-0,10	-0,04	-0,30	-0,55	0,01

Fonte: elaboração própria.

Tabela 21. Produção setorial: desvio acumulado (%) em relação à linha de base no período 2016-2035, por região no Cenário 4

	RestNO	Para	MaranPiaui	CearaRGNorte	PEparaibAL	BahiaSE	RestSE	SaoPaulo	RestSUL	RGSul	CentroOest
1 Agricultura	-0,37	-0,25	-0,36	-0,99	0,05	-0,12	-0,24	-0,24	-0,21	-0,44	-0,24
2 CanaDeAcucar	-0,60	-0,29	-0,51	-0,82	-0,83	-0,13	-0,22	-0,45	-0,25	-0,17	-0,40
3 Pecuaria	4,02	2,03	5,55	10,77	6,69	5,89	1,00	0,25	0,18	0,56	2,69
4 PescaAcq	-1,00	-0,78	-0,99	-1,64	-0,34	-0,48	-0,34	-0,41	-0,46	-0,28	-0,55
5 Mineracao	-1,66	-1,94	-2,81	-2,70	-0,35	-1,04	-1,11	-0,10	0,03	-0,17	-0,57
6 GasNat	-2,11	-1,02	-1,22	-0,62	-0,80	-1,91	-1,18	-1,72	-1,48	-1,60	-2,45
7 Petro	-0,60	0,28	-0,86	-1,48	-0,68	-0,78	-0,31	-0,24	0,21	0,16	0,07
8 CarnesPeixes	-5,38	-1,38	-1,23	-11,47	-0,57	-1,81	0,47	-0,79	-0,69	-0,14	0,11
9 Laticinios	-4,12	-0,76	-1,81	-9,82	0,85	-1,43	1,04	-0,03	-0,06	0,27	0,70
10 Acucar	-1,06	-0,92	-1,38	-4,52	-1,85	-0,75	-1,82	-1,16	-1,06	-0,52	-2,08
11 AlimentBebid	-0,84	0,46	-0,54	-1,19	0,31	0,03	0,19	0,07	-0,16	-0,41	0,15
12 TextilCouro	-0,92	0,73	-0,80	-2,26	0,60	0,11	0,33	0,24	0,64	0,32	-0,15
13 MadCelulose	-0,65	-0,25	-0,54	-1,37	0,68	0,25	-0,26	0,10	-0,12	0,08	0,05
14 OutCombust	0,20	0,43	0,32	-0,10	0,51	0,78	0,23	0,29	0,14	0,00	0,23
15 OleoComb	-1,32	-1,17	-1,41	-1,60	-1,18	-1,26	-1,07	-0,89	-1,01	-1,21	-1,16
16 DieselBiodis	-0,59	-0,44	-0,79	-1,41	-0,83	-0,02	-0,06	0,03	0,00	-0,14	-0,27
17 EtanolCombus	-0,68	0,00	-0,77	-1,81	-0,80	-0,01	0,24	0,35	0,30	0,69	-0,08
18 Quimicos	-0,43	-0,27	-0,94	-1,83	-0,20	-0,08	0,31	0,11	0,24	0,06	-0,34
19 OutManuf	-0,76	0,14	-0,22	-1,17	0,05	-0,16	0,27	0,16	0,28	0,29	-0,14
20 Metalurgia	-1,01	-0,98	-0,64	-2,14	-0,51	-0,51	0,29	0,07	0,36	0,41	-0,24
21 Eletronicos	0,73	2,42	2,29	1,98	4,07	2,38	1,66	0,95	1,27	1,19	1,40
22 Automoveis	-0,29	0,33	-0,58	-1,65	-0,94	-0,07	0,45	0,32	0,47	0,55	0,34
23 MaqExtConst	-2,52	-1,56	-3,38	-3,75	-4,31	-2,60	-1,07	-1,32	-0,81	-0,62	-1,64
24 Gas	0,37	0,23	0,75	0,90	1,39	0,71	0,43	0,34	0,25	0,15	0,43
25 GerTermoOut	-0,41	-0,28	-0,72	-1,85	-1,48	-1,02	-0,50	-0,30	-0,23	-0,21	-0,33
26 GerEolica	-0,14	-0,16	-12,95	-12,12	-16,50	-12,90	-0,23	-0,15	-17,73	-15,72	-0,16
27 GerDiesOil	-0,02	-0,03	0,02	-1,93	-0,81	-0,73	0,09	-0,03	-0,11	-0,07	-0,06

28 GerTermoCarv	-0,05	-0,16	-0,23	-7,76	-2,94	-1,54	-0,18	-0,12	-0,13	-0,26	-0,17
29 GerTermoGas	-0,04	-0,12	9,17	14,63	36,69	-27,47	-3,54	-5,25	-16,85	-13,44	-9,70
30 GerHidro	-0,15	-0,18	-0,38	-0,95	-0,81	-0,44	-0,24	-0,15	-0,12	-0,11	-0,17
31 GerFotovolt	-0,08	-0,03	56,96	52,95	63,24	26,38	47,57	38,96	-0,02	-0,02	-0,05
32 TeDEletric	-0,13	-0,17	13,93	15,38	23,21	3,69	2,53	0,70	-1,32	-1,40	-2,66
33 AguaEsgRes	0,54	0,16	1,17	1,12	1,75	0,80	0,35	0,25	0,16	0,07	0,38
34 Construcão	0,58	1,01	1,90	2,85	1,87	0,72	0,67	0,44	0,22	0,42	0,39
35 Comercio	0,64	0,30	1,24	1,36	1,72	0,81	0,28	0,20	0,13	0,05	0,40
36 Transporte	-0,69	-0,27	-1,04	-2,01	-0,87	-0,45	-0,23	-0,24	-0,17	-0,30	-0,67
37 Servicos	0,18	0,19	0,63	0,19	1,06	0,47	0,26	0,22	0,11	0,03	0,38
38 SevPesqDesn	-0,59	2,01	9,45	4,08	7,00	3,61	0,72	0,58	0,53	0,57	0,81
39 SevArquiEng	-0,33	0,56	2,66	2,88	3,36	0,81	-0,34	-0,12	-0,55	-1,68	-0,36

Fonte: elaboração própria.

Tabela 22. Produção setorial: desvio acumulado (%) em relação à linha de base no período 2016-2035, por região no Cenário 5

	RestNO	Para	MaranPiaui	CearaRGNorte	PEparaibAL	BahiaSE	RestSE	SaoPaulo	RestSUL	RGSul	CentroOest
1 Agricultura	-0,03	-0,08	-0,10	-0,24	0,01	-0,03	-0,12	-0,08	0,05	-0,01	-0,10
2 CanaDeAcucar	-0,26	-0,11	-0,11	-0,17	-0,20	-0,10	-0,05	-0,16	-0,02	-0,18	-0,28
3 Pecuaria	0,48	0,15	0,37	1,47	0,45	0,69	0,12	0,02	0,15	0,04	0,23
4 PescaAcq	-0,06	-0,13	-0,14	-0,26	-0,02	-0,07	-0,08	-0,04	0,00	-0,02	-0,11
5 Mineracao	0,30	-0,20	-0,39	-0,10	0,11	0,09	-0,23	0,27	1,89	2,38	0,16
6 GasNat	-0,35	-0,05	0,08	0,72	0,35	0,22	2,35	-2,01	-2,27	-3,30	-0,14
7 Petro	0,03	0,04	-0,13	-0,29	-0,13	-0,04	-0,14	-0,04	0,08	0,18	0,01
8 CarnesPeixes	-1,08	-0,32	0,00	-2,46	0,40	-0,34	-0,19	-0,20	0,11	0,05	-0,20
9 Laticinios	-0,72	0,02	0,26	-1,91	0,75	-0,06	0,04	0,00	0,21	0,07	0,02
10 Acucar	0,09	-0,31	-0,33	-0,76	-0,41	0,02	-1,24	-0,35	0,33	0,46	-1,70
11 AlimentBebid	-0,02	0,08	-0,07	-0,24	0,08	0,08	-0,13	-0,01	0,19	0,05	-0,11
12 TextilCouro	-0,08	0,05	-0,17	-0,44	0,09	0,02	-0,07	0,01	0,28	0,17	-0,25
13 MadCelulose	0,10	-0,03	-0,09	-0,31	0,15	0,09	-0,23	0,00	0,14	0,11	-0,12
14 OutCombust	0,18	0,11	0,15	0,06	0,23	0,27	0,00	-0,02	0,15	0,03	0,00
15 OleoComb	0,19	-0,12	-0,19	-0,28	-0,10	-0,11	-0,27	-0,16	0,08	-0,03	-0,22
16 DieselBiodis	0,29	0,01	-0,07	-0,23	-0,04	0,18	-0,04	0,04	0,31	0,22	-0,06
17 EtanolCombus	0,21	0,06	-0,10	-0,32	-0,20	0,10	-0,08	0,03	0,19	0,35	-0,12
18 Quimicos	0,14	-0,01	-0,10	-0,34	0,03	0,06	-0,07	-0,01	0,29	0,14	-0,14
19 OutManuf	0,07	0,07	0,02	-0,18	0,03	0,00	0,00	0,05	-0,01	0,04	0,12
20 Metalurgia	-0,01	-0,09	-0,02	-0,38	-0,02	-0,02	-0,01	0,01	0,24	0,17	-0,06
21 Eletronicos	0,33	0,39	0,41	0,39	0,76	0,07	0,26	0,18	0,21	0,13	0,19
22 Automoveis	0,23	0,06	-0,09	-0,34	-0,23	0,06	-0,06	0,02	0,29	0,28	-0,06
23 MaqExtConst	0,26	0,05	-0,34	-0,45	-0,76	-0,06	-0,19	-0,19	-0,46	-0,20	0,29
24 Gas	0,20	0,11	0,16	0,22	0,36	0,14	0,10	0,04	0,07	0,07	0,08
25 GerTermoOut	-0,02	-0,10	-0,22	-0,25	-0,44	-0,17	-0,34	-0,15	0,02	0,10	-0,30
26 GerEolica	-0,01	-0,06	-9,70	-8,56	-12,17	-9,50	-0,16	-0,07	-13,55	-11,96	-0,14
27 GerDiesOil	-0,03	-0,07	-0,08	-0,06	-0,14	-0,50	-0,14	0,02	-0,05	-0,02	-0,07

28 GerTermoCarv	0,00	-0,10	-0,13	-0,35	-2,18	-0,37	-0,22	0,01	56,23	95,83	-0,14
29 GerTermoGas	0,01	-0,05	2,44	12,31	10,76	-1,44	26,19	41,00	-68,74	-60,45	10,15
30 GerHidro	-7,59	-0,06	-0,12	-0,13	-0,24	-0,07	-0,16	-0,08	-1,68	-11,22	-1,59
31 GerFotovolt	0,00	-0,01	12,66	11,86	14,06	-4,75	10,51	8,63	0,00	0,01	-0,05
32 TeDEletric	-4,68	-0,08	2,86	4,17	5,28	-2,17	7,06	4,62	-5,02	-4,77	0,85
33 AguaEsgRes	-0,10	0,04	0,23	0,25	0,40	0,03	0,14	0,05	-0,09	-0,13	0,06
34 Construcão	-0,20	0,17	0,34	0,63	0,38	0,07	0,36	0,14	-0,64	-0,47	0,39
35 Comercio	0,04	0,06	0,22	0,28	0,35	0,00	0,10	0,04	-0,06	-0,03	0,16
36 Transporte	0,01	-0,03	-0,15	-0,35	-0,16	0,01	-0,13	-0,07	0,12	0,12	-0,20
37 Servicos	-0,08	0,04	0,15	0,07	0,26	0,03	0,10	0,03	-0,04	-0,05	0,02
38 SevPesqDesn	-0,04	0,41	2,07	0,97	1,52	-0,22	0,24	0,14	0,23	0,13	0,15
39 SevArquiEng	-0,65	0,06	0,57	0,70	0,71	-0,12	-0,04	-0,03	-0,83	-0,52	0,17

Fonte: elaboração própria.

ANEXOS

Anexo A – Equações determinantes do investimento no modelo.

Este anexo tem por objetivo expor de forma direta e simplificada o mecanismo que determina o investimento no modelo. As hipóteses e teoria utilizadas também remetem a escola australiana de modelos EGC e, portanto, são similares as adotadas por outros modelos desenvolvidos pelo *Centre of Policy Studies* (CoPS), tais como o MONASH, o ORANIG-RD e o MMRF. As equações e o texto apresentados a seguir são baseados em Horridge (2002).

A alocação de investimento no TERM-BR10 é determinada por dois mecanismos: i) a proporção investimento/capital é positivamente relacionada com a taxa de retorno esperada; e ii) a taxa de retorno esperada converge para a taxa de retorno atual por meio de um mecanismo de ajuste parcial.

Seja:

Pk	preço do aluguel de uma unidade de capital
p	preço de uma unidade de capital
Y	investimento
K	volume de capital

Definindo:

(A.1)	$R = Pk/p$	Taxa atual de retorno do capital atual (bruta)
(A.2)	$G = Y/K$	Taxa de crescimento do capital no próximo período (bruta)
	E	Taxa de retorno esperada para o próximo período

Pela hipótese de que a taxa de crescimento do estoque de capital depende positivamente da taxa esperada de retorno, tem-se que

$$(A.3) \quad G = F(E), \text{ em que } F(E) > 0.$$

Observa-se então que tanto G quanto R , e por extensão E , devem ser positivos. No caso de R , isso é garantido por outras equações do modelo, que implicam preço de aluguel do capital positivo.

Adicionalmente, assume-se que cada indústria tem a sua taxa de retorno natural ou de longo prazo, definida aqui como R_{normal} , e que quando $E = R_{normal}$, tem-se $G = G_{trend}$,

em que G_{trend} seria a taxa de crescimento natural ou secular do capital em determinada indústria. Assim,

$$(A.4) \quad G_{trend} = F(R_{normal})$$

Atribuindo uma curva tipo logística para a função $F()$, tem-se que:

$$(A.5) \quad G = Q G_{trend} M p / (Q - 1 + M p)$$

$$(A.6) \quad M = E / R_{normal}$$

Então,

Se $M = 1$ então $G = G_{trend}$;

Se $M > 1$ então $G = Q G_{trend} = G_{max}$ em que usualmente se assume $Q = 4$; e

Se $M = 0$ então $G = 0$.

Logo, tem-se a convergência da taxa de retorno esperada para a taxa de retorno atual.

Anexo B – Dinâmica do mercado de trabalho.

A equações e a redação deste anexo são baseadas em Wittwer (2012). No TERM-BR10, a nível regional, o salário real é determinado pela oferta e demanda por trabalho, conforme a relação a seguir:

$$\left(\frac{W_t^r}{Wf_t^r} - 1\right) = \left(\frac{W_{t-1}^r}{Wf_{t-1}^r} - 1\right) + \alpha \left(\frac{EMP_t^r}{EMPf_t^r}\right) - \left(\frac{LS_t^r}{LSf_t^r}\right) \quad (A.7)$$

Em que,

W_t^r é o salário real na região r no período t ;

EMP_t^r é a demanda por trabalho na região r no período t ;

LS_t^r é oferta por trabalho na região r no período t ;

α é uma parâmetro, tal que $\alpha > 0$; e

f é um subscrito para representar a variável em sua trajetória de equilíbrio.

A equação (A.7) pode ser interpretada da seguinte forma: se um choque de política enfraquece o mercado de trabalho, $EMP_t^r - EMPf_t^r < 0$, o salário real, então, reduziria-se em relação a sua trajetória de equilíbrio. Por conseguinte, a diferença entre a demanda e a oferta de trabalho implicariam ajustes no salário real, sendo que em sucessivos períodos, as variáveis tenderiam a convergir para sua trajetória de equilíbrio, sendo α o parâmetro que conduziria a velocidade desse ajuste.

Adicionalmente, o nível de emprego em cada região é, além da sua força de trabalho, afetado pela migração inter-regional. Esta, por sua vez, é positivamente relacionada com o salário real. Isto é, se a variação do salário real em determinada região é superior à variação da média nacional haverá migração oriunda das outras regiões e caso a variação no salário seja inferior a nacional há a emigração desta região para as demais. Esse mecanismo pode ser exemplificado pela seguinte relação,

$$\frac{LS_t^r}{LSf_t^r} = \frac{(W_t^r)^\gamma}{\sum_q (W_t^q)^\gamma S_t^q} \bigg/ \frac{(Wf_t^r)^\gamma}{\sum_q (Wf_t^q)^\gamma Sf_t^q} \quad (A.8)$$

Em que,

S_t^q é a participação da região q no emprego nacional no período t ;

γ é uma parâmetro, tal que $\gamma > 0$.

O equilíbrio do mercado de trabalho regional é, portanto, obtido com a combinação das equações (A.7) e (A.8).

Anexo C

Figura 13. Exemplos de estruturas de produção em modelos EGC que incorporaram a substituição entre tecnologias de geração de eletricidade.

Researcher(s)	Simplified nested production structure of electricity production
MIT – Joint Program (Paltsev et al. 2005, pg. 19, 37)	<p>Electricity $CES > 0$</p> <p>Output of perfect substitutes $CES = \infty$</p> <p>Conventional fossil*, Nuclear, Hydro, Various advanced generation technologies</p>
JGCRI - Phoenix (Sue Wing, 2011, pg. 30–31)	<p>Electricity $CES = 0.7$</p> <p>Transmission & Distribution $CES = 1$</p> <p>Generation $CES = 1$</p> <p>Base Load $CES = 4$ Intermediate Load $CES = 4$ Peak Load $CES = 4$</p> <p>Coal, Nuclear, Hydro, Natural Gas, NGCC, IGCC, Geothermal</p> <p>Biomass, Natural Gas, Refined Oil, NGCC</p> <p>Solar, Wind, Natural Gas, Refined Oil, NGCC</p>
GEM-E3 (Capros et al. 2013, pg. 43, Annex VIII)	<p>Electricity $CES = 0$</p> <p>Distribution $CES = 0$</p> <p>Technologies $CES = 0$</p> <p>Coal, Gas, Oil, Nuclear, Hydro, Biomass, Solar, Wind, CCS Coal, CCS Gas</p>
GTEM/CTEM (Arora and Cai, 2015, pg. 545–547)	<p>Electricity $CES = 0$</p> <p>O&M and Distribution $CES = 0$</p> <p>Generation $CRESH = \text{many parameters}$</p> <p>Coal, Gas, Oil, Nuclear, Hydro, Wind, Solar, Biomass, Waste, and Other Renewables</p>
OECD ENV-Linkages (Château et al. 2014, pg. 23, 32)	<p>Electricity $CES = 5$</p> <p>Fossil-fuel based*, Hydro & Geothermal, Nuclear, Solar & Wind, Biomass & Waste</p>

*The conventional fossil sector in Paltsev et al. (2005) and fossil-fuel based sector in Château et al. (2014) have capital-energy and interfuel substitution rather than substituting technologies.

Notes: This is not an exhaustive list of research efforts. Production structures are summarized based on available documentation and simplified for illustrative purposes. Some sectors may be renamed for comparability. Nesting below basic electricity sub-sectors excluded.

Fonte: Peters (2006).