



**Universidade Estadual
de Londrina**

HENRI CLAUDE MACHADO DE FARIAS

**ANÁLISE DA TRANSIÇÃO DO SETOR ELÉTRICO MUNDIAL
E DA ADOÇÃO DE FONTES DE ENERGIA RENOVÁVEIS
COM BASE NO MÉTODO DIFERENCIAL-ESTRUTURAL
ESPACIAL
UMA ANÁLISE GLOBAL ENTRE OS ANOS 2000 E 2021**

LONDRINA - PR

2023

HENRI CLAUDE MACHADO DE FARIAS

**ANÁLISE DA TRANSIÇÃO DO SETOR ELÉTRICO MUNDIAL
E DA ADOÇÃO DE FONTES DE ENERGIA RENOVÁVEIS
COM BASE NO MÉTODO DIFERENCIAL-ESTRUTURAL
ESPACIAL
UMA ANÁLISE GLOBAL ENTRE OS ANOS 2000 E 2021**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Economia Regional (PPE) da Universidade Estadual de Londrina-UEL, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Emerson Guzzi Zuan Esteves

Londrina-PR

2023

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UEL

DE FARIAS, HENRI CLAUDE MACHADO

ANÁLISE DA TRANSIÇÃO DO SETOR ELÉTRICO MUNDIAL E DA ADOÇÃO DE FONTES DE ENERGIA RENOVÁVEIS COM BASE NO MÉTODO DIFERENCIAL-ESTRUTURAL ESPACIAL UMA ANÁLISE GLOBAL ENTRE OS ANOS 2000 E 2021 / HENRI CLAUDE MACHADO DE FARIAS. - Londrina, 2023. 101 f.

Orientador: EMERSON GUZZI ZUAN ESTEVES.

Dissertação (Mestrado em Economia Regional) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Estudos Sociais Aplicados, Programa de Pós-Graduação em Economia Regional, 2023.

Inclui bibliografia.

1. Método diferencial-estrutural; Transição energética; Fontes renováveis; Protocolo de Quioto. - Tese. I. ESTEVES, EMERSON GUZZI ZUAN . II. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Estudos Sociais Aplicados. Programa de Pós-Graduação em Economia Regional. III. Título.

CDU 33

HENRI CLAUDE MACHADO DE FARIAS

**ANÁLISE DA TRANSIÇÃO DO SETOR ELÉTRICO MUNDIAL
E DA ADOÇÃO DE FONTES DE ENERGIA RENOVÁVEIS
COM BASE NO MÉTODO DIFERENCIAL-ESTRUTURAL
ESPACIAL**

UMA ANÁLISE GLOBAL ENTRE OS ANOS 2000 E 2021

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Economia Regional (PPE) da Universidade Estadual de Londrina-UEL, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre.

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof. Dr. Emerson Guzzi Zuan Esteves
Universidade Estadual de Londrina

Prof. Dr. Umberto Antônio Sesso Filho
Universidade Estadual de Londrina

Prof. Dra. Patrícia Pompermayer Sesso
Universidade Estadual de Londrina

Londrina, 13 de novembro de 2023

Dedico este trabalho a minha família, meus pais e irmãs que me apoiaram em todo tempo. E ao meu salvador Jesus Cristo que sempre me acompanha.

AGRADECIMENTOS

Inicialmente dedico um especial agradecimento aos meus pais e irmãs que sempre estiveram ao meu lado e são o principal suporte em todos os momentos da minha vida.

Dedico também toda minha gratidão à UEL – Universidade Estadual de Londrina - e a todo o corpo docente do Programa de Pós-Graduação em Economia Regional da Universidade Estadual de Londrina, que me incentivaram no caminho de estudo das ciências econômicas.

Em especial gostaria de agradecer ao meu professor orientador Emerson Guzzi Esteves, pela atenção, conselhos e encorajamento tão necessários à elaboração desta tese e também ao professor Umberto Antônio Sesso Filho pela importante colaboração nas definições do objeto de pesquisa;

Aos meus colegas de turma pelo ambiente agradável e pelo apoio e auxílio em vários momentos no decorrer do Mestrado;

A todos meus profundos agradecimentos!

FARIAS, Henri Claude Machado. **Análise da transição do setor elétrico mundial e da adoção de fontes de energia renováveis com base no Método Diferencial-Estrutural Espacial. Uma análise global entre os anos 2000 e 2021.** 101 f. Dissertação (Pós-Graduação, Mestrado em Economia Regional). Centro de Estudos Sociais Aplicados, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2023.

RESUMO

No final do século XX a sociedade começou a se preocupar com os efeitos prejudiciais das emissões de gás de efeito estufa sobre o meio-ambiente e o clima, como por exemplo o derretimento das geleiras que provocaria a um aumento significativo do nível dos oceanos e o deslocamento de um grande número de comunidades para regiões mais no interior dos países. Para enfrentar este grande problema a comunidade internacional propôs grandes encontros que reuniram a maioria dos países do mundo para discutir a questão climática e propor soluções. Destes encontros dois deles se destacam em virtude das ações tomadas, o primeiro realizado no Japão que culminou no Protocolo de Quioto (1997) e o segundo na capital da França e levou a assinatura do Acordo de Paris (2015). Ambos documentos propuseram ações para limitar a emissão de gases GEE (gases de efeito estufa) sendo a principal ação o abandono gradual de fontes fósseis na geração de energia elétrica como por exemplo carvão, petróleo, gás natural substituindo-as pela adoção de fontes mais limpas como hidroeletricidade, eólica, solar, biomassa entre outras. O objetivo desta pesquisa é, após mais de vinte anos, analisar os resultados destas ações no setor elétrico global e por meio do uso do Método Diferencial-Estrutural Espacial avaliar a expansão na utilização de fontes de energia renováveis no período composto entre 2000–2015 e 2015-2021 e compará-las com a evolução das fontes mais tradicionais no mesmo período e verifica-se que há um retrocesso na utilização de carvão e derivados de petróleo e um forte incremento no uso global de gás natural, eólicas e energia solar. Em seguida é feita a comparação tendo como base os países do globo e analisando quais deles se destacam na transição do setor elétrico. Neste item é dada especial atenção aos resultados dos países membros do G7 (Estados Unidos, Canadá, Japão, França, Alemanha, Reino Unido e Itália) que apresentaram forte expansão de fontes renováveis e os países pertencentes ao BRICS em 2022 formado por Brasil, Rússia, Índia, China e África do Sul com uma forte adição energia elétrica por todas as fontes seja via fontes fósseis ou sejam por fontes renováveis. Finalmente é medido o impacto no mercado de trabalho da implantação de fontes de energia renovável salientando o número de empregos gerados pelo setor de energia renovável e destacando as fontes que geram mais empregos diretos e indiretos onde se destaca o incremento na geração de empregos na geração de energia solar.

Palavras-chave: Método diferencial-estrutural; Transição energética; Fontes renováveis; Protocolo de Quioto.

FARIAS, Henri Claude Machado. **Analysis of the global electricity transition and the adoption of renewable sources based on the Spatial Shift-Share Method. A global analysis between the years 2000 and 2021.** 101 p. Dissertation (Postgraduate Programme, Master's Degree in Regional Economics). Centre for Applied Social Studies, State University of Londrina, Londrina, 2023.

ABSTRACT

At the end of the 20th century, society began to worry about the harmful effects of greenhouse gas emissions on the environment and climate, such as the melting of glaciers, which would cause a significant increase in ocean levels and the displacement of a large number of communities to regions further inland. To face this major problem, the international community proposed large meetings that brought together most of the world's countries to discuss the climate issue and propose solutions. Of these meetings, two stand out due to the actions taken, the first held in Japan which culminated in the Kyoto Protocol (1997) and the second in the capital of France and led to the signing of the Paris Agreement (2015). Both documents proposed actions to limit the emission of GHG gases (greenhouse gases), the main action being the gradual phase-out of fossil sources in the generation of electricity, such as coal, oil, natural gas, replacing them with the adoption of cleaner sources, such as hydroelectricity, wind, solar, biomass, among others. The objective of this research is, after more than twenty years, to analyze the results of these actions in the global electricity sector and, through the use of the Spatial Shift-Share Method, to evaluate the expansion in the use of renewable energy sources in the period between 2000–2015 and 2015-2021 and compare them with the evolution of more traditional sources in the same period and it appears that there is a decline in the use of coal and oil and a strong increase in the global use of natural gas, wind and solar energy. Next, a comparison is made based on countries across the globe and analyzing which of them stand out in the transition of the electricity sector. In this item, special attention is paid to the results of the G7 member countries (United States, Canada, Japan, France, Germany, United Kingdom and Italy) that showed a strong expansion of renewable sources and the countries belonging to the BRICS in 2022 formed by Brazil, Russia, India, China and South Africa with a strong addition of electrical energy from all sources, whether via fossil sources or renewable sources. Finally, the impact on the labor market of the implementation of renewable energy sources is measured, highlighting the number of jobs generated by the renewable energy sector and highlighting the sources that generate more direct and indirect jobs, highlighting the increase in job creation in the generation of solar energy.

Keywords: Electricity sector; Renewable sources; Energy transition; Kyoto Protocol.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: método diferencial-estrutural	33
Tabela 2: efeito especialização e vantagem competitiva	41
Tabela 3: avaliação dos países no período 2000 - 2015	66
Tabela 4: avaliação dos países no período 2015 - 2021	69
Tabela 5: avaliação dos países no período 2021 - 2022	70

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Análise do carvão no período 2000-2015.....	43
Figura 2: Análise do carvão no período 2015-2021.....	43
Figura 3: Análise do óleo diesel no período 2000-2015	46
Figura 4: Análise do óleo diesel no período 2015-2021	46
Figura 5: Análise do gás natural no período de 2000-2015.....	49
Figura 6: Análise do gás natural no período de 2015-2021.....	49
Figura 7: Análise da energia nuclear no período de 2000-2015.....	52
Figura 8: Análise da energia nuclear no período de 2015-2021.....	52
Figura 9: Análise das hidrelétricas no período 2000-2015	54
Figura 10: Análise das hidrelétricas no período 2015-2021	54
Figura 11: Análise da energia eólica no período de 2000-2015	56
Figura 12: Análise da energia eólica no período 2015-2021	56
Figura 13: Análise de energia fotovoltaica no período 2000-2015	59
Figura 14: Análise de energia fotovoltaica no período 2015-2021	59
Figura 15: Análise de bioenergia no período de 2000-2015.....	61
Figura 16: Análise de bioenergia no período 2015-2021.....	61
Figura 17: Análise de outras fontes renováveis no período 2000-2015	64
Figura 18: Análise de outras fontes renováveis no período 2015-2021	54
Figura 19: Geração de empregos em hidroeletricidade	72
Figura 20: Geração de empregos em energia eólica	74
Figura 21: Geração de empregos em energia fotovoltaica – solar.....	75
Figura 22: Geração de empregos em biomassa e biogás.....	76
Figura 23: Geração de empregos em energia geotérmica	78

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABRACE	As. dos Consumidores Industriais e de Consumidores Livres
ACL	Ambiente de Contratação Livre
ACR	Ambiente de Contratação Regulada
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
CCC	Conta de Consumo de Combustíveis
CCEE	Câmara de Comercialização de Energia Elétrica
CDE	Conta de Desenvolvimento Energético
CFURH	Compensação Financeira pela Utilização de Recursos Hídricos
CGH	Centrais Geradoras Hidrelétricas
CMSE	Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico
CNPE	Conselho Nacional de Política Energética
DNAEE	Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
GEE	Gás de Efeito Estufa
HVDC	High Voltage Direct Current
IRENA	International Renewable Energy Agency
IEA	International Energy Agency
MAE	Mercado Atacadista de Energia Elétrica
MME	Ministério de Minas e Energia
ONS	Operador Nacional do Sistema Elétrico
PCH	Pequenas Centrais Hidrelétricas
PGE	Poliglicol Éster
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
PROINFA	Programa de Incentivo às Fontes Alternativas
PTE	Poliglicol Éter
SIN	Sistema Interligado Nacional
TFSEE	Taxa de Fiscalização de Serviços de Energia Elétrica
UHE	Usina Hidrelétrica de Energia

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 CARACTERIZAÇÃO DA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA	15
2.1 PROTOCOLO DE QUIOTO	15
2.2 ACORDO DE PARIS	16
2.3 FONTES DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA	17
2.3.1 FONTE NÃO RENOVÁVEL	17
2.3.2 Fonte Renovável	18
2.4 Energia Termelétrica	18
2.4.1 Centrais Elétricas a Carvão	19
2.4.2 Centrais a Diesel	19
2.4.3 Centrais a Gás	20
2.4.4 CENTRAIS NUCLEARES	21
2.5 ENERGIA HIDRELÉTRICA	21
2.6 ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA	22
2.7 ENERGIA EÓLICA	23
2.8 ENERGIA POR BIOMASSA	24
2.9 ENERGIA PELAS MARÉS/ONDAS - MAREMOTRIZ	25
2.10 ENERGIA GEOTÉRMICA	25
2.11 ENERGIA POR CÉLULAS DE COMBUSTÍVEL	26
3 REVISÃO DA LITERATURA TÉORICA E EMPÍRICA	27
4 METODOLOGIA	30
4.1 MÉTODO CLÁSSICO DE ANÁLISE DIFERENCIAL-ESTRUTURAL (SHIFT-SHARE)	30
4.2 DEFINIÇÃO DO MÉTODO DIFERENCIAL- ESTRUTURAL (SHIFT-SHARE)	31
4.3 MATRIZ BASE DO MÉTODO DIFERENCIAL-ESTRUTURAL	32
4.4 MÉTODO DIFERENCIAL-ESTRUTURAL (SHIFT-SHARE) CLÁSSICO	33
4.4.1 Variação real na Geração de Energia de um País	34
4.4.2 Variação Regional ou Teórica (R)	35
4.4.3 Variação Estrutural ou Proporcional (P)	35
4.4.4 Variação Diferencial (D)	36
4.4. 5 Variação na Geração Total:	37

4.5 MÉTODO SHIFT-SHARE MODIFICADO OU MODELO DE ESTEBAN-MARQUILLAS	38
4.5.1 Efeito Competitivo (D').....	39
4.5.2 Efeito Alocação (A)	40
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	43
5.1 ANÁLISE ESPACIAL	43
5.1.1 Análise Diferencial-Estrutural da Utilização de Termelétricas a Carvão	43
5.1.2 Análise Diferencial-Estrutural da Utilização de Termelétricas a Óleo Diesel	46
5.1.3 Análise Diferencial-Estrutural da Utilização de Termelétricas a Gás Natural.....	49
5.1.4 Análise Diferencial-Estrutural da Utilização de Termelétrica Nuclear	52
5.1.5 Análise Diferencial-Estrutural da Utilização de Hidrelétricas	54
5.1.6 Análise Diferencial-Estrutural da Utilização de Parques Eólicos	56
5.1.7 Análise Diferencial-Estrutural da Utilização de Sistemas Fotovoltaicos – Solar	59
5.1.8 Análise Diferencial-Estrutural da Utilização de Sistemas de Bioenergia	61
5.1.9 Análise Diferencial-Estrutural da Utilização de Outras Fontes Renováveis	64
5.2 ANÁLISE POR PAÍS	66
5.2.1 ANÁLISE NO PERÍODO 2000 – 2015	66
5.2.2 ANÁLISE NO PERÍODO 2015 - 2021	68
5.2.3 ANÁLISE NO PERÍODO 2021 – 2022	70
5.3 GERAÇÃO DE EMPREGOS EM FONTES RENOVÁVEIS	71
5.3.1 Empregos em Hidroeletricidade	71
5.3.2 Empregos em Geração Eólica - Ventos.....	73
5.3.3 Empregos em Geração Fotovoltaica – Solar	74
5.3.4 Empregos em Geração Elétrica por Biomassa e Biogás	76
5.3.5 Empregos em Geração Geotérmica	77
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	79
REFERÊNCIAS.....	81
ANEXOS.....	85

1 INTRODUÇÃO

Em 1992, chefes de Estado de todos os continentes se reuniram no Rio de Janeiro para tratar problemas ambientais em uma conferência organizada pelas Nações Unidas. Um dos principais temas do encontro foi a mudança climática e formas de enfrentar os problemas ocasionados pela influência humana nos padrões climáticos. De modo a aprofundar as discussões definiu-se por um novo encontro onde este assunto seria novamente tratado.

Esse novo encontro ocorreu cinco anos depois quando os líderes mundiais e seus representantes reuniram-se novamente em Quioto – Japão e assinaram um documento conhecido como Protocolo de Quioto. Segundo Oliveira (2014), este acordo definia metas para redução de gases poluentes, especialmente o CO₂, principais responsáveis pelo “efeito estufa”.

Para atender esta meta foram definidos entre outros, dois parâmetros muito importantes, a reforma do setor de geração de energia e a promoção de novas fontes renováveis de energia. Este acordo foi seguido por outro em 2015 conhecido como Acordo de Paris. Esta mudança das fontes de energia baseadas em uma matriz fóssil e poluente, rica em emissão de gases de efeito estufa por uma matriz de geração limpa e constituída por fontes renováveis é conhecida como transição energética do setor elétrico.

A partir deste pano de fundo a pesquisa busca avaliar o resultado destas ações após mais de vinte anos da assinatura do Protocolo de Quioto. Entre as questões três se destacam, a evolução da implantação de fontes limpas e renováveis quando comparadas com as fontes fósseis tradicionais e, neste caso, ficou constatado um crescimento muito forte das fontes eólicas e fotovoltaicas após 2015. O segundo questionamento foi avaliar os países individualmente e se eles se encontram em processo de transição energética ou não e verificou-se que na América do Norte e Europa está ocorrendo uma substituição de fontes fósseis por renováveis, enquanto que na Ásia ocorreu um forte crescimento na geração de energia de todas as fontes, independente do modal. Finalmente, avaliou-se a geração de empregos nos últimos dez anos em fontes renováveis e constatou-se certa estabilidade em empregos em hidroeletricidade e um forte crescimento de contratações para atividades em fontes eólica e fotovoltaicas.

Os dados utilizados na pesquisa foram extraídos da base de dados de fontes

conceituadas no mercado como o sítio “*Our World in Data*” que reúne dados do “*Energy Institute Statistical Review of World Energy (2023)*”, antes conhecido como “*BP Statistical Review*”.

Após extrair os dados de geração de energia por modal, aplicou-se o método matemático conhecido como “Método Diferencial-Estrutural” baseado na formação de uma matriz constituída pela parcela de geração elétrica de cada país por tipo de fonte e que permite decompor a variação na geração de energia dos países em efeito estrutural impulsionado pela vantagem de uma fonte de energia sobre as outras, efeito competitivo que compara a evolução dos diversos países em relação a uma dada fonte e o efeito competitivo que extrai a parcela do efeito estrutural sobre o efeito competitivo.

O estudo é composto pelos seguintes itens caracterização da geração de energia elétrica, onde é feita uma breve explanação sobre as formas mais comuns de fontes de energia, em seguida é apresentado a revisão da literatura teórica e empírica, a metodologia de pesquisa, finalizando com a apresentação dos resultados das considerações finais.

2 CARACTERIZAÇÃO DA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

2.1 PROTOCOLO DE QUIOTO

As preocupações ambientais começaram a ganhar importância na sociedade e nos meios acadêmicos nos anos 80 segundo Godoy (2007). Nos anos seguintes, especialmente no final da década de 90 e início do século XXI se consolidou a visão antropocêntrica das mudanças climáticas, ou seja, a principal causa das mudanças climáticas estaria relacionada as atividades humanas e não eventos naturais. Entre os principais poluidores encontrava-se as atividades de geração de energia, transportes, agricultura, indústria e desflorestamento.

Como resposta da comunidade internacional as mudanças climáticas, foi firmado o protocolo de Quioto em 1997 e que entrou em vigor em fevereiro de 2005 e foi um documento que definiu as metas de redução de emissões de gases de efeito estufa pelos países desenvolvidos considerados na época os maiores responsáveis pelas mudanças climáticas.

Na primeira etapa do processo entre 2008-2012, trinta e sete países industrializados e mais os países que compunham a União Europeia se comprometeram a reduzir em média 5% a emissão de gases GEE (Gases de Efeito Estufa). Na segunda etapa do processo a meta foi atualizada com estes países se comprometendo a alcançar no período entre 2013-2020 uma redução de ao menos 18% nos níveis de emissão de poluentes tendo como base o ano de 1990.

Segundo Godoy (2007), o protocolo foi um marco histórico relacionado às questões ambientais por promover tratamento diferenciado para países desenvolvidos e em desenvolvimento. Deste modo, o protocolo não definia o quanto cada país deveria reduzir de suas emissões, mas deixava que os países definissem suas metas e a forma como alcançá-los. Países em desenvolvimento como Brasil, México, Argentina e Índia não tiveram metas de redução.

As medidas estruturais que deveriam ser aplicadas visando reduzir as emissões de gases se concentravam em seis grupos, reforma dos setores de energia e transportes, promoção de fontes de energia renováveis (transição energética), redução de financiamento de atividades poluidoras, limitação na emissão de metano, gerenciamento de resíduos poluentes e proteção das florestas como unidades de retenção de carbono.

Inicialmente, o objetivo do protocolo era reduzir a temperatura global entre 1,4°C e 5,8°C até 2100, mas alguns cientistas já acreditavam que uma redução de 5% em relação aos níveis de 1990 seriam insuficientes para reduzir o aquecimento global.

2.2 ACORDO DE PARIS

Em 12 de dezembro de 2015, foi assinado um novo documento chamado de “Acordo de Paris” que foi discutido por 195 países e ratificado pela maioria deles. O principal objetivo do acordo foi forçar uma redução mundial das emissões de gases de efeito estufa via redução do uso de combustíveis fósseis na matriz energética.

Segundo Scovazzi (2021), o objetivo consistia em conter o aumento da temperatura média da Terra em um valor inferior a 2 °C em relação aos níveis pré-industriais e em seguida atuar para limitar o aumento em 1,5 °C até que fosse

atingido um equilíbrio entre emissões e absorções de gases de efeito estufa na segunda metade do século.

Neste novo acordo, cada país definiria suas próprias metas com os países desenvolvidos fazendo um esforço maior enquanto os países em desenvolvimento também teriam suas metas, mas em um nível de redução mais baixo. Além disso, os países desenvolvidos deveriam financiar a tecnologia necessária aos os países mais pobres.

No campo de geração de energia elétrica e transportes, segundo Oliveira (2014), as principais medidas para atingirem as metas englobaria aumentar o uso de fontes alternativas de energia, aumentar a participação de fontes renováveis na matriz energética, investir na eficiência energética alcançando uma redução no consumo, melhorar a performance do sistema de transporte com o uso de biocombustíveis nos veículos e a redução do desmatamento.

2.3 FONTES DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

O objeto de pesquisa se concentra apenas em duas medidas das seis apresentadas no Protocolo de Quioto para enfrentar as mudanças climáticas: a reforma do setor elétrico e o incentivo a adoção de fontes renováveis. Segundo Reis (2003), as fontes de geração de energia se apoiam em duas formas de matéria-prima para gerar energia elétrica por meio de processos físicos e químicos: a primeira utiliza fontes não renováveis como óleo diesel, carvão e gás natural, mais utilizadas até hoje e a segunda é composta de fontes renováveis que se tornaram as mais populares hoje em dia, como por exemplo fontes eólicas e solar.

2.3.1 Fonte Não Renovável

São aquelas fontes que utilizam matéria-prima que se esgotam na natureza e causam impactos ambientais. As principais matérias-primas não renováveis são petróleo, carvão mineral, xisto betuminoso e urânio.

2.3.2 Fonte Renovável

São aquelas fontes que utilizam recursos naturais que não se esgotam com a utilização (hidráulica, solar, eólica) ou são capazes de se regenerar (biocombustíveis).

2.4 ENERGIA TERMELÉTRICA

As centrais termelétricas baseiam-se na conversão de energia na forma térmica em energia mecânica e em seguida reconvertida em energia elétrica. Deste modo, de acordo com Reis (2003) a conversão de energia térmica em mecânica é feita por meio de um fluido que será expandido e assim movimentará o eixo de uma turbina conectada a um gerador que fará ao final do processo a conversão de energia mecânica em elétrica.

Assim, podemos definir este modo de produção de energia como a transformação da energia química dos combustíveis, via combustão. Uma segunda forma é a fissão nuclear utilizando combustíveis radioativos.

Segundo Reis (2003) as centrais termelétricas se classificam segundo o método de combustão, podendo ser de combustão externa quando o combustível não entra em contato com o fluido de trabalho que normalmente é a própria água, este é o caso das turbinas a vapor. O segundo caso é conhecido como combustão interna que ocorre quando se mistura o fluido, neste caso ar com o combustível, este caso é o mais comum em turbinas a gás.

Por exemplo, em um sistema de combustão externa (vapor) a queima do combustível gera calor que transforma o fluido de líquido em gás na caldeira, o vapor se expande passando de pressão alta para baixa na turbina a vapor gerando eletricidade. Em seguida, o vapor sai da turbina e passa por um condensador onde se retem o calor refrigerando o fluido e fazendo-o retorna ao estado líquido. O fluido já na forma líquida é novamente bombeado para a caldeira, recomeçando o ciclo. Os principais combustíveis utilizados são óleo, carvão e biomassa.

2.4.1 Centrais Elétricas a Carvão

Apesar de já se utilizar carvão mineral para geração de luz e calor desde a China antiga, o material só foi amplamente utilizado como fonte de energia em máquinas a vapor com o nascimento da Revolução Industrial no século XVIII em substituição a utilização de madeira.

Segundo Reis (2003), no começo do século XXI o carvão ocupava a primeira posição na matriz energética global, devido ao baixo custo e por ser uma tecnologia já bem conhecida e dominada na maioria dos países. Por ser um combustível sólido apresenta alto custo de logística por não ser possível transportá-lo em oleodutos. Países como Austrália, Estados Unidos e Indonésia são grandes exportadores mundiais de carvão mineral para geração de energia elétrica.

Embora ainda seja uma fonte de energia muito utilizada mundialmente como fonte de energia o carvão é altamente poluente, pois emite grandes quantidades de gases poluentes, especialmente CO₂.

2.4.2 Centrais a Óleo

É uma das formas mais comuns e disseminadas de geração de energia elétrica e faz uso de grupo motor-gerador com óleo diesel ou óleo combustível como fonte de energia primária. A queima do óleo move o motor que movimenta o eixo do gerador gerando energia elétrica.

Dos meios mais tradicionais para geração de eletricidade é o mais flexível permitindo a montagem e desmontagem rápida, pode também ser instalado próximo ao local de consumo, ou seja, onde a energia elétrica é necessária. A manutenção de centrais a óleo é relativamente simples e apresenta boa eficiência, não precisando de grande conhecimento e recursos técnicos muito específicos para operá-lo.

No entanto, mesmo com estas vantagens é uma tecnologia controversa, pois tem o defeito de emitir muitos gases de efeito estufa, como por exemplo o dióxido de enxofre (SO₂), óxidos de nitrogênio (NO₂) e partículas, além de dióxido de carbono (CO₂). Isso levanta preocupações ambientais, especialmente quando são utilizadas por períodos prolongados de tempo.

Deste modo segundo Reis (2003), as centrais elétricas a diesel e óleo combustível ainda são consideradas uma fonte versátil de eletricidade especialmente para países pobres e com baixo consumo ou em regiões isoladas onde o custo para instalar grandes linhas de transmissão seja proibitivo. No entanto, as preocupações ambientais pelo alto grau de emissão de poluentes estão levando a uma busca por fonte renováveis nos países desenvolvidos, substituindo assim as centrais a óleo por outras formas de geração.

2.4.3 Centrais a Gás

O gás natural é o nome dado a uma mistura de hidrocarbonetos e impurezas. Os hidrocarbonetos são compostos principalmente por metano (CH_4) e quantidades menos significativas de etano (C_2H_6), propano (C_3H_8) e butano (C_4H_{10}), já as impurezas são em sua maioria são dióxido de carbono (CO_2) e gás sulfídrico (H_2S) que são retirados antes da utilização comercial.

Segundo Reis (2003) o mercado de gás evoluiu lentamente até os anos 50, mas começou um crescimento acelerado no final dos anos 60 especialmente após as crises de petróleo de 1973/1979 quando o mundo começou a considerar o gás natural como forma de substituição do petróleo.

O gás natural embora não seja renovável é bem menos poluente que o carvão ou óleo, restringindo seus compostos poluentes praticamente a quantidades menores de gás carbônico. No entanto, apresenta alto custo de implantação, especialmente da malha de transporte composto por gasodutos que encarece muito o projeto de instalação das centrais.

A Alemanha e o Japão estão entre os maiores importadores de gás natural enquanto Argélia e Rússia (antes da guerra com a Ucrânia) figuravam entre os maiores exportadores. No Brasil, o uso de gás teve um grande impulso com a entrada em funcionamento do gasoduto Brasil-Bolívia, mas problemas políticos e por fim, questões técnicas acabaram por diminuir a disponibilidade de gás natural da Bolívia no Brasil.

2.4.4 Centrais Nucleares

A energia nuclear é gerada pela liberação de energia térmica em grande quantidade a partir do processo de fissão nuclear. No processo de fissão nuclear o núcleo de um átomo pesado, geralmente urânio ou plutônio, divide-se em dois ou mais núcleos menores, liberando uma grande quantidade de energia. No entanto, para se utilizar o urânio na geração de eletricidade é necessário que o material passe por um processo tecnológico conhecido como enriquecimento.

A energia nuclear não gera gases de efeito estufa, mas os resíduos nucleares tem potencial permanente e podem levar a contaminação do solo. Outro problema relacionado as centrais nucleares é a péssima imagem com o público devido aos acidentes ocorridos em Chernobyl (1986) e Fukushima (2011).

O receio de acidentes nucleares somados a restrição na transferência da tecnologia pelos países detentores restringiu a expansão de centrais nucleares e fizeram com que elas se concentrassem principalmente nos países desenvolvidos e em potências nucleares como Estados Unidos, França, Alemanha, Japão, Rússia e China.

Embora a tecnologia venha em baixa nas últimas décadas existe uma expectativa muito grande de um novo impulso no futuro caso os cientistas tenham sucesso em controlar o processo de fusão nuclear. Caso a fusão torne-se segura e comercialmente viável a balança de geração de energia poderá se inclinar novamente para o uso da energia nuclear.

2.5 ENERGIA HIDRÁULICA

A energia hidráulica é uma fonte de energia renovável gerada a partir de usinas hidrelétricas ocasionadas pela energia cinética da queda d'água de rios e córregos. Esta é uma forma de geração de eletricidade muito comum nos cinco continentes, especialmente em países com recursos hídricos abundantes.

Segundo Reis (2003), o processo de geração é composto por quatro etapas, a primeira é a captura de água de uma fonte, como um rio ou lago por meio de barragens ou represas que armazenam uma grande quantidade de água. A segunda etapa é controlar o fluxo de água do ponto mais alto para o mais baixo

carregando grande quantidade de energia cinética formada pela elevada massa em alta velocidade descendo a barragem. Em seguida esse fluído passa por turbinas localizadas na parte baixa da hidrelétrica que são conectadas a geradores elétricos. A função das turbinas é capturar energia cinética e transformá-la em energia mecânica para os geradores. Por fim, como as turbinas estão ligadas aos geradores, esta energia mecânica é reconvertida em energia elétrica por meio do princípio da indução eletromagnética de Faraday e injetada na rede de distribuição elétrica.

A principal vantagem da energia hidráulica é ser renovável, assim os reservatórios enchem novamente com as próximas chuvas. Além disso, é uma energia limpa, que não produz emissões de gases de efeito estufa e permite armazenamento de energia potencial em forma de água em seus reservatórios.

Já a maior desvantagem é o impacto ambiental provocado pela construção de grandes barragens que inundam vastas áreas de terra produtiva. Outro problema é o alto custo para se construir as usinas e adquirir as áreas e enfim, esse sistema cria uma grande dependência das condições climáticas e da sazonalidade, pois pode haver descasamento entre o período de maior armazenamento de água e o período de maior consumo de energia o que pode levar a períodos em que sobram potencial elétrico e outros em que há falta de capacidade de geração.

Mesmo com estas desvantagens o sistema é amplamente disseminado e usado em muitos países do mundo com rios disponíveis como países das Américas, Ásia e África.

2.6 ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

A energia solar fotovoltaica é uma das principais energias renováveis e vem se expandindo muito nos últimos anos devido ao desenvolvimento ocorrido na eletrônica que aumentou a eficiência do sistema e diminuindo seus custos. Existem duas formas de utilizar o potencial solar para geração de eletricidade segundo Reis (2003), o mais comum e muito mais utilizado são os sistemas fotovoltaicos autônomos que transformam energia solar em elétrica diretamente. A segunda forma, menos conhecida são os sistemas térmicos, em que a energia solar é usada para produzir vapor que acionará uma termelétrica a vapor. Em ambos os casos o

aproveitamento depende da radiação solar.

A incidência da radiação solar sobre um corpo é a soma dos componentes direto, que incide sobre o corpo sem sofrer qualquer mudança de direção além da provocada pela refração na atmosfera. A segunda é radiação difusa que é recebida pelo corpo após os raios solares serem espalhados na atmosfera. O último caso é a radiação refletida que depende das características do solo e da inclinação do corpo.

O sistema fotovoltaico autônomo de geração de eletricidade é composto por módulos fotovoltaicos, reguladores de tensão, sistema de armazenamento de energia (opcional) e inversor de corrente contínua/corrente alternada. O mais comum nas células fotovoltaicas é a célula de silício monocristalinos. Já um dos componentes mais importantes do sistema é o inversor que converte energia CC (corrente contínua) para a forma CA (corrente alternada).

As principais vantagens do sistema fotovoltaicos são: o fato de ser renovável, portanto, há abundância da matéria-prima, também permite a instalação por pequenos consumidores diferente de outros sistemas muito caros que permite apenas a instalação de sistema por grandes empresas ou concessionárias do setor, também é uma energia limpa com pouca emissão de gases de efeito estufa e por fim permite a instalação simplificada em locais de difícil acesso.

As maiores desvantagens do sistema é a dependência da luz solar que é varia de acordo com as condições climáticas ocasionando um nível de produção de energia com baixa previsibilidade. Outro problema adicional é o custo elevado caso se queira armazenar a energia produzida em um período para consumo em um momento de escassez.

2.7 ENERGIA EÓLICA

A energia eólica é aquela produzida pelo movimento do ar, capturado por turbinas eólicas de acordo com Reis (2003). Os ventos são influenciados pelo movimento de rotação da Terra que provoca variações sazonais na sua intensidade e também em sua direção. Os ventos se movem dos polos para a linha do Equador e substituem o ar quente que sobe deste ponto para a atmosfera.

Um sistema eólico autônomo é normalmente constituído por rotor,

transmissão, controle, conversor e sistema de armazenamento. O rotor é responsável por captar a energia cinética dos ventos e transformá-la em energia mecânica no eixo. A transmissão leva esta energia mecânica do eixo do rotor até o eixo do gerador. O conversor converte energia mecânica em energia elétrica. O gerador pode ser CC, síncrono ou de indução. O sistema de controle é formado por um conjunto de sensores que garantem o funcionamento seguro do sistema. Por fim, o sistema de armazenamento é constituído por baterias que armazenam a energia para ser utilizada em momentos de necessidade e em que os ventos não estejam disponíveis.

As principais vantagens da geração eólica são: ser uma fonte renovável com baixa emissão de gases de efeito estufa e com baixo custo de manutenção. Já as desvantagens se concentram no grande espaço utilizado, emissão de ruído que prejudica as comunidades ao redor dos parques eólicos, a morte de pássaros que colidem com as pás do rotor, outros impactos na vida selvagem da região e por fim maior dificuldade de integração com a rede elétrica.

2.8 ENERGIA POR BIOMASSA

É considerado uma fonte renovável, pois os gases de efeito estufa emitidos são reabsorvidos pela fotossíntese durante os períodos de plantação e colheita das próprias plantas utilizadas para formar biomassa e equilibrando assim a balança entre produção e consumo de gases de efeito estufa. A energia por biomassa é uma forma de energia gerada por centrais termelétricas que podem gerar energia por meio de material combustível como etanol, bagaço de cana, carvão vegetal, lenha entre outros. A energia elétrica também pode ser obtida via gaseificação de matéria orgânica.

As principais vantagens segundo desta forma de energia Reis (2003) é a renovabilidade e a redução dos resíduos não utilizados em outros processos industriais e o fato de pequenas centrais térmicas a biomassa serem de construção simples e barata, podendo ser instalada em locais de difícil acesso.

Já as desvantagens se concentram na emissão de gases de efeito estufa especialmente metano, a dependência da matéria-prima e pela baixa eficiência do sistema como um todo.

2.9 ENERGIA PELAS MARÉS/ONDAS - MAREMOTRIZ

As marés são provocadas pela atração gravitacional que a Lua exerce sobre a Terra segundo Neto (2011) e a energia gerada neste sistema é proveniente do enchimento e esvaziamento alternado de baías e estuários.

Neste caso, a eletricidade é gerada por turbinas axiais cujas pás são movimentadas pela variação na vazão d'água, podendo ser usada em ambas as direções, na subida e na descida. Isso ocorre, porque a interação dos ventos com a superfície do mar possui uma energia cinética composta pela velocidade das partículas do fluido e uma parcela de energia potencial formada pela função da quantidade de água deslocada do nível médio do mar, a variação dos níveis de energia acaba gerando energia elétrica nos geradores.

O uso de geração pela energia das ondas evita a emissão de gases de efeito estufa e permite uma fonte de geração relativamente estável, pois o movimento das marés é previsível, uma vantagem adicional, que é a construção de barragens perto da costa o que protegeria os moradores da região dos efeitos das grandes tempestades marítimas.

Já com relação as desvantagens elas se concentram nos altos custos de implantação do sistema e também do desenvolvimento tecnológico necessário para gerar energia desta forma de maneira mais eficiente.

2.10 ENERGIA GEOTÉRMICA

A energia geotérmica é obtida a partir do calor proveniente do interior da Terra de acordo com Omido (2017). Existem duas formas mais comuns de gerar eletricidade a partir da energia geotérmica, na primeira retira-se o vapor quente de reservatórios no subterrâneo e após uma filtragem especial em que partículas sólidas são retiradas o vapor é redirecionado a uma turbina, movimentando as pás conectadas a um eixo que move um gerador elétrico. No segundo caso, a água quente é utilizada para aquecer um outro fluido que possui um ponto de ebulição mais baixo que ao ser aquecido se transforma em gás que move as pás de um gerador.

Trata-se de uma de uma forma de geração de energia renovável e limpa,

com baixa emissão de gases de efeito estufa, no entanto apresenta alguns problemas na sua implantação como por exemplo o custo inicial de implantação elevado, limitação na capacidade de geração e restrição geográfica de instalação, pois uma central destes moldes só pode ser construídas em áreas bem restritas e não é pode ser disseminada por todos os países. Atualmente a energia geotérmica é mais utilizada no processo de calefação em países europeus do que na geração de eletricidade.

2.11 ENERGIA POR CÉLULAS DE COMBUSTÍVEL

As células a combustível são tratadas por Linardi (2008) na “Revista - Economia e Energia” e são constituídos por dispositivos eletroquímicos que geram eletricidade a partir de reações químicas utilizando principalmente hidrogênio como combustível.

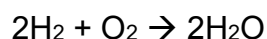
No modelo de células de combustível temos um eletrólito entre dois eletrodos, um deles é chamado anodo que reage com o oxidante e o outro chamado catodo. O eletrólito permite a passagem de íons de um eletrodo a outro, mas bloqueia o trânsito de elétrons.

O hidrogênio puro (combustível) é injetado constantemente no anodo liberando seus íons que atravessam o eletrólito em direção ao catodo. Já para os elétrons, que não conseguem atravessar o eletrólito é estabelecido um circuito externo ligando o anodo ao catodo. Ao passar por esse circuito os elétrons geram corrente elétrica.

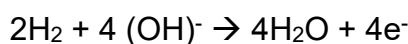
A célula de combustível se difere da bateria porque não armazena energia nos seus componentes internos, mas produz eletricidade enquanto houver o fluxo de reagentes (hidrogênio no anodo e oxigênio no catodo).

O processo oposto da célula combustível é chamado de eletrolisador, sendo que este consome eletricidade, calor e água e produz hidrogênio e oxigênio, enquanto a célula combustível consome H_2 e O_2 produzindo eletricidade, calor e água.

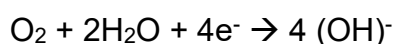
A fórmula química da reação alcalina é demonstrada pela seguinte fórmula resultado da união das reações de oxidação e redução:



Reação de oxidação no anodo, ocorre quando um ácido é dissolvido em água. Neste caso o hidrogênio perde seus elétrons e o meio se torna ácido. Assim, reações que levam a perda de elétrons são consideradas reação de oxidação:



Reação de redução no catodo, são reações inversas a de oxidação, pois ocorre o ganho de elétrons:



3 REVISÃO DA LITERATURA TÉORICA E EMPÍRICA

Essa seção contempla a base teórica e empírica utilizada para desenvolvimento do estudo. A base matemática da análise se é apresentado com todos os detalhes necessários no campo metodologia.

O método Diferencial-Estrutural (*Shift-Share*) embora utilizado por economistas e geógrafos a muito tempo se tornou mais conhecido após um artigo de Dunn em 1960 e outros que se seguiram aprimorando o método e corrigindo algumas deficiências encontradas no modelo.

No trabalho de pesquisa utilizou-se três artigos como base das análises, o primeiro de Fachinelli, A. e Sesso Filho, U. A. (2013) utiliza o método para avaliar as descrever as mudanças estruturais dos diversos setores econômicos dos estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul e categorizando as variações econômicas dos setores em efeito alocação, vantagem competitiva e efeito especialização nos períodos compreendidos entre 1999 – 2004 e 2004 -2008.

O segundo trabalho foi de Pereira, A. e Campanile, N. (1999) que utiliza o método diferencial-estrutural modificado para analisar a geração de empregos principalmente na indústria do petróleo no estado do Rio de Janeiro entre 1986 – 1995 comparando-o com o Brasil como um todo. Ambos os trabalhos apresentam uma definição matemática muito clara e precisa do modelo que será apresentado com mais detalhes na metodologia. Enfim, o terceiro artigo foi de Pereira, S. (1997)

ressalta as melhorias no modelo, especialmente como a inserção do efeito alocação no modelo Esteban-Marquillas eliminando a influência do efeito estrutural nos cálculos do efeito diferencial.

A utilização mais comum do método é análise do desempenho econômico setorial tendo como variável de análise a geração de empregos por setor em um intervalo de tempo conforme apresentado por Gonçalves Jr, C. et al (2010) que analisa o dinamismo estrutural e diferencial da economia paranaense entre 2005 – 2009.

No entanto, este método também foi utilizado para avaliar o desempenho na geração de empregos em energia renovável na Espanha entre 2011-2020 no artigo de Blanco, M. et al. (2021). Neste artigo se analisa a geração de empregos separando as diversas fontes renováveis como energia solar, hidráulica e eólica pelas várias regiões do país. Outro artigo estudando agora as mudanças setoriais da economia utilizando *Shift-Share* é o artigo de Ray, M. (1992) que estuda o impacto da mineração, agricultura, manufatura e construção civil em países da Europa como Itália, Holanda, Alemanha Ocidental, França e Reino Unido.

No setor de energia e meio ambiente alguns artigos no exterior também utilizam parcialmente ou totalmente o Método Diferencial- Estrutural (*Shift-Share*) em suas análises como por exemplo os artigos de Debinska, I. et al (2022) que estuda a pegada ecológica de um grupo selecionado de países europeus, ou seja, qualifica os países de acordo com o estilo de vida da população e quantidade de recursos naturais consumidos para manter a população, avaliando assim, a sustentabilidade ambiental dos países.

Outro exemplo é o artigo de Borozan, D. (2018) que estuda o comportamento do consumo de energia dos países europeus considerando efeitos políticos, socioeconômicos, históricos e geográfico-climáticos e seus impactos nas atividades econômicas como serviço, indústria, transporte e agricultura tendo como variável de análise o consumo de energia nos países selecionados. Um artigo semelhante foi apresentado por Bao, C et al (2019) que fez a análise da variação na utilização de energia elétrica decompondo os componentes econômicos que impactam o consumo em trinta províncias chinesas entre 2000-2015. Uma análise semelhante também é apresentada para diversas províncias da Itália no artigo de Grossi, L et al (2017).

Finalizando, o método Diferencial-Estrutural foi utilizado na avaliação do

resultado do desmembramento do investimento em geração de energia solar em quatro componentes NEG (efeito crescimento do investimento em geração de energia), NES (efeito estrutural do investimento nacional em energia), NMC (efeito do investimento em energia solar nas regiões vizinhas) e RNC (efeito dos investimentos na região) e seu impacto nas províncias chinesas no artigo de Sheng, R (2021).

Com relação aos dados estatísticos utilizados na pesquisa, estes foram coletados principalmente de três fontes distintas dependendo da característica do dado mensurado. Assim, as principais fontes são a EPE (Empresa de Pesquisa Energética), o IRENA (*International Renewable Energy Agency*) e o site do “*Our World in Data*”.

A EPE (Empresa de Pesquisa Energética) é uma empresa pública federal ligada ao Orçamento da União e criada pela Lei 10.847, de 15/03/2004 com o objetivo de prestar serviços ao MME (Ministério de Minas e Energia) nas áreas de pesquisa e estatísticas do setor elétrico fornecendo subsídios para as políticas públicas do setor buscando o desenvolvimento sustentável da infraestrutura energética do Brasil. Sua área de atuação além do setor elétrico abrange também o setor de petróleo, gás natural, biocombustíveis e seus derivados.

Do EPE foram consultados os seguintes documentos oficiais: “Sumário Executivo do PDE” dos anos de 2020 a 2022, o “Anuário Estatístico de Energia Elétrica” dos anos de 2015 e 2022 e por fim o “Anuário Estatístico de Energia Elétrica” dos anos de 2011 a 2022, esses dados foram fundamentais para subsidiar as estatísticas do projeto com relação a potência instalada, geração de energia, consumo e parcela de cada fonte de energia renovável no Brasil e no resto mundo.

O IRENA (*International Renewable Energy Agency*) é uma agência intergovernamental que serve como plataforma para apoio dos países na transição energética. O órgão é composto por 167 países e a União Europeia. O documento “*Renewable Energy and Jobs Annual Review*” dos anos de 2012 a 2022 foi a principal fonte de dados para a coleta de dados sobre o número de empregos nas fontes de energia renováveis.

Outra fonte muito importante para a obtenção dos dados de geração de energia em múltiplos países foi o site “*Our World in Data*”. Este site possui um esforço colaborativo com a Universidade de Oxford e com a organização sem fins lucrativos Global Change Data Lab que é o proprietário e mantenedor do site. Os

dados do site são coletados da British Petroleum no documento “*BP Statistical Review of World Energy*”.

Além das fontes já mencionadas, foram consultadas de maneira subsidiária os documentos “*Renewable Energy Jobs Annual Review*” dos anos de 2020 e 2021 do IEA (*International Energy Agency*).

4 METODOLOGIA

4.1 MÉTODO CLÁSSICO DE ANÁLISE DIFERENCIAL-ESTRUTURAL (*SHIFT-SHARE*)

O método Diferencial-Estrutural foi desenvolvido de modo a descrever o crescimento econômico de uma região por meio de sua estrutura produtiva composta por um conjunto de fatores, indicando aqueles que apresentariam maior dinamismo crescendo e ganhando participação no conjunto da economia e aqueles de maior lentidão que crescem menos que outros setores, perdendo assim relevância no conjunto total da economia.

No entanto, torna-se importante destacar que o método *Shift-Share* não é por si só um modelo de predição de análise comportamental futuro, mas a descrição real das variações estruturais e mensuráveis dos setores da economia compreendidos no intervalo de tempo do estudo.

Segundo Fachineli e Sesso Filho (2013) a técnica *Shift-Share* recebeu muitas melhorias nas últimas décadas, sendo que uma das mais destacadas foi adoção por Esteban-Marquillas (1972) do efeito alocação (A) além dos já conhecidos efeitos estruturais, relacionado a um crescimento generalizado da economia e efeitos diferenciais que são vantagens locais que permitem que dado setor econômico cresça mais que outros. A importância do efeito de alocação é indicar se um dado setor econômico já é especializado em uma área que possui vantagem competitiva. Deste modo, uma alocação positiva indicará que dado setor apresenta especialização e vantagem competitiva simultaneamente ou que não é especializado e não possui vantagem competitiva simultaneamente em uma região, desta forma retiramos o efeito estrutural do efeito diferencial.

Além deste trabalho, outros também se destacaram no estudo do método *Shift-Share*, segundo Fachineli e Sesso Filho (2013), como os trabalhos de Brown (1969) que analisa o efeito intertemporal da variável-base e Esteban (1999) que utilizou o método para avaliar a produtividade do trabalhador da União Europeia e concluindo que as diferenças inter-regionais são mais relevantes nas variações de produtividade na região que a especialização regional.

No Brasil, dois trabalhos ganharam destaque na utilização do método diferencial-estrutural, o primeiro foi a obra de Lodder (1972) que decompôs o crescimento da economia nacional em estados e trinta setores de atividade. O segundo trabalho é de Souza (2002) que fez uma análise comparativa das regiões de Curitiba e Belo Horizonte entre 1985 e 1997.

4.2 DEFINIÇÃO DO MÉTODO DIFERENCIAL- ESTRUTURAL (SHIFT-SHARE)

Segundo este método existem duas razões para o crescimento do emprego em uma dada região. Ou o nível de emprego nesta atividade econômica apresenta crescimento constante no somatório de empregos gerais do país de forma que o a geração de empregos no setor avançaria passo a passo com o crescimento de empregos totais do país ou um segundo caso em que o emprego no setor econômico cresce mais fortemente do que o somatório de empregos nacional, indicando que este setor apresenta uma composição produtiva mais dinâmica e eficiente que resulta em um crescimento mais forte no nível de emprego.

No entanto, na pesquisa em questão não iremos mensurar a variação de empregos por atividade econômica (indústria, comércio, construção civil) por estado da federação (Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul) que é a forma mais usual de utilizar o Método Diferencial- Estrutural. No caso em questão a variável base não será constituída pelo número de empregos gerados, mas sim pela geração de energia. Os estados brasileiros serão substituídos pelos países no mundo e as atividades econômicas por fontes de energia renováveis ou não. Ao final, por exemplo, iremos mensurar a energia gerada no Brasil por uma fonte de energia (hidráulica, térmica, solar, eólica).

Continuando com este exemplo, caso avaliemos a evolução da energia fotovoltaica, a geração desta fonte pode crescer porque todas as fontes do país estão crescendo caso o país está investindo na geração de energia de todas as fontes. Outra possibilidade é que a geração solar está crescendo mais que as outras fontes mundiais, caso em que a fonte de energia solar tem uma vantagem global levando a que muitos países invistam na sua exploração, ou enfim, porque essa fonte esteja crescendo de forma diferenciada no Brasil, demonstrando que a energia solar pode ter uma vantagem de expansão no Brasil, seja por custos mais baixos seja por melhor aproveitamento da insolação ou facilidade na instalação local.

Este crescimento no tempo é dividido em duas formas: crescimento real que é o crescimento efetivamente observado e o crescimento teórico que é o crescimento que a região obteria se espelhasse a média das regiões. A diferença entre o crescimento real e o teórico constitui o crescimento dinâmico da região.

O crescimento dinâmico também pode ser dividido em dois fatores, um estrutural e o outro diferencial. O estrutural está intimamente vinculado a fatores internos do país e o diferencial é intimamente ligado a especialização do país em uma determinada fonte de geração de eletricidade apresenta vantagem comparativa no país.

4.3 MATRIZ BASE DO MÉTODO DIFERENCIAL-ESTRUTURAL

Inicialmente, para aplicarmos o método Diferencial-Estrutural é necessário criar uma matriz com os dados do ano base e do ano terminal formado pelas “m” fontes de energia (solar, eólica, térmica) e os “n” países selecionados para a análise, apresentando apenas uma variação da nomenclatura do modelo exposto por Souza e Souza (2004).

Deste modo, o elemento E_{21} indica o total de energia gerada pela fonte de energia e (S_2) existentes no país 1 (R_1) e o elemento R_{ij} corresponde o total de geração da fonte i no país j. No final de cada linha tem-se o total de energia gerada por cada uma das fontes somando a contribuição de todos os países.

Tabela 1: método diferencial-estrutural

Países					
Fontes de Energia	R ₁	R ₂	...	R _j	Total por Fonte de Energia
S ₁	E ₁₁	E ₁₂	...	E _{1j}	E ₁
S ₂	E ₂₁	E ₂₂	...	E _{2j}	E ₂
...
S ₃	E ₃₁	E ₃₂	...	E _{3j}	E _i
Total por País	$\sum_{i=1}^m E_{i1}$	$\sum_{i=1}^m E_{i2}$...	$\sum_{i=1}^m E_{i3}$	$\sum_{i=1}^m E_i$

Fonte: Fachineli e Sesso Filho (2013)

A partir desta matriz decompõem-se a energia gerada em cada uma das fontes fósseis ou renováveis por país em um intervalo pré-definido com início e fim definido das medições. A variação real da energia gerada por fonte para dado país parte do princípio que o crescimento provem de duas formas, na primeira as vantagens de um país em relação aos outros no incremento total de energia gerada (efeito estrutural ou proporcional) e o segundo referente a uma vantagem de uma dada fonte de energia em país com a mesmo tipo de fonte em outros países (efeito diferencial ou regional) e o efeito total corresponderá a soma dos dois efeitos, o proporcional/estrutural e o regional/diferencial.

O método também permite calcular a diferença entre o crescimento real efetivo e o crescimento teórico que é o crescimento que a região teria se crescesse à mesma média da taxa do país como um todo (Souza e Souza, 2004).

4.4 MÉTODO DIFERENCIAL-ESTRUTURAL (SHIFT-SHARE) CLÁSSICO

A partir da utilização desta forma modificada do método diferencial-estrutural que é a análise da geração de energia (em MWh) em um dado país, verifica-se que crescimento entre dois intervalos de tempo depende de fatores internos como infraestrutura, legislação, capital humano, vantagens geográficas entre outros e fatores externos como câmbio, taxa de juros, crescimento mundial do setor.

Assim sendo, podemos definir as funções utilizadas na matriz da seguinte forma:

E_{ij} = energia em MWh gerada pela fonte i no país j ;

$E_i = \sum_i E_{ij}$ = energia em MWh de todas as fontes no país j ;

$E_j = \sum_j E_{ij}$ = energia em MWh em todos os países da fonte i ;

$E = \sum_i \sum_j E_{ij}$ = energia total em MWh (todas as fontes em todos os países).

É importante constatar que o objeto da pesquisa é a geração de energia gerada, sendo que esta corresponderá a fonte de energia (carvão, hidráulica e etc) nos países selecionados j . O período de tempo será dividido em dois intervalos, o primeiro com $t_0 = 2000$ e $t_1 = 2015$ e o segundo intervalo $t_0 = 2015$ e $t_1 = 2021$.

A variação real da geração de energia (MWH) da fonte i no país j entre o período inicial ($t = 0$) e o período final ($t = 1$) incluindo todas as fontes em todos os países é definida como:

$$\Delta E_{ij} = E_{ij}^1 - E_{ij}^0$$

Sendo assim, podemos concluir que a variação real da geração de energia (MWH) da fonte i no país j é igual ao total de energia no período 1 menos o total de energia no período inicial, sempre se referindo a mesma fonte e ao mesmo país.

4.4.1 Variação Real na Geração de Energia de um País

A variação total do índice medido em um país entre o período inicial ($t = 0$) e o período final ($t = 1$) considerando todas as demais fontes de um dado país é definido como:

$$\Delta E_j = \sum_i E_{ij}^1 - \sum_i E_{ij}^0$$

$$\Delta E_j = R + P + D$$

$$E_{ij}^t = E_{ij}^0 \times \left(\frac{E_{ij}^t}{E_{ij}^0} \right) = E_{ij}^0 \times e_{ij}$$

Sendo R a variação na geração de energia teórica do país, P a variação proporcional e D como a variação diferencial.

4.4.2 Variação Regional ou Teórica (R)

Corresponde ao crescimento na geração entre dois períodos (0 e 1), ocorrido caso o país j tivesse crescido a geração de energia de uma dada fonte i, a uma taxa semelhante à taxa de crescimento total na geração de energia do país considerando o somatório de todas as fontes:

$$R = \sum_i E_{ij}^0 (e - 1)$$

$$e = \frac{E_{ij}^1}{E_{ij}^0} = \frac{\sum_i \sum_j E_{ij}^1}{\sum_i \sum_j E_{ij}^0}$$

$$\Delta E_{ij} = E_{ij}^0 \times e_{ij} - E_{ij}^0 = E_{ij}^0 (e_{ij} - 1)$$

Sendo que “e” é a taxa de variação na geração de energia considerando todas as fontes entre o período inicial e o período final para todos os países. De maneira mais clara, é o quanto variou a geração global de energia (somatório de todas as fontes e todos os países selecionado) no intervalo de tempo definido.

4.4.3 Variação Estrutural ou Proporcional (P)

Corresponde a um incremento no nível de geração de energia de um país resultante da composição estrutural da economia do próprio país. A variação proporcionada pelos fatores internos de um país que fazem com que a variação de um dado setor em uma região seja superior à média geral.

$$P = \sum_i E_{ij}^0 (e_i - e)$$

$$e_i = \frac{\sum_j E_{ij}^1}{\sum_j E_{ij}^0} = \frac{E_i^1}{E_i^0}$$

O “ e_i ” corresponde a variação na geração de energia considerando todas as fontes disponíveis i , mas em apenas um país entre o período inicial e o período final. Os países com uma melhor estrutura produtiva terminam por apresentar $e_i > e$, já os países com pior estrutura produtiva apresentam $e_i < e$. A diferença de “ e_i ” para “ e ” é que o primeiro considera toda a energia gerada por todas as fontes em um único país, enquanto que o segundo considera a geração de energia por todas as fontes em todos os países da amostra (global)

4.4.4 Variação Diferencial (D)

É uma variação positiva ou negativa no índice avaliado (geração de energia) que o país j conseguirá alcançar por possuir determinados fatores econômicos que privilegiam o investimento em uma dada fonte de energia sobre outra.

As fontes mais dinâmicas apresentam $e_{ij} > e_i$, já os setores mais reprimidos apresentam $e_{ij} < e_i$. A diferença de “ e_i ” para “ e ” é que o primeiro considera toda a energia gerada por todas as fontes em um único país, enquanto que o segundo índice considera a geração de energia em uma única fonte em um único país. Neste caso para ambos os índices o país deve ser o mesmo, mas um considera toda energia gerada pelo país e o segundo apenas de uma fonte selecionada.

$$D = \sum_i E_{ij}^0 (e_{ij} - e_i)$$

Sendo que e_i é a taxa de crescimento do índice escolhido para fonte i :

$$e_i = \frac{\sum_j E_{ij}^1}{\sum_j E_{ij}^0} = \frac{E_i^1}{E_i^0}$$

Já e_{ij} é a variação na geração de energia da fonte i no país j :

$$e_{ij} = \frac{E_{ij}^1}{E_{ij}^0}$$

Ou seja, o “ e_{ij} ” pode ser melhor compreendido como a variação na geração de energia de uma única fonte em um único país entre dois momentos distintos, por exemplo a variação na geração de energia eólica no Brasil entre 2000 e 2014.

4.4. 5 Variação na Geração Total:

$$\sum_i E_{ij}^1 - \sum_i E_{ij}^0 = \sum_i E_{ij}^0 (e - 1) + \sum_i E_{ij}^0 (e_i - e) + \sum_i E_{ij}^0 (e_{ij} - e_i)$$

Que pode ser rearranjado da seguinte forma:

$$\left(\sum_i E_{ij}^1 - \sum_i E_{ij}^0 \right) - \left(\sum_i E_{ij}^0 (e - 1) \right) = \left(\sum_i E_{ij}^0 (e_i - e) \right) + \left(\sum_i E_{ij}^0 (e_{ij} - e_i) \right)$$

$\sum_i E_{ij}^1 - \sum_i E_{ij}^0$: Crescimento Efetivo - Real;

$\sum_i E_{ij}^0 (e - 1)$: Crescimento Hipotético - Teórico;

$\sum_i E_{ij}^0 (e_i - e)$: Fator Estrutural (fonte);

$\sum_i E_{ij}^0 (e_{ij} - e_i)$: Fator Diferencial (país).

Ou pode-se expressar da seguinte forma:

$$\Delta E_{ij} = E_{ij}^0 \times e_{ij} - E_{ij}^0 = E_{ij}^0 \times (e_{ij} - 1)$$

Sendo:

$$e = \frac{E^1}{E^0} \quad e_i = \frac{E_i^1}{E_i^0} \quad e_{ij} = \frac{E_{ij}^1}{E_{ij}^0}$$

$$\Delta E_{ij} = E_{ij}^0 \times (e_{ij} - 1) = E_{ij}^0 (e_{ij} - 1 + e - e + e_i - e_i)$$

$$\Delta E_{ij} = E_{ij}^0 (e - 1 + e_i - e + e_{ij} - e_i)$$

$$\Delta E_{ij} = E_{ij}^0 x (e - 1) + E_{ij}^0 x (e_i - e) + E_{ij}^0 x (e_{ij} - e_i)$$

$\Delta E_{ij} = E_{ij}^t - E_{ij}^0$: variação na geração de energia na fonte i no país j

$E_{ij}^0 x (e - 1)$: variação teórica;

$E_{ij}^0 x (e_i - e)$: variação estrutural;

$E_{ij}^0 x (e_{ij} - e_i)$: variação diferencial.

Se a diferença entre crescimento efetivo (real) e o crescimento hipotético (teórico) da variável (geração de energia) for positivo, significa que o crescimento da variável em um dado país cresceu acima da média nacional indicando dinamismo. Em um segundo caso, caso a diferença revele um valor negativo indica que a fonte i do país j cresceu abaixo da média global, revelando problemas de falta de dinamismo.

4.5 MÉTODO SHIFT-SHARE MODIFICADO OU MODELO DE ESTEBAN-MARQUILLAS

O método Shift-Share foi modificado criando em 1972 o método de Esteban-Marquillas para resolver um problema presente no efeito diferencial, que pode ser influenciado tanto pela dinâmica da fonte local como pela concentração de energia em determinado país no ano-base (componente estrutural).

Deste modo, Esteban-Marquillas desenvolve um novo índice chamado de valor homotético da fonte i no país j, chamado de $E_{ij}^{o'}$. Esse novo índice corresponderia ao nível que a fonte teria se o país j tivesse uma estrutura de emprego idêntica à própria estrutura do país:

$$E_{ij}^{o'} = \sum_i E_{ij}^o x \left(\frac{E_i^o}{\sum_i E_i^o} \right) = E_j x \frac{E_i}{E}$$

$\sum_i E_{ij}$: Total de geração de energia no país;

$\left(\frac{E_i^0}{\sum_i E_i^0} \right)$: Distribuição da geração de energia no país.

Lembrando que:

E_{ij} = energia em MWh gerada pela fonte i no país j ;

$E_i = \sum_j E_{ij}$ = energia em MWh de todas as fontes no país j ;

$E_j = \sum_i E_{ij}$ = energia em MWh em todos os países da fonte i ;

$E = \sum_i \sum_j E_{ij}$ = energia total em MWh (todas as fontes em todos os países).

4.5.1 Efeito Competitivo (D')

É o efeito diferencial calculado com base no índice homotético:

$$D' = \sum_i E_{ij}^{0'} \times (e_{ij} - e_i)$$

$\sum_i E_{ij}^{0'}$: Índice Homotético

Sendo que e_i é a taxa de crescimento do emprego no setor i :

$$e_i = \frac{\sum_j E_{ij}^1}{\sum_j E_{ij}^0} = \frac{E_i^1}{E_i^0}$$

Já e_{ij} é a taxa de variação na geração de energia da fonte i no país j em dois momentos distintos no tempo 0 e 1:

$$e_{ij} = \frac{E_{ij}^1}{E_{ij}^0}$$

4.5.2 Efeito Alocação (A)

Deste modo, Esteban-Marquillas define o Efeito Alocação (A) com o objetivo de eliminar a influência estrutural sobre o efeito diferencial.

$$A = \sum_i [(E_{ij}^0 - E_{ij}^{o'}) \times (e_{ij} - e_i)]$$

$E_{ij}^0 - E_{ij}^{o'}$: Efeito Especialização;

$e_{ij} - e_i$: Efeito Vantagem Competitiva;

Sendo que:

Taxa de crescimento da geração de energia na fonte i:

$$e_i = \frac{\sum_j E_{ij}^1}{\sum_j E_{ij}^0} = \frac{E_i^1}{E_i^0}$$

Taxa de crescimento da geração de energia na fonte i e no país j:

$$e_{ij} = \frac{E_{ij}^1}{E_{ij}^0}$$

A variação da geração total pode ser dividida em quatro componentes:

$$\Delta E_j = R + P + D' + A$$

Deste modo, a equação de Esteban-Marquillas pode ser redefinida como a soma dos efeitos regional, efeito competitivo e efeito alocação da seguinte forma:

$\sum_i E_{ij}^1 - \sum_i E_{ij}^0$: Variação real na geração de energia via equação modificada Esteban-Marquillas;

$\sum_i E_{ij}^0 (e - 1)$: Variação Teórica - Efeito Regional;

$\sum_i E_{ij}^0 (e_i - e)$: Variação Estrutural - Efeito Proporcional;

$\sum_i E_{ij}^{o'}(e_{ij} - e_i)$: Variação Diferencial - Efeito Competitivo;

$\sum_i [(E_{ij}^0 - E_{ij}^{o'}) \times (e_{ij} - e_i)]$: Variação Alocativa - Efeito Alocação.

A partir dos valores encontrados, podemos categorizar o Efeito Alocação da seguinte forma:

Tabela 2: efeito especialização e vantagem competitiva

Alternativas	Efeito de Alocação	Efeito de Especialização	Vantagem Competitiva
Desvantagem competitiva, especializado	-	+	-
Desvantagem competitiva, não-especializado	+	-	-
Vantagem competitiva, não especializado	-	-	+
Vantagem competitiva, especializado	+	+	+

Fonte: autoria própria

Deste modo, pode-se fazer um breve resumo conforme realizado abaixo:

- Valor homotético de uma fonte de energia: é o produto da soma da geração de energia de todas as fontes em um único país no ano base multiplicado pela parcela de contribuição de uma dada fonte sobre o conjunto da geração total no ano base (todas as fontes somadas);
- Efeito Especialização: o país é considerado especializado quando a geração de energia de uma fonte em um país é superior ao efeito homotético desta mesma fonte;
- Vantagem Competitiva: quando o incremento na geração de uma dada fonte em um país em um dado intervalo de tempo é superior ao incremento global desta mesma fonte no mesmo intervalo de tempo;

O efeito real é simples de encontrar, pois se trata da diferença de geração de energia entre dois períodos de tempo diferentes, já os efeitos regionais, efeito

proporcional, efeito competitivo e efeito alocação são calculados utilizando os seguintes índices: homotético, “e”, “e_i”, “e_{ij}”:

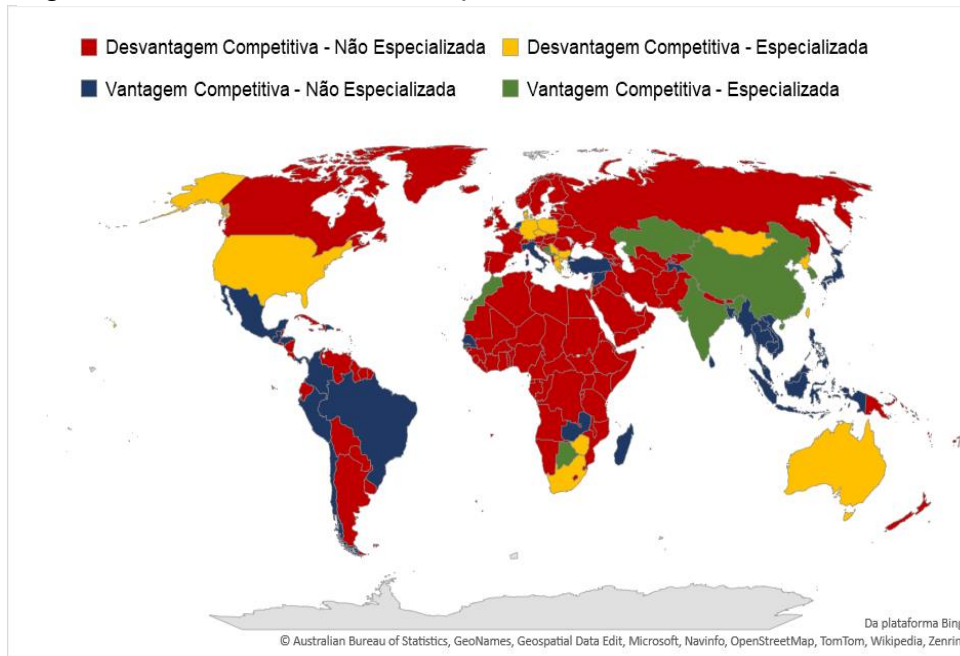
- Efeito Real/Variação Real: diferença do total de energia gerada por um país em dois intervalos de tempo distintos;
- Efeito Regional/Variação Teórica: produto do somatório de geração de um país no ano base pela variação global de energia;
- Efeito Proporcional/Variação Estrutural: produto do somatório de geração no ano base pela diferença da variação da fonte em análise pela variação global de todas as fontes;
- Efeito Competitivo/Variação Diferencial: produto do somatório de geração no ano base de todas as fontes pela diferença entre a variação local da fonte em questão pela variação global da mesma fonte;
- Efeito Alocação: é positivo quando um país é simultaneamente “especializado” e com “vantagem competitiva”, ou então, quando o país é simultaneamente “não especializado” e com “desvantagem competitiva”. Caso o país não apresente ambas características simultaneamente o efeito alocação é negativo;

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 ANÁLISE ESPACIAL

5.1.1 Análise Diferencial-Estrutural da Utilização de Termelétricas a Carvão

Figura 1: Análise do carvão no período 2000-2015



Fonte: autor baseado no Energy Institute Statistical Review (2023)

Figura 2: Análise do carvão no período 2015-2021



Fonte: autor baseado no Energy Institute Statistical Review (2023)

De acordo com Marreco (2016) de todos os combustíveis fósseis, o carvão é o que dispõe de maior reserva mundial, totalizando 216 Mtep o que seria suficiente para manter o consumo atual por quase 220 anos. Outro ponto importante desta fonte de energia é que apresenta uma distribuição geográfica mais equitativa globalmente com aproximadamente 75 países dispostos de reservas, sendo que mais da metade das reservas se encontram nos Estados Unidos, Rússia e China.

No entanto, mesmo com estas vantagens, o consumo de carvão em usinas térmicas para geração de energia vem apresentando retração nos países desenvolvidos devido as pressões ambientais, visto ser esta fonte a que emite maior quantidade de gases de efeito estufa na atmosfera.

A partir do 2000 houve um aumento na geração por carvão com o total chegando a 5.719 TWh, produzidos principalmente com o forte crescimento populacional e econômico da Ásia que duplicou a energia elétrica gerada por esta fonte alcançando 2.062 TWh, enquanto que a Europa reduziu a geração para 1.173 TWh e a América do Norte teve um pequeno aumento alcançando 2.094 TWh. A América do Sul era a região do mundo com menor utilização de carvão, com apenas 24,35 TWh. Nos anos seguintes o carvão continuou sendo a fonte de geração de energia mais comum, alcançando 9.160 TWh gerados em 2015 (Ásia com 6.237 TWh) e nova alta para 10.081 TWh em 2021 (Ásia com 8.010TWh).

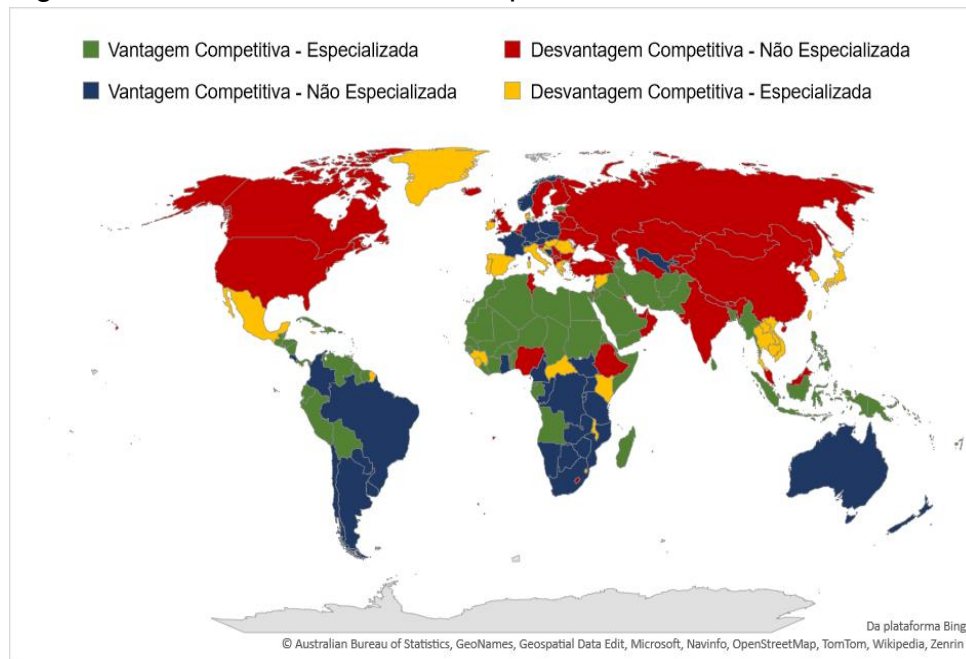
Assim, em 2000, verifica-se que alguns países eram especializados no uso do carvão com Estados Unidos, África do Sul, Austrália na Oceania, Alemanha e Polônia na Europa e China e Índia se destacando, no entanto, verifica-se também que apenas os dois últimos continuaram incrementando a energia gerada por esta fonte sendo, portanto, apresentados como países com vantagem competitiva, enquanto os cinco primeiros apresentaram incremento inferior à média global de energia térmica a carvão.

No segundo período de análise observa-se que China e Índia continuam tendo posição destacada, por serem tanto países especializados em carvão, quanto por apresentarem vantagem estratégica nesta fonte, no entanto, verifica-se também que os Estados Unidos deixaram de ser especializados. Verifica-se também com base nestes dados coletados do *Energy Institute Statistical Review (2023)* que existem ainda existe vários países especializados em carvão e um número menor com vantagem competitiva, indicando certa falta de interesse em desenvolver esta fonte de energia principalmente na Europa e nas Américas. Exceção relevante é a China e

a Índia que mantem um alto crescimento de geração de eletricidade por estas fontes devido a estes países apresentarem forte crescimento econômico e populacional, sendo assim estes países buscam várias fontes diferentes para suprir suas próprias necessidades.

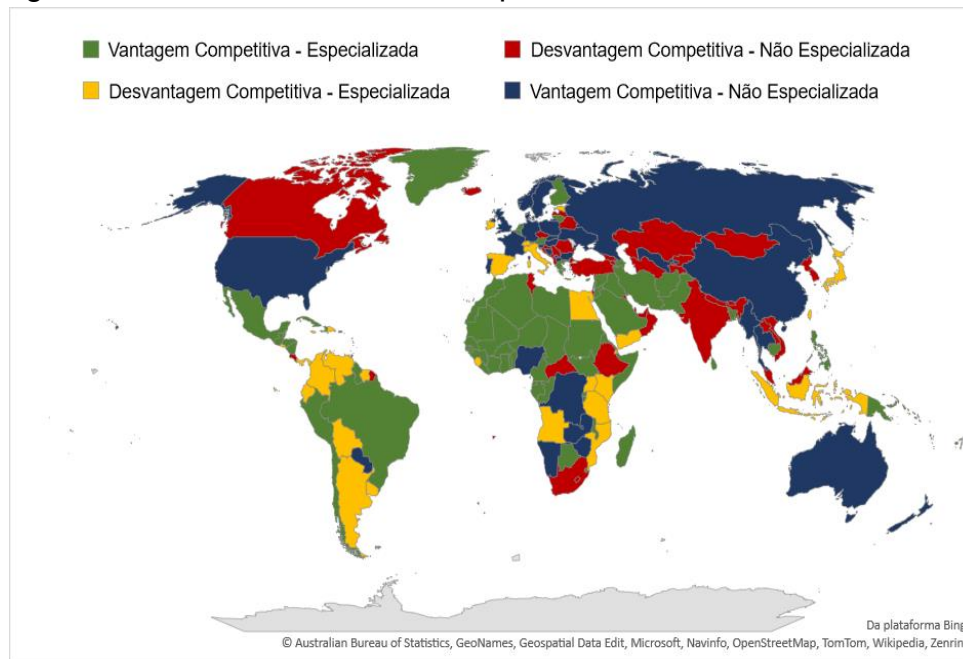
5.1.2 Análise Diferencial-Estrutural da utilização de Termelétricas a Óleo Diesel

Figura 3: Análise do óleo diesel no período 2000-2015



Fonte: autor baseado no Energy Institute Statistical Review (2023)

Figura 4: Análise do óleo diesel no período 2015-2021



Fonte: autor baseado no Energy Institute Statistical Review (2023)

Na sociedade atual, existe um número elevado de grupos geradores de eletricidade a óleo em vários setores da economia global, por exemplo no serviço público, hospitais, indústrias e hospitais. Embora de capacidade menor que outras fontes os geradores a óleo que fornecem energia elétrica à rede respondem por cerca de 25% da potência total do parque termelétrico brasileiro segundo Pereira (2005).

No entanto, na produção em larga escala de eletricidade com base no óleo diesel e outros derivados de petróleo vem sendo paulatinamente abandonado nos países desenvolvidos e ocidentais o que faz com que a geração global de energia por centrais térmicas estejam perdendo espaço na matriz energética destes países, mesmo que globalmente essa fonte de energia vem apresentando crescimento em países em desenvolvimento, especialmente no centro e norte da África, Ásia, especialmente Oriente Médio e Austrália.

Globalmente, a geração tendo matriz o óleo diesel alcançou 1.210 TWh em 2000 e em seguida reduziu constantemente até atingir 1.068 TWh em 2015 e 793 TWh em 2021 (76% de incremento entre 2000 e 2021). Por exemplo, na Europa houve uma forte redução entre 2000 e 2021, passando de 278 TWh para 123,72 TWh respectivamente e na América do Norte de 278 TWh para 131,58 TWh entre 2000 e 2021 e mesmo na Ásia ocorreu redução de 562 TWh em 2000 para 371 TWh em 2021. Apenas dois continentes apresentaram crescimento, a África que passou de 46 TWh no ano 2000 para 104 TWh em 2015, mas depois retornou a 89 TWh em 2021 e a América do Sul crescendo de 36 TWh para 63 TWh entre os períodos de 2000 e 2021, com um pico de 100 TWh em 2015.

Quando se analisa as figuras 3 e 4 constata-se que os países do norte da África e Oriente Médio são países especializados e que apresentam vantagem competitiva. Isso ocorre porque em geral são países em desenvolvimento que estão adotando a primeira fonte de energia para grandes regiões e além disso, pelo fato de estarem próximos ao Oriente Médio que a principal área produtora de petróleo do mundo o que facilitou a logística da matéria-prima.

Outros países importantes como Estados Unidos e China apresentaram um incremento na geração acima da média global no período compreendido entre 2015 – 2021, características de países que apresentam vantagem competitiva embora não sejam países especializados na utilização de óleo para geração de eletricidade.

O Brasil foi um dos poucos países não especializados que se especializaram entre 2000 – 2021 em muito devido aos problemas hídricos ocasionados pelas

grandes secas que ocorreram no período que aumentou o consumo de diesel para compensar a baixa geração hidráulica além do Brasil ainda possuir regiões não integradas a rede de transmissão.

5.1.3 Análise Diferencial-Estrutural da utilização de Termelétricas a Gás Natural

Figura 5: Análise do gás natural no período de 2000-2015



Fonte: autor baseado no Energy Institute Statistical Review (2023)

Figura 6: Análise do gás natural no período de 2015-2021



Fonte: autor baseado no Energy Institute Statistical Review (2023)

Segundo Silva (2010), o gás natural é composto principalmente por metano, ou CH₄. Acredita-se que seja formado pela decomposição de plantas e animais que viveram entre 200 e 400 milhões de anos atrás e que foram soterrados por rochas no fundo dos oceanos. Ao sofrerem os efeitos das altas pressões e temperaturas formam o petróleo e o gás e a impermeabilidade das rochas do subsolo impedem que o gás vaze para a atmosfera formando grandes reservas.

Ainda de acordo com Silva (2010) o gás natural vem ganhando cada vez espaço na matriz energética pela sua abundância e pelas vantagens ambientais associadas quando comparado com outros combustíveis fósseis. O gás natural emite cerca de 20 a 30% menos que o óleo combustível e 40 a 50% menos que combustíveis sólidos como o carvão.

A análise dos dados do *Energy Institute Statistical Review (2023)* revela que a geração de eletricidade a gás cresceu de 2680 TWh em 2000 para 5.420 TWh em 2015 e atingiu a marca de 6.326 TWh em 2021, transformando-a na segunda fonte mais relevante na geração de energia elétrica atrás apenas do carvão, que com seus 10.190 TWh de geração em 2021 ainda é a fonte de eletricidade mais importante globalmente.

Na análise por continentes verifica-se que houve crescimento em todos os continentes, por exemplo na Europa a geração aumentou de 886 TWh em 2000 para 1.193 TWh em 2021, graças a incorporação malha energética europeia de gás vindo da Rússia pela Ucrânia e pelos gasodutos Nord Stream 1 e Nord Stream 2, sendo que este último não chegou a entrar em operação em virtude da guerra entre Rússia e Ucrânia.

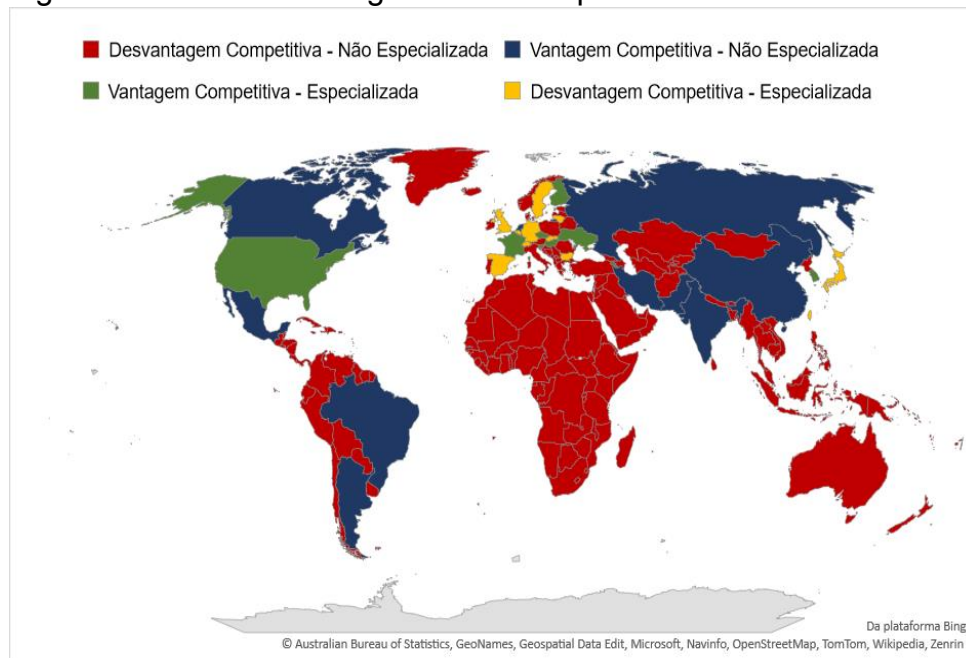
Os Estados Unidos também tiveram forte aumento na geração a gás graças ao “shale gas” que aumentou fortemente a produção de gás natural nos Estados Unidos, assim na América do Norte a geração a gás aumentou de 690 TWh em 2000 para 1.868 TWh em 2021. Na América do Sul a geração aumentou de 81 TWh para 256 TWh e na Ásia de 913 TWh para 2.636 TWh nos dois casos considerando os anos de 2000 e 2021 respectivamente.

Nas figuras 5 e 6 constata-se que países com grande consumo energético se situam no campo de países com vantagem competitiva, ou seja, em que a geração cresce acima da média global. Podemos citar como exemplo Brasil, Estados Unidos, Europa a partir de 2015 e norte da África e Oriente Médio. Os países que são grandes produtores de eletricidade a gás e são conhecidos como países “especializados”

normalmente apresentam muitos reservatórios de gás a serem explorados, como por exemplo Estados Unidos, Bolívia, Argentina, Argélia e Oriente Médio facilitando deste modo a logística de transporte do gás que a sua maior desvantagem pois necessita de extensos gasodutos ou então grandes estruturas para liquefação de gás natural para transportá-los por navios-tanque.

5.1.4 Análise Diferencial-Estrutural da utilização de Termelétrica Nuclear

Figura 7: Análise da energia nuclear no período de 2000-2015



Fonte: autor baseado no Energy Institute Statistical Review (2023)

Figura 8: Análise da energia nuclear no período de 2015-2021



Fonte: autor baseado no Energy Institute Statistical Review (2023)

A geração de energia nuclear é uma das fontes que pareciam mais promissoras na segunda metade do século XX, no entanto seu crescimento sofreu forte reação social especialmente após os acidentes nucleares de Chernobyl em 1986 e Fukushima em 2011. Segundo dados do *Energy Institute Statistical Review* (2023) a geração nuclear totalizou 2.507 TWh em 2000 até atingir 2.740 TWh em 2021, ou seja, um crescimento pequeno de 9,3% no período de mais de vinte anos.

A geração de eletricidade a partir de centrais nucleares na Ásia ainda não é muito alta, mas está em ascensão subindo de 482 TWh em 2000 para 713 TWh em 2021. A América do Norte apresentou um pequeno aumento de 830 TWh para 878 TWh, entre 2000 e 2021 respectivamente. Já na América do Sul também ocorreu um pequeno incremento neste período, crescendo de 11 TWh para 25 TWh.

Por outro lado, no continente europeu as medidas de restrição a geração nuclear começaram a fazer efeito reduzindo a geração de 1.170 TWh em 2000 para 1.111 TWh em 2021. A análise da figura 7 demonstra que Estados Unidos, Brasil, Rússia, China, Índia e França apresentaram incremento acima da média em geração nuclear sendo considerados países com “vantagem competitiva” entre 2000 – 2015, sendo que os Estados Unidos e França são considerados países especializados.

Da análise da figura 8 pode se extrair que a Europa e Estados Unidos começaram a adicionar menos energia ao sistema passando ao grau de “desvantagem competitiva”, o que provavelmente relaciona-se a falta de investimento no setor devido principalmente das pressões sociais e de partidos ambientalistas.

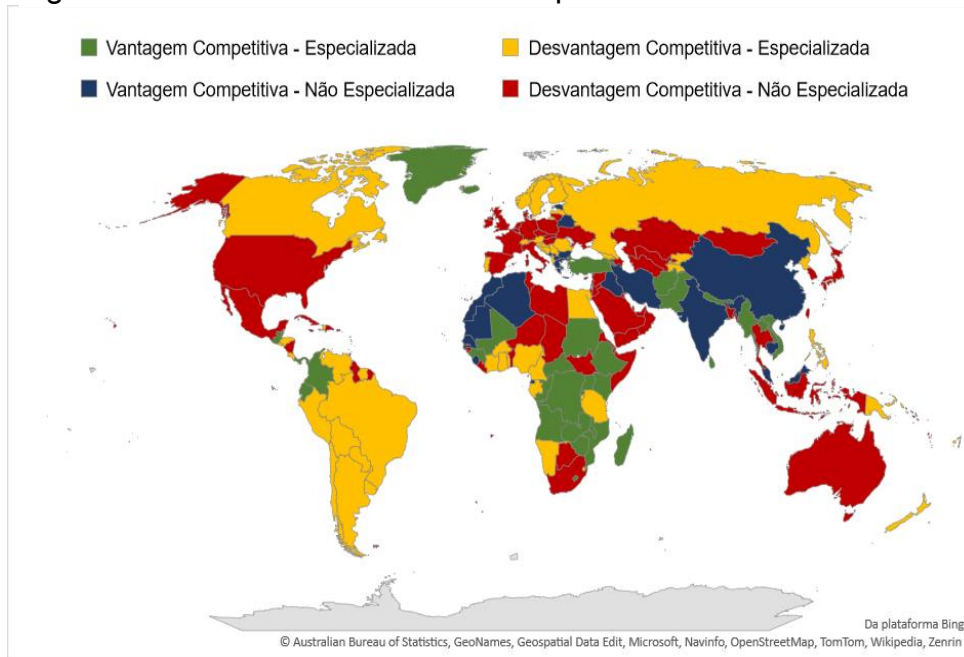
Já países como Rússia, Índia e China permanecem investindo em geração nuclear o que faz com o incremento destes países seja superior à média global o que os caracteriza como países com “vantagem competitiva.

Segundo Silva (2008). a energia nuclear é uma fonte de energia que não deve ser abandonada devido ao fato de não emitir gases do efeito estufa. Ele ainda constata que a geração nuclear pode ganhar novo impulso na matriz energética mundial com novos desenvolvimentos tecnológicos que permitem a instalação de reatores menores, mais seguros e eficientes que estão em fase de desenvolvimento e deverão estar disponíveis a partir de 2035.

Além disso, Silva (2008) continua sua análise concluindo que novas centrais funcionariam na diversificação da matriz energética brasileira, visto que junto com Rússia e Estados Unidos compõem um seleto grupo de países que possuem reservas de urânio e conhecimento do ciclo nuclear.

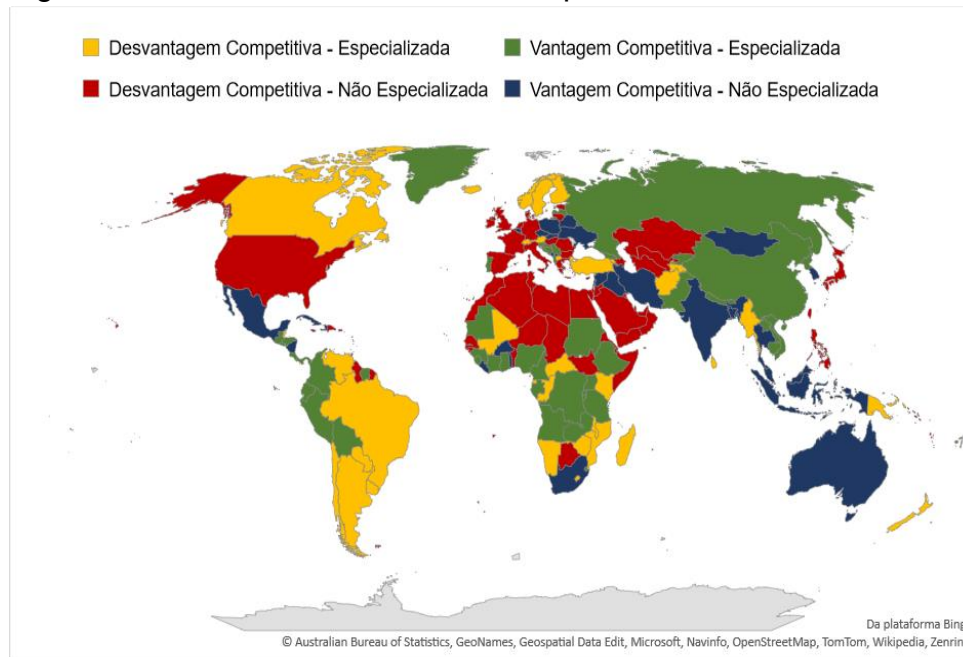
5.1.5 Análise Diferencial-Estrutural da utilização de Hidrelétricas

Figura 9: Análise das hidrelétricas no período 2000-2015



Fonte: autor baseado no Energy Institute Statistical Review (2023)

Figura 10: Análise das hidrelétricas no período 2015-2021



Fonte: autor baseado no Energy Institute Statistical Review (2023)

Segundo dados do *Energy Institute Statistical Review (2023)* obtido no sítio *Our World in Data* a geração de energia hidráulica recebeu um forte incremento nos últimos vinte anos com a geração crescendo 65%, passando de 2.621 TWh em 2000 até alcançar 4.245 TWh em 2021.

A África se destaca com um salto na geração hidráulica, passando de um valor anual de 74,5 TWh em 2000 para 145 TWh em 2021. No entanto, o continente que mais se destacou foi Ásia passando de 567 TWh em 2000 para 1.940 TWh em 2021. Esse forte incremento foi resultado da conclusão de duas grandes hidrelétricas na China, a hidrelétrica de Três Gargantas em 2008 com capacidade para gerar 22.500 MW e Xiloudu inaugurada em 2014 com capacidade de 13.800 MW.

Nas Américas o crescimento da geração hidráulica foi mais tímido no período correspondente a 2000 – 2021, passando de 675 TWh anual para 688 TWh na América do Norte e de 528 TWh para 625 TWh anual na América do Sul no período mencionado. A Europa também apresentou pequeno crescimento no período partindo de uma geração de 733 TWh para 805 TWh anuais neste período.

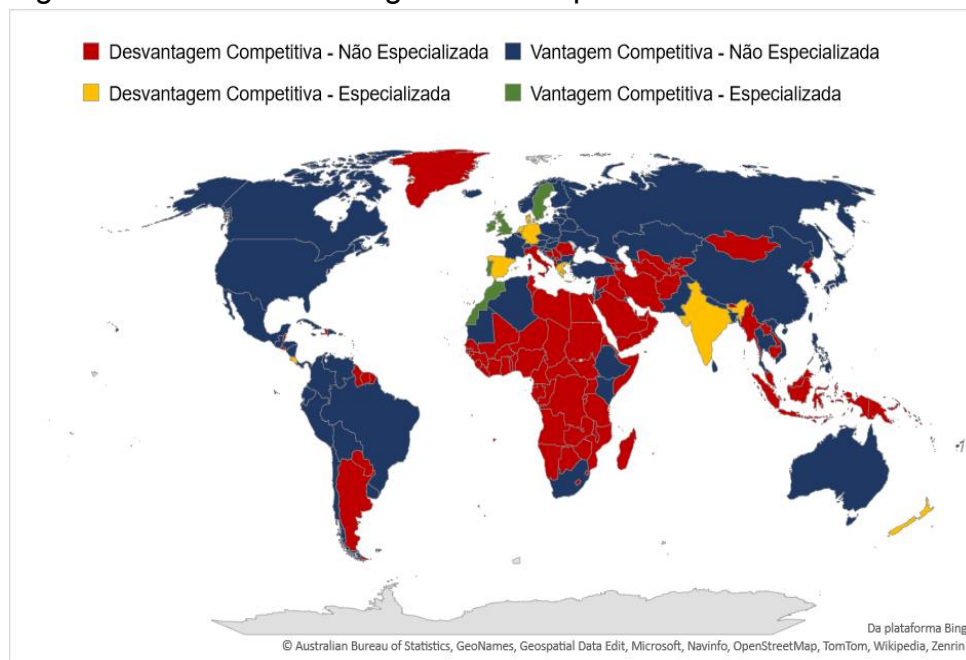
Analisando a figura 9 constata-se que os países do centro da África, China, Índia e Colômbia apresentaram “vantagem competitiva” no período, incrementando a participação de energia hidrelétrica na matriz energética. Já na América do Norte e Europa verifica-se uma perda de importância desta fonte na geração de eletricidade.

Essa distribuição de países com “vantagem competitiva” se repete quase fielmente na figura 10 que corresponde ao período de tempo entre 2015 – 2022, o que é previsível pelo tempo gasto para construção das hidrelétricas que em alguns casos é superior a dez anos e pelo fato que uma hidrelétrica não entra em capacidade máxima imediatamente, mas vai incrementando o número de turbinas gradualmente, fazendo com que após a conclusão da obra a geração desta mesma usina aumente constantemente por anos até que todas as turbinas estejam instaladas e a capacidade máxima projetada seja atingida.

Nos dois períodos verifica-se que os países “especializados”, ou seja, que tem uma participação desta fonte na matriz energética acima da média corresponde ao Canadá, Brasil, Rússia, China e países da África central. É importante destacar que a geração hidráulica é fortemente dependente da existência de grandes rios, o que impede sua implantação em algumas regiões.

5.1.6 Análise Diferencial-Estrutural da utilização de Parques Eólicos

Figura 11: Análise da energia eólica no período 2000-2015



Fonte: autor baseado no Energy Institute Statistical Review (2023)

Figura 12: Análise da energia eólica no período de 2015-2021



Fonte: autor baseado no Energy Institute Statistical Review (2023)

A geração de energia elétrica eólica recebeu um forte incentivo no século XXI, partindo de uma base praticamente nula no século anterior para em seguida apresentar um crescimento acelerado. Segundo constatado no sítio *Our World in Data* baseado em dados *Energy Institute Statistical Review* (2023) a geração por esta fonte cresceu de 31 TWh em 2000 para 828 TWh em 2015 (+ 2558%) e finalmente 1.849 TWh em 2021 (+ 123%). Considerando que todos os continentes partiram de uma geração próxima a zero no ano 2000, ao final de 2015 a Europa, Ásia e América do Norte se destacavam com respectivamente 307 TWh, 241 TWh, e 230 TWh de geração de energia eólica, enquanto que o continente africano e sul-americano ainda engatinhavam na instalação de parques eólicos.

A partir de 2021 as instalações continuaram aumentando fortemente especialmente na Ásia onde alcançou 786 TWh, seguido por Europa com 574 TWh e América do Norte com 440 TWh. Neste ano a América do Sul apresentou 98 TWh e África e Oceania valores de 21 TWh e 29 TWh respectivamente.

Conforme pode-se analisar pela figura 11, a partir do ano 2000 os países das Américas, Europa, Ásia e Austrália começaram a instalar parques eólicos em larga escala com muitos países na região sendo considerados com “vantagem competitiva”.

Já na figura 12 que representa o período entre 2015-2021 verifica-se que América do Sul, Ásia e Austrália continuam com forte incremento percentual desta fonte de eletricidade, mas na América do Norte e Europa parece que esse incremento perdeu força com os países da região sendo classificados com “desvantagem competitiva”.

Na África esta fonte de geração de energia ainda não encontrou seu espaço com a grande maioria dos países sendo classificados como “Desvantagem Competitiva – Não Especializados”.

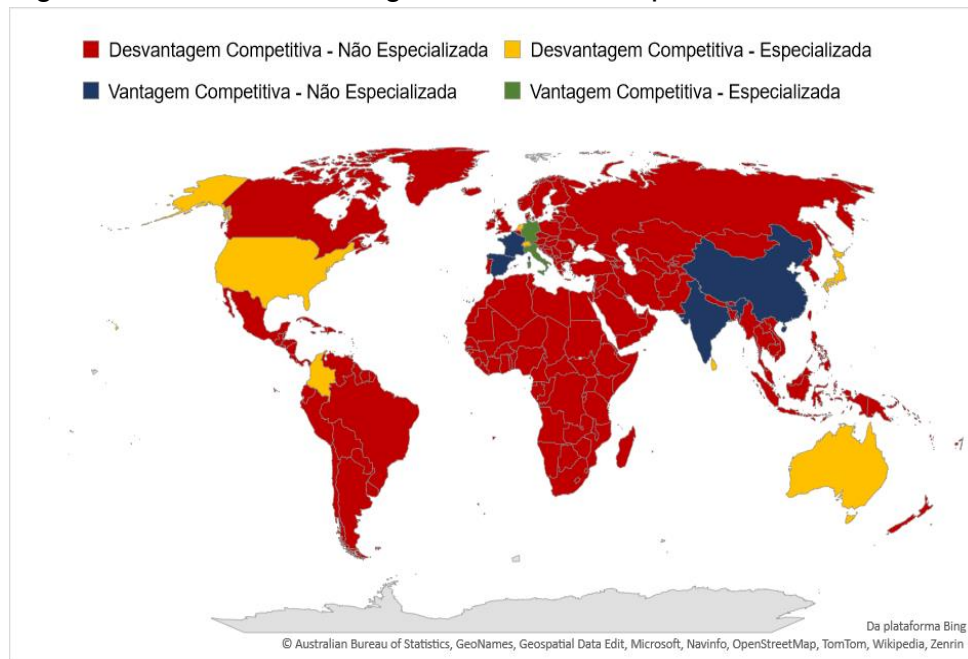
Com relação a especialização dos países em geração eólica, verifica-se a partir da figura 12 que se destacam os países da América do Norte e Europa, além de Brasil e Austrália. É importante destacar que a Europa e Estados Unidos podem passar por uma nova onda de implantação de parques eólicos com a instalação de grandes sites offshore agora que a tecnologia se encontra mais madura.

De acordo com Cunha (2017) dentre as fontes de energia renováveis voltadas a transição energética, a geração eólica se destaca por equacionar os problemas de emissão de gases de efeito estufa, maior causa das mudanças climáticas, e pela maior previsibilidade dos ventos como força motriz para geração de energia. Ele também

acredita que o desenvolvimento tecnológico continuará nesta fonte e que os investimentos deverão aumentar no futuro próximo.

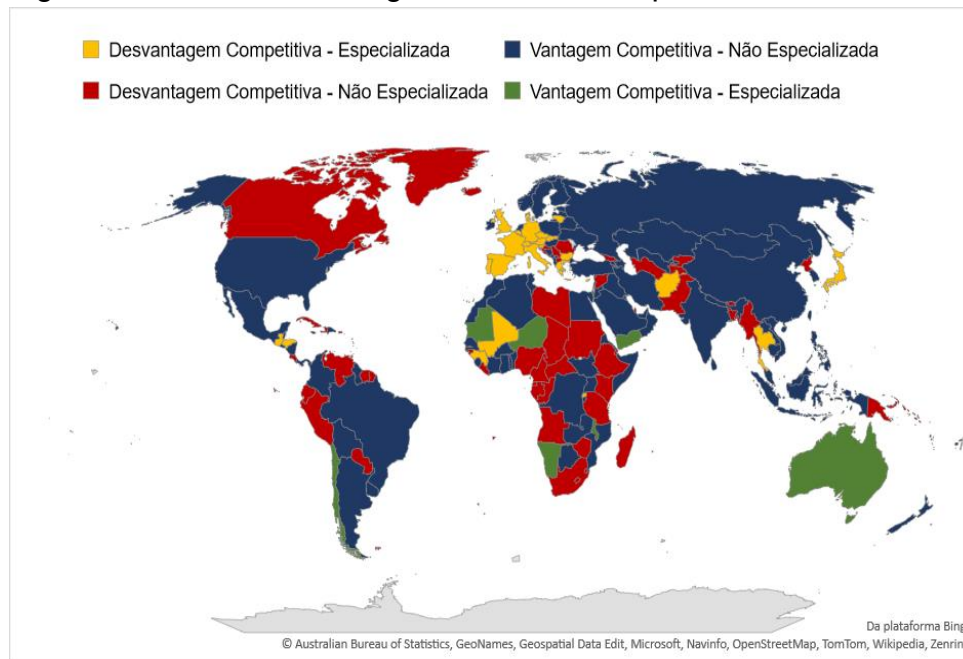
5.1.7 Análise Diferencial-Estrutural da Utilização de Sistemas Fotovoltaicos – Solar

Figura 13: Análise de energia fotovoltaica no período 2000-2015



Fonte: autor baseado no Energy Institute Statistical Review (2023)

Figura 14: Análise de energia fotovoltaica no período 2015-2021



Fonte: autor baseado no Energy Institute Statistical Review (2023)

Segundo os dados apresentados acima obtidos no sítio *Our World in Data* e coletados do *Energy Institute Statistical Review (2023)* e demonstrados na figura 13 a geração de energia elétrica por painéis fotovoltaicos era praticamente inexistente no ano 2000 vindo periodicamente a ganhar relevância no decorrer dos anos dentro do século XXI. Deste modo, apenas Europa, China e Índia apresentavam “vantagem competitiva” entre 2000-2015, apresentando crescimento na geração superior à média global da tecnologia com a grande maioria dos países não sendo nem especializados e nem apresentando vantagem competitiva.

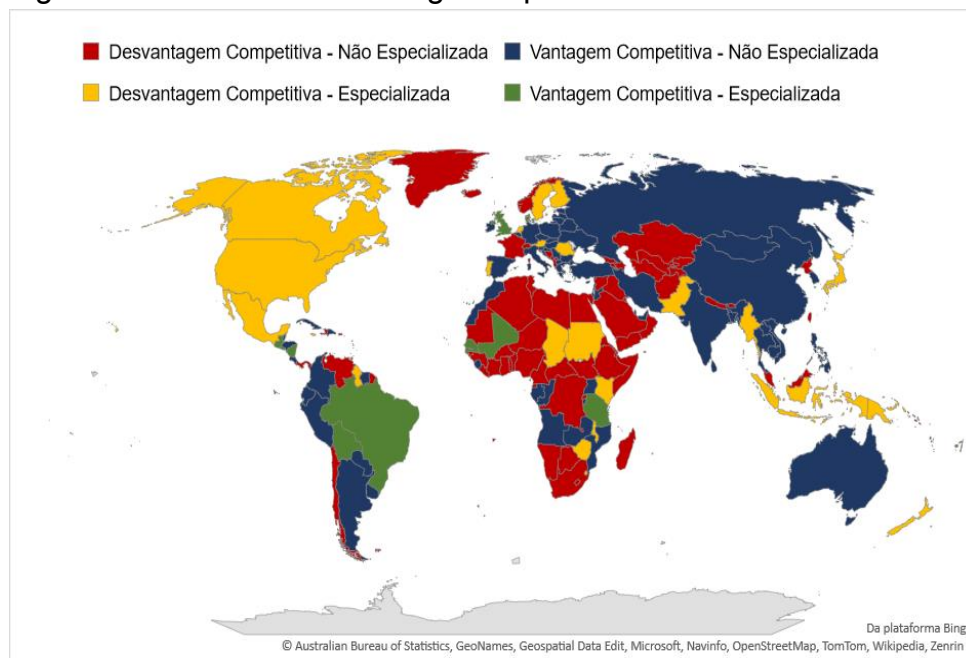
Na segunda figura 14 que corresponde ao período entre 2015 – 2022 verifica-se um amplo esforço dos países para desenvolver sistemas solares fotovoltaicos com muitos países sendo nomeados como “vantagem competitiva” indicando que a geração de energia destas fontes está sofrendo um incremento no período de medida superior à média global. Isso ocorre u no Brasil, Estados Unidos, Europa, Austrália, China e Índia. Esse suposto atraso na implantação do sistema ocorre porque esse sistema se torno u viável economicamente apenas nos últimos anos, pois embora esta forma de geração de energia seja conhecida a décadas apenas recentemente se tornou viável economicamente com o barateamento dos painéis solares e a possibilidade de injetar a geração de energia excedente diretamente na rede pública de eletricidade sem necessidade de guardar a energia excedente em baterias , tornando a instalação do sistema ainda mais barato.

Conforme dados *Energy Institute Statistical Review (2023)*, no ano 2000 a geração mundial era praticamente inexistente, enquanto em 2015 já acumulava 255 TWh anuais e em 2021 o total já alcançava 1.040 TWh anuais ao redor do mundo. Em 2021 a Ásia era responsável pela maior fatia de energia solar com 586 TWh anuais, em seguida aparecem tanto Europa quanto o América do Norte com 188 TWh cada um deles. Em seguida aparece a América do Sul totalizando 32 TWh em 2021, Oceania com 29 TWh e África com 17 TWh.

Os países especializados nesta fonte de energia se encontram na Europa, Austrália e alguns países africanos, mas neste caso verifica-se que são países extremamente pobres e com populações isoladas que adotaram a energia solar por esta ser de instalação mais barata do que outras fontes que demandam alto investimento para construção de centrais.

5.1.8 Análise Diferencial-Estrutural da utilização de Sistemas de Bioenergia

Figura 15: Análise de bioenergia no período 2000-2015



Fonte: autor baseado no Energy Institute Statistical Review (2023)

Figura 16: Análise de bioenergia no período de 2015-2021



Fonte: autor baseado no Energy Institute Statistical Review (2023)

Na matriz energética segundo Lumi (2015), a biomassa é toda matéria orgânica de origem vegetal ou animal ou vegetal que tem potencial de ser utilizada na geração de eletricidade (ANEEL, 2015). Esta fonte é considerada um importante insumo na produção elétrica, pois ajuda na sustentabilidade local por meio da geração de energia e renda através do aproveitamento dos subprodutos.

A geração de energia por biomassa e biogás ainda é pouco desenvolvida e conforme dados do *Energy Institute Statistical Review* apresentados no sítio *Our World in Data*. Assim, estes dados revelam que em 2015 foram gerados por bioenergia um total de 476 TWh anuais enquanto em 2021 este número alcançou 664 TWh. Na Ásia, continente que mais se destacou na geração desta fonte de energia subiu de 148 TWh até atingir o valor de 302 TWh em 2021. Outros continentes que também apresentaram crescimento entre 2015 e 2021 foram Europa com totais de 179 TWh e 211 TWh respectivamente e América do Sul que variou 54 TWh para 64 TWh no período. Já a América do Norte houve uma pequena redução de 86 TWh para 79 TWh no período de 2015 a 2021 respectivamente, enquanto Oceania e África apresentam valores irrelevantes comparados com os demais continentes.

A análise dos dados da figura 15 demonstram que os países da América como Brasil, Estados Unidos e Canadá e alguns países da Europa e África apresentam especialização nesta fonte de energia, enquanto países como Brasil, Rússia e Índia continuaram a incrementar esta fonte de energia em sua matriz energética além da média dos demais países.

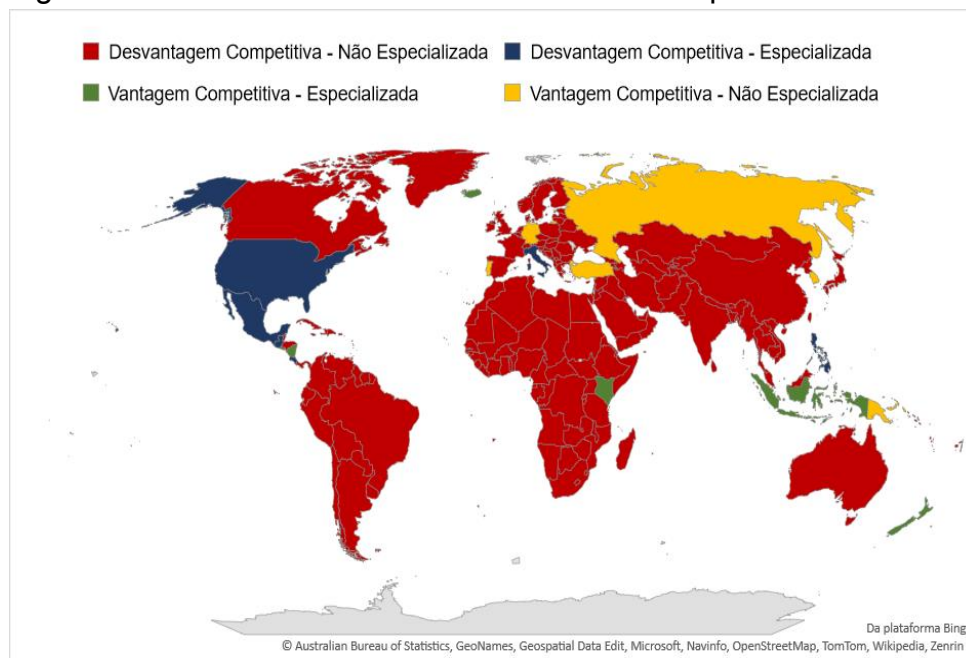
Já quando se analisa a figura 16, verifica-se que a maioria dos países que apresentavam “vantagem competitiva” passaram para “desvantagem competitiva” no período entre 2000 – 2022, isto revela que os países começaram a reavaliar os investimentos nesta fonte de energia e provavelmente muitos deles averiguaram que não havia ganho substancial no uso desta fonte de energia o que diminui o investimento e posterior crescimento da geração de energia por biomassa.

Deste modo é necessário aguardar mais alguns anos para ver se esta diminuição do incremento da geração é simplesmente uma parada para reavaliação desta fonte comparada com outras formas de energia renováveis e não renováveis ou se trata-se de uma decisão governamental de não investir mais nesta fonte de energia aguardando o encarecimento das outras fontes mais competitivas ou de desenvolvimentos tecnológicos que reduzam os custos e aumentem a

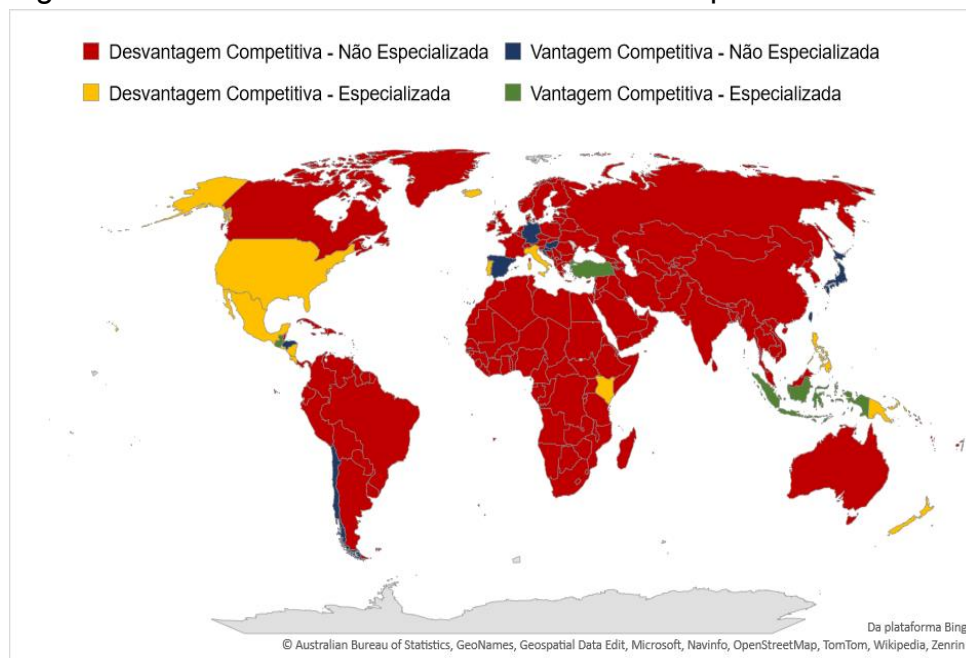
competitividade novamente desta fonte de energia como ocorrera com as fontes solares fotovoltaicas e com as eólicas offshore.

5.1.9 Análise Diferencial-Estrutural da Utilização de Outras Fontes Renováveis

Figura 17: Análise de outras fontes renováveis no período 2000-2015 Figura 18: Análise de outras fontes renováveis no período 2015-2021



Fonte: autor baseado no Energy Institute Statistical Review (2023)



Fonte: autor baseado no Energy Institute Statistical Review (2023)

A última parte da análise do Método Diferencial-Estrutural corresponde a geração de energia por fontes renováveis que não sejam compostas pelas demais fontes já mencionadas como eólica, solar e bioenergia.

Um exemplo desta fonte é a geração geotérmica que segundo Omido (2017) é a energia armazenada na forma de calor de baixo da superfície da terra”. Essa energia tem origem no fluxo geotérmico profundo, radiação solar absorvida, fluxo de águas subterrâneas e energia térmica armazenada no terreno.

Ambas fontes de energia mencionadas anteriormente são novas e pouco desenvolvidas tecnologicamente necessitando ainda maior desenvolvimento para tornarem -se viáveis economicamente, por exemplo em 2000 obteve-se globalmente 52 TWh de energia elétrica gerada por estas fontes, número que subiu até atingir 82 TWh em 2015 e 95 TWh em 2021.

O continente asiático alcançou 27 TWh em 2015 e aumentou um pouco mais até chegar a 41 TWh em 2021, na Europa também houve um leve incremento na geração entre 2015 e 2021 com aumento de 12 TWh até alcançar 13 TWh respectivamente. A América do Sul não apresenta níveis significativos desta fonte de energia. Já na América do Norte houve redução de 29 TWh em 2015 para 27 TWh em 2021.

A análise das figuras 17 e 18 também demonstra que poucos países tem investido em outras tecnologias renováveis com a grande parte deles sendo classificados como “Desvantagem Competitiva – Não Especializada” o que de certa forma demonstra que os países não tiveram interesse de investir nesta fonte no passado. Somente Estados Unidos, México e alguns países da Europa e Ásia prestaram alguma relevância a esta fonte, mas com valores muito aquém dos valores de outras fontes de energia.

5.2 ANÁLISE POR PAÍS

Na análise por país será analisado a variação das fontes de energia nos sete países mais ricos que formam o G7 (Estados Unidos, Japão, Canadá, França, Inglaterra, Itália) e dos cinco países que formam o BRICS (Brasil, Rússia, Índia, China, África do Sul). A análise será compreendida por três períodos, entre 2000-2015, entre 2015-2021 e entre 2021-2022, visto que estes países por serem mais desenvolvidos já haviam disponibilizado a base de dados do ano de 2022.

5.2.1 Análise no Período 2000 – 2015

Na tabela 3 é apresentado um resumo do status dos países integrantes do G7 e BRICS classificando cada uma das fontes de geração de eletricidade destes países em relação a vantagem competitiva e a especialização

Tabela 3: avaliação dos países no período 2000 - 2015

Países	Carvão	Óleo	Gás	Nucl.	Hidro	Eólica	Solar	Bio	Outros
Est. Unidos	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Japão	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Alemanha	●	●	●	●	●	●	●	●	●
França	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Inglaterra	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Itália	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Canadá	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Brasil	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Rússia	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Índia	●	●	●	●	●	●	●	●	●
China	●	●	●	●	●	●	●	●	●
África do Sul	●	●	●	●	●	●	●	●	●

●	Vantagem Competitiva Especializada	●	Vantagem Competitiva não Especializada
●	Desvantagem Competitiva Especializada	●	Desvantagem Competitiva não Especializada

Fonte: autor

No intervalo entre 2000-2015 a geração de energia global aumentou em torno de 58% concentrada principalmente nos países em desenvolvimento como China, Índia, Brasil e o continente africano. Ocorreu também um forte crescimento das fontes renováveis com crescimento de 48% em energia hidráulica, principalmente devido a entrada em operação das grandes hidrelétricas chinesas. Houve também um forte crescimento em energia solar caracterizado pelo fato de se tratar de uma tecnologia nova no período saindo assim de uma base muito baixa. Fenómeno semelhante ocorreu com a energia eólica.

As fontes não renováveis apresentaram crescimento quase nulo em energia nuclear e alta de 102% no uso de gás natural, especialmente para a Europa e Estados Unidos, já o uso de óleo caiu 12% e carvão cresceu 60%. Se analisados isoladamente, parece que não houve uma grande mudança, mas quando analisado mais atentamente, verifica-se que o crescimento das fontes renováveis ocorreu em países desenvolvidos normalmente em substituição de fontes mais poluentes, visto que o crescimento do consumo não foi tão alto no período.

Já o crescimento das fontes mais poluentes ocorreu em países com alto crescimento econômico como China e Índia que precisavam buscar todas as fontes geradoras disponíveis para sustentar a economia, em regiões pobres que não dispunham de outras fontes disponíveis ou em países como o Brasil que atravessaram períodos de seca prolongada nas primeiras décadas do século XXI e assim precisaram diversificar suas fontes de energia temporariamente para enfrentar uma escassez energética e aumentaram a utilização de gás natural, óleo diesel e carvão mineral.

Deste modo, pode-se verificar que os Estados Unidos já apresentavam no ano 2000 uma forte presença de fontes de energia nuclear, gás natural e eólica considerados, portanto, “especializados” quando comparado com os demais países do globo, sendo que nos próximos quinze anos, completados em 2015, houve maior incremento na geração de energia nuclear, petróleo (óleo) e hidroeletricidade.

Na Europa, a França se destacou por apresentar um forte posicionamento em energia nuclear, sendo um dos países do continente com maior parcela nesta fonte na matriz energética do país e já apresentava também um bom posicionamento no período inicial de nascimento das fontes eólicas e solar.

O Brasil já apresentava no ano 2000 uma forte dependência da hidroeletricidade e despontava nas primeiras implantações de bioenergia. Os

investimentos diminuíram com a conclusão de Belo Monte e Tucuruí e com os períodos de seca que diminuíram a geração hidrelétrica. Neste período também ocorreu o apagão de 2000-2001 que fez com que o país procurasse rapidamente desenvolver fontes fósseis de todos os tipos para atender a população.

Na Ásia, a China que tradicionalmente se apoiava no carvão para geração de eletricidade teve que diversificar as fontes de energia, tendo que buscar diversificar as fontes para suprir o grande crescimento econômico do país no período, investindo fortemente em energia nuclear, hidrelétricas além de despontar nas novas energias eólicas e fotovoltaicas.

5.2.2 Análise no Período 2015 - 2021

No segundo período correspondendo aos anos de 2015 a 2021, há uma diferença maior entre fontes renováveis e não renováveis. Enquanto a geração global de energia cresceu 18% as fontes renováveis mais relevantes se destacaram com a energia hidráulica crescendo 10% a energia solar 308% e a energia eólica colaborando com 123% de incremento, pois os parques eólicos, como tem um intervalo de maturação maior começaram a ser instalados a partir de 2010, mas só entregando mais potência ao sistema elétrico depois de 2015.

Nos países europeus iniciou-se um esforço em repensar novos investimentos em energia nuclear e substituindo-os por gás natural aproveitando os novos gasodutos que forneciam gás barato de grandes reservas da Rússia, além da importação de gás LNG. Deste modo países como Alemanha, França, Inglaterra e Itália passaram a investir fortemente nesta tecnologia.

No período compreendido entre 2015-2021 também houve aumento no uso de carvão em 10%, gás com quase 17% e energia nuclear e hidroeletricidade com média próxima a 10%. Apenas a geração a óleo diminuiu, apresentando retração de quase 26%.

Neste intervalo, verifica-se que a China se tornou especializada em energia hidráulica após a conclusão de duas grandes hidrelétricas e o Brasil em eólica quando comparados com a fração global da fonte. Já alguns países embora não especializados estavam apresentando vantagens competitivas em energia renováveis como Índia em hidroeletricidade, Estados Unidos, Brasil e China em

energia solar e China em energia eólica. Já alguns países que já eram especializados diminuíram os investimentos nestas fontes como Brasil em hidroeletricidade, Europa em solar e eólica e Unidos em energia eólica

Outro ponto interessante de análise é que os países em desenvolvimento apresentaram alta diversificação dos investimentos em fontes de energia, apresentando incremento em várias delas simultaneamente. Por exemplo, o Brasil incrementou o uso de petróleo, gás natural, eólica e energia solar.

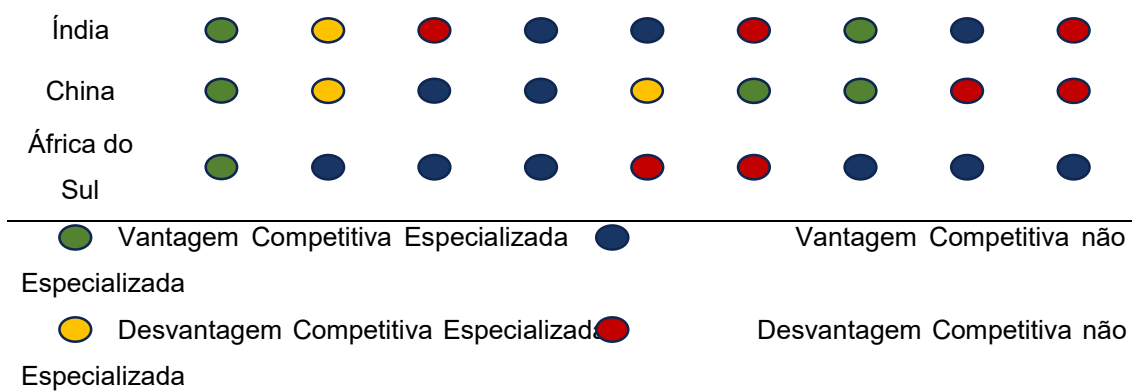
Já a Índia e a China apresentaram crescimento em quase todas as formas de geração de energia, especialmente a China que precisava suprir o grande crescimento econômico do período e também porque o país viu nas novas fontes de energia renováveis uma chance de “sair na frente” e se tornar um expoente neste setor.

Tabela 4: avaliação dos países no período 2015 - 2021

Países	Carvão	Óleo	Gás	Nucl.	Hidro	Eólica	Solar	Bio	Outros
Est. Unidos	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Japão	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Alemanha	●	●	●	●	●	●	●	●	●
França	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Inglaterra	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Itália	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Canadá	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Brasil	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Rússia	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Índia	●	●	●	●	●	●	●	●	●
China	●	●	●	●	●	●	●	●	●
África do Sul	●	●	●	●	●	●	●	●	●

● Vantagem Competitiva Especializada	● Vantagem Competitiva não Especializada
● Desvantagem Competitiva Especializada	● Desvantagem Competitiva não Especializada

Fonte: autor



Fonte: autor

Já a Índia e China tradicionalmente utilizam muito carvão, mas recentemente tem investido na diversificação de fontes como energia solar e hidráulica e no caso da China, o país tem sido a líder em fontes renováveis como eólica e energia solar possuindo grandes parques solares e eólicos e concentrando a maior parte da manufatura necessária para instalação de equipamentos para fontes renováveis.

5.3 GERAÇÃO DE EMPREGOS EM FONTES RENOVÁVEIS

Outra forma de verificar se está ocorrendo uma alta no investimento em fontes renováveis de energia é avaliar se está ocorrendo um incremento relevante no número de pessoas empregadas no setor. Este fato tem especial relevância porque o setor de energia emprega muitas pessoas no momento de implantação de usinas térmicas ou hidrelétricas e na instalação de parques eólicos e solares, no entanto, após a conclusão das obras o número de pessoas empregadas diminui, pois não é necessário manter muitas pessoas empregadas na área de operação e manutenção.

Deste modo, nas próximas seções é analisado o status de geração de emprego em cada uma das fontes de energia renováveis em questão.

5.3.1 Empregos em Energia Hidráulica

De todas as fontes de geração de energia, o setor de energia hidráulica é o

que apresenta maior disparidade de empregabilidade entre o período de implantação da fonte e o período posterior de operação e manutenção. Isso se deve ao fato que na construção das barragens emprega-se um número enorme de pessoas, mas após a conclusão da obra poucas pessoas são necessárias para manter a produção de eletricidade.

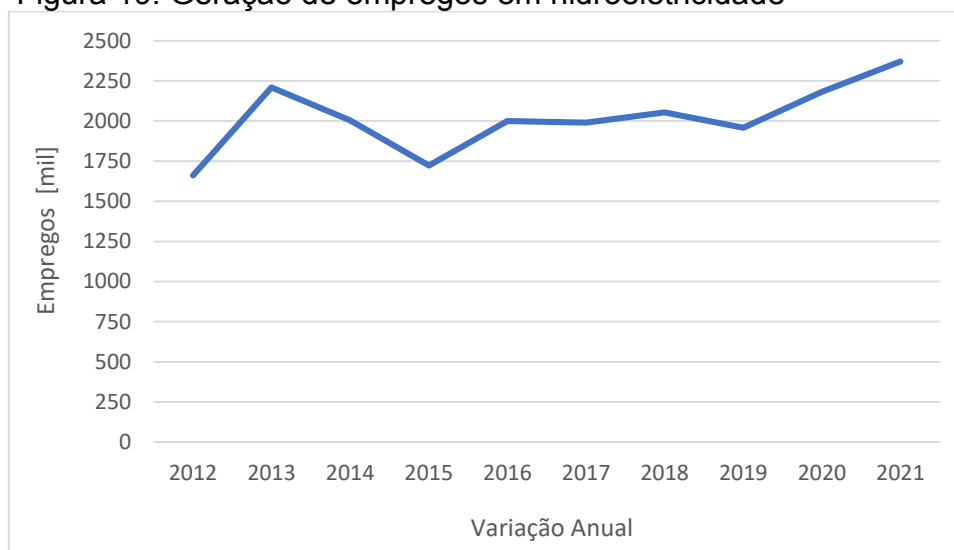
Segundo dados do IRENA (2021) o setor agregou um total de 2,4 milhões de empregos, com o setor de geração incrementando 25 GW em 2021 com somente a China adicionando 21 GW. Dos empregos no setor 64% se referem a manufatura, 30% são relacionados a construção de barragens e hidrelétricas e 6% se concentram em operação e manutenção.

Mais uma vez a China se destaca no comércio exterior voltado a energia hidráulica, sendo que a China corresponde a 18,6% das exportações globais, Áustria com 11,9%, Alemanha com 6,9%. Neste setor o Brasil tem certa relevância, correspondendo a 4,5% das exportações globais.

Conforme pode-se verificar na figura 19, o número de pessoas empregadas no setor era de cerca de 1,66 milhão em 2012 e aumentou até atingir o número de 2,37 milhões em 2021, incremento de 43% no período.

Abaixo é apresentado a figura 13 com a variação de empregos em hidroeletricidade entre os anos 2012 e 2021.

Figura 19: Geração de empregos em hidroeletricidade



Fonte: autor baseado em dados do IRENA (2022)

Concluindo, o número de empregos por país mais uma vez aponta uma forte

vantagem da China que apresenta um número de 873 mil pessoas empregadas no setor (37% do total global) segundo o relatório anual da IRENA (2022), a Índia fica em segundo lugar com um total de 415 mil pessoas empregadas (17,6% do total) e finalmente o Brasil vem em terceiro com um número aproximado de 177 mil pessoas empregadas em hidroeletricidade (7,5% do total geral).

5.3.2 Empregos em Geração Eólica - Ventos

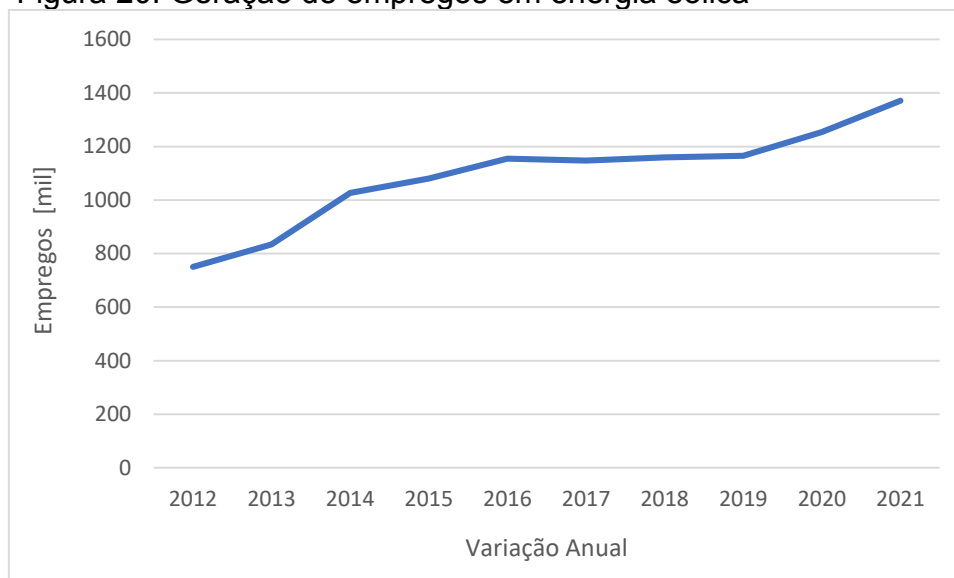
Em 2021 o setor voltou a crescer forte novamente agregando novos 93GW de capacidade instalada, sendo que novamente a China se destacou com 47 GW, em seguida vieram os Estados Unidos com mais 14 GW, seguidos por Brasil, Reino Unido e Suécia. O setor de eólicas também teve um incremento de pessoas empregadas, saindo de aproximadamente 750 mil pessoas em 2012 até alcançar um valor de cerca de 1,37 milhão de empregados, aumento de 83% no período, conforme o dado do relatório da IRENA (2022) apresentado na figura 14.

Quando analisamos a criação de empregos na indústria eólica constatamos que 48% dos empregos em 2021 estavam na China (650 mil empregos), Alemanha (130 mil), Estados Unidos (120 mil) e finalmente o Brasil com 70 mil.

Outro ponto relevante a para melhor compreender o setor é averiguar o quadro de comércio exterior dos países e neste caso verificamos uma diferença das fontes renováveis anteriores, pois a China tem uma grande produção de equipamentos e componentes para geração de energia eólica, no entanto, a produção é mais concentrada no mercado interno com apenas 13,8% voltado a exportação, valor muito menor que as potências do setor na Europa como Alemanha, Dinamarca e Holanda com índices de exportação de respectivamente 30,1%, 26,3% e 13,8%. O Brasil apresenta um número bem menor, correspondendo com apenas 2,4% do comércio externo do setor.

Segue a seguir a figura 14 que apresenta o número de pessoas empregadas globalmente em geração eólica no intervalo compreendido entre 2012 e 2021:

Figura 20: Geração de empregos em energia eólica



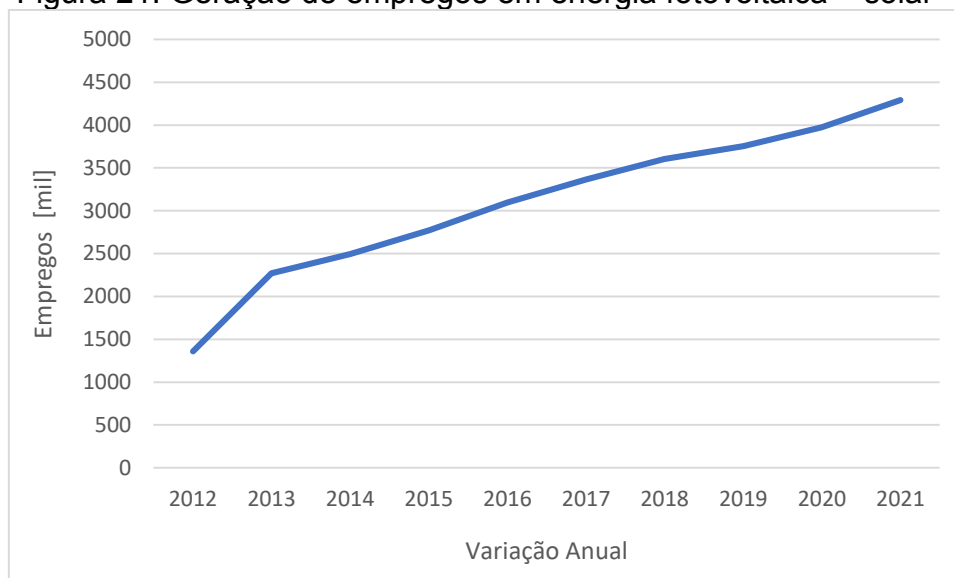
Fonte: autor baseado em dados do IRENA (2022)

Nos próximos anos é esperado um novo impulso de contratações no setor voltado especialmente para instalações offshore que eliminam os problemas dos atuais parques eólicos pois não prejudicam comunidades próximas com níveis de ruídos e problemas na fauna, visto que os novos parques offshore são afastados de áreas habitadas e de contato com vida animal não marinha. Por outro lado, estas instalações demandam um número ainda maior de pessoas empregadas, logo é bem provável que o número de empregos gerados seja incrementado significativamente nos próximos anos.

5.3.3 Empregos em Geração Fotovoltaica – Solar

Segundo dados do IRENA (2022), o setor de energia solar fotovoltaica terminou o ano de 2021 com a geração de 4,3 milhões de empregos ao redor do mundo e uma capacidade instalada de aproximadamente 132,8 GW. Os países que apresentaram maior crescimento foram China, Estados Unidos, Índia e Brasil.

Figura 21: Geração de empregos em energia fotovoltaica – solar



Fonte: autor baseado em dados do IRENA (2022)

Conforme analisado no figura 21, em aproximadamente dez anos, no período de 2012 a 2021 o número de pessoas empregadas saltou de aproximadamente 1,5 milhão de pessoas para 4,3 milhões demonstrando inequivocadamente que o setor apresentou um franco crescimento no período.

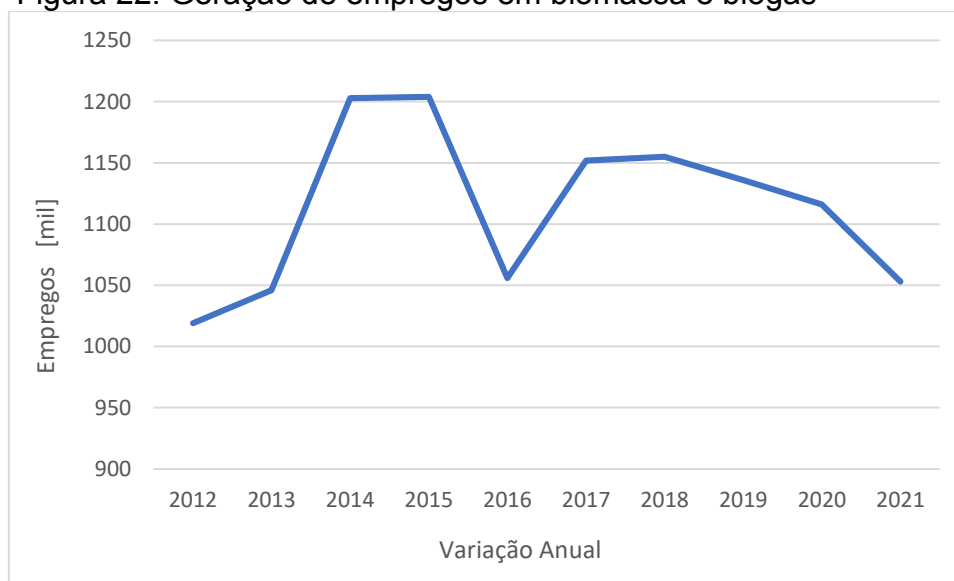
Um fator extremamente relevante quando analisamos detalhadamente a indústria de painéis solares constata-se que a China se beneficiou imensamente de uma política de produzir painéis e assim transformar o país em referência no setor. Por exemplo, a China concentrou sozinha no ano de 2020 um total de 40,9% das exportações do setor, mostrando uma forte concentração da manufatura na Ásia, restando muito pouco para os outros países como Japão (5,9%), Alemanha (4,2%) e Estados Unidos (3,9%).

Esta concentração da manufatura na China se reflete também na geração de empregos que também se concentrou na região com os demais países possuindo apenas o setor de instalação, projeto, vendas e operação/manutenção. Deste modo a China concentrou em 2021 um total de 63% dos empregos no setor alcançando 2,65 milhões de empregos no setor, seguidos por Estados Unidos (250 mil), Índia (220 mil) e Japão (150 mil). O Brasil apareceu em sexto lugar na geração de empregos, totalizando 120 mil empregos.

5.3.4 Empregos em Geração Elétrica por Biomassa e Biogás

A geração de energia por biomassa e biogás tem apresentado uma variação irregular no período, conforme demonstrado na figura 22 que representa a distribuição de empregos em todo o mundo de pessoas empregadas na geração de bioenergia:

Figura 22: Geração de empregos em biomassa e biogás



Fonte: autor baseado em dados do IRENA (2022)

Verifica-se pelo gráfico, que a geração de empregos no setor apresentou períodos de alta em 2013 e 2016, alternado com períodos de estabilidade em 2014 e 2017 e queda nos anos de 2015, 2019 e 2020. No entanto, quando analisamos o último ano de análise em 2021 foram gerados aproximadamente 1,05 milhão de empregos divididos em 716 mil em biomassa sólida e 307 mil em biogás.

O setor de biomassa sólida encontra-se razoavelmente estável e não se deslumbra grande incremento na geração de empregos futuros, mas no setor de biogás pode ser que ocorra incremento com a criação de novas vagas caso se torne viável em larga escala o uso de hidrogênio como combustível automotor, mas o impacto seria menor no setor de geração de eletricidade que é o objeto da pesquisa.

Os países que mais se destacam na geração de empregos são a China com 190 mil empregos em biomassa e 145 mil em biogás, Índia com 58 mil em biomassa e 85 mil em biogás e por fim o conjunto de países formado pela União Europeia com 314 mil em biomassa e 64 mil em biogás.

5.3.5 Empregos em Geração Geotérmica

A energia geotérmica é uma forma de energia renovável obtida a partir do calor gerado e armazenado no centro da Terra. Essa energia, embora que ainda seja pouco utilizada, é extraída das camadas mais profundas do solo e o calor natural é resultado da decomposição de elementos radioativos e pelo calor residual da formação da Terra.

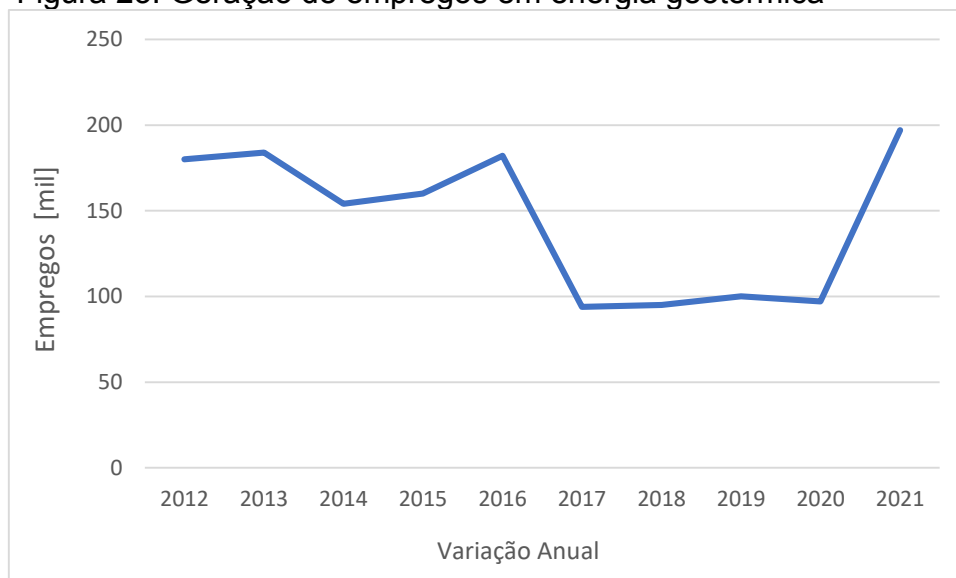
A principal fonte de calor geotérmico ocorre no núcleo quente da Terra, que aquece as camadas subterrâneas de rocha e água. Esse processo de aquecimento produz áreas geotérmicas com temperaturas muito elevadas em algumas regiões do planeta, onde o calor pode ser explorado para geração de eletricidade ou fornecer aquecimento direto para aplicações residenciais ou industriais.

Existem várias formas diferentes de extrair e explorar essa fonte de energia, como por exemplo os sistemas de ciclo Rankine orgânico, sistemas de ciclo de água quente e sistemas de bomba de calor geotérmica. A energia geotérmica é considerada uma fonte de energia limpa e sustentável, pois produz baixas emissões de gases de efeito estufa e é uma fonte de energia praticamente inesgotável na natureza.

Com relação a geração de empregos nesta indústria, os números ainda são modestos comparado com as outras fontes renováveis com apenas 196 mil empregos globais em 2021 segundo o relatório anual apresentado pela organização IRENA (2022), sendo que 79 mil na China, 8 mil nos Estados Unidos e 60 mil na União Europeia, contudo a grande maioria destes empregos se concentra no setor de calefação de residências e não na geração de eletricidade propriamente.

O número de empregos globais em energia geotérmica é apresentado a seguir na figura 17:

Figura 23: Geração de empregos em energia geotérmica



Fonte: autor baseado em dados do IRENA (2022)

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento do presente estudo visou analisar os impactos ao sistema de geração de energia após a assinatura dos tratados ambientais de Quioto e do Acordo de Paris que instituíram um grande conjunto de metas para redução do efeito estufa que é a principal causa das mudanças climáticas. Para atender estas metas uma das principais medidas foi a diminuição das emissões de gases de efeito estufa por meio da transição energética, substituindo fontes poluentes por fontes mais limpas e renováveis. O objeto de pesquisa foi mensurar se a transição energética já ocorreu e se é possível mensurar essa evolução.

Para mensurar e tirar informações estruturais sobre esta mudança optou-se pela utilização do Método Diferencial-Estrutural para mensuração das mudanças por meio de cálculos matemáticos. Os resultados encontrados demonstraram que as mudanças realmente ocorreram, embora não seja regulares em todos os continentes e nem que estejam ocorrendo na velocidade desejada.

Verificou-se que no período entre 2000-2021 ocorreu um crescimento de 76% na geração de energia elétrica utilizando de carvão mineral. Inicialmente pode-se concluir que não houve sucesso em reduzir sua utilização, mas quando os dados são analisados com maior atenção constata-se que na Europa e América do Norte houve redução no uso do carvão, com o crescimento observado sendo registrado principalmente na Ásia, especialmente China e Índia. Já o uso de óleo diesel/combustível para geração de eletricidade se reduziu em grande parte da América do Norte, Europa e Ásia o que produziu uma redução global de quase 35%, embora tenha crescido um pouco na África Subsaariana.

Surpreendente foi o crescimento na geração por gás natural com crescimento superior a 135% com forte crescimento nos Estados Unidos com o uso de *fracking* e na Europa com gás proveniente da Rússia, prévio a guerra entre Rússia e Ucrânia iniciada em 2022.

Já nas fontes limpas a energia hidráulica cresceu 62% no período com forte crescimento na China e na África. Já as novas fontes renováveis como eólicas e solares cresceram fortemente, mas partindo de uma base muito pequena, mas ao que tudo indica devem continuar a ter forte crescimento visto que o aumento na geração destas fontes vem ocorrendo em todas os continentes e não concentrados em pouco países.

O último ponto analisado e que desperta interesse para pesquisa futuras foi o impacto das fontes renováveis na geração de empregos. Verificou-se que houve um incremento forte na criação de empregos em energia solar e eólica. A China desenvolveu uma ampla cadeia de indústria de painéis solares consolidando quase toda a manufatura do setor no país. Já a indústria eólica ficou distribuída entre China e alguns países europeus como Alemanha, Dinamarca e Holanda. Deste modo, a maior parte dos empregos em fontes renováveis se concentrou na China, com os demais países contando com instalação, comércio, operação e manutenção dos sistemas, mas com muitos poucos componentes manufaturados localmente.

Conclui-se, portanto, que os países desenvolvidos estão comprometidos com a transição energética embora eventos não previstos como a pandemia de Covid19 e a crise econômica advinda do fechamento das atividades comerciais no período e acrescentado com a Guerra Ucrânia-Rússia de 2022/2023 poderão impactar os dados futuros. A pesquisa pode avançar no cálculo do impacto de um crescimento econômico constante do Brasil no consumo de energia e o nível de investimento em fontes renováveis que o país deve fazer para manter o nível de crescimento e consumo futuro.

REFERÊNCIAS

- ABRACE. “O peso da energia em sua vida”. Disponível em <<https://abrace.org.br/o-peso-da-luz/>>. Acesso: 18 jun. 2023
- BOROZAN, D. “Decomposing the changes in European final energy consumption”. Energy Strategy Reviews. Elsevier. 2021. Disponível em: <www.elsevier.com/locate/esr>. Acesso em: 04 de out. 2023.
- BROWN, H. J. (1969). “Shift and share projection of regional economic growth: an empirical test.” JRS, v. 9.
- CHAO, B. et al. “Electricity Consumption Changes across China’s Provinces Using A Spatial Shift-Share Decomposition Model”. MDPI 2019, 11, 2494. Disponível em: <www.mdpi.com/journal/sustainability>. Acesso em: 04 de out. 2023.
- CUNHA, Eduardo A.A. et al. “Aspectos históricos da energia eólica no Brasil e no mundo”. Revista Brasileira de Energias Renováveis, v.8, n.4, p.689- 697, 2019
- DUNN, E. S., Jr. “A statistical and analytical technique for regional analysis”. The Regional Science Association, Papers. Proceedings, n. 6: p. 97-112, 1960.
- ELETROBRAS, 60 anos. Memorial da Eletricidade. Disponível em: <<https://memoriadaeletricidade.com.br/artigos/setor-eletrico/118917/eletrobras-60-anos>>. Acesso: 15 jun. 2023.
- EPE (2022). Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2022 – ano Base 2021. Empresa de Pesquisa Energética. Brasília, Brasil. Disponível em <<https://www.epe.gov.br/pt/areas-de-atuacao/estatisticas>>. Acesso: 18 jun 2023.
- ESTEBAN, J. (1999). “Regional Convergence in Europe and the Industry-Mix: a Shift-Share Analysis.” Institut d’Anàlisi Econòmica, CSIC. Campus de la UAB Bellaterra. Barcelona.
- ESTEBAN-MARQUILLAS, J. M. A reinterpretation of Shift-Share analysis. Regional and Urban Economics, n. 2: p. 249-55, 1972.
- FACHINELI, A. e SESSO FILHO, U. A. “O método diferencial-estrutural: Aplicação para os estados da região Sul frente à economia brasileira 1999/2004 e 2004/2008”. Revista de Economia, v. 39, n. 3 (ano 37), p. 159-179, set./dez. 2013
- FERASSO. M. “Evaluation of the Effects on Regional Production and Employment in Spain of the Renewable Energy Plan 2011-2020”. Sustainability. Sustainability 2021, 13, 3587. Disponível em: <<https://doi.org/10.3390/su13063587>>. Acesso em: 04 de out. 2023.
- FTHENAKIS, V; LYNN, P. A. “Electricity from sunlight: photovoltaic-systems integration and Sustainability”. 2. ed. John Wiley & Sons. Chichester, West Sussex, United Kingdom. 2018.

- GODOY, Sara Gurfinkel e PAMPLONA, João B. “O Protocolo de Quioto e os países em desenvolvimento”. Pesquisa & Debate, SP, volume 18, número 2 (32) pp. 329-353, 2007.
- GROSSI, L. et al. “A spatial shift-share decomposition of electricity consumption changes across Italian regions”. Energy Policy. Elsevier. 2017. Disponível em: <www.elsevier.com/locate/esr>. Acesso em: 04 de out. 2023.
- HADDAD, P. R. (Org.) (1989). “Economia regional, teorias e métodos de análise. “In: HADDAD, P. R. Fortaleza
- HERZOG, H. W. & Olsen, R. J. “Shift-Share analysis revisited: the allocation effect and the stability of regional structure”. Journal of Regional Science. n.1, p. 441-54, 1977.
- IEA (2022). World Energy Employment. International Energy Agency. Paris, France. Disponível: < <https://www.iea.org/data-and-statistics?type=statistics#data-tool-types>>. Acesso: 18 jun. 2023.
- IREC (2023). National Solar Job Census 2021. Interstate Renewable Energy Council. Albany, Estados Unidos. Disponível em: < <https://irecusa.org/resources/national-solar-jobs-census-2021/>> Acesso: 15 jun. 2023
- IRENA e ILO (2022), Renewable energy and jobs: Annual review 2022. International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi and International Labour Organization, Geneva. Disponível em: < [https://www.irena.org/ Publications](https://www.irena.org/Publications)>. Acesso: 18 jun 2023.
- JENKINS, N.; EKANAYAKE, J. “Renewable Energy Engineering”. 1. ed. Cambridge, United Kingdom. University Printing House, 2017.
- LIMA, Tadeu. SICSÚ, João. “Macroeconomia do emprego e da renda: Keynes e o keynesianismo”. Barueri, SP: Manole, 2003.
- LES Grandes Dates de l’électricité. EDF. Disponível: <<https://www.edf.fr/groupe-edf/espaces-dedies/l-energie-de-a-a-z/les-grandes-dates-de-l-electricite>>. Acesso em 15 jun. 2023.
- LINARDI, Marcelo. “Hidrogênio e Células a Combustível”. Revista – Economia e Energia. Nº 66: Ano XII - fevereiro – março 2008
- LOPES, Luiz Martins E. “Macroeconomia: Teoria e Aplicações de Política Econômica”, 4ª edição. São Paulo: Atlas, 2018.
- LODDER, C. A. (1972). “Crescimento da ocupação regional e seus componentes”. In: HADDAD, P.R. (ed.). Planejamento Regional: métodos e aplicação ao caso brasileiro. Rio de Janeiro: IPEA/ INPES.
- LUMI, Marluce et al. “Potencial de geração de biogás a partir da suplementação de óleo de babaçu em dejetos de animais”. Revista do Centro de Ciências

Naturais e Exatas – UFSM. Ciência e Natura, Santa Maria, v. 37 n.42 set-dez. 2015, p. 756-766.

MARRECO, Juliana de M et al. “Perspectivas para a geração termelétrica a carvão”. SBPE. Revista Brasileira de Energia. Vol. 12, N°2.

NETO, Pedro B. L. et all. “Exploring tidal energy for electricity generation: basic issues and main trends”. **Ingeniare**. Rev. chil. ing. vol.19 no.2 Arica ago. 2011

OLIVEIRA, G. M. “Os desafios da Estratégia Pós-Kioto”. **Edições Universidade Fernando Pessoa**. Porto 2014. 56p.

OMIDO, Agleison R et all. “Energia Geotérmica: uma aliada na busca da eficiência energética”. **IBEAS** – Instituto Brasileiro de Estudos Ambientais. 2017

PEREIRA, A. “O Método Diferencial-Estrutural e suas Reformulações”. **Teor. Evid. Econ**. Passo Fundo. Rio Grande do Sul, v.5 n. 9 p. 91-103 Maio 1997.

PEREIRA, Ricardo H. et al. “Geração Distribuída de Energia Elétrica – Aplicação de motores bicomustível diesel/gás natural”. **IBP** - Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás. 3o Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás. 2005

PINTO, M.de O. “Energia Elétrica: Geração, Transmissão e Sistemas Interligados”. 1. ed. Rio de Janeiro, Brasil. **LTC** – Livros Técnicos e Científicos Editora Ltda. 2014

RENEWABLE Energy Generation. Our World in Data. Disponível em <<https://ourworldindata.org/grapher/modern-renewable-energy-consumption>>. Acesso em 15 jun. 2023.

SILVA, Antonio T. “O futuro da energia nuclear”. **REVISTA USP**, São Paulo, n.76, p. 34-43, dezembro/fevereiro 2007-2008

SILVA, Inácio M. “Gás Natural: a sua utilização na geração de energia elétrica no Brasil”. GÁS natural. Disponível em <<http://www.portaldosaofrancisco.com.br/alfa/gas-natural/gas-natural-6.php>>: Acesso em: 3 dez. 2010.

SCOVAZZI, Tullio. “Do Protocolo de Quioto ao Acordo de Paris”. **Rev. Fac. Direito UFMG**, Belo Horizonte, n. 78, pp. 469-476, jan./jun. 2021.

SHENG, R. et al. “Solar Photovoltaic Investment Changes across China Regions Using a Spatial Shift-Share Analysis”. **Energies** 2021, 14, 6418. Disponível em <<https://doi.org/10.3390/en14196418> <https://www.mdpi.com/journal/energies>>. Acesso: 04 out. 2023.

SOUZA, C. C. A. (2002). “Análise do crescimento das regiões metropolitanas de Belo Horizonte e Curitiba: um estudo comparativo.” In: Anais do X Seminário sobre a Economia Mineira, Cedeplar-MG.

SOUZA, J.; SOUZA, R. B L de. (2004). “Dinâmica Diferencial-Estrutural da Região Metropolitana de Porto Alegre, 1990/2000.” **Revista de Economia**. Curitiba.

STILWELL, F. J. B. Regional growth and structural adaptation. **Urban Studies**, v.6, n.2, p. 162-78, June 1969.

Anexo 1 – Tabela de geração de Energia por Continentes no ano 2000

Quantidade de Energia gerada anualmente em TWh									
Continentes	Carvão	Óleo	Gás	Nuclear	Hidro.	Eólica	Solar	Bioen.	Outros
Oceania	169,25	6,70	20,75	0,00	42,32	0,19	0,04	1,34	2,76
África	194,63	45,82	89,71	13,01	74,52	0,23	0,00	2,20	0,43
América do Sul	24,35	35,83	81,18	10,93	528,42	0,04	0,01	8,24	0,00
América do Norte	2.094,51	280,96	689,93	830,86	674,56	6,07	0,52	76,44	22,15
Europa	1.173,78	277,96	886,43	1.169,93	733,70	22,26	0,12	34,52	6,67
Ásia	2.062,60	562,24	913,11	482,70	567,84	2,37	0,39	25,91	20,36
Total	5.719,12	1.209,51	2.681,11	2.507,43	2.621,36	31,16	1,08	148,65	52,37

Fonte: *Energy Institute Statistical Review (2023)* via site *Our World In Data*

Anexo 2 – Tabela de geração de Energia por Continentes no ano 2015

Quantidade de Energia gerada anualmente em TWh									
Continentes	Carvão	Óleo	Gás	Nuclear	Hidro.	Eólica	Solar	Bioen.	Outros
Oceania	148,76	14,08	51,26	0,00	39,54	13,87	5,14	4,05	8,15
África	230,79	104,11	275,27	10,97	119,33	8,56	3,21	4,39	4,48
América do Sul	61,95	100,60	222,06	20,55	640,40	27,11	1,85	53,93	0,00
América do Norte	1.445,54	152,55	1.582,91	904,41	676,92	229,88	43,12	86,28	28,99
Europa	1.036,48	150,62	1.043,20	1.149,56	727,32	307,54	110,37	179,00	12,55
Ásia	6.237,11	546,13	2.243,85	416,96	1.666,53	241,41	91,19	148,14	27,40
Total	9.160,63	1.068,09	5.418,55	2.502,45	3.870,04	828,37	254,87	475,79	81,57

Fonte: *Energy Institute Statistical Review (2023)* via site *Our World In Data*

Anexo 3 – Tabela de geração de Energia por Continentes no ano 2021

Quantidade de Energia gerada anualmente em TWh									
Continentes	Carvão	Óleo	Gás	Nuclear	Hidro.	Eólica	Solar	Bioen.	Outros
Oceania	128,41	14,53	50,16	0,00	40,55	28,77	28,62	3,81	8,22
África	224,95	88,95	321,16	12,15	145,22	20,89	17,12	3,77	5,12
América do Sul	61,31	63,46	256,20	24,87	625,54	98,67	31,88	64,34	0,33
América do Norte	956,01	131,58	1.868,38	878,44	687,87	440,29	188,20	78,52	27,10
Europa	700,78	123,72	1.193,87	1.111,45	805,02	474,48	187,98	210,89	13,15
Ásia	8.010,34	371,29	2.636,23	713,87	1.940,37	786,30	586,26	302,45	41,08
Total	10.081,80	793,53	6.326,00	2.740,78	4.244,57	1.849,40	1.040,06	663,78	95,00

Fonte: *Energy Institute Statistical Review (2023)* via site *Our World In Data*

Anexo 4 – Tabela com a variação percentual nos períodos analisados

Variação percentual da quantidade de energia gerada anualmente em TWh									
Países	Carvão	Óleo	Gás	Nuclear	Hidro.	Eólica	Solar	Bioen.	Outros
Intervalo (2000 – 2015)	60,2	-11,7	102,1	-0,20	47,6	2558,4	23499,0	220,1	55,8
Intervalo (2015 – 2021)	10,1	-25,7	16,8	9,5	9,7	123,3	308,1	39,5	16,5
Intervalo (2000 – 2021)	76,3	-34,4	135,9	9,3	61,9	5.835,2	96.201,9	346,5	81,4

Fonte: *Energy Institute Statistical Review (2023)* via site *Our World In Data*

Anexo 5 – Tabela com geração de energia dos países do G7 no ano 2000

Quantidade de Energia gerada anualmente em TWh									
Países	Carvão	Óleo	Gás	Nuclear	Hidro.	Eólica	Solar	Bioen.	Outros
Alemanha	296,68	18,05	52,49	169,61	21,73	9,35	0,06	4,33	0
Canada	109,21	12,69	33,66	69,16	354,92	0,26	0,02	8,47	0,03
Estados Unidos	1.966,27	116,02	614,99	753,89	270,03	5,59	0,49	60,73	14,09
França	27	12,1	11,51	415,16	64,78	0,05	0,01	2,48	0,51
Itália	26,28	90,64	101,36	0	44,2	0,56	0,02	1,39	4,7
Japão	202,75	155,55	219,99	305,95	86,38	0,11	0,35	13,97	3,35
Reino Unido	119,95	11,31	148,08	85,06	5,09	0,95	0	3,94	0

Fonte: *Energy Institute Statistical Review (2023)* via site *Our World In Data*

Anexo 6 – Tabela com geração de energia dos países do G7 no ano 2015

Quantidade de Energia gerada anualmente em TWh									
Países	Carvão	Óleo	Gás	Nuclear	Hidro.	Eólica	Solar	Bioen.	Outros
Alemanha	272,2	24,42	63,37	91,79	18,98	80,62	38,73	50,33	0,13
Canada	57,52	4,67	63,51	96,05	378,37	26,7	2,87	9,25	0,01
Estados Unidos	1.352,4	44,44	1.333,48	797,18	243,99	190,72	39,03	63,63	19,12
França	11,89	11,62	21,14	437,43	55,56	21,42	7,75	6,53	0,58
Itália	43,2	17,98	110,88	0	45,54	14,84	22,94	19,39	6,18
Japão	338,67	101,16	404,4	3,24	86,75	5,58	34,8	27,83	2,38
Reino Unido	75,88	6,67	99,88	70,34	6,3	40,27	7,53	28,47	0

Fonte: *Energy Institute Statistical Review (2023)* via site *Our World In Data*

Anexo 7 – Tabela com geração de energia dos países do G7 no ano 2021

Quantidade de Energia gerada anualmente em TWh									
Países	Carvão	Óleo	Gás	Nuclear	Hidro.	Eólica	Solar	Bioen.	Outros
Alemanha	164,5	21,7	95,22	69,13	19,66	114,65	49,34	46,91	0,24
Canada	36,81	2,78	72,29	87,36	377,16	35,21	5,11	9,23	0
Estados Unidos	898	35,2	1579,19	779,65	246,47	378,2	164,42	54,25	18,24
França	5,44	9,86	33,36	379,36	59,62	36,83	15,73	9,6	0,58
Itália	14,02	12,03	144,01	0	45,39	20,93	25,04	19,06	5,91
Japão	311,62	32,33	336,63	61,22	79,14	8,96	88,7	36,91	3,02
Reino Unido	5,92	8,58	123,58	46,88	5,59	65,02	12,48	39,11	0

Fonte: *Energy Institute Statistical Review (2023)* via site *Our World In Data*

Anexo 8 – Tabela com a variação da geração de energia dos países do G7 nos intervalos dados

Variação percentual da quantidade de energia gerada nos intervalos de tempo [%]										
Países	Intervalo	Carvão	Óleo	Gás	Nuclear	Hidro.	Eólica	Solar	Bioen.	Outros
Alemanha	2000 - 2015	-8,3	35,3	20,7	-45,9	-12,7	762,2	64.450,0	1.062,4	-
Alemanha	2015 - 2021	-39,6	-11,1	50,3	-24,7	3,6	42,2	27,4	-6,8	84,6
Alemanha	2000 - 2021	-44,6	20,2	81,4	-59,2	-9,5	1.126,2	82.133,3	983,4	-
Canada	2000 - 2015	-47,3	-63,2	88,7	38,9	6,6	10.169,2	14.250,0	9,2	-66,7
Canada	2015 - 2021	-36,0	-40,5	13,8	-9,0	-0,3	31,9	78,0	-0,2	-100,0
Canada	2000 - 2021	-66,3	-78,1	114,8	26,3	6,3	13.442,3	25.450,0	9,0	-100,0
Estados Unidos	2015 - 2021	-31,2	-61,7	116,8	5,7	-9,6	3311,8	7865,3	4,8	35,7

Estados Unidos	2015 - 2021	-33,6	-20,8	18,4	-2,2	1,0	98,3	321,3	-14,7	-4,6
Países	Intervalo	Carvão	Óleo	Gás	Nuclear	Hidro.	Eólica	Solar	Bioen.	Outros
Estados Unidos	2000 - 2021	-54,3	-69,7	156,8	3,4	-8,7	6.665,7	33.455,1	-10,7	29,5
França	2000 - 2015	-56,0	-4,0	83,7	5,4	-14,2	42.740,0	77.400,0	163,3	13,7
França	2015 - 2021	-54,2	-15,1	57,8	-13,3	7,3	71,9	103,0	47,0	0,0
França	2000 - 2021	-79,9	-18,5	189,8	-8,6	-8,0	73.560,0	157.200,0	287,1	13,7
Itália	2000 - 2015	64,4	-80,2	9,4	0,0	3,0	2.550,0	114.600,0	1.295,0	31,5
Itália	2015 - 2021	-67,5	-33,1	29,9	0,0	-0,3	41,0	9,2	-1,7	-4,4
Itália	2000 - 2021	-46,7	-86,7	42,1	0,0	2,7	3.637,5	125.100,0	1.271,2	25,7
Japão	2000 - 2015	67,0	-35,0	83,8	-98,9	0,4	4.972,7	9.842,9	99,2	-29,0

Japão	2015 - 2021	-8,0	-68,0	-16,8	1.789,5	-8,8	60,6	154,9	32,6	26,9
Japão	2000 - 2021	53,7	-79,2	53,0	-80,0	-8,4	8.045,5	25.242,9	164,2	-9,9
Países	Intervalo	Carvão	Óleo	Gás	Nuclear	Hidro.	Eólica	Solar	Bioen.	Outros
Reino Unido	2000 - 2015	-36,7	-41,0	-32,5	-17,3	23,8	4.138,9	-	622,6	0,0
Reino Unido	2015 - 2021	-92,2	28,6	23,7	-33,4	-11,3	61,5	65,7	37,4	0,0
Reino Unido	2000 - 2021	-95,1	-24,1	-16,5	-44,9	9,8	6.744,2	-	892,6	0,0

Fonte: *Energy Institute Statistical Review (2023)* via site *Our World In Data*

Anexo 9 – Tabela com geração de energia dos países do BRICS no ano 2000

Quantidade de Energia gerada anualmente em TWh									
Países	Carvão	Óleo	Gás	Nuclear	Hidro.	Eólica	Solar	Bioen.	Outros
Brasil	10,66	14,37	3,84	4,94	301,36	0	0	7,41	0
Rússia	165,82	31,25	349,73	122,46	164,08	0	0	0,07	0,06
Índia	390,23	29,16	55,96	15,77	76,99	1,58	0,01	1,69	0
China	1.060,26	47,27	5,77	16,74	222,41	0,59	0,02	2,54	0
África do Sul	181,67	0	0	13,01	1,34	0	0	0,45	0

Fonte: *Energy Institute Statistical Review (2023)* via site *Our World In Data*

Anexo 10 – Tabela com geração de energia dos países do BRICS no ano 2015

Quantidade de Energia gerada anualmente em TWh									
Países	Carvão	Óleo	Gás	Nuclear	Hidro.	Eólica	Solar	Bioen.	Outros
Brasil	26,12	26,97	75,76	13,91	359,74	21,47	0,06	47,54	0
Rússia	149,57	9,53	499,76	182,81	167,99	0,15	0,34	0,45	0,46
Índia	1.006,55	9,12	64,77	38,31	133,28	32,74	6,57	30,62	0
China	4.046,17	9,68	166,91	171,38	1.114,52	185,59	39,48	54,07	0
África do Sul	207,38	3,76	3,74	10,97	0,8	2,5	2,4	0,39	0

Fonte: *Energy Institute Statistical Review (2023)* via site *Our World In Data*

Anexo 11 – Tabela com geração de energia dos países do BRICS no ano 2021

Quantidade de Energia gerada anualmente em TWh									
Países	Carvão	Óleo	Gás	Nuclear	Hidro.	Eólica	Solar	Bioen.	Outros
Brasil	25,22	22,96	91,03	14,7	362,82	71,5	16,75	57,6	0
Rússia	192,12	7,94	466,24	222,44	214,5	3,89	2,3	0,49	0,44
Índia	1.271,14	2,31	64,18	43,92	160,33	68,09	68,31	35,47	0
China	5.339,14	12,25	272,6	407,5	1.300	655,6	327	169,93	0
África do Sul	192,73	1,44	0	12,15	1,47	8,36	6,65	0,4	0

Fonte: *Energy Institute Statistical Review (2023)* via site *Our World In Data*

Anexo 12 – Tabela com a variação da geração de energia dos países do BRICS nos intervalos dados

Variação percentual da quantidade de energia gerada nos intervalos de tempo [%]										
Países	Intervalo	Carvão	Óleo	Gás	Nuclear	Hidro.	Eólica	Solar	Bioen.	Outros
Brasil	2000 - 2015	145,0	87,7	1872,9	181,6	19,4	-	-	541,6	0
Brasil	2015 - 2021	-3,4	-14,9	20,2	5,7	0,9	233,0	27.816,7	21,2	0
Brasil	2000 - 2021	136,6	59,8	2270,6	197,6	20,4	-	-	677,3	0
Rússia	2000 - 2015	-9,8	-69,5	42,9	49,3	2,4	-	-	542,9	666,7
Rússia	2015 - 2021	28,4	-16,7	-6,7	21,7	27,7	2.493,3	576,5	8,9	-4,3
Rússia	2000 - 2021	15,9	-74,6	33,3	81,6	30,7	-	-	600,0	633,3
Índia	2015 - 2021	157,9	-68,7	15,7	142,9	73,1	1972,2	65.600,0	1711,8	0
Índia	2015 - 2021	26,3	-74,7	-0,9	14,6	20,3	108,0	939,7	15,8	0

Países	Intervalo	Carvão	Óleo	Gás	Nuclear	Hidro.	Eólica	Solar	Bioen.	Outros
Índia	2000 - 2021	225,7	-92,1	14,7	178,5	108,2	4.209,5	683.000,0	1.998,8	0
China	2000 - 2015	281,6	-79,5	2.792,7	923,8	401,1	31.355,9	464,0	2.028,7	0
China	2015 - 2021	32,0	26,5	63,3	137,8	16,6	253,3	728,3	214,3	0
China	2000 - 2021	403,6	-74,1	4.624,4	2.334,3	484,5	111.018,6	4.571,4	6.590,2	0
África do Sul	2000 - 2015	14,2	-	-	-15,7	-40,3	-	-	-13,3	0
África do Sul	2015 - 2021	-7,1	-61,7	-100,0	10,8	83,8	234,4	177,1	2,6	0
África do Sul	2000 - 2021	6,1	-	0,0	-6,6	9,7	-	-	-11,1	0

Fonte: *Energy Institute Statistical Review (2023)* via site *Our World In Data*

Anexo 13 – Empregos anuais em energia renovável em todos os países em milhares

Empregos anuais criados por energias renováveis globalmente [mil]										
Fonte	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Hidrelétrica	1.660	2.210	2.004	1.723	2.000	1.990	2.054	1.957	2.182	2.370
Eólica	750	834	1.027	1.081	1.155	1.148	1.160	1.165	1.254	1.371
Fotovoltaica - Solar	1.360	2.270	2.495	2.772	3.095	3.365	3.605	3.755	3.975	4.291
Bioenergia	1.019	1.046	1.203	1.204	1.056	1.124	1.121	1.106	1.104	1.023
Geotérmica e Marés	180	184	154	160	182	94	95	100,1	97,1	197,1
Total	4.969	6.544	6.883	6.940	7.488	7.721	8.035	8.083	8.612	9.252

Fonte: IRENA (2013) a IRENA (2022)

Anexo 14 – Variação percentual de empregos em fontes renováveis em dois períodos: 2012 – 2015 e 2015 – 2021

Variação percentual dos empregos em fontes renováveis nos intervalos indicados					
Fonte	Intervalo	Variação [%]	Fonte	Intervalo	Variação [%]
Hidrelétrica	2012 -2015	3,8	Hidrelétrica	2015 - 2021	37,6
Eólica	2012 -2015	44,1	Eólica	2015 - 2021	26,8
Fotovoltaica - Solar	2012 -2015	103,8	Fotovoltaica - Solar	2015 - 2021	54,8
Bioenergia	2012 -2015	18,2	Bioenergia	2015 - 2021	-15,0
Geotérmica e Marés	2012 -2015	-11,1	Geotérmica e Marés	2015 - 2021	23,2

Fonte: IRENA (2013) a IRENA (2022)