

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA POLITÉCNICA

ARIELA CARASENI LUSCHINI

**As consequências da guerra Rússia–Ucrânia no processo de transição
energética**

São Paulo
2024

ARIELA CARASENI LUSCHINI

As consequências da guerra Rússia–Ucrânia no processo de transição energética

Versão Corrigida

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para a obtenção do título de Mestre em Ciências.

Área de Concentração: Economia da Produção e Engenharia Financeira

Orientador: Prof. Dr. Erik Eduardo Rego

São Paulo

2024

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Este exemplar foi revisado e corrigido em relação à versão original, sob responsabilidade única do autor e com a anuência de seu orientador.

São Paulo, 12 de janeiro de 2024

Assinatura da autora:



Assinatura do orientador:



Documento assinado digitalmente

ERIK EDUARDO REGO

Data: 12/01/2024 10:08:41-0300

Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Catlogação-na-publicação

Luschini, Ariela Caraseni

As consequências da guerra Rússia–Ucrânia no processo de transição energética / A. C. Luschni -- versão corr. -- São Paulo, 2024.

184 p.

Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Produção.

1.Crises energéticas 2.Energias renováveis 3.Guerra Rússia–Ucrânia 4.Políticas energéticas 5.Transição energética I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Produção II.t.

Dedico este trabalho à minha mãe Rita de Cassia Goulart Caraseni (*in memoriam*) com todo o meu amor por ter me apresentado o mundo acadêmico e me proporcionado tudo o que eu precisava para esta conquista.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Erik pela excelente orientação, por ter acreditado no meu projeto, por todo o aprendizado e conhecimento compartilhado, por toda a ajuda e pelo apoio dedicados.

Gostaria de agradecer e dedicar este projeto à minha mãe Rita, por ter sido a principal responsável pela minha formação como pessoa e profissional, por ter me apoiado e me aconselhado nas minhas decisões. Agradeço ao meu pai Anibal e aos meus familiares, principalmente, minhas avós Aparecida e Argentina, meu avô Irineu e meu tio Pedro pelo apoio dado aos meus projetos acadêmicos, profissionais e pessoais.

Agradeço aos professores que me instruíram durante o mestrado por todo o aprendizado e conhecimento compartilhado, especialmente, à Prof. Dra. Celma pela amizade e assistência dadas quando eu precisei. Gostaria de agradecer à Escola Politécnica e aos funcionários, principalmente, a Lídia, pelo auxílio durante o mestrado. Agradeço aos meus amigos por toda a ajuda e conselhos na trajetória percorrida até aqui.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

RESUMO

A cadeia de abastecimento energético global foi significativamente afetada pela guerra Rússia-Ucrânia (GRU), que levou a uma crise energética. Isto porque a Rússia sempre foi um importante exportador de petróleo e gás natural. As pesquisas indicaram que os países mais impactados pelas sanções impostas à Rússia, devido à invasão da Ucrânia, concentraram seus esforços em substituir os seus exportadores de energia no curto prazo e planejar uma mudança estratégica no mix energético no médio e longo prazo. O objetivo deste trabalho consistiu em verificar os impactos dos movimentos provocados pela guerra na aceleração ou desaceleração do progresso das fontes renováveis de energia (FERs) e, conseqüentemente, na transição energética. A revisão da literatura sobre momentos de crises mostrou interferências na cadeia de suprimentos de energia. Períodos de guerras mostraram o aumento dos preços do petróleo e a busca dos países por diversificarem o fornecimento de energia; inicialmente, com o crescimento de usinas nucleares e, posteriormente, com o desenvolvimento do gás natural. Contudo, desastres ambientais tiveram efeitos negativos sobre a geração nuclear. Em 2000, as preocupações com as emissões de gases de efeito estufa (GEE) aumentaram; levando à adoção e ao desenvolvimento de políticas de redução de emissões. A análise das políticas energéticas nos países analisados revela que as crises obrigaram os governos a repensarem suas políticas. Por exemplo, a crise de 2014 pela anexação da Crimeia afetou o fornecimento de gás natural, fazendo com que as importações europeias diminuíssem. A *Energiewende* na Alemanha estimulou a maior participação das FERs. A crise financeira de 2008 levou os Estados Unidos a adotarem créditos financeiros e leis de energia renovável. O Brasil criou o Proálcool em 1975 para reduzir a dependência do petróleo. A pandemia covid-19 na China levou a bloqueios e a redução do transporte, ocasionando a diminuição do consumo de petróleo e das emissões de GEE. Os resultados mostraram que a GRU teve conseqüências no setor de energia dos países, com base nas importações de combustíveis, na geração de eletricidade e no consumo de energia. Por tomarem decisões diferentes durante a guerra, alguns países aceleraram a transição energética, enquanto outros desaceleraram.

Palavras-chave: Crises energéticas; Energia renováveis; Guerra Rússia–Ucrânia; Políticas energéticas; Transição energética.

ABSTRACT

The global energy supply chain was significantly affected by the Russia-Ukraine (RU) war, which resulted in an energy crisis. This is because Russia has always been an important exporter of oil and natural gas. Research has shown that the countries most impacted by the sanctions imposed on Russia due to the invasion of Ukraine focused their efforts on replacing their energy exporters in the short term and planning a strategic change in the energy mix in the medium and long term. The objective of this work was to verify the impacts of movements caused by the war on acceleration or slowing down the progress of renewable energy sources (RES) and, consequently, on the energy transition. The literature review about moments of crisis showed interference in the energy supply chain. Periods of wars showed the increase in oil prices and the search for countries to diversify their energy supply; initially, with the growth of nuclear power plants and then, with the development of natural gas. However, environmental disasters had negative effects on nuclear generation. In 2000, concerns about greenhouse gas (GHG) emissions grew, leading to the adoption and development of emission reduction policies. The analysis of energy policies implemented in the analyzed countries reveals that crises have forced governments and formulators to rethink their policies. For example, the 2014 crisis between Russia and Ukraine over the annexation of Crimea affected the supply of natural gas, causing European imports to decline. The Energiewende in Germany has stimulated greater participation of RES. The 2008 financial crisis led the United States to adopt financial credits and renewable energy laws. Brazil created Proalcohol in 1975 with the aim of reducing dependence on oil. The COVID-19 pandemic in China has led to lockdowns and reduced transportation, leading to a decrease in oil consumption and GHG emissions. The results showed that the RUW had consequences on the countries' energy sector, based on fuel imports, electricity generation and energy consumption. Because they took different decisions during the war, some countries accelerated the energy transition, while others slowed it down.

Keywords: Energy crises; Energy policies; Energy transition; Renewable energy; Russia-Ukraine war.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Estoques semanais de petróleo bruto da Reserva Estratégica de Petróleo dos EUA (período de janeiro de 1985 a 25 de fevereiro de 2022)	38
Figura 2 – Participação da demanda de gás da UE atendida pela oferta russa, 2001–2022	41
Figura 3 – Impacto de Fukushima nas gerações de energia nuclear, fóssil e renovável do Japão	43
Figura 4 – Adições e retiradas de capacidade de energia nuclear em países e regiões selecionados por década no cenário Net Zero, 1971–2050	44
Figura 5 – Volume mundial de crédito de carbono negociado nos mercados regulado e voluntário.....	46
Figura 6 – Preços no mercado de carbono	46
Figura 7 – Principais áreas de investimento dos programas de estímulo verde.....	47
Figura 8 – Variação da demanda de energia primária por região e por combustível em 2021 em relação a 2019.....	48
Figura 9 – Nível de preços de mecanismos de mercado de precificação de carbono selecionados que cobrem o setor de energia, em abril de 2020	49
Figura 10 – Regiões onde o ataque da Rússia à Ucrânia foi condenado.....	52
Figura 11 – Comércio da UE com a Rússia por grupo de produtos, 2011 e 2021 (em bilhões de euros – €).....	53
Figura 12 – Os custos decrescentes das energias renováveis em comparação com as fontes de energia tradicionais.....	56
Figura 13 – Visão geral esquemática dos instrumentos políticos usados para promover transições de tecnologia de energia.....	59
Figura 14 – Alemanha — Impactos dos momentos de crises na geração de eletricidade 1971–2022	63
Figura 15 – Capacidade instalada alemã (MW) de geração de eletricidade a partir de energias renováveis	65
Figura 16 – Participação das energias renováveis no consumo bruto de eletricidade e no consumo final bruto de energia	65
Figura 17 – Emissões de GEE evitadas através da utilização de energias renováveis	66
Figura 18 – Emissões de CO ₂ em milhões de toneladas por setor econômico	67

Figura 19 – Parcela de emissões de GEE e preços para instrumentos de precificação de carbono por países.....	68
Figura 20 – Evolução das políticas energéticas na Alemanha x geração renovável de energia	69
Figura 21 – RU — Impactos dos momentos de crises na geração de eletricidade 1971–2022	70
Figura 22 – Preços de venda de eletricidade no atacado vs. apoio da RO	71
Figura 23 – Preços de venda do atacado vs. tarifas FIT	72
Figura 24 – Capacidade instalada do RU (MW) de geração de eletricidade a partir de energias renováveis	73
Figura 25 – Comparação na emissão de GEE por setor em 1990 e 2019	74
Figura 26 – Evolução das políticas energéticas no RU x geração renovável de energia	75
Figura 27 – EUA — Impactos dos momentos de crises na geração de eletricidade 1971–2022	76
Figura 28 – Capacidade instalada dos EUA (MW) de geração de eletricidade a partir de energias renováveis	78
Figura 29 – Valor médio das remessas dos painéis solares fotovoltaicos dos EUA (2010–2022).....	79
Figura 30 – Total de emissões de CO ₂ relacionadas à energia nos EUA, <i>Annual Energy Outlook</i> — AEO2023 (2000–2050).....	79
Figura 31 – Preço de liquidação das licenças da RGGI (setembro de 2008 a dezembro de 2021)	80
Figura 32 – Evolução das políticas energéticas nos EUA x geração renovável de energia	81
Figura 33 – Brasil — Impactos dos momentos de crises na geração de eletricidade 1971–2022	82
Figura 34 – Quantidade anual de capacidade instalada da GD	84
Figura 35 – Participação de energias renováveis na produção de eletricidade entre 2000 e 2022 por país	84
Figura 36 – Capacidade instalada do Brasil de geração de eletricidade a partir de energias renováveis	85
Figura 37 – Comparação de Emissões de CO ₂ per capita (2020) em tCO ₂ /hab.	87

Figura 38 – Evolução das políticas energéticas no Brasil x geração renovável de energia	88
Figura 39 – China — Impactos dos momentos de crises na geração de eletricidade 1971–2022	89
Figura 40 – Capacidade instalada chinesa (MW) de geração de eletricidade a partir de energias renováveis	91
Figura 41 – Histórico dos preços dos ETSs selecionados de 2018 a 2022.....	92
Figura 42 – Evolução das políticas energéticas na China x geração renovável de energia	93
Figura 43 – Exportações de combustíveis russos em valor (milhões de euros) pré-guerra x durante a guerra.....	96
Figura 44 – Exportações de combustíveis russos em quantidade (milhares de toneladas) pré-guerra x durante a guerra.....	96
Figura 45 – Fluxo diário das exportações dos combustíveis da Rússia por país importador	97
Figura 46 – Comparação da quantidade (milhares de toneladas) de combustíveis exportados pela Rússia para cada país importador pré-guerra x durante a guerra ..	98
Figura 47 – Exportações russas por tipo de combustível e por país importador a partir do início da guerra (24/02/2022 a 11/09/2023).....	98
Figura 48 – Matriz energética da Alemanha 2021 e 2022.....	99
Figura 49 – Participação das principais fontes de energia importação - exportação da Alemanha	100
Figura 50 – Histórico dos principais países exportadores de petróleo para a Alemanha	100
Figura 51 – Comparação da quantidade de petróleo importada pela Alemanha de março de 2021 a fevereiro de 2022 x março de 2022 a fevereiro de 2023 por país exportador	101
Figura 52 – Variação nas importações diárias realizadas pela Alemanha de janeiro de 2022 a maio de 2023 por país exportador.....	102
Figura 53 – Comparação da quantidade de gás natural importada pela Alemanha de janeiro a março de 2022–2023 por país exportador.....	103
Figura 54 – Variação anual nas importações totais de gás natural pela Alemanha	104

Figura 55 – Comparação da quantidade de carvão importada pela Alemanha de março de 2021 a fevereiro de 2022 x março de 2022 a fevereiro de 2023 por país exportador	105
Figura 56 – Histórico da temperatura média mensal na Alemanha.....	106
Figura 57 – Histórico da precipitação mensal na Alemanha em 2022 e 2023.....	106
Figura 58 – Alemanha — Geração de eletricidade a partir de carvão mês a mês de 2021 a 2023	107
Figura 59 – Alemanha — Geração de eletricidade a partir de energia nuclear mês a mês de 2021 a 2023.....	108
Figura 60 – Alemanha — Geração de eletricidade a partir do gás natural mês a mês de 2021 a 2023	108
Figura 61 – Alemanha — Geração de eletricidade a partir de energia eólica mês a mês de 2021 a 2023	109
Figura 62 – Alemanha — Geração de eletricidade a partir de hidrelétricas mês a mês de 2021 a 2023	110
Figura 63 – Alemanha — Geração de eletricidade a partir de energia solar mês a mês de 2021 a 2023	110
Figura 64 – Alemanha — Geração de eletricidade por fonte de energia de 2021 a 2023	111
Figura 65 – Alemanha — Histórico do consumo total de energia de 2021 a 2023..	112
Figura 66 – Alemanha — Consumo de energia final por fonte de energia em 2022	112
Figura 67 – Alemanha — Variação no consumo de eletricidade e gás natural na indústria de 2021 para 2022.....	113
Figura 68 – Histórico do produto interno bruto da Alemanha	113
Figura 69 – Matriz energética do RU em 2021 e 2022.....	115
Figura 70 – Histórico dos principais países exportadores de gás natural para o RU	116
Figura 71 – Histórico dos principais exportadores de petróleo para o RU	116
Figura 72 – Comparação da quantidade de gás natural importada pelo RU de março de 2021 a fevereiro de 2022 x março de 2022 a fevereiro de 2023 por país exportador	117

Figura 73 – Comparação da quantidade de gás natural exportada pelo RU de março de 2021 a fevereiro de 2022 x março de 2022 a fevereiro de 2023 por país importador	118
Figura 74 – Comparação da quantidade de petróleo importada pelo RU de março de 2021 a fevereiro de 2022 x março de 2022 a fevereiro de 2023 por país exportador	119
Figura 75 – Comparação da quantidade de carvão importada pelo RU do segundo ao quarto trimestre de 2021 x segundo ao quarto trimestre de 2022 por país exportador	120
Figura 76 – RU — Geração de eletricidade a partir de carvão mês a mês de 2021 a 2023	121
Figura 77 – RU — Geração de eletricidade a partir de energia nuclear mês a mês de 2021 a 2023	122
Figura 78 – RU — Geração de eletricidade a partir do gás natural mês a mês de 2021 a 2023	122
Figura 79 – Velocidade do vento em Knots.....	123
Figura 80 – RU — Geração de eletricidade a partir de energia eólica mês a mês de 2021 a 2023	123
Figura 81 – Histórico da precipitação média no RU	124
Figura 82 – RU — Geração de eletricidade a partir de hidrelétricas mês a mês de 2021 a 2023	124
Figura 83 – Variação mensal da média de horas de sol diárias no RU.....	125
Figura 84 – RU — Geração de eletricidade a partir de energia solar mês a mês de 2021 a 2023	125
Figura 85 – RU — Geração de eletricidade por fonte de energia de 2021 a 2023..	126
Figura 86 – RU — Consumo total por fonte de energia	126
Figura 87 – Consumo de energia primária nos EUA em 2021 e 2022	128
Figura 88 – Histórico dos principais países exportadores de petróleo para os EUA	129
Figura 89 – Comparação da quantidade de petróleo importada pelos EUA de março de 2021 a fevereiro de 2022 x março de 2022 a fevereiro de 2023 por país exportador	129

Figura 90 – Comparação da quantidade de gás natural exportada pelos EUA de março de 2021 a fevereiro de 2022 x março de 2022 a fevereiro de 2023 por país exportador	130
Figura 91 – Exportações anuais de carvão dos EUA segundo os 10 principais países de destino em 2022.....	131
Figura 92 – EUA — Geração de eletricidade a partir de carvão mês a mês de 2021 a 2023	132
Figura 93 – EUA — Geração de eletricidade a partir de energia nuclear mês a mês de 2021 a 2023	133
Figura 94 – EUA — Geração de eletricidade a partir do gás natural mês a mês de 2021 a 2023	133
Figura 95 – EUA — Geração de eletricidade a partir de energia eólica mês a mês de 2021 a 2023	134
Figura 96 – Histórico da precipitação total nos EUA	134
Figura 97 – EUA — Geração de eletricidade a partir de hidrelétricas mês a mês de 2021 a 2023	135
Figura 98 – Histórico da temperatura média mensalmente nos EUA.....	135
Figura 99 – EUA — Geração de eletricidade a partir de energia solar mês a mês de 2021 a 2023	136
Figura 100 – EUA — Geração de eletricidade por fonte de energia de 2021 a 2023	136
Figura 101 – Variação no consumo de energia nos EUA por setor econômico entre 2021 e 2023	137
Figura 102 – Oferta interna de energia no Brasil em 2021 e 2022.....	138
Figura 103 – Comparação da quantidade de petróleo importada pelo Brasil 2021 x 2022 por país exportador	139
Figura 104 – Comparação da quantidade de derivados de petróleo importada pelo Brasil 2021 x 2022 por país exportador.....	140
Figura 105 – Aumento das importações do Brasil de produtos petrolíferos da Rússia	140
Figura 106 – Comparação da quantidade de gás natural importada pelo Brasil 2021 x 2022 por país exportador	141
Figura 107 – Variação anual dos preços médios do gás natural e do GNL importados pelo Brasil.....	142

Figura 108 – Comparação da quantidade de etanol importada pelo Brasil 2021 x 2022 por país exportador	142
Figura 109 – Quantidade de carvão mineral importada em valor pelo Brasil em 2021 e 2022 por país exportador	143
Figura 110 – Brasil — Geração de eletricidade a partir de carvão mês a mês de 2021 a 2023	144
Figura 111 – Brasil — Geração de eletricidade a partir de energia nuclear mês a mês de 2021 a 2023	145
Figura 112 – Brasil — Geração de eletricidade a partir do gás natural mês a mês de 2021 a 2023	145
Figura 113 – Brasil — Geração de eletricidade a partir de energia eólica mês a mês de 2021 a 2023	146
Figura 114 – Brasil — Geração de eletricidade a partir de hidrelétricas mês a mês de 2021 a 2023	146
Figura 115 – Brasil — Geração de eletricidade a partir de energia solar mês a mês de 2021 a 2023	147
Figura 116 – Brasil — Geração de eletricidade por fonte de energia de 2021 a 2023	148
Figura 117 – Variação no consumo de energia e no PIB do Brasil por setor econômico entre 2021 e 2022	148
Figura 118 – Consumo de energia primária na China em 2021	150
Figura 119 – Importação de carvão mensal realizada pela China no período pré-guerra x durante a guerra	150
Figura 120 – Comparação do valor de carvão importado pela China de março de 2021 a fevereiro de 2022 x março de 2022 a fevereiro de 2023 por país exportador	151
Figura 121 – Comparação do valor de carvão exportado da China de março de 2021 a fevereiro de 2022 x março de 2022 a fevereiro de 2023 por país importador	152
Figura 122 – Importação de petróleo bruto mensal realizada pela China no período pré-guerra x durante a guerra	152
Figura 123 – Comparação do valor de petróleo e derivados importados pela China de março de 2021 a fevereiro de 2022 x março de 2022 a fevereiro de 2023 por país exportador	153
Figura 124 – Preço das importações de petróleo bruto da China por país de origem em US\$ por barril	153

Figura 125 – Comparação do valor de petróleo e derivados exportados da China de março de 2021 a fevereiro de 2022 x março de 2022 a fevereiro de 2023 por país importador	154
Figura 126 – Importação de gás natural mensal realizada pela China no período pré-guerra x durante a guerra.....	155
Figura 127 – Comparação do valor de gás natural importado pela China de março de 2021 a fevereiro de 2022 x março de 2022 a fevereiro de 2023 por país exportador	155
Figura 128 – Importações de gás natural da China, variação anual (2010-2022)...	156
Figura 129 – China — Geração de eletricidade a partir de carvão mês a mês de 2021 a 2023	157
Figura 130 – China — Geração de eletricidade a partir de energia nuclear mês a mês de 2021 a 2023	158
Figura 131 – China — Geração de eletricidade a partir do gás natural mês a mês de 2021 a 2023	158
Figura 132 – China — Geração de eletricidade a partir de energia eólica mês a mês de 2021 a 2023	159
Figura 133 – Média mensal das horas de sol e da precipitação das 34 principais cidades da China em 2021.....	159
Figura 134 – China — Geração de eletricidade a partir de hidrelétricas mês a mês de 2021 a 2023	160
Figura 135 – China — Geração de eletricidade a partir de energia solar mês a mês de 2021 a 2023	160
Figura 136 – China — Geração de eletricidade por fonte de energia de 2021 a 2023	161
Figura 137 – Produto interno bruto da China de 2018 a 2022	162

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Principais desafios e recomendações para formuladores de políticas energéticas em direção à transição de energia renovável em resposta à covid-19 ..	50
Tabela 2 – Tipos de instrumentos políticos energéticos.....	57
Tabela 3 – Metas registradas nas Contribuições Determinadas Nacionalmente (NDCs)	58
Tabela 4 – Alemanha — Avaliação das hipóteses e resultados.....	114
Tabela 5 – RU — Avaliação das hipóteses e resultados.....	127
Tabela 6 – Importações de energia primária por fonte em 2021 e 2022 em petajoule (PJ).....	128
Tabela 7 – Variação nas capacidades instaladas em MW nos últimos seis anos ...	132
Tabela 8 – EUA — Avaliação das hipóteses e resultados	137
Tabela 9 – Brasil — Avaliação das hipóteses e resultados.....	149
Tabela 10 – China — Avaliação das hipóteses e resultados	162
Tabela 11 – Resumo das hipóteses comprovadas e parcialmente comprovadas...	163

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACIS	Applied Climate Information System
AEO	Annual Energy Outlook
AGEE	Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik (traduzido do alemão como Grupo de Trabalho de Estatísticas de Energias Renováveis)
ANM	Agência Nacional de Mineração
ANP	Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
AR	Assessment Report
ARRA	American Recovery and Reinvestment Act
BDEW	Bundesverband der Energie-und Wasserwirtschaft (traduzido do alemão como Associação Alemã das Indústrias de Energia e Água)
BEIS	Department for Business, Energy & Industrial Strategy
BEN	Balanço Energético Nacional
BM	Banco Mundial
BMWK	Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (Traduzido do alemão como Ministério Federal da Economia e Proteção Climática)
BNETZA	Bundesnetzagentur (Traduzido do alemão como Agência Federal de Rede de Energia da Alemanha)
BRG	Bundesregierung (Traduzido do alemão como Governo Federal da Alemanha)
BUND	Bundesamt für die Sicherheit der nuklearen Entsorgung (traduzido do alemão como Escritório Federal para a Segurança da Gestão de Resíduos Nucleares)
CBAM	Carbon Border Adjustment Mechanism
CASES	Cost Assessment for Sustainable Energy Systems Project
CBIO	Crédito de Descarbonização
CCEE	Câmara de Comercialização de Energia Elétrica
CEC	China Electricity Council
CFD	Contracts for Difference
COP	Conference of the Parties

CPI	Carbon Price Instruments
CREA	Center for Research on Energy and Clean Air
DBT	Department for Business and Trade
DESNZ	Department for Energy Security and Net Zero
DPR	Donetsk People's Republic
DSIT	Department for Science, Innovation and Technology
DUKES	Digest of UK Energy Statistics
EEG	Erneuerbare-Energien-Gesetz (traduzido do alemão como Leis de Energia Renováveis)
EIA	United States Energy Information Administration
EMR	Electricity Market Reform
EPACT	Energy Policy Act
EPCA	Energy Policy and Conservation Act
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
ETS	Emissions Trading Scheme
EU	European Union
EUA	Estados Unidos da América
FER	Fontes de Energia Renováveis
FIP	Feed-in Premium
FIT	Feed-in Tariff
GACC	General Administration of Customs China
GD	Geração Distribuída
GEC	Green Electricity Certificate
GEE	Gases do Efeito Estufa
GEF	Global Environment Facility
GNL	Gás Natural Liquefeito
GRU	Guerra Rússia–Ucrânia
GWP	Global Warming Potential
IAEA	International Atomic Energy Agency
ICMS	Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços
IEA	International Energy Agency
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
IRA	Inflation Reduction Act
IRENA	International Renewable Energy Agency

JCR	Journal Citation Report
LCOE	Levelized Cost of Energy
LPR	Luhansk People's Republic
MC	Marginal Cost
MME	Ministério de Minas e Energia
MMGD	Microgeração e Minigeração Distribuída
MOF	Ministry of Finance
NBS	National Bureau of Statistics of China
NCEI	National Centers for Environmental Information
NDC	Nationally Determined Contributions
NDRC	National Development and Reform Commission
NEA	National Energy Agency
NECP	Der Integrierte Nationale Energie- und Klimaplan (traduzido do alemão como Plano Nacional Integrado de Energia e Clima)
NFFO	Non-Fossil Fuel Obligation
NMSE	Novo Modelo do Setor Elétrico
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
OCDE	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
OFGEM	Office of Gas and Electricity Markets
ONU	Organização das Nações Unidas
OPEC	Organization of Petroleum Exporting Countries
OTAN	Organização do Tratado do Atlântico Norte
PCH	Pequena Central Hidrelétrica
PDE	Plano Decenal de Expansão de Energia
P&D	Pesquisa e Desenvolvimento
PIB	Produto Interno Bruto
PNUD	Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento
PROÁLCOOL	Programa Nacional do Alcool
PROINFA	Programa de Incentivo às Fontes Alternativas
PTC	Production Tax Credit
PURPA	Public Utility Regulatory Policies Act
RCC	Regional Climate Center
REC	Renewable Energy Certificate

REN	Resolução Normativa
RES	Renewable Electricity Standards
RGGI	Regional Greenhouse Gas Initiative
RO	Renewable Obligation
ROC	Renewable Obligation Certificate
RPC	República Popular da China
RPS	Renewable Portfolio Standards
RU	Reino Unido
SEB	Setor Elétrico Brasileiro
SMR	Small Modular Reactors
SPR	Strategic Petroleum Reserve
StrEG	Stromeinspeisungsgesetz (traduzido do alemão como Lei de Alimentação de Eletricidade)
TGC	Tradable Green Certificates
TUSD	Tarifa de Uso dos Sistemas Elétricos de Distribuição
TUST	Tarifa de Uso dos Sistemas Elétricos de Transmissão
UBA	Umwelt Bundesamt (traduzido do alemão como Agência Ambiental)
UE	União Europeia
UNEP	United Nations Environment Programme
UNFCCC	United Nations Framework Convention on Climate Change
WEF	World Economic Forum
WRI	World Resources Institute
ZTC	Zero-Carbon Technology Cost

LISTA DE SÍMBOLOS

a.a.	ao ano
bcme	Bilhões de metros cúbicos de gás natural equivalente
CO ₂	Dióxido de carbono
EJ	Exajoule (1 joule x 10 ¹⁸)
Gcal	Gigacaloria
GW	Gigawatt
GWh	Gigawatt-hora
h.	Horas
hab.	Habitante
km/h	Quilômetros por hora
kW	Quilowatt
kWh	Quilowatt-hora
m ²	Metros quadrados
m ³	Metros cúbicos
Mbtu	Milhões de unidades térmicas britânicas
mm	Milímetros de chuva
Mt	Milhões de toneladas
MtCO _{2e}	Milhões de toneladas de dióxido de carbono equivalentes
Mtoe	Milhões de toneladas de petróleo equivalente
MW	Megawatt
MWh	Megawatt-hora
PJ	Petajoule
tCO _{2e}	Toneladas de dióxido de carbono equivalentes
ton.	Toneladas
TWh	Terawatt-hora
US\$	Dólar americano
W	Watt
Wp	Watt de pico
°C	Graus Celsius
€	Euro
~	Aproximadamente

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	24
1.1	CONTEXTO	25
1.2	MOTIVAÇÃO	29
1.3	OBJETIVOS	30
1.4	METODOLOGIA	32
1.5	ESTRUTURA	35
2	REVISÃO SOBRE CRISES GLOBAIS E INFLUÊNCIAS NA TRANSIÇÃO ENERGÉTICA	36
2.1	CONFLITOS POLÍTICOS E GUERRAS	36
2.1.1	Guerra do Yom Kippur em 1973	37
2.1.2	Guerra do Golfo em 1991	39
2.2	SANÇÕES E INTERRUPÇÕES NO FORNECIMENTO	39
2.2.1	Revolução no Irã em 1979	40
2.2.2	Anexação da Crimeia em 2014	40
2.3	DESASTRES E IMPACTOS AMBIENTAIS	41
2.3.1	Desastre de Chernobyl em 1986	41
2.3.2	Desastre de Fukushima em 2011	42
2.4	CRISES ECONÔMICAS E INCERTEZAS DE INVESTIMENTO	45
2.4.1	Crise financeira de 2008	45
2.4.2	Pandemia covid-2019	48
2.5	CRISE ATUAL GUERRA RÚSSIA–UCRÂNIA	51
3	ANÁLISE DAS POLÍTICAS ENERGÉTICAS E EVOLUÇÃO DA TRANSIÇÃO ENERGÉTICA	55
3.1	ANÁLISE DAS POLÍTICAS NA ALEMANHA	63
3.2	ANÁLISE DAS POLÍTICAS NO REINO UNIDO	70
3.3	ANÁLISE DAS POLÍTICAS NOS ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA	76
3.4	ANÁLISE DAS POLÍTICAS NO BRASIL	82
3.5	ANÁLISE DAS POLÍTICAS NA CHINA	88
4	A GUERRA RÚSSIA–UCRÂNIA E OS IMPACTOS NA TRANSIÇÃO ENERGÉTICA	94
4.1	IMPACTOS DA GUERRA NA ALEMANHA	99
4.1.1	Importações de combustíveis	99

4.1.2	Produção de eletricidade e consumo de energia	105
4.2	IMPACTOS DA GUERRA NO REINO UNIDO	114
4.2.1	Importações de combustíveis	115
4.2.2	Produção de eletricidade e consumo de energia	120
4.3	IMPACTOS DA GUERRA NOS ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA	127
4.3.1	Importações de combustíveis	128
4.3.2	Produção de eletricidade e consumo de energia	131
4.4	IMPACTOS DA GUERRA NO BRASIL	138
4.4.1	Importações de combustíveis	138
4.4.2	Produção de eletricidade e consumo de energia	144
4.5	IMPACTOS DA GUERRA NA CHINA	149
4.5.1	Importações de combustíveis	150
4.5.2	Produção de eletricidade e consumo de energia	157
5	CONCLUSÃO	164
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	168
	ANEXOS	183

1 INTRODUÇÃO

O mundo enfrenta um grande desafio energético devido à dependência de fontes não renováveis de energia. Elas causam degradação ambiental, poluição e emissões de gases de efeito estufa (GEE), por isso, muitos países têm feito da mudança para fontes de energia renováveis (FERs) uma prioridade para lidar com as mudanças climáticas. Eles concentram-se na descarbonização das suas economias, promovendo “*a transição da produção e a utilização de combustíveis fósseis para fontes de energia renováveis e sustentáveis*” ([Agaton, 2022, p.1](#)).

As emissões de GEE variam de acordo com o país e as características específicas de sua economia, porém, em nível global, o setor de energia é um dos mais significativos. Geralmente, a queima de combustíveis fósseis para geração de energia é uma das principais fontes de emissões de dióxido de carbono (CO₂), o principal gás do efeito estufa, incluindo a produção de eletricidade e calor. Por isso, dentre os setores econômicos, o setor de energia possui potencial significativo na redução das emissões de GEE, por isso, tendo papel crucial para a transição energética ([Agaton, 2022](#)).

“*A transição para um sistema de energia líquida zero até 2050 tornou-se uma meta de muitos países*” ([Steffen; Patt, 2022, p.1](#)). Para alcançar tais metas têm sido necessário que os países realizem investimentos em fontes de energia de baixo carbono e eliminem gradualmente os combustíveis fósseis, cabendo aos formuladores de políticas auxiliarem nessas mudanças ([Steffen; Patt, 2022](#)). Medidas de eficiência energética e desenvolvimento de FERs podem atingir 90% das reduções de carbono necessárias ([Khan et al., 2022a](#)).

Apesar dos muitos encontros e acordos internacionais realizados visando reduzir e mitigar as emissões de GEE resultantes da utilização de fontes de energias poluentes, os países estão longe de atingir as metas compromissadas. As comunicações realizadas pelos países em 2021, mostraram que a maioria estava muito abaixo das suas metas de ação climática para 2030 ([Allam; Bibri; Sharpe, 2022](#)).

A escala e o ritmo da transição energética têm sido feitos lentamente e os países não conseguem atingir as metas climáticas ([Khan et al., 2022a](#)). A dificuldade em promover a substituição dos combustíveis fósseis para as FERs não é o único desafio à transição energética. Crises econômicas e geopolíticas podem dificultar esse processo, por interferirem na cadeia de suprimentos e no foco dos investimentos.

A crise provocada pela invasão da Rússia à Ucrânia tem afetado, principalmente, a cadeia de suprimentos de energia, visto que a Rússia era um importante país exportador de energia (óleo e gás natural), especialmente, para países da Europa antes do início da guerra. Tal situação é decorrente das restrições econômicas que a União Europeia (UE) impôs às importações e exportações, por exemplo, de bens, tecnologias e fontes de energia russos.

As sanções internacionais impostas ao gás natural russo levaram os países europeus a tomarem decisões imediatas e opostas à descarbonização e à transição energética, por exemplo, reutilizar o carvão e outros combustíveis fósseis devido à disponibilidade, visto que as FERs, normalmente, não possuem capacidade instalada suficiente para suprir a demanda. Nesse momento, a segurança energética torna-se mais urgente do que a preocupação com as mudanças climáticas ([Borowski, 2022](#)).

Em momentos de crise, em que se chega a rediscutir parceiros comerciais, a energia se torna preocupação de segurança e dificulta as decisões dos formuladores de políticas que buscam soluções duradouras e sustentáveis, sendo obrigados a tomar decisões de emergência que podem não corresponder às expectativas ([Kuzemko et al., 2022](#)). Quando isso ocorre, os formuladores tendem a argumentar que *“as políticas existentes são obsoletas e novas precisam ser adotadas”* ([Osicka; Černoch, 2022, p.2](#)).

As crises são vistas como momentos de mudanças políticas e o novo contexto mundial resultante da guerra Rússia–Ucrânia (GRU) altera as políticas energéticas instauradas, dessa forma afetando a transição energética.

Para [Borowski \(2022, p.3\)](#):

As reações dos governos à crise energética desencadeada pela invasão da Rússia à Ucrânia podem decidir se eles entram na próxima década de desenvolvimento de alto carbono, ou seguem o caminho da descarbonização das suas economias para limitar o aquecimento global.

1.1 CONTEXTO

A preocupação com os impactos ambientais causados pelas atividades econômicas começou a aparecer na década de 1970. Da Conferência das Nações Unidas sobre o ambiente humano que ocorreu em Estocolmo em 1972, surgiu o conceito de ‘Sustentabilidade’, cujo significado é atender às necessidades da geração

atual sem comprometer a capacidade das gerações futuras de atender às suas necessidades. [Pereira et al. \(2011\)](#) argumentam que a preocupação com os impactos ambientais levou ao desenvolvimento de políticas e mecanismos de incentivo para o uso de FERs, considerando o princípio poluidor e pagador, para internalizar os custos ambientais presentes nas atividades econômicas. Tais incentivos podem estar na forma de tarifas e agir diretamente nos preços, ou na forma de certificados e agir indiretamente nos preços.

Considerou-se que para reduzir as emissões de GEE seria necessária uma forte ação política. Por isso, em fevereiro de 2005, entrou em vigor o Protocolo de Kyoto, que estipulava que, entre 2008 e 2012, os países desenvolvidos deveriam reduzir as suas emissões de GEE em média 5,2%, em relação aos níveis de 1990. Para reduzir as emissões de carbono e alcançar as metas climáticas firmadas no Protocolo, a Europa criou o Sistema de Comércio de Emissões da União Europeia (*EU ETS — European Union Emissions Trading Scheme*), um sistema *cap-and-trade* em que “os governos estabelecem uma quantidade total permitida de emissões durante um determinado período e emitem licenças de emissão negociáveis” ([Bayer; Aklin, 2020, p.1](#)).

Em 2015, a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (*UNFCCC — United Nations Framework Convention on Climate Change*) organizada em Paris, realizou a 21ª Conferência das Partes (*COP — Conference of the Parties*), a qual estabeleceu as obrigações básicas dos países membros para combater as mudanças climáticas ([Lima et al., 2020](#)). Além disso, foi criado o Acordo de Paris para substituir as metas referentes à diminuição da emissão de GEE estipuladas no Protocolo de Kyoto. Ele entrou em vigor a partir de 2016 e estabeleceu a adoção de Contribuições Determinadas Nacionalmente (*NDC — Nationally Determined Contributions*). O objetivo do Acordo de Paris é restringir o aquecimento global a menos de 2°C acima dos níveis pré-industriais e buscar esforços para limitar o aumento da temperatura a 1,5°C, reduzindo as emissões ([Carvalho et al., 2020](#)).

Adicionalmente, o 6º Relatório de Avaliação (*AR — Assessment Report*) do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (*IPCC — Intergovernmental Panel on Climate Change*) publicado em agosto de 2021, alarmou a humanidade ao mostrar que o mundo provavelmente atingirá ou excederá 1,5°C de aquecimento nas próximas duas décadas. O relatório concluiu que apenas a redução nas emissões e o “alcance de emissões líquidas de CO₂ igual a zero até a metade do século permitirão

manter o aumento da temperatura global em 1,5°C, limite necessário para prevenir os piores impactos climáticos” ([Kuzemko et al., 2022, p.2](#)). Caso isso não ocorra, o mundo pode aquecer até 5,7°C até 2100, com resultados catastróficos.

O 6º AR do IPCC também solicitou políticas e ações intersetoriais, que devem considerar os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODSs), destacando 17 objetivos fundamentais ([Allam et al., 2022](#)). Dentre as medidas que poderiam ser adotadas, está um forte foco na descarbonização, como foi enfatizado em 2021 durante a Cúpula da COP26 em Glasgow ([Allam et al., 2022](#)).

Já é de amplo conhecimento que o mundo vem sofrendo com as mudanças climáticas e os países estão tentando realizar ações que promovam a mitigação ou redução das emissões de GEE, especialmente, em relação aos padrões de consumo adotados. *“A urgência da situação implica a necessidade de conceber novas políticas de descarbonização que possam resultar em reduções de emissões de GEE antes de 2030”* ([Kuzemko et al., 2022, p.2](#)).

Apesar de todo esse cenário preocupante, foi o estopim de uma guerra no velho continente, a GRU, que trouxe o sentimento de urgência. As suas consequências, como a alta nos preços dos combustíveis fósseis e as preocupações com a segurança energética, no já anterior contexto de urgência das mudanças climáticas, destacam a necessidade premente de avançar mais rapidamente para um sistema de energia renovável. Os governos devem acelerar a transição energética, especialmente, mediante adições anuais de FERs, conforme recomendado pelo IPCC ([IRENA, 2022](#)).

Soma-se o crescimento da população mundial, o aumento de renda e a queda nos preços de eletrônicos que levam ao aumento no consumo de energia elétrica, inclusive de fontes não renováveis ([Chaves et al., 2021](#)). Tal fato confirma o risco de mudanças climáticas e gera incentivos para o desenvolvimento de FERs visando reduzir as emissões de GEE.

E na contramão das questões ambientais, e com viés econômico de curto prazo, em virtude da alta dos preços, alguns países têm intensificado investimento em combustíveis fósseis, à medida que buscam garantir e diversificar suas fontes de abastecimento. Cerca de US\$ 105 bilhões foram investidos na cadeia de abastecimento de carvão em 2021, um aumento de mais de 10% em relação a 2020, especialmente, pela China e Índia ([IEA, 2022a](#)).

Outro exemplo são os Estados Unidos da América (EUA), que também aumentaram a produção de fósseis, por exemplo, óleo e gás de xisto, por serem

projetos com curto ciclo de investimento que permitem entregar novos volumes com rapidez. No entanto, segundo a [IEA \(2022a\)](#), as soluções duradouras para a crise atual estão em acelerar as transições de energia renovável por meio de maior investimento em eficiência energética, como armazenamento de energia em bateria, hidrogênio de baixas emissões e projetos de captura de CO₂.

[Sokhanvar e Lee \(2022\)](#) apontam o disparo nos preços do petróleo e gás internacionalmente, visto que a Rússia e a Ucrânia são importantes exportadores dessas fontes de energia. Em virtude disso, grandes importadores dos suprimentos russos, por exemplo, Japão e Europa têm as suas moedas desvalorizadas; enquanto países como o Canadá possuem valorização da sua moeda, pois se tornam substitutos das commodities russas. Isso mostra a ligação entre os setores econômicos e energéticos, e a importância da energia internacionalmente.

O encarecimento das fontes convencionais de energia (petróleo, gás natural e carvão) levou os países mais afetados pelas consequências das sanções russas a agirem. [Umar; Riaz; Yousaf \(2022\)](#) descobriram que a guerra provocou um excessivo aumento nos valores das ações de energia renovável no mundo todo. [Umar et al. \(2022\)](#) ressaltaram um aumento nas ações voltadas para a transição de baixo carbono, especialmente, o aumento da demanda por FERs, como consequência das sanções às commodities russas.

Políticas energéticas vêm sendo adotadas, principalmente, a partir dos anos 2000 para estimular o desenvolvimento de FERs, por exemplo, a precificação do carbono. Os estudos analisados mostraram que a crise energética causada pela GRU levou os países a tomarem decisões diferentes. Tais decisões têm como base a política energética adotada por cada país e é isto que será o foco deste trabalho, ou seja, mostrar como os países reagem em tempos de crise para garantir os abastecimentos de energia.

De forma simplificada, nota-se que alguns países focam seus esforços em substituir os seus exportadores de energia, enquanto outros alteram o seu mix energético. Em virtude disso, resta a dúvida: crises energéticas como a atual aceleram ou desaceleram a transição energética?

1.2 MOTIVAÇÃO

O contexto do aquecimento global e das mudanças climáticas tornaram a redução das emissões de GEE e o desenvolvimento de FERs prioridade na formulação de políticas energéticas. Ao mesmo tempo, o objetivo de manter a independência e segurança energética foi algo marginalizado e só recuperou importância em momentos de crise, como a pandemia covid-19 e a GRU ([Jones-Kowalska, 2022](#)).

A crise atual revela a importância da revisão das políticas energéticas. *“Pode-se concluir que os princípios existentes de formulação de políticas energéticas terão que mudar, o que significa deixar de priorizar metas ambientais para manter a segurança energética”* ([Jones-Kowalska, 2022, p.2](#)). As principais economias europeias pouco fizeram para fortalecer a sua segurança energética antes da invasão da Ucrânia pela Rússia ([Sturm, 2022](#)).

Normalmente, momentos de crise tendem a afetar as políticas existentes, por exemplo, a covid-19 foi um desafio para o desenvolvimento de FERs, pois se notou o aumento do interesse pelos combustíveis fósseis ([Kazak et al., 2023](#)). *“A queda dos preços e as restrições internacionais interromperam as cadeias de suprimentos, influenciando negativamente o mercado de energias renováveis”* ([Kazak et al., 2023, p.2](#)).

Segurança energética é entendida como *“a autossuficiência dos recursos energéticos e a capacidade de satisfazer a procura de energia por conta própria, ou seja, a partir de fontes pertencentes a um país”* ([Jones-Kowalska, 2022, p.3](#)). A GRU trouxe um novo foco na segurança do abastecimento de energia. Tal situação pode ter implicações *“para as (re)politizações energéticas e para reinterpretações da energia, dos objetivos políticos e como eles podem ser alcançados”* ([Kuzemko et al., 2022, p.2](#)).

Os artigos estudados mostraram as consequências da crise atual na Europa, por exemplo, a instauração da nova estrutura *REPowerEU*¹ na Europa para reduzir rapidamente a dependência dos combustíveis fósseis russos ([Agaton, 2022](#)). A resposta de curto prazo é garantir a segurança energética, mas existem várias

¹ REPowerEU é uma proposta da Comissão Europeia para economizar energia e produzir energia renovável para acabar com a dependência do óleo e gás russos até 2027, em resposta à invasão russa da Ucrânia.

medidas que terão consequências a médio e longo prazo. Dentre as medidas adotadas, destacam-se: desenvolvimento de novas tecnologias, por exemplo, o hidrogênio; provisão do gás; aumento das energias renováveis e da eficiência energética. Segundo [Kuzemko et al. \(2022, p.3\)](#), alguns países anunciaram grandes mudanças:

A Alemanha se comprometeu com 100% de eletricidade renovável até 2035; Dinamarca, Holanda, Reino Unido, França e Alemanha anunciaram acelerações de implantações de projetos renováveis; e Noruega e Itália anunciaram novos projetos de parques eólicos.

A maioria dos estudos estudou os impactos da crise geopolítica na Europa, porém, não há estudos que tenham feito uma análise abrangente sobre as reações de países que enfrentam riscos de abastecimento de energia rumo à transição energética. Apesar das medidas locais, a disputa global pelo gás natural colocou os países europeus em competição direta pelo gás natural liquefeito (GNL) com outros mercados, particularmente na Ásia e na América Latina, deixando milhões de pessoas sem acesso à energia ([Kuzemko, 2022](#)). Tal fato mostra que as decisões na Europa não têm consequências apenas nos países europeus.

Este trabalho explora o impacto da crise atual no mercado de energia através da realização de uma pesquisa teórica. Existe uma lacuna na literatura em torno da análise das incertezas provocadas por momentos de crises globais em relação ao processo de transição energética. Não há estudos que analisem como as incertezas decorrentes de conflitos geopolíticos aceleram ou desaceleram a transição energética ([Agaton, 2022](#)).

1.3 OBJETIVOS

A crise atual sugere que a energia europeia está, de fato, num ponto de mudanças. *“Este foi um ponto de virada também para a UE, reconhecendo a ainda elevada vulnerabilidade a perturbações externas no abastecimento de energia e a baixa eficácia das suas anteriores políticas de segurança energética”* ([Costantini et al., 2022, p.6](#)).

Existem evidências de que a guerra apoiou políticas voltadas para o desenvolvimento de FERs. *“A guerra abriu uma janela de oportunidade para novas*

políticas climáticas e energéticas na Europa centradas na implantação acelerada de tecnologias de energia renovável” ([Steffen; Patt, 2022, p.2](#)). Os países europeus devem expandir a sua geração de energia renovável, principalmente, em energia eólica e solar ([Sturm, 2022](#)). No entanto, acredita-se que o apoio a essas políticas pode cair se elas forem percebidas como causadoras de preços de energia mais altos.

A crise global oriunda da GRU afetou intensamente os setores de energia, especialmente, porque a Rússia era um grande exportador de energia antes de tomar sanções internacionais. Isso levou os países a repensarem as políticas energéticas. Conforme o relatório do Banco Mundial — [BM \(2023\)](#), no curto prazo (ano passado), os elevados preços do gás e outras perturbações no fornecimento de energia levaram alguns países a utilizarem temporariamente mais carvão, aumentando a procura por licenças de carbono. Além disso, houve maior foco em eficiência energética devido ao aumento dos preços de energia. Por isso, a hipótese é de que a guerra tem consequências distintas conforme o tempo considerado.

No curto prazo, a guerra pode ter desacelerado a transição energética, pois a preocupação principal dos países seria assegurar a segurança energética ameaçada, principalmente, pelas sanções internacionais impostas à Rússia. Considera-se que em decisões de emergência, os formuladores de políticas recorrem ao que está disponível, incluindo tecnologias e políticas conhecidas ([Kuzemko et al., 2022](#)). Como consequência, os países podem ter reativado usinas de fontes poluentes, como o carvão. No longo prazo, acredita-se que a guerra acelerará a transição energética, visto que um dos caminhos para reduzir a dependência da energia russa pode ser diversificar as matrizes energética e elétrica, provocando um aumento das FERs ([Kuzemko et al., 2022, Osicka; Černoch, 2022](#)).

“Ecoando as crises energéticas dos anos 1970, final dos anos 2000 e 2014, espera-se que a guerra traga mais ênfase à segurança na política energética da Europa” ([Osicka; Černoch, 2022, p.2](#)). Tal afirmação corrobora que o fornecimento de gás possa ser uma solução de curto prazo, porém, a eficiência energética e as FERs devem deixar de ser soluções para a mitigação das mudanças climáticas e se tornarem importantes também para a segurança energética ([Osicka; Černoch, 2022](#)).

Observou-se que a transição energética vinha a passos lentos antes da eclosão da GRU, por isso, a questão de pesquisa que o trabalho tem como objetivo responder é: **Os países aceleraram ou desaceleraram o processo de transição energética**

em função das repercussões da crise global de energia provocada pela guerra Rússia–Ucrânia?

As crises globais são momentos de mudanças políticas, por isso, o objetivo é analisar se devido à GRU os países adotaram novas, ou trouxeram antigas políticas energéticas para fortalecer os abastecimentos de energia, especificamente, analisando decisões que visam a implantação e geração acelerada proveniente de FERs como solução para a segurança energética. Ressalta-se que a pesquisa visa avaliar apenas os impactos causados pela guerra do ponto de vista energético.

1.4 METODOLOGIA

A metodologia adotada visa revisar a literatura através da análise teórico-conceitual, ou seja, discussões conceituais a partir da literatura, revisões bibliográficas e modelagens conceituais e de dados secundários como documentos e relatórios fornecidos por entidades públicas e privadas ([Fleury et al., 2018](#)). A análise teórico-conceitual da literatura existente visa analisar as estratégias em torno da segurança energética elaboradas pelos países para lidar com situações de crises e conflitos geopolíticos. Espera-se contribuir para a literatura acadêmica ao investigar o impacto da GRU na transição energética que vem sendo feita a passos lentos, visto que a maioria dos países não está cumprindo as metas com as quais se comprometeram.

O presente estudo é de natureza qualitativa. Segundo [Rynes e Gephart \(2004\)](#), a pesquisa qualitativa é uma pesquisa multimodal que utiliza uma abordagem interpretativa e naturalista do assunto proposto. Os autores alegam que os pesquisadores qualitativos procuram explicar as observações da pesquisa, fornecendo opiniões conceituais que revelam como conceitos e teorias amplas operam em casos particulares.

A abordagem qualitativa é realizada na análise internacional do que cada país analisado está fazendo em termos de políticas energéticas, considerando as metas de descarbonização adotadas por eles. Utiliza-se buscas bibliográficas, pesquisas em relatórios técnicos e de bases secundárias e estudos para fazer a avaliação dos dados dos países escolhidos.

Para a obtenção dos estudos e dados utilizados na revisão da literatura e análises, foi realizada uma pesquisa nos bancos de dados *Web of Science*, *Engineering Village* e *Scopus* para obter a amostra de textos a serem lidos, baseada

numa amostra de conteúdo qualitativa. O primeiro banco de dados *Web of Science* foi selecionado para identificar trabalhos de periódicos indexados com o fator de impacto relevante (*JCR — Journal Citation Report*) de diferentes bancos de dados. O banco de dados *Engineering Village* foi utilizado para buscar artigos da área de concentração de Engenharia, em que o trabalho é enquadrado. O banco de dados *Scopus* foi escolhido devido ao seu acesso para um número maior de resumos e citações da literatura de pesquisa revisada por pares.

Na busca bibliográfica, os termos buscados foram “crises energéticas”, “conflitos geopolíticos”, “guerra Rússia–Ucrânia”, “invasão da Ucrânia”, “políticas energéticas”, “transição energética”, “energias renováveis”, com esse propósito foram utilizadas as três bases de dados citadas. A partir de pesquisas realizadas nas bases de dados, foram selecionados artigos e pesquisas para a construção do referencial teórico através da análise de conteúdo dos temas explorados, proporcionando a compreensão e o delineamento para a descrição dos assuntos abordados neste trabalho.

Além da busca bibliográfica, para a construção do referencial teórico foi realizado o levantamento de dados internacionais, principalmente, sobre os principais momentos de crises globais e as suas consequências nos setores de energia e no desenvolvimento das FERs. A pesquisa para levantamento de dados foi realizada em relatórios técnicos de organizações e órgãos internacionais, por exemplo, a Agência Internacional de Energia (IEA), a Agência Internacional para Energias Renováveis (IRENA) e o Banco Mundial (BM).

A GRU está afetando os países de diferentes formas e o objetivo do trabalho é verificar como o contexto atual afeta o processo de transição energética nos países. Por isso, para a realização das análises foi adotada a abordagem de seleção de casos diversificada, examinando as políticas destacadas na revisão de literatura em diferentes realidades.

Ressalta-se que para a obtenção dos resultados da GRU sobre os setores energéticos globais foram definidos para comparação os seguintes períodos: o período pré-guerra, anterior a fevereiro de 2022; e o período durante a guerra, de março de 2022 a fevereiro de 2023. Esses períodos auxiliaram no levantamento de dados de importação, de geração de eletricidade e de consumo de energia. A coleta de dados é realizada em duas etapas.

Na primeira etapa é realizado o levantamento de dados de importação e uso dos combustíveis em cada um desses países e quem são os principais exportadores. O objetivo é verificar os movimentos provocados pela guerra tendo em vista a hipótese adotada no item 1.3 Objetivos do primeiro capítulo, conforme o horizonte de tempo considerado, se a guerra causou: *a.i* (substituição da importação) a substituição do importador para o mesmo combustível, por exemplo, ao invés de comprar combustível da Rússia, compra dos países x, y e z, mantendo o volume; *a.ii* (alteração da importação) a mudança relativa dos quantitativos de cada combustível, por exemplo, ao invés de importar gás natural da Rússia, passou a importar carvão da Austrália; *a.iii* (redução da importação) a redução total da importação.

Na segunda etapa é realizado um levantamento interno da produção de eletricidade em cada um dos países escolhidos. O objetivo é verificar se a guerra: *b.i* (geração não renovável) aumentou a geração não renovável, por exemplo, por meio da reativação de usinas que estavam descomissionadas; *b.ii* (geração renovável) aumentou a geração de energia renovável, por exemplo, por meio de programas de incentivo para a construção de novas usinas; *b.iii* (variação do consumo) provocou mudanças no consumo de energia e impactou a produção econômica para assegurar a segurança energética.

Na apresentação dos dados de importação e exportação foram mantidas as unidades disponibilizadas por cada país, por exemplo, normalmente, o gás natural é expresso em metros cúbicos (m³), porém, muitos países expressam seus dados em gigawatt-hora (GWh). Para compreensão dos dados, foi disponibilizada uma tabela de conversão de unidades de medidas no Anexo A. Cabe ressaltar também que foi adotado o dado de geração de eletricidade e não capacidade devido ao período considerado, pois os dados de capacidade geralmente demoram mais tempo para serem atualizados.

As fontes escolhidas foram os departamentos de energia e os órgãos oficiais de cada país analisado. Foram escolhidos países de diferentes localidades e que hipoteticamente foram mais ou menos influenciados. Na Europa, por ser próximo da guerra, foram escolhidos Alemanha e Reino Unido (RU) e se espera que sejam muito afetados; China, pois se acredita que ela esteja se beneficiando com a guerra; e países que possam ser pouco afetados, como EUA e Brasil.

1.5 ESTRUTURA

Este capítulo apresentou o contexto da GRU e como essa crise afetou e vem afetando os setores energéticos globais e as metas adotadas pelos países em prol da transição energética. No objetivo foi estabelecida a hipótese de que o tempo considerado interfere nas formulações das políticas energéticas. A hipótese infere que no curto prazo, os países tendem a resolver os problemas de abastecimento de energia oriundos do conflito geopolítico; no longo prazo eles tendem a formular políticas voltadas para FERs, visando diversificar o mix energético e garantir a segurança de abastecimento.

Como o objetivo do trabalho é mostrar se a crise no abastecimento de energia global devido à guerra acelerou ou desacelerou a transição energética, as políticas energéticas apontadas, especificamente, referem-se ao desenvolvimento de FERs. O segundo capítulo apresenta a revisão da literatura, a qual mostra a relação entre crises e energia, evidenciando fatos decorrentes de momentos críticos que influenciaram positiva ou negativamente a criação de políticas energéticas e o desenvolvimento das FERs.

O terceiro capítulo consiste na apresentação das principais políticas energéticas existentes para o desenvolvimento das FERs e na apresentação dos dados dos países escolhidos para análise, das principais fontes de energia utilizadas e das políticas energéticas adotadas por eles.

O quarto capítulo apresenta os resultados, ou seja, como os países estão lidando com as consequências da crise atual, provocada pela GRU, em relação ao setor energético, com base nas importações de fontes de energia e se os países aceleraram ou desaceleraram as suas medidas de descarbonização, especialmente, gerando mais energias renováveis ou reduzindo o consumo de energia. O quinto e último capítulo aponta as principais conclusões em relação aos resultados obtidos; as considerações em torno do que foi apresentado e os desafios ainda a serem enfrentados.

2 REVISÃO SOBRE CRISES GLOBAIS E INFLUÊNCIAS NA TRANSIÇÃO ENERGÉTICA

Guerras e crises globais interferem negativamente na cadeia de suprimentos, por impactarem na produção, transporte e abastecimento de energia. Por outro lado, podem criar oportunidades de mudança e inovação no setor de energia, levando a novas políticas e tecnologias que promovam independência, segurança energética e sustentabilidade.

Os governos podem definir metas de energias renováveis e implementar políticas que favoreçam o desenvolvimento de fontes de energia renováveis (FERs), por exemplo, ao criar um ambiente estável para atrair investimentos em novos projetos. Entretanto, durante momentos de crise, as políticas energéticas podem mudar de várias maneiras e por motivações diferentes, por exemplo, por variações de preços causados por desequilíbrios entre oferta e demanda. Observou-se que existe uma lacuna na literatura em torno da análise das incertezas provocadas por momentos de crises globais e como elas afetam as políticas e o processo de transição energética, como mostrado no item 1.2 Motivação do primeiro capítulo. Este capítulo apresenta as relações entre crises globais e a transição energética.

De forma geral, situações de instabilidades provocam mudanças nos fatores de cunho econômico, político e ambiental que moldam as políticas energéticas. Isso explica a importância da análise teórico-conceitual das incertezas provocadas por momentos de crises globais em função de causas diversas, como: conflitos políticos e guerras; sanções e interrupções no fornecimento; crises econômicas e incertezas de investimento; desastres e impactos ambientais.

2.1 CONFLITOS POLÍTICOS E GUERRAS

Os riscos geopolíticos são aqueles apresentados por crises como guerras, ataques terroristas e conflitos internacionais; com o potencial de afetar significativamente as relações internacionais e aumentar as tensões em escala nacional e internacional. As preocupações geopolíticas podem ter um impacto negativo em vários setores econômicos, incluindo o setor de energia ([Figueiredo et al., 2022](#)).

Conflitos políticos e guerras limitam a comercialização de recursos energéticos e esse choque de oferta leva ao aumento de preços. Nessa situação, a segurança energética pode ser afetada. Países fortemente dependentes das importações de petróleo, gás ou carvão precisam se adaptar para evitar graves consequências econômicas e sociais; enquanto em países que vêm realizando a transição energética, espera-se aumento significativo da independência energética ([IRENA, 2019](#)).

A Guerra Rússia–Ucrânia (GRU) enquadra-se neste tópico, mas por ser o tema central no trabalho foi preferível apresentá-la com maior enfoque nos próximos capítulos, especialmente, no capítulo dos resultados, visto que o trabalho objetiva analisar se a crise global atual provocada pela guerra acelerou ou desacelerou a transição energética nos países analisados. Alguns conflitos políticos e guerras notáveis que causaram mudanças nas políticas energéticas são tratados nos próximos subitens:

2.1.1 Guerra do Yom Kippur em 1973

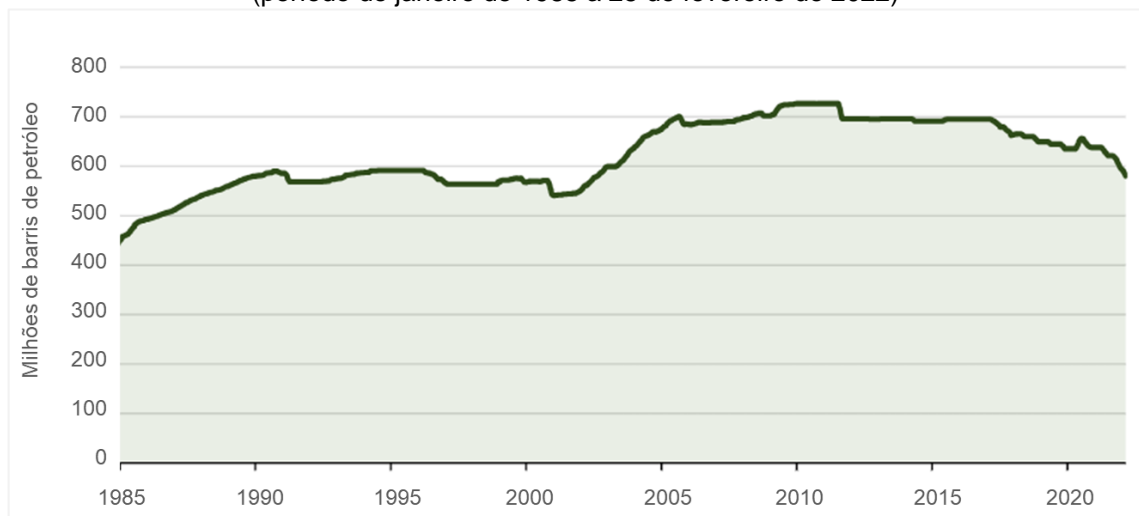
Em 1973, os países árabes que eram membros da Organização dos Países Exportadores de Petróleo (*OPEC — Organization of Petroleum Exporting Countries*, em português *OPEP*) reduziram a produção de petróleo e restringiram as exportações para certas nações como forma de protesto contra o apoio dos Estados Unidos da América (EUA) a Israel durante a Guerra do Yom Kippur. Consequentemente, ocorreu um aumento significativo nos preços do petróleo devido ao embargo imposto pelos países árabes ([Beasley, 2023](#)).

Segundo [Beasley \(2023\)](#), a necessidade de independência e conservação energética foi revelada por esta crise, que acelerou o desenvolvimento de fontes de energia locais, como o carvão e a energia nuclear. Os EUA responderam à crise energética instituindo controles de preço e racionamento de energia. Eles criaram a Lei de Política e Conservação de Energia (*EPCA — Energy Policy and Conservation Act*) para criar a reserva interna de petróleo (*SPR — Strategic Petroleum Reserve*) e políticas para aumentar a produção interna de energia. A crise no setor de energia afetou também outros setores, como a indústria automotiva americana, a qual passou a ser superada pelos fabricantes japoneses em função da eficiência energética em termos de combustível.

O Brasil, por exemplo, criou o Proálcool — Programa Nacional do Álcool — em 1975 e fez a mudança nos veículos para funcionarem com etanol de cana-de-açúcar, investindo em biocombustíveis para diminuir a dependência em relação ao petróleo. Influenciados pelas incertezas oriundas da crise do petróleo de 1970, os governos adotaram como estratégia estocar os seus suprimentos, pois dessa forma haveria o equilíbrio da oferta e da demanda devido à utilização dos estoques.

A análise das políticas energéticas no passado é importante, por mostrar como os países possuem meios de responderem às crises atuais. Por exemplo, segundo a [EIA \(2022a\)](#), em resposta à GRU, em março de 2022, os EUA comprometeram-se a liberar 30 milhões em barris de petróleo bruto da sua SPR² para garantir o fornecimento de petróleo, estratégia coordenada entre os países membros da Agência Internacional de Energia (*IEA - International Energy Agency*) e caracterizada como retirada de emergência. Em 25 de fevereiro de 2022, um dia após o início da GRU, a SPR dos EUA continha 580 milhões de barris de petróleo bruto, conforme Figura 1.

Figura 1 – Estoques semanais de petróleo bruto da Reserva Estratégica de Petróleo dos EUA (período de janeiro de 1985 a 25 de fevereiro de 2022)



Fonte: [EIA \(2022a\)](#).

As medidas evidenciadas trouxeram um foco maior às mudanças climáticas e à necessidade de uma economia de baixo carbono. Além das consequências em prol de novas fontes de energia e eficiência energética, a crise do petróleo deu origem à

² O SPR dos EUA foi criado na década de 1970 para aliviar os efeitos de reduções inesperadas na oferta de petróleo. A reserva foi concebida para armazenar até 714 milhões de barris de petróleo bruto em quatro locais de armazenamento ao longo do Golfo do México, onde está localizada grande parte da capacidade de refinação de petróleo dos EUA ([EIA, 2022a](#)).

IEA, em novembro de 1974, com o objetivo inicial de ajudar a proteger o abastecimento global de petróleo após a imposição do embargo ([WEF, 2022](#)).

2.1.2 Guerra do Golfo em 1991

O Iraque invadiu o Kuwait, em função da riqueza em petróleo. O primeiro incendiou poços de petróleo no segundo e liberou abundantemente petróleo bruto no Golfo Pérsico, criando um derramamento de óleo e extensos danos ambientais. Após a invasão em 1990, as Nações Unidas impuseram sanções econômicas ao Iraque, incluindo a proibição das exportações de petróleo. Os incêndios, derramamentos e sanções ao petróleo resultaram no aumento dos preços do petróleo.

O estudo de [Archer et al. \(1990\)](#) discutiu o papel dos estoques durante crises. A grande mudança política desta crise do petróleo de 1990 é que os países consumidores, preocupados com o abastecimento de petróleo no longo prazo, determinaram que a segurança futura depende de medidas políticas para interromper o acesso no curto prazo. O Anexo B apresenta, em milhões de toneladas, os números do estoque para o Japão, a Europa, a América do Norte e o total dos países da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE), de acordo com dados da IEA. Para complementar a análise, [Archer et al. \(1990\)](#) acrescentaram os dados das SPRs dos EUA e do Japão.

Os dados evidenciaram o aumento contínuo nos estoques de petróleo antes da crise do Golfo, explicando a utilização da estratégia de utilizar os estoques para regularizar a produção e evitar a falta de estoque, visto que os preços estavam inconstantes. Porém, observou-se que o comportamento da demanda também poderia ser alterado e, até mesmo, aumentado, o que significa que os estoques poderiam não ser a melhor medida durante uma crise. Por isso, a intervenção política poderia ser necessária para neutralizar o comportamento normal do estoque e reduzir o consumo de petróleo por meio de medidas obrigatórias de conservação.

2.2 SANÇÕES E INTERRUPÇÕES NO FORNECIMENTO

Muitas guerras ocorreram nas regiões produtoras de petróleo e gás, especialmente, no Oriente Médio. Além dos conflitos, tais regiões são alvos de tensões políticas que podem atrapalhar a produção e o transporte dos recursos

energéticos, ocasionando a escassez da oferta e o aumento de preços. Como consequência dos problemas no abastecimento de energia, os governos tentam reduzir sua dependência em relação ao petróleo, por meio da produção local e do desenvolvimento de novas fontes para aumentar a segurança energética.

2.2.1 Revolução no Irã em 1979

A segunda crise do petróleo foi originada durante a Revolução Iraniana, que levou à derrubada do monarca e fez com que a produção global de petróleo diminuísse. Consequentemente, a interrupção no fornecimento de petróleo causou a escassez na oferta, que resultou na quase duplicação do preço do petróleo em um ano para, aproximadamente, US\$ 34 (US\$ 125 a preços de 2023) o barril ([WEF, 2022](#)).

A interrupção no fornecimento fez com que os compradores passassem a estocar petróleo, promovendo aumento da demanda mesmo com o aumento contínuo do preço. Isso explica o alto estoque existente antes da Guerra do Golfo. Além disso, em decorrência da segunda crise do petróleo ocorreu a procura por novas reservas de petróleo, já que a produção estava centralizada no Oriente Médio. Nesse período, foram descobertos campos de petróleo no Mar do Norte, no Alasca e no México ([Gross, 2019](#)).

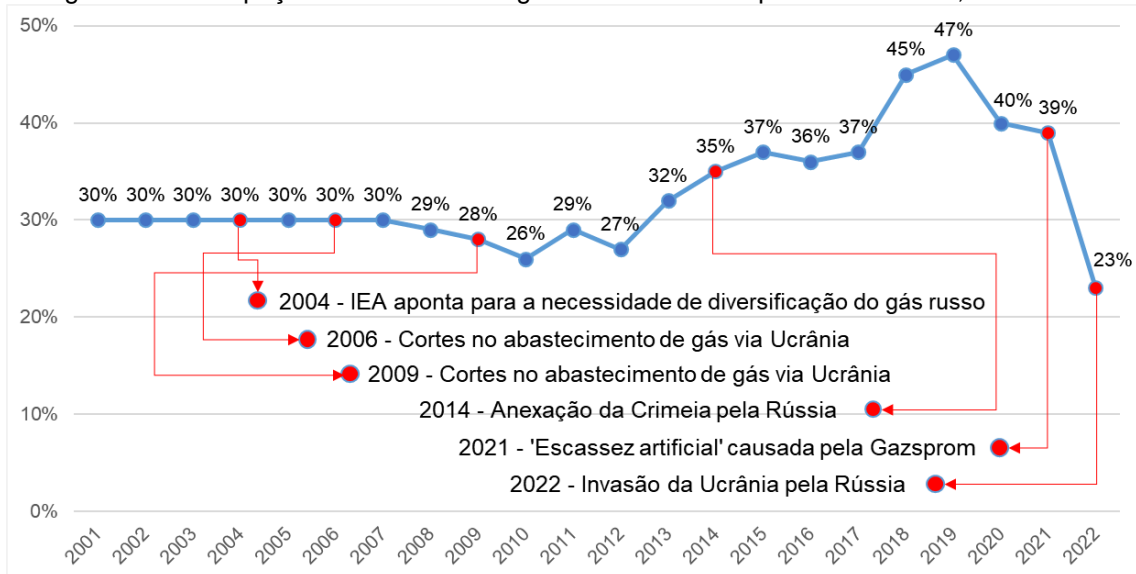
2.2.2 Anexação da Crimeia em 2014

A anexação russa da Crimeia e o conflito no leste da Ucrânia levaram a tensões entre a Rússia e muitos países europeus, que dependiam fortemente do gás natural russo. Isso gerou preocupações sobre a segurança energética e a confiabilidade do fornecimento de gás, uma vez que a dependência da União Europeia (UE) do gás russo cresceu constantemente na última década, conforme Figura 2. Contudo, considerando-se a construção e quase entrada em operação comercial do *Nord Stream 2*, observa-se que a dependência sobre o gás russo se prolongou ([IEA, 2023a](#)).

Com o início da GRU e suas sanções multilaterais, vários países da Europa, incluindo Alemanha, França e Reino Unido (RU), aumentaram seus esforços para

reduzir a dependência do gás russo e diversificar suas fontes de energia, principalmente, mediante investimentos em FERs e medidas de eficiência energética.

Figura 2 – Participação da demanda de gás da UE atendida pela oferta russa, 2001–2022



Fonte: Adaptado de [IEA \(2023a\)](#).

Verificou-se que mesmo após as tensões na Crimeia em 2014, a Europa ainda manteve índices crescentes em relação à demanda do gás russo, explicando o desafio provocado pela guerra atual devido à dependência europeia sobre os combustíveis russos.

2.3 DESASTRES E IMPACTOS AMBIENTAIS

Dependendo da fonte de energia escolhida para compor a matriz energética, elas podem causar impactos ambientais, por exemplo, aumento das emissões de GEE, poluição do ar e da água e danos aos ecossistemas. Tais impactos podem levar os países a repensarem sobre suas políticas e a composição da matriz energética.

2.3.1 Desastre de Chernobyl em 1986

O desastre nuclear de Chernobyl em 1986 causou impactos ambientais e de saúde generalizados, levando a reavaliação da energia nuclear como fonte de energia segura e viável. Isso levou a mudança para outras fontes, por exemplo, o gás natural em muitos países.

Os efeitos do acidente de Chernobyl provocaram fortes debates internacionais sobre a segurança da geração de energia, exigindo respostas políticas imediatas em todo o mundo. [Orsatti \(2023\)](#) apontou que vários países europeus adotaram políticas rígidas de intervenção contra os investimentos em energia nuclear. Por exemplo, a Finlândia decidiu não expandir seu programa nuclear, parando na quinta usina. A Áustria decidiu não iniciar nenhum investimento em geração de energia nuclear, mesmo com a construção de seu primeiro reator já concluída naquele momento. A Itália fechou imediatamente todas as usinas nucleares em operação no país ([Orsatti, 2023](#)).

Na Alemanha, ocorreram muitos protestos que resultaram na não construção de novos reatores após 1989. Segundo [Appunn \(2023\)](#), quando o Partido Verde assumiu o controle do governo em 1998, foi elaborado um consenso nuclear com as grandes concessionárias, no qual a última usina seria fechada em 2022. Em 2010, um novo governo, conservador, alterou esse acordo, estendendo o tempo de operação das usinas. Contudo, após o acidente de Fukushima, em 2011, tal acordo foi novamente revisado, tendo sido definida a desativação de todas as usinas até 2022 ([Appunn, 2023](#)).

À medida que crescia a oposição à energia nuclear, também aumentava a conscientização sobre a proteção ambiental e climática. Paralelamente à eliminação nuclear, foi criada a Lei de Energia Renovável (*EEG — Erneuerbare-Energien-Gesetz*, em alemão) em 2000, que estabeleceu um pagamento adicional aos produtores de energia eólica e solar; e baixou consideravelmente o preço de novas tecnologias, para impedir que a eliminação nuclear levasse a um aumento na geração de energia fóssil ([Appunn, 2023](#)).

2.3.2 Desastre de Fukushima em 2011

No passado, os formuladores de políticas energéticas identificaram a energia nuclear de baixo carbono como opção em potencial para enfrentar as mudanças climáticas. Contudo, conforme observado, o desastre nuclear de Fukushima em 2011 causou impactos ambientais e de saúde generalizados, levando novamente a uma reavaliação da energia nuclear como fonte de energia segura e confiável.

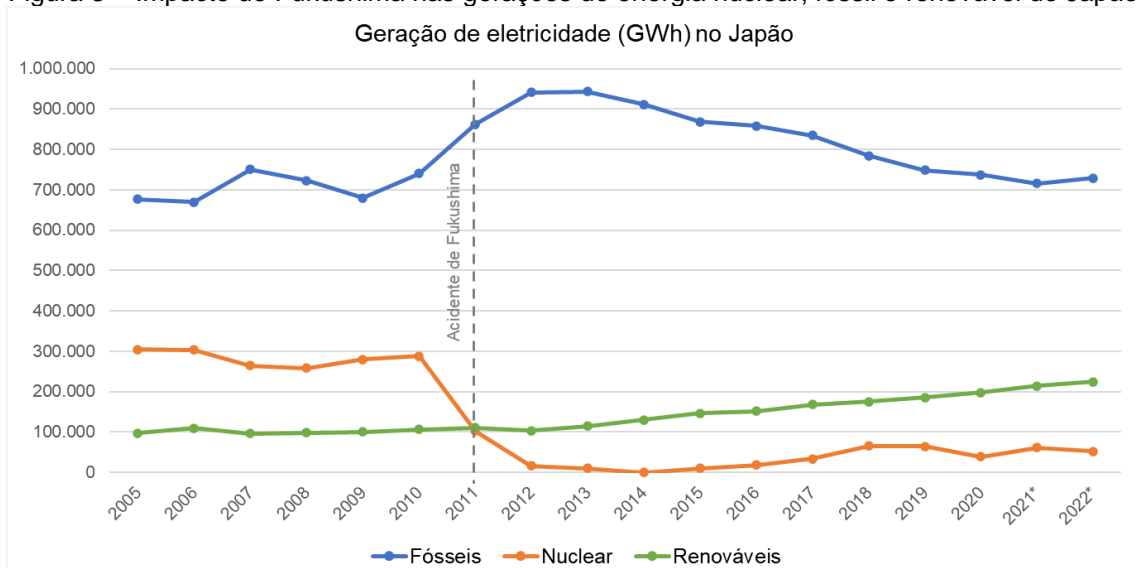
De acordo com [Paillere e Donovan \(2021\)](#), foram suspensas as operações de 46 dos 50 reatores de energia em operação no Japão. Segundo os autores, em

decorrência dessa decisão, em 2019, a energia nuclear forneceu menos de 10% da eletricidade do Japão e apenas nove reatores de energia nuclear retomaram a operação. A opinião pública e governamental também se voltou contra a energia nuclear em alguns outros países.

Na Alemanha, não houve o abandono imediato da energia nuclear mesmo após Chernobyl. Foi nos anos entre 2000 e 2002, e após longos debates públicos, que o governo federal decidiu eliminar gradualmente a energia nuclear. A decisão final veio após o acidente de Fukushima. A Alemanha, menos de três meses depois do acidente, decidiu eliminar totalmente a energia nuclear até 2022; decisão adiada para 2023 devido à crise energética oriunda da GRU. Em meados de abril de 2023, as três usinas nucleares em operação restantes na Alemanha foram finalmente fechadas ([BUND, s.d.](#)).

Segundo [Dunn e Wunnava \(2019\)](#), no Japão, as abruptas paralisações nucleares após Fukushima levaram a apagões contínuos, que evidenciaram a fragilidade do sistema de energia. A redução no fornecimento de energia foi preenchida, principalmente, por combustíveis fósseis, com usinas sendo reativadas; e a produção de gás natural aumentou ano a ano. Porém, para alcançar as metas de redução das emissões de GEE, o Japão introduziu a tarifa *feed-in* em 2012 para aumentar a geração renovável rapidamente e reduzir a dependência de combustíveis fósseis, conforme Figura 3.

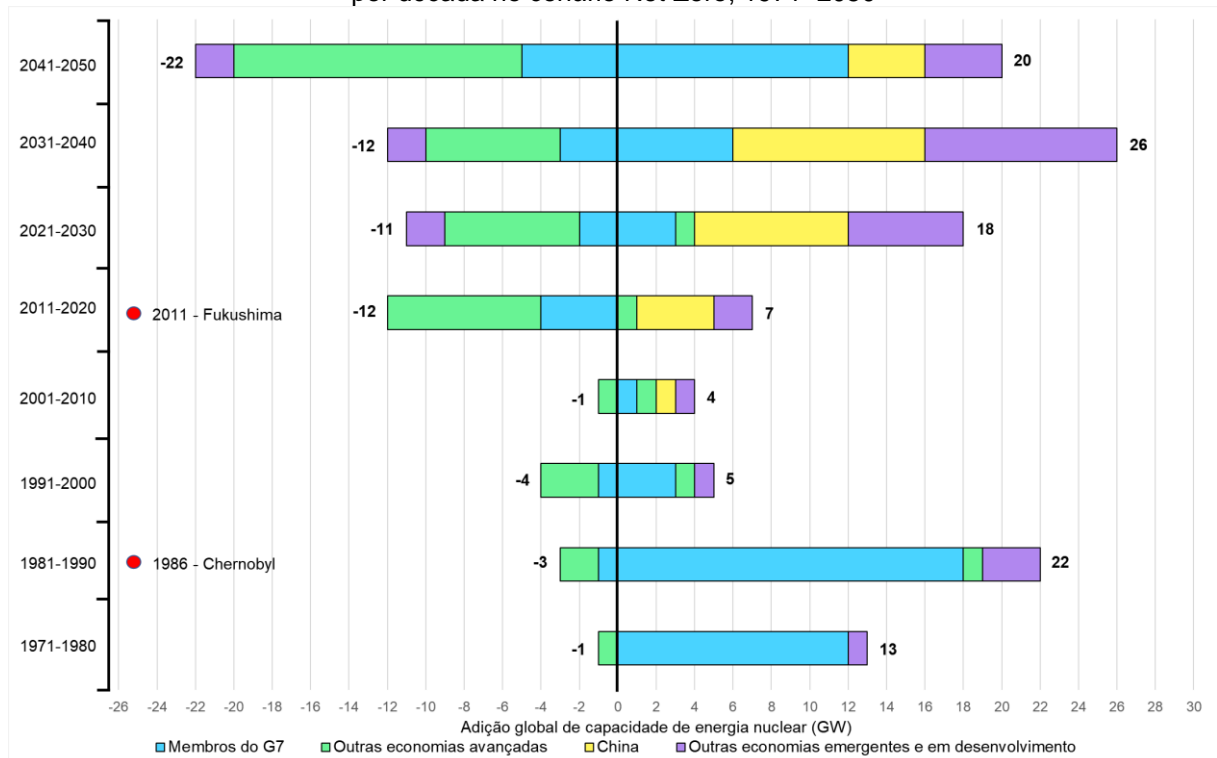
Figura 3 – Impacto de Fukushima nas gerações de energia nuclear, fóssil e renovável do Japão



Fonte: Elaboração própria a partir de dados da [IEA \(2023b\)](#), dados de 2021 e 2022 da [IEA \(2023c\)](#).

Apesar da onda contrária à energia nuclear na década de 1990 pós Chernobyl e do desastre no Japão, a necessidade de substituição dos combustíveis fósseis por outras fontes de energia reascendeu uma nova onda de construção nuclear, conforme Figura 4.

Figura 4 – Adições e retiradas de capacidade de energia nuclear em países e regiões selecionados por década no cenário Net Zero, 1971–2050



Cinco anos após o acidente de Fukushima, quando o Acordo de Paris entrou em vigor, um número crescente de países, principalmente, China e Rússia, estava olhando para a energia nuclear como um meio não apenas para enfrentar a mudança climática, como também para melhorar a segurança energética, reduzir o impacto dos preços voláteis dos combustíveis e tornar suas economias mais competitivas.

À medida que os sistemas de energia objetivam a descarbonização, novas tecnologias têm sido buscadas em países como Canadá, França, RU e EUA, por exemplo, os Pequenos Reatores Modulares (*SMR — Small Modular Reactor*), que são mais acessíveis, mais fáceis e mais rápidos de construir do que os grandes reatores convencionais ([IEA, 2022b](#)). Os SMRs estão entre as tecnologias de energia nuclear emergentes mais promissoras ([Paillere; Donovan, 2021](#)).

2.4 CRISES ECONÔMICAS E INCERTEZAS DE INVESTIMENTO

Crises geram instabilidades que desencorajam os investimentos em projetos de energia e o desenvolvimento de novas tecnologias. No curto prazo, causam o aumento dos custos de produção e fornecimento de energia, redução do crescimento econômico e perda de empregos. Para mitigar esses impactos, os governos buscam promover a criação de empregos e aumentar o crescimento econômico, o que pode levar a políticas de eficiência energética e energia renovável, ou subsídios para produtores e consumidores de energia.

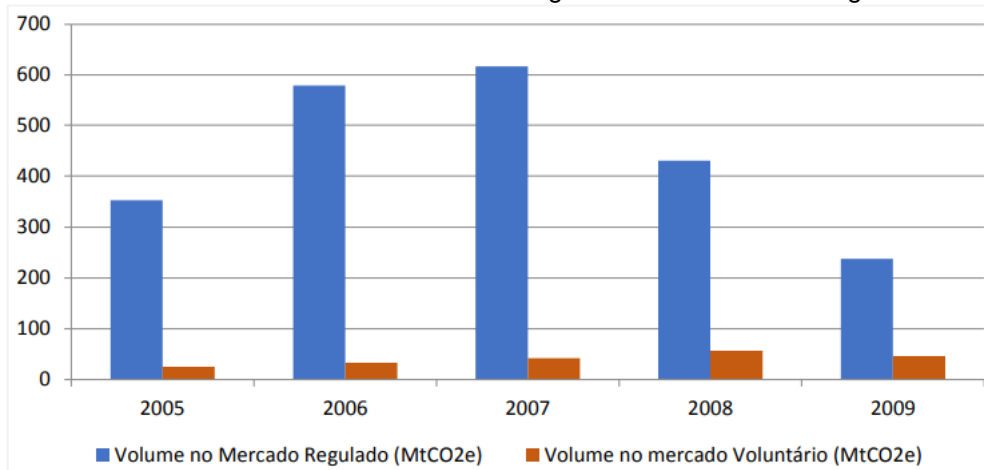
2.4.1 Crise financeira de 2008

O colapso do mercado imobiliário dos EUA prejudicou o sistema bancário do país, provocando a crise financeira de 2008, que causou a desaceleração econômica global e a diminuição na demanda por petróleo e outras fontes de energia. Ela teve um grande impacto nos países produtores do petróleo, pois ocasionou a queda dos preços de petróleo.

Como resultado, todos os países, produtores e consumidores de petróleo, foram forçados a reavaliar suas políticas energéticas e considerar a diversificação de seus setores energéticos. Ao mesmo tempo, as preocupações sobre as mudanças climáticas se intensificaram na 15ª Conferência das Partes (COP15) em 2009. A crise se espalhou para outros setores da economia, além do energético, inclusive impactando o mercado de créditos de carbono.

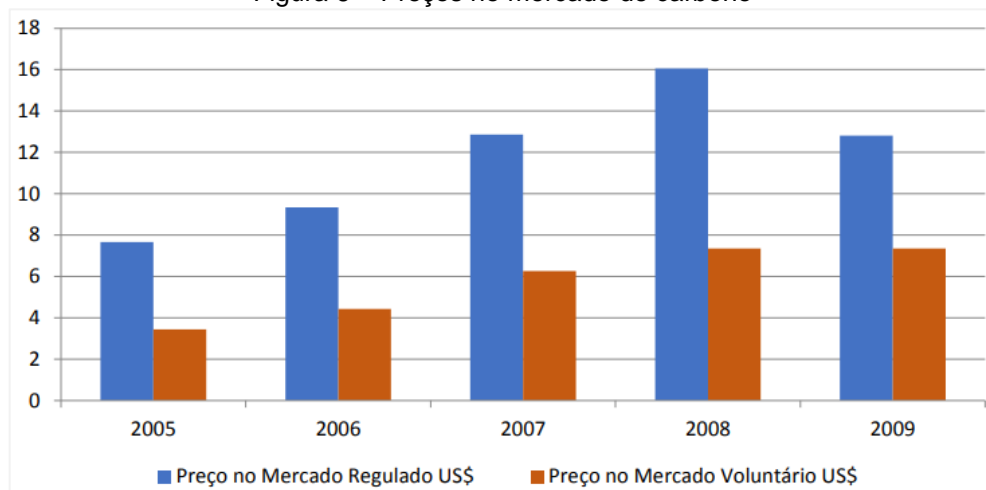
Segundo [Candéo \(2014\)](#), no curto prazo, a crise reduziu as emissões de GEE devido à redução da atividade econômica. Porém, muitos compradores deixaram o mercado de carbono, reduzindo a demanda por créditos de carbono, conforme Figura 5; conseqüentemente, aumentando a oferta e reduzindo os preços, conforme Figura 6.

Figura 5 – Volume mundial de crédito de carbono negociado nos mercados regulado e voluntário



Fonte: [Candéo \(2014, p.33\)](#).

Figura 6 – Preços no mercado de carbono



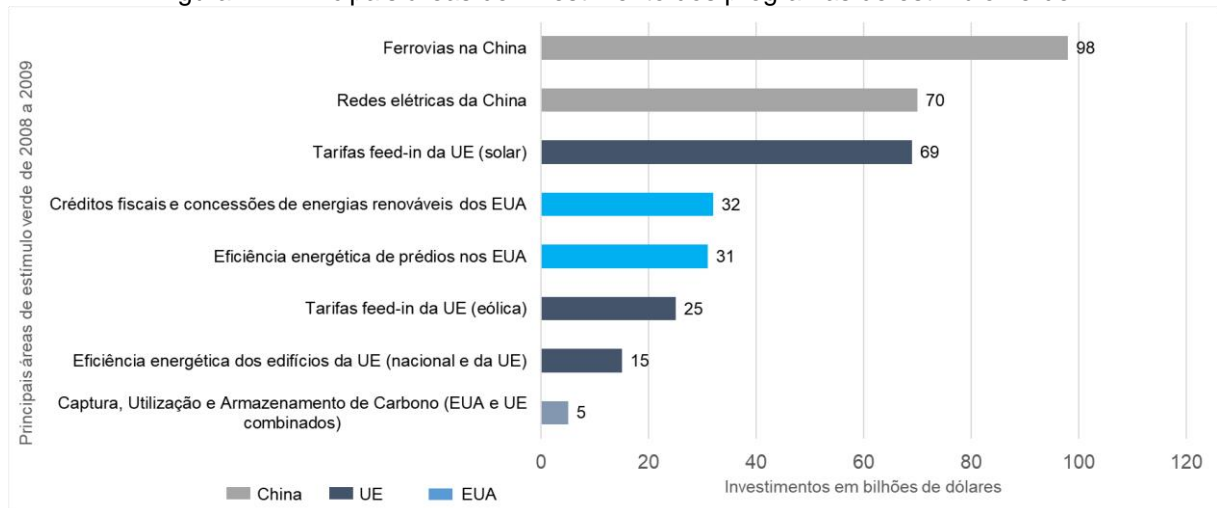
Fonte: [Candéo \(2014, p.35\)](#).

A crise financeira e a recessão econômica global interromperam os fluxos de investimento em projetos de energia renovável dos EUA em 2008. Os incentivos de crédito fiscal estavam impulsionando o investimento em projetos de energia renovável, mas tornaram-se ineficazes devido à crise econômica. Em virtude disso, foi aprovada em 2009 uma legislação federal nos EUA que incluiu duas disposições sobre energia renovável: subsídios temporários em vez de créditos fiscais e garantias de empréstimos para projetos inovadores e comerciais ([Schwabe; Cory; Newcomb, 2009](#)).

Após o momento crítico da crise financeira, o desenvolvimento e investimento em projetos de energia renovável voltou ([Schwabe; Cory; Newcomb, 2009](#)). Grandes programas de estímulo verde foram implementados em diversos países, como: China,

Japão, Coreia, UE e EUA. As principais áreas de investimento dos programas de estímulo verde são mostradas na Figura 7.

Figura 7 – Principais áreas de investimento dos programas de estímulo verde



Fonte: [IEA \(2020a\)](#).

Segundo a [IEA \(2020a\)](#), os programas incluíam produção de eletricidade renovável; reformas de edifícios; atualizações de tecnologia de eficiência; esquemas de incentivo para veículos de baixo carbono (como esquemas de sucateamento); expansão da rede de energia; infraestrutura de transporte verde, incluindo transporte ferroviário e de massa; e pesquisa em energia renovável e investimento em tecnologia. Além dos programas, foram instaurados instrumentos políticos e de financiamento.

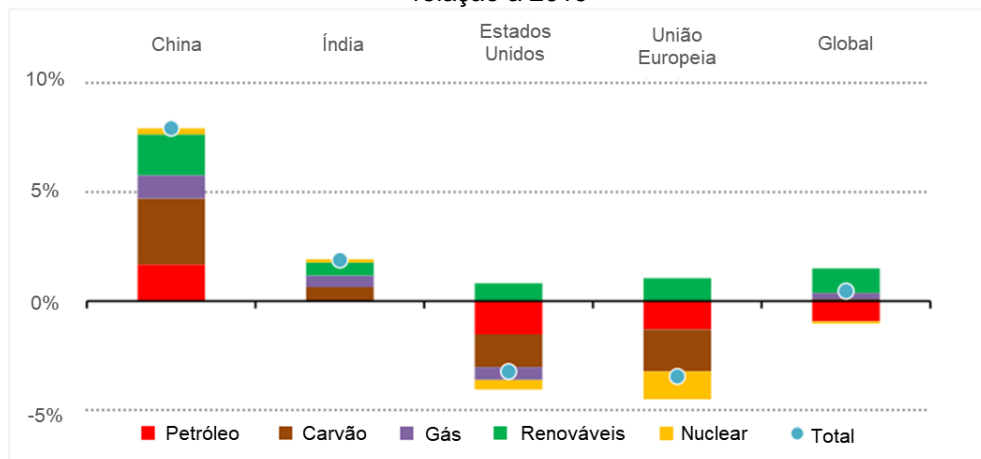
Após a crise, no curto prazo, o principal impulso para o investimento em energia renovável veio de políticas dos governos nacionais. Os países desenvolvidos anunciaram medidas destinadas a estimular o investimento em energia renovável e eficiência energética. Vários governos exigiram empréstimos de bancos para FERs e outras opções de baixo carbono ([Fritz-Morgenthal et al., 2009](#)).

A Lei de Recuperação e Reinvestimento (*ARRA — American Recovery and Reinvestment Act*) foi a principal medida de estímulo adotada pelos EUA em resposta à crise financeira global de 2008, com um orçamento total de cerca de US\$ 800 bilhões. Segundo a [IEA \(2020a\)](#), foi instituído pela ARRA que os setores de energia renovável recebessem cerca de US\$ 90 bilhões. A maioria do financiamento foi em energia renovável e eficiência energética (51%), em transporte público (20%) e modernização da rede elétrica (12%) ([IEA, 2020a](#)).

2.4.2 Pandemia covid-2019

A covid-19, uma crise de saúde global, causou a diminuição significativa na atividade econômica global, levando à queda na demanda de energia e nos preços do petróleo. O relatório da [IEA \(2021\)](#) aponta que a demanda global de energia em 2020 caiu 4%, sendo o maior declínio desde a Segunda Guerra Mundial. Devido às restrições impostas na mobilidade, o petróleo foi o combustível mais atingido globalmente, seguido pelo carvão, conforme Figura 8.

Figura 8 – Variação da demanda de energia primária por região e por combustível em 2021 em relação a 2019



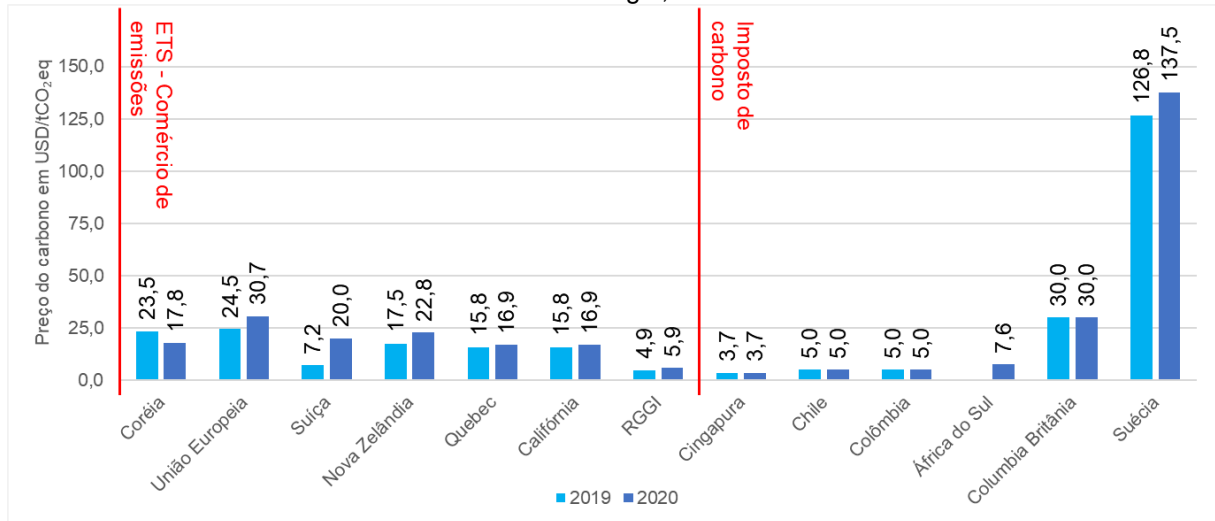
Fonte: [IEA \(2021\)](#).

Contratos de longo prazo, acesso prioritário à rede e a instalação contínua de novas usinas sustentaram o crescimento das energias renováveis, apesar da menor demanda por eletricidade ([IEA, 2021](#)). Além do aumento da geração hidrelétrica, de biomassa e das novas capacidades eólica e solar que entraram em operação, as FERs se beneficiaram do acesso prioritário ao mercado em muitos países.

Segundo a [IEA \(2020b\)](#), a intensidade de carbono caiu significativamente em muitos países em 2020, à medida que a demanda diminuiu devido à pandemia global e a geração de energia renovável cresceu em muitas regiões. O momento da pandemia ocorreu num período em que preocupados com as mudanças climáticas, os países vêm implementando políticas para descarbonizar o setor elétrico, por exemplo, impostos sobre os combustíveis e medidas de apoio à eficiência energética e às energias renováveis. Eles vêm aplicando mecanismos de mercado, como instrumentos de taxaço de carbono e sistemas de comércio de emissões, mostrados na Figura 9, conforme a decisão de cada país. Por exemplo, no RU, a introdução de

um preço mínimo de carbono, além do preço de licença do sistema de comércio de emissões da UE, contribuiu substancialmente para a redução da parcela de eletricidade fornecida pelo carvão.

Figura 9 – Nível de preços de mecanismos de mercado de precificação de carbono selecionados que cobrem o setor de energia, em abril de 2020



Fonte: [IEA \(2020b, p.36\)](#).

*Iniciativa Regional de Gases de Efeito Estufa (RGGI — *Regional Greenhouse Gas Initiative*) em 2020: Connecticut, Delaware, Maine, Maryland, Massachusetts, New Hampshire, Nova Jersey, Nova York, Rhode Island, Vermont; Virgínia a partir de 2021.

[Bashir et al. \(2022\)](#) destacaram que as consequências das estratégias políticas diferem segundo o horizonte de tempo analisado, conforme a Tabela 1 que destaca os principais desafios políticos e recomendações políticas do ponto de vista de três horizontes de tempo distintos: no curto prazo o foco deve ser proteger a saúde pública; no médio prazo a preocupação deve ser em relação à recuperação econômica; no longo prazo o objetivo visa reduzir as mudanças climáticas.

Tabela 1 – Principais desafios e recomendações para formuladores de políticas energéticas em direção à transição de energia renovável em resposta à covid-19

		Desafios para os formuladores de políticas energéticas	Recomendações para percorrer a transição energética
Curto Prazo	Resposta Imediata à Crise para a Saúde Pública	Cenário de ampla ação de política econômica sob grande incerteza.	Proteger estruturas políticas de transição energética estabelecidas e novas, renúncias temporais em vez de mudanças estruturais.
		Necessidade de priorizar quais ações políticas têm impacto duradouro na transição energética.	Não esperar ganhos rápidos dos pacotes de ajuda iniciais, mas concentre-se na criação de espaço político futuro, por exemplo, em resgates. Preparar políticas abrangentes para o horizonte de médio prazo, planejamento de contingência.
Médio Prazo	Recuperação econômica	Condições macroeconômicas e políticas incertas para sustentar a transição.	Aproveitar a oportunidade e as baixas taxas de juros para implantar soluções renováveis de capital intensivo e soluções de eficiência energética.
		Gerenciar o impacto da desaceleração econômica, baixas taxas de juros e baixos preços do petróleo.	Enfrentar ativamente o desafio dos baixos preços do petróleo para tecnologias emergentes, como veículos elétricos. Usar estruturas de transição energética como roteiro para pacotes de estímulo verde.
Longo Prazo	Fronteira entre Recuperação Econômica e Mudança Climática	A transição de várias décadas verá mais choques, precisa torná-la “à prova de choque”.	A longo prazo, decretar políticas adaptativas que mitiguem os riscos de baixa eficácia ou desmantelamento em caso de choques.
		Em crises: políticas flexíveis com risco de baixa eficácia, políticas rígidas com risco de desmantelamento.	Usar instrumentos híbridos como impostos com mecanismo de integridade ambiental ou remoção de subsídios. Considerar projetos de políticas com alívio automático para os mais afetados pela crise.

Fonte: [Bashir et al. \(2022\)](#).

A análise das recomendações de [Bashir et al. \(2022\)](#) inferiu que, no curto prazo, existem muitas incertezas, por isso, dentre as recomendações, as respostas imediatas à crise devem focar na origem da causa. Por exemplo, se a crise atingiu diretamente o setor de saúde, o foco das políticas deve se destinar à saúde. Quanto aos outros setores, como o setor de energia e transição energética, os formuladores de políticas devem priorizar proteger as políticas já estabelecidas.

No médio prazo, as políticas devem priorizar a economia para gerenciar o impacto da desaceleração econômica. Apesar da atratividade dos baixos preços de

combustíveis fósseis, como o petróleo, em decorrência da crise, deve-se manter o foco em tecnologias e soluções renováveis, por exemplo, veículos elétricos. No longo prazo, são necessárias políticas que visem tornar a transição energética resistente a futuras crises, por exemplo, decretar políticas adaptativas que mitiguem os riscos de baixa eficácia. Em vez de preferir ganhos rápidos como subsídios e empréstimos, as políticas devem visar a moldar as atividades industriais e econômicas de forma que se tornem compatíveis com os acordos climáticos, dentre eles, o Protocolo de Quioto e o Acordo de Paris.

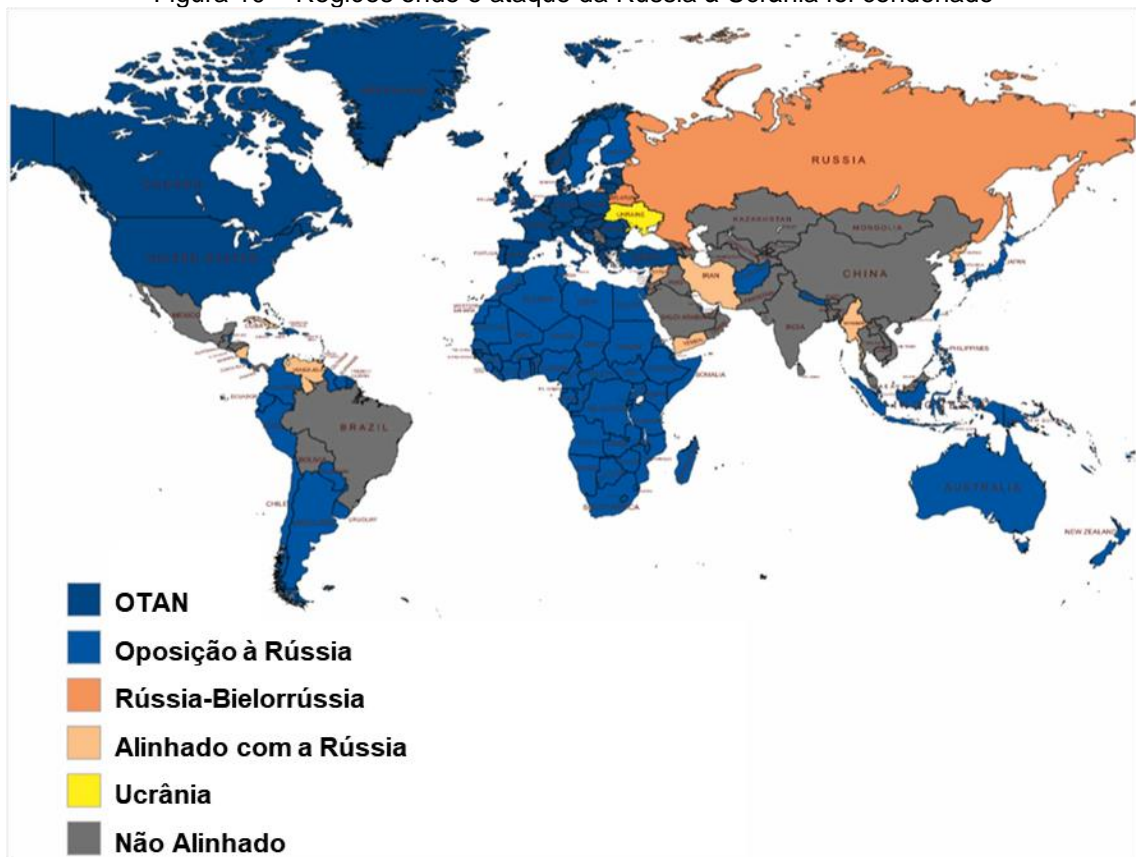
Além disso, se as mudanças nas políticas se concentrarem apenas em aliviar os problemas socioeconômicos em vez do investimento em novas tecnologias, os riscos da mudança climática serão maiores, especialmente, nas economias em desenvolvimento. Por isso, os formuladores de políticas devem integrar as políticas com a transição energética de longo prazo, por meio da implementação de instrumentos híbridos, por exemplo, alocação de recursos para desenvolvimento de infraestrutura, implementação de tributação adicional e eliminação de subsídios ([Bashir et al., 2022](#)). É importante notar que os incentivos financeiros podem ser ferramentas eficazes para incentivar o investimento, mas apenas quando utilizados em conjunto com estratégias bem pensadas e executadas, uma vez que necessitam de objetivos específicos e pré-determinados.

2.5 CRISE ATUAL GUERRA RÚSSIA–UCRÂNIA

Em 21 de fevereiro de 2022, o governo russo reconheceu a independência dos territórios ucranianos da região de Donbass, a República Popular de Donetsk (*DPR — Donetsk People's Republic*) e a República Popular de Luhansk (*LPR — Luhansk People's Republic*), duas áreas separatistas pró-Rússia ([Estrada; Koutronas, 2022](#)). Dentre as alegações russas, estavam o reconhecimento da independência de Donetsk e Luhansk, e que a Ucrânia nunca se tornasse parte da Organização do Tratado do Atlântico Norte (OTAN), bloco militar ocidental.

A Rússia invadiu a Ucrânia em 24 de fevereiro de 2022, bombardeando a capital Kiev. Cento e quarenta e um países votaram na resolução da Assembleia Geral da Organização das Nações Unidas (ONU) condenando a invasão russa na Ucrânia e exigindo a retirada imediata e completa das tropas invasoras do território ucraniano, conforme Figura 10.

Figura 10 – Regiões onde o ataque da Rússia à Ucrânia foi condenado

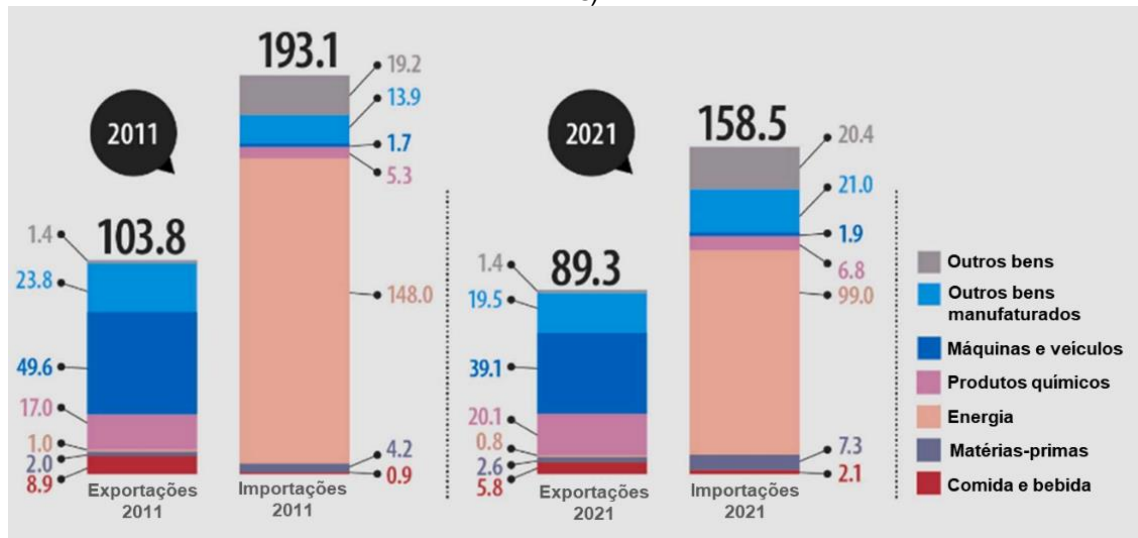


Fonte: [Estrada; Koutronas \(2022, p.601\)](#).

A ONU e a OTAN expressaram desaprovação à invasão russa na Ucrânia e recomendaram uma resolução diplomática. A UE e o Grupo dos Sete impuseram sanções, levando a economia russa à recessão ([Estrada; Koutronas, 2022](#)). Como resultado, os EUA e a UE proibiram as importações russas relacionadas à energia.

A invasão e os seus efeitos tiveram um impacto significativo nos suprimentos de energia de curto prazo, nas prioridades políticas e nas políticas energéticas de longo prazo globalmente. A dependência do petróleo e do gás russo sempre foi vista como um ponto de vulnerabilidade na Europa. Os fluxos comerciais entre a UE e a Rússia de 2011 e 2021 são mostrados na Figura 11.

Figura 11 – Comércio da UE com a Rússia por grupo de produtos, 2011 e 2021 (em bilhões de euros – €)



Fonte: [Estrada; Koutronas \(2022, p.603\)](#).

Observou-se a queda nas importações e exportações de 2021 comparado a 2011, fato que evidencia os esforços europeus para diminuir a dependência energética russa. A energia foi o produto mais importado pela UE da Rússia em 2021 e representou 62% das importações em 2021, em comparação com 2011, quando a energia representou quase 77% das importações da UE proveniente da Rússia. Em relação às importações totais, ocorreu queda de 18%.

A dependência do petróleo e gás russos significa que os preços da energia na Europa estão cada vez mais vulneráveis a interrupções no fornecimento. Essas interrupções podem vir não apenas de conflitos geopolíticos em escala nacional, mas também de incidentes locais, como ataques terroristas direcionados à infraestrutura ([Khan, 2022b](#)).

Depois que a Rússia atacou a Ucrânia, sanções foram imediatamente impostas ao gasoduto *Nord Stream 2*, forçando a Alemanha a parar de operar o gasoduto. Desde então, a Alemanha iniciou a construção de seu primeiro terminal de gás natural liquefeito (GNL), facilitando também a importação de gás dos EUA. Este é apenas um exemplo do porquê a Europa ser vista como um mercado em crescimento para o gás americano.

A GRU é um conflito territorial, mas as implicações foram profundas para os mercados de energia, de modo que “os formuladores de políticas agora precisam fazer perguntas críticas sobre como reorientar o fornecimento de energia aliado a necessidade de atender às metas de sustentabilidade” ([Khan, 2022b, p.213](#)). Muitos

formuladores avaliam os recursos de energia renovável como uma solução para mitigar os problemas causados pelas interrupções nos abastecimentos de petróleo e de gás resultantes de conflitos geopolíticos.

Pesquisadores acreditam que a transição energética da Europa será acelerada pela GRU, hipótese evidenciada em alguns editoriais “*DNV: Ukraine war accelerating Europe’s energy transition*”³ e “*The Ukraine war will not derail Europe’s energy transition*”⁴. Eles analisam que, embora seja necessária a geração de carvão a curto prazo para cobrir o déficit de gás natural, os países adiarão a desativação de usinas nucleares e aumentarão a capacidade instalada de FERs no médio e no longo prazo. Além disso, serão necessárias medidas de maior eficiência energética; e a curto e médio prazo, menor crescimento econômico.

³ Artigo disponível em <https://www.ogj.com/general-interest/article/14276144/dnv-ukraine-war-accelerating-europes-energy-transition>, acesso em 19/07/2023.

⁴ Artigo disponível em <https://www.dnv.com/feature/the-ukraine-war-will-not-derail-europes-energy-transition.html>, acesso em 19/07/2023.

3 ANÁLISE DAS POLÍTICAS ENERGÉTICAS E EVOLUÇÃO DA TRANSIÇÃO ENERGÉTICA

As políticas energéticas são um conjunto de medidas e ações que visam garantir o abastecimento de energia à sociedade e à economia de um país. Elas podem variar dependendo dos objetivos e prioridades dos governos. Existem vários tipos de políticas energéticas que os governos podem implementar para atingir seus objetivos relacionados à energia.

Políticas de Energia Renovável visam aumentar a participação de fontes de energia renováveis (FERs) no mix de energia, por exemplo, solar, eólica, hídrica, geotérmica e biomassa. As políticas de Eficiência Energética buscam reduzir o consumo de energia e melhorar a eficiência energética, por exemplo, de edifícios, de eletrodomésticos e de transporte. Políticas de Precificação de Carbono visam internalizar o custo das emissões de carbono, a partir da adoção de um mercado de comercialização, ou de impostos sobre o carbono emitido.

[Breetz, Mildenerger e Stokes \(2018\)](#) apontam que os economistas de energia enfatizam dois fatores nas transições de energia: preços e quantidades, representados em curvas de experiência, também chamada maturidade tecnológica. A política energética é o terceiro fator dessas curvas de experiência, também chamada de “fator oculto”. Segundo [Fagiani, Barquín e Hakvoort \(2013\)](#), a explicação das abordagens baseadas em preços e em quantidades são:

(i) Abordagens baseadas em preços: qualquer gerador nacional de eletricidade renovável pode vender sua eletricidade a um valor fixo por um período especificado, cujo enfoque é apoiar financeiramente os geradores de eletricidade a título de pagamento por quilowatt-hora (kWh) de energia produzida. Neste caso, as concessionárias de energia elétrica são obrigadas a comprar eletricidade de geradores de energia verdes;

(ii) Abordagens baseadas na quantidade: as autoridades públicas definem um nível desejado de produção de eletricidade e podem organizar processos de licitação competitiva, ou criar um mercado de certificados, onde os fornecedores de eletricidade são obrigados a adquirir certificados para cobrir uma determinada porcentagem da eletricidade que vendem ou consomem.

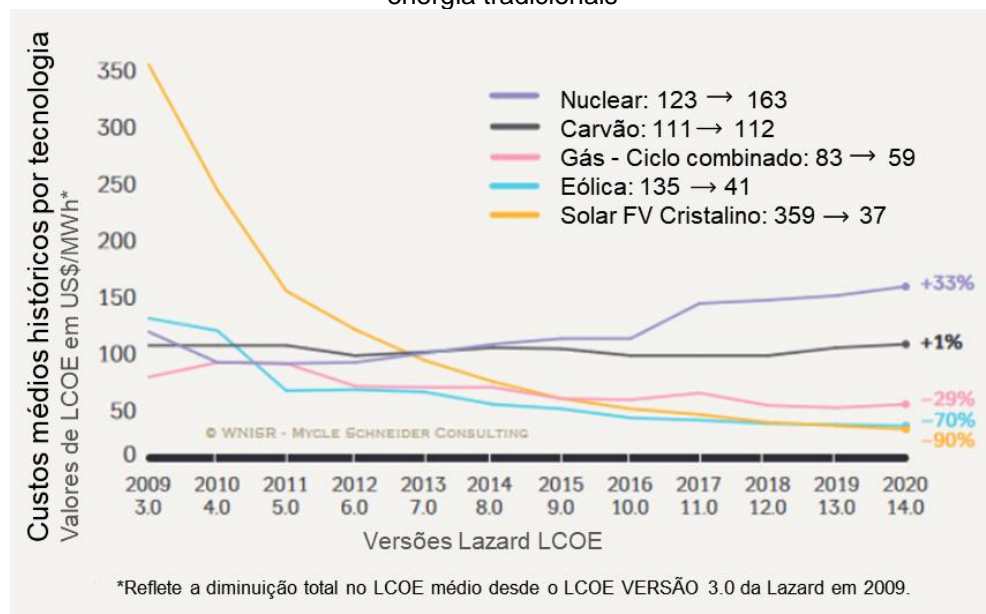
Segundo [Breetz et al. \(2018\)](#), normalmente, as novas tecnologias possuem custos mais elevados e exigem políticas para apoiar a sua comercialização inicial. À

medida que se tornam competitivas, as políticas aplicadas podem se tornar mais contestáveis, com maior resistência por parte das indústrias estabelecidas. Quando elas se tornam mais baratas do que as tecnologias existentes anteriormente, o mercado pode encorajar a sua rápida adoção.

Portanto, quanto mais as tecnologias avançam na curva de maturidade tecnológica, mais elas geram controvérsia política, pois novas tecnologias são comumente apoiadas por subsídios, mas o apoio político deve diminuir à medida que a implantação aumenta e os custos dos subsídios se tornam desnecessários e politicamente insustentáveis (Breetz *et al.*, 2018). A partir desse momento, a implantação da tecnologia deve ser feita por meio de instrumentos baseados em quantidade, uma vez que os custos diminuem e os mercados começam a se formar (Breetz *et al.*, 2018).

As energias renováveis ocupam o centro do cenário energético global, visto que os avanços tecnológicos e a queda de custos fizeram com que crescessem mais rapidamente do que qualquer outra fonte de energia. Globalmente, as novas instalações renováveis se tornaram mais baratas do que as outras fontes de eletricidade, conforme Figura 12.

Figura 12 – Os custos decrescentes das energias renováveis em comparação com as fontes de energia tradicionais



Fonte: Appunn (2023).

Custo Nivelado de Energia (LCOE — Levelized Cost of Energy).

*Este gráfico reflete a média da faixa LCOE alta e baixa não subsidiada para uma determinada versão do estudo LCOE. Relaciona-se principalmente com o cenário de energia renovável da América do Norte, mas reflete reduções de custo mais amplas/globais.

O aumento das FERs ocorreu, principalmente, no setor elétrico, mas novas tecnologias também estão permitindo essa transformação em outros setores. Por exemplo, veículos elétricos e bombas de calor estão ampliando a implantação de energias renováveis nos transportes, na indústria e nos edifícios; bem como inovações em digitalização e armazenamento de energia estão aumentando seu potencial de uso ([IRENA, 2019](#)).

Para analisar as políticas energéticas formuladas pelos países para progredirem na transição energética é necessário entender quais instrumentos políticos já foram ou vêm sendo adotados em experiências internacionais, e se eles tiveram e ainda têm ou não sucesso no mercado em que foram estabelecidos. Existem diferentes tipos de políticas para reduzir custos e acelerar a penetração no mercado voltados ao desenvolvimento de FERs. A Tabela 2 apresenta um resumo dos principais tipos de políticas de apoio às FERs.

Tabela 2 – Tipos de instrumentos políticos energéticos

Política Energética	Funcionamento
Tarifas <i>feed-in</i> (<i>FIT</i> — <i>Feed-In Tariff</i>)	Possui perspectiva de longo prazo e preços garantidos, o qual é geralmente garantido por um período específico ou por uma quantidade pré-determinada de produção.
Premium <i>feed-in</i> (<i>FIP</i> — <i>Feed-In Premium</i>)	São prêmios garantidos pagos como acréscimo fixo ao preço de mercado. Geralmente, um produtor de eletricidade renovável recebe um prêmio por unidade (MWh), além dos rendimentos da venda da energia no mercado.
Sistema de compensação — <i>Net Metering</i>	Um consumidor pode receber créditos em kWh se seu sistema fotovoltaico gerar mais energia do que ele usar em um determinado mês.
Licitações (<i>Tender</i>)	Em um processo de leilão, a entidade responsável lança leilões para projetos específicos com montantes de capacidades definidos. Os potenciais investidores, então, competem para ganhar a oportunidade de desenvolver o projeto, dando sua oferta.
Obrigações de quota com certificados verdes negociáveis (<i>TGC</i> — <i>Tradable Green Certificates</i>)	Nos esquemas TGC, tanto os produtores quanto os fornecedores de energia são obrigados a ter uma parcela específica de FERs em seu portfólio.
Subsídios de investimento (<i>Investment Grants</i>)	São apoios financeiros concedidos por instituições governamentais a investidores em projetos de FERs na forma de pagamentos não reembolsáveis na fase de construção de um projeto.
Medidas fiscais (<i>Fiscal Measures</i>)	São incentivos fiscais indiretos, como os impostos ecológicos sobre os combustíveis fósseis ou os impostos sobre o CO ₂ . Presume-se que são implementados para internalizar os custos externos.
Apoio financeiro (<i>Financing Support</i>)	Este mecanismo visa auxiliar os investidores em projetos de FERs a acessar o mercado de capitais e a obter financiamento em condições adequadas, possibilitando mais investimentos e, assim, agregando crescimento às FERs.

Fonte: Adaptado de [Kitzing, Mitchell e Morthorst \(2012\)](#).

Outra forma de incentivar a transição energética é precificar as emissões de carbono. Instrumentos políticos de precificação do carbono incluem mercado de emissões (ETS), impostos sobre carbono e créditos de carbono. Segundo o Banco Mundial — [BM \(2023\)](#), os ETS mais comuns são os *cap-and-trade*, que estabelecem um limite global para as emissões e negociações de compra e venda de direitos de emissão transacionáveis. O imposto sobre o carbono impõe uma taxa sobre as emissões produzidas e o crédito de carbono gera certificados negociáveis ([BM, 2023](#)).

O sucesso do Acordo de Paris depende da implementação de políticas climáticas ao nível mundial, por isso, muitos países vêm implementando políticas nacionais para cumprir as metas registradas nas Contribuições Determinadas Nacionalmente (NDC) e contribuir com os objetivos do Acordo de Paris sobre as alterações climáticas, por meio da redução das emissões de GEE e aumento na participação global de energia de baixo carbono até 2050 ([Carvalho et al., 2020](#); [Lima et al., 2020](#)).

A Tabela 3 mostra as metas adotadas nas NDCs pelos países que serão analisados. O conhecimento das metas de redução de emissões de GEE é importante, especialmente, para a análise dos resultados das políticas energéticas formuladas.

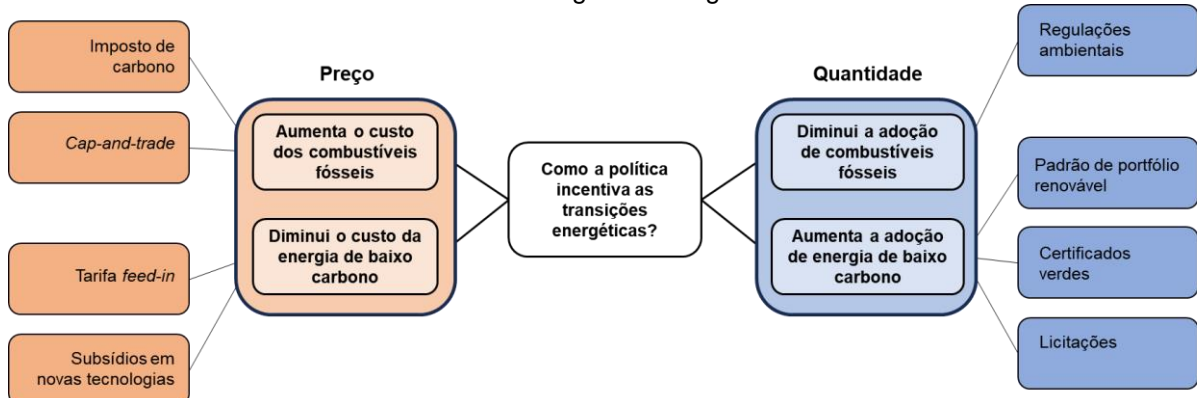
Tabela 3 – Metas registradas nas Contribuições Determinadas Nacionalmente (NDCs)

Países	NDCs	Última atualização
Alemanha	Os países membros da UE se comprometeram com a redução interna líquida em toda a economia de pelo menos 55% das emissões de GEE até 2030, em comparação com 1990.	19/10/2023
Reino Unido	Redução das emissões de gases do efeito de estufa em toda a economia em pelo menos 68% até 2030, em comparação com os níveis de 1990.	22/09/2022
EUA	Redução de 50% a 52% dos níveis de emissões líquidas de GEE de 2005.	22/04/2021
Brasil	Redução das emissões de GEE em 48,4% abaixo dos níveis de 2005 em 2025, e em 53,1% abaixo dos níveis de 2005 em 2030.	03/11/2023
China	Redução das emissões de CO ₂ entre 60% a 65% até 2030, em comparação com 2005.	28/10/2021

Fonte: Elaboração própria a partir de dados da [UNFCCC \(2023\)](#).

A Figura 13 detalha o funcionamento das políticas energéticas e mostra como os mecanismos podem incentivar a transição energética, ou seja, o desenvolvimento de FERs e a diminuição do uso de combustíveis fósseis em termos de variações nos preços e nas quantidades.

Figura 13 – Visão geral esquemática dos instrumentos políticos usados para promover transições de tecnologia de energia



Fonte: Adaptado de [Breetz, Mildenerger e Stokes \(2018\)](#).

Em termos de preços, é possível aumentar o custo dos combustíveis fósseis, principalmente, por meio de instrumentos que coloquem um preço no carbono, por exemplo, imposto de carbono e *cap-and-trade*. Também é possível diminuir os custos das FERs por meio de subsídios na implantação da tecnologia, por exemplo, tarifas *feed-in* ou subsídios na inovação, como financiamento de P&D. Em termos de quantidade, é possível diminuir o uso de fósseis por meio de regulamentações ambientais e aumentar a adoção de FERs através da instauração de uma quota ou um padrão, por exemplo, por meio de instrumentos políticos, como Padrão de Portfólio Renovável (*RPS — Renewable Portfolio Standard*), Certificados Verdes (*TGC — Tradable Green Certificates*) e Licitações.

No caso das tarifas *feed-in* (*FIT — Feed-In Tariff*), toda energia elétrica renovável fornecida à rede é remunerada com um valor fixo, que substitui o preço da eletricidade. Tais tarifas são reajustadas regularmente de acordo com critérios específicos, podendo ser indexadas a um determinado parâmetro, como índices de inflação ou custos de produção das FERs. Nas FITs em que as autoridades públicas estabelecem um preço efetivo não limitando a quantidade instalada, a quantidade gerada será aumentada até que o custo marginal se iguale à tarifa do subsídio. Esta política é considerada a mais antiga e foi amplamente utilizada, principalmente, em países europeus, como Dinamarca, Alemanha, Espanha e Itália. ([Menanteau; Finon; Lamy, 2003](#)).

Há também as tarifas *feed-in premium* (*FIP*); nelas toda eletricidade renovável fornecida à rede recebe um prêmio adicional ao preço da eletricidade de mercado, ou seja, o prêmio é um valor dado além dos rendimentos da venda da energia.

Normalmente, o prêmio é pago aos operadores da rede e cobrado dos consumidores de eletricidade, assim como na FIT ([Bökenkamp, 2008](#)).

De acordo com [Kitzing et al. \(2012\)](#), em países como Alemanha, Portugal e Lituânia, a tarifa *feed-in* é fixa e determinada para cada fonte de energia, sendo possível alteração apenas no regulamento. Na Espanha e Hungria, a tarifa *feed-in* é dependente, duas a três tarifas são pré-determinadas para cada fonte. Na Letônia, a tarifa *feed-in* é indexada, ou seja, depende de indicadores específicos do mercado, como a taxa de câmbio em relação ao euro ou o preço do gás natural. Na Bulgária e República Tcheca, a tarifa é estritamente fixada a partir do momento da instalação, mas as alterações no regulamento também podem ser aplicadas a projetos existentes.

Nas políticas do tipo licitações, um leilão é realizado promovendo um processo competitivo para a escolha do comprador, por exemplo, que irá investir na instalação de uma nova usina de eletricidade renovável. São definidos os prazos para implementação do projeto e penalidades significativas por não conformidade. Os lances são ordenados em ordem crescente e o preço deve ser estabelecido a partir do último projeto, visando atingir a quantidade de energia estabelecida. A diferença em relação às tarifas FIT é que a quantidade de eletricidade renovável envolvida nas propostas é conhecida previamente. Segundo [Menanteau et al. \(2003\)](#), os processos de licitação baseados em uma quantidade fixa de energia renovável a ser gerada foram utilizados no RU e na França até 2000.

Outra política existente é a obrigação de quotas, na qual um grupo de agentes da cadeia de abastecimento de energia é obrigado a ter uma determinada quota de eletricidade renovável em seu portfólio, por exemplo, o Padrão ou Meta de Portfólio Renovável (*RPS — Renewable Portfolio Standard*) usado nos EUA. Alguns estados têm requisitos específicos e alguns têm metas voluntárias, num prazo especificado, para a quota de geração ou vendas de eletricidade proveniente de FERs ([EIA, 2022b](#)).

Além disso, a política RPS pode exigir ou permitir negociar certificados de energia renovável. A conformidade com a regra é demonstrada pela apresentação de certificados de energia renovável, que são negociáveis e podem ser comercializados com a eletricidade física, ou como uma mercadoria separada. Tal obrigação é imposta aos produtores de eletricidade. Diferente das FITs, os preços dos certificados não são fixos. Ele é determinado livremente pela oferta e demanda, porém, as quotas em relação à quantidade de energia a ser negociada são fixas. Além disso, os certificados

devem ser gerados e usados no período compromissado e devem possuir um preço mínimo ([Bökenkamp, 2008](#)).

O comércio de certificados é um mecanismo de mercado no regime de quotas, no qual nem todos os produtores se beneficiam das mesmas oportunidades para desenvolver as FERs, pois para cumprir as metas, os produtores podem comprar energia excedente de outro produtor ([EIA, 2022b](#)). Segundo [Menanteau et al. \(2003\)](#), os certificados verdes negociáveis, nos quais os fornecedores de eletricidade produzem ou distribuem uma determinada quota de energia renovável, são usados em países como Holanda, Dinamarca, Suécia, Itália e RU.

Na Suécia, Bélgica e Polônia, por exemplo, os certificados verdes são uniformes, ou seja, todas as tecnologias recebem a mesma quantidade de certificados por unidade gerada de eletricidade. No RU, Itália e Romênia, por exemplo, os certificados são diferenciados, ou seja, certas tecnologias recebem mais certificados por unidade gerada e outras menos ([Kitzing et al., 2012](#)).

Outro tipo de política é o *net metering* que permite que os clientes das concessionárias de energia elétrica instalem sistemas de energia renovável em suas propriedades e se conectem ao sistema de distribuição ou rede de uma concessionária de energia elétrica. Segundo a [EIA \(2022b\)](#), a eletricidade líquida é o consumo total de eletricidade do cliente menos a eletricidade que o seu sistema de energia renovável gera e fornece à rede.

O sistema de *net metering* ou compensação de energia no Brasil, por exemplo, foi aplicado em sistemas de geração distribuída (GD), nos quais os usuários podem injetar o excedente de eletricidade gerada na rede elétrica e obter créditos. O sistema de *net metering* no Brasil é regulamentado pela ANEEL e visa incentivar a adoção de FERs. Apesar de incentivar a geração e consumo de FERs, exclusivamente o sucesso da GD pode ser atribuído a fonte solar fotovoltaica, pois a fonte solar fotovoltaica representa mais de 90% do número total de instalações e a quantidade anual de conexão vem aumentando a cada ano.

Segundo o projeto desenvolvido para avaliação de custos para sistemas energéticos sustentáveis pela Fundação Eni Enrico Mattei, os subsídios podem ser aplicados de duas formas: com base nos custos de investimento e/ou considerando a eficiência na produção ([Bökenkamp, 2008](#)). No primeiro caso, o subsídio é baseado nos custos totais de investimento, adotando uma porcentagem em relação a estes custos. No segundo caso, com base nos custos de investimento e na eficiência da

produção, o subsídio considera os custos totais do investimento e a eficiência da usina. Para eletricidade proveniente de FERs aplicam-se menores impostos. Na depreciação de usinas de FERs aplicam-se regras favoráveis especiais, como isenção de impostos ambientais ou de energia.

Nos EUA, existem diversos tipos de incentivos financeiros governamentais, por exemplo, créditos fiscais, subsídios e programas de empréstimos para FERs. Os incentivos fiscais federais, ou créditos, incluem o Crédito Fiscal de Produção de Eletricidade Renovável (*PTC — Production Tax Credit*) e o Crédito Fiscal de Investimento (*ITC — Investment Tax Credit*) ([EIA, 2022b](#)). No Brasil, há a redução de impostos nos equipamentos, inclusive de importação. Por exemplo, a isenção do Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS) para a GD nos estados brasileiros.

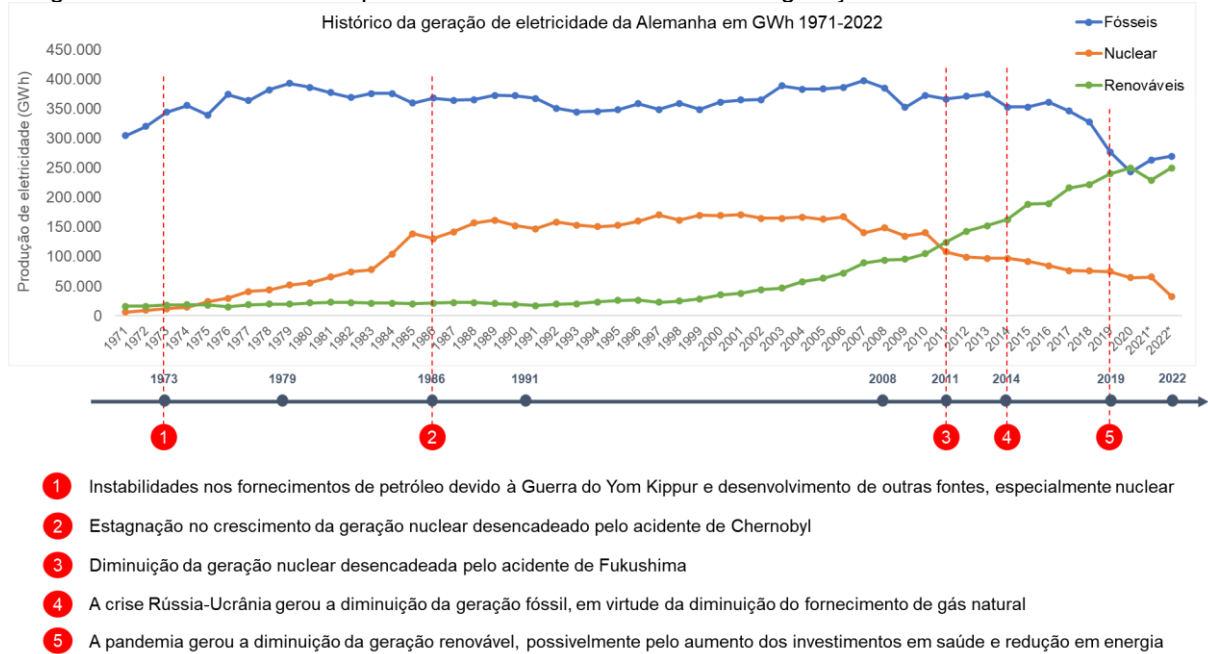
Além das políticas apresentadas, os países podem combinar tais políticas, criando um sistema híbrido. A versatilidade das políticas apresentadas mostra que é importante que os formuladores de políticas tenham uma imagem clara das opções disponíveis e como essas opções se encaixam no contexto e nos objetivos, por isso, dependendo do contexto existem consequências em relação à política adotada. A partir da análise, conclui-se que as principais políticas energéticas utilizadas em experiências internacionais foram as tarifas *feed-in* e os certificados de energia ([Kitzing et al., 2012](#); [Fagiani et al., 2013](#)). Em teoria, uma política baseada em preço ou em quantidade pode alcançar os mesmos resultados. Na prática, a escolha da política depende de quais informações são fornecidas e o que é exatamente pretendido.

A breve análise das políticas energéticas aponta que as políticas de preço como tarifas *feed-in* apoiaram a comercialização inicial e desenvolvimento das FERs quando possuíam altos preços. À medida que se tornam competitivas, foram instauradas políticas voltadas para a quantidade, por exemplo, certificados e quotas de energia. Para verificar se essas mudanças nas políticas energéticas, em função do preço e da quantidade, realmente seguem os estágios de desenvolvimento das FERs é realizada a análise qualitativa por meio de uma varredura internacional do que cada país analisado fez em termos de políticas energéticas, mostrando as práticas adotadas e como se adequam a realidade de cada país.

3.1 ANÁLISE DAS POLÍTICAS NA ALEMANHA

Observou-se que alguns momentos de crises globais revisados no capítulo 2 tiveram impactos na transição energética da Alemanha. Conforme mostrado na Figura 14, a primeira onda foi causada pela guerra do Yom Kippur, a qual reduziu o fornecimento de petróleo e propiciou o desenvolvimento de novas fontes, com destaque para a energia nuclear. Ressalta-se que apesar de não ser considerada uma fonte renovável, a energia nuclear é menos poluente que o carvão.

Figura 14 – Alemanha — Impactos dos momentos de crises na geração de eletricidade 1971–2022



Fonte: Elaboração própria a partir de dados da [IEA \(2023b\)](#), dados de 2021 e 2022 da [IEA \(2023c\)](#).

O crescimento da energia nuclear não durou muito, pois o acidente de Chernobyl fez com que a população alemã protestasse contra a energia nuclear e o governo passou a elaborar planos de desativação das usinas existentes, caracterizando a segunda onda, marcada pela estagnação no crescimento da energia nuclear. Verificou-se que apesar dos esforços do governo conservador em prorrogar as desativações das usinas nucleares, o acidente de Fukushima em 2011 fez com que a Alemanha mantivesse os planos para desativação das usinas até 2022. Contudo, devido à GRU, a desativação foi prorrogada para abril de 2023, quando as três últimas centrais nucleares foram desativadas.

Em 2014, a primeira grande crise Rússia–Ucrânia, marcada pela anexação da Crimeia, gerou a diminuição da geração fóssil, em virtude da diminuição do

fornecimento de gás natural. Notou-se que a pandemia covid-19 gerou a diminuição da geração renovável, possivelmente, pelo aumento dos investimentos em saúde e redução dos investimentos em energia.

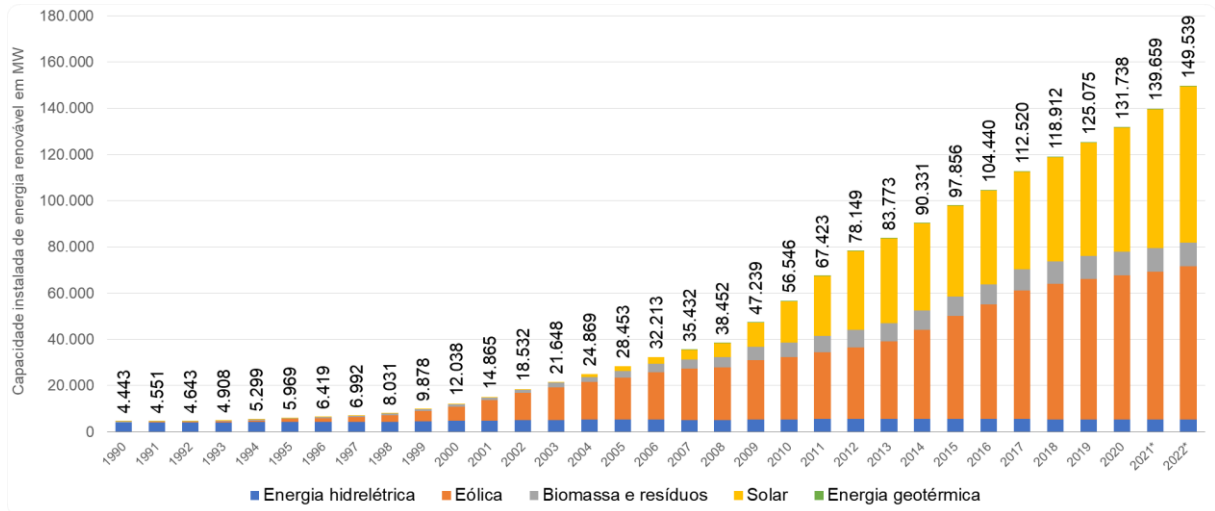
A preocupação com o desenvolvimento sustentável começou na década de 1970, por isso, muitos países começaram a realizar a transição energética. Contudo, deve-se ressaltar que as crises globais do petróleo também marcaram essa década. No caso da Alemanha, motivado por políticas ambientais, o governo desenvolveu a partir de 1980 a *Energiewende*, uma política que visou aumentar a participação de FERs.

O governo da Alemanha estabeleceu tarifas FIT a partir da Lei de Energia renovável em 2000, a qual sofreu modificações, especialmente, em relação às tarifas pagas, uma vez que as FERs iam atingindo maturidade tecnológica, o governo diminuía essa tarifa, visto que era cobrada dos consumidores.

O subsídio realizado na Alemanha foi uma tarifa para a energia injetada, ou seja, a política de incentivo FIT, na qual o produtor recebe uma tarifa fixa por energia renovável injetada na rede. A Alemanha obteve sucesso com essa política, pois a participação de FERs na geração total de eletricidade aumentou de 3,8% em 1990 para 61,8% em 2023 ([Fraunhofer, 2023](#)).

Em 1990, a capacidade instalada total era de 4.443 megawatts (MW), sendo que, aproximadamente, 90% desse valor era correspondente à energia hidrelétrica; em 2022, a capacidade total de FERs (dados preliminares) foi de 149.539 MW, cuja participação de energia eólica foi de 44% e de energia solar foi de 45%, conforme Figura 15, que apresenta os dados de energia (1990–2020) do Ministério Federal da Economia e Proteção Climática Alemão — [BMWK \(2022\)](#) e dados de energia (2021–2022) do [Fraunhofer \(2023\)](#).

Figura 15 – Capacidade instalada alemã (MW) de geração de eletricidade a partir de energias renováveis

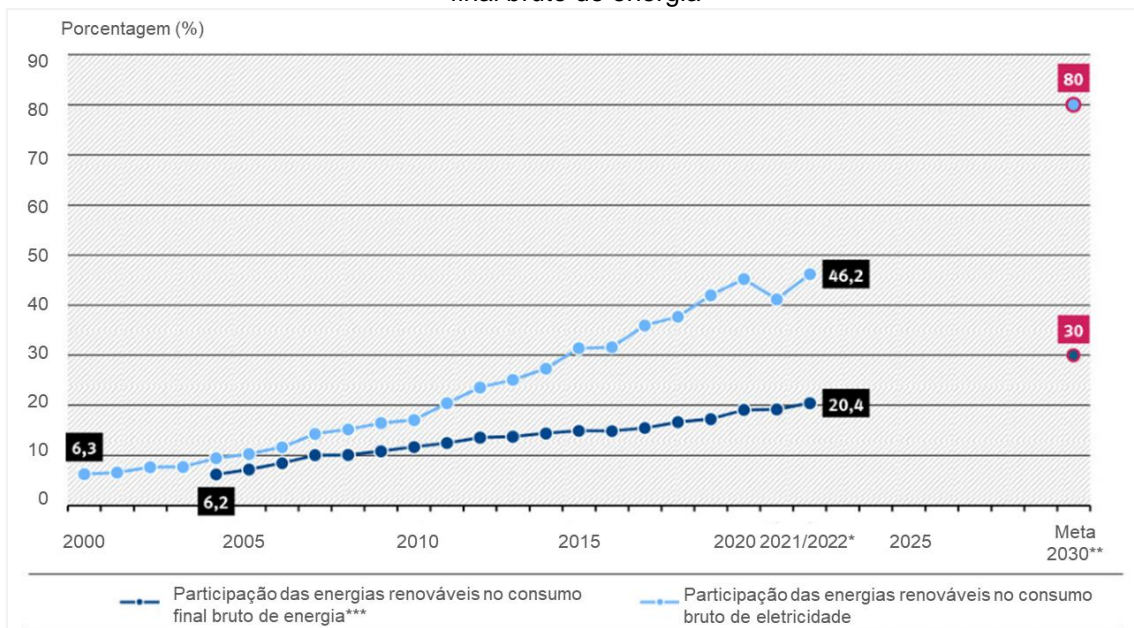


Fonte: Elaboração própria a partir de dados do [BMWK \(2022\)](#), dados de 2021 e 2022 do [Fraunhofer \(2023\)](#).

*Foi possível a obtenção dos dados de 2021 e 2022 apenas da energia eólica e solar, mantendo-se os valores de capacidade instalada de 2020 para energia hidrelétrica, biomassa e resíduos e energia geotérmica.

A participação das FERs no consumo bruto de eletricidade passou de 6,3% para 46,2% entre 2000 e 2022, conforme Figura 16. A nova meta de participação de FERs da alteração da EEG (2023) estipulada em 2022 é de 80% de FERs no consumo bruto de eletricidade até 2030. Contudo, observa-se que para alcançar tal meta a Alemanha terá que realizar aumentos anuais na capacidade instalada.

Figura 16 – Participação das energias renováveis no consumo bruto de eletricidade e no consumo final bruto de energia



Fonte: [UBA \(2023a\)](#).

*Dados preliminares.

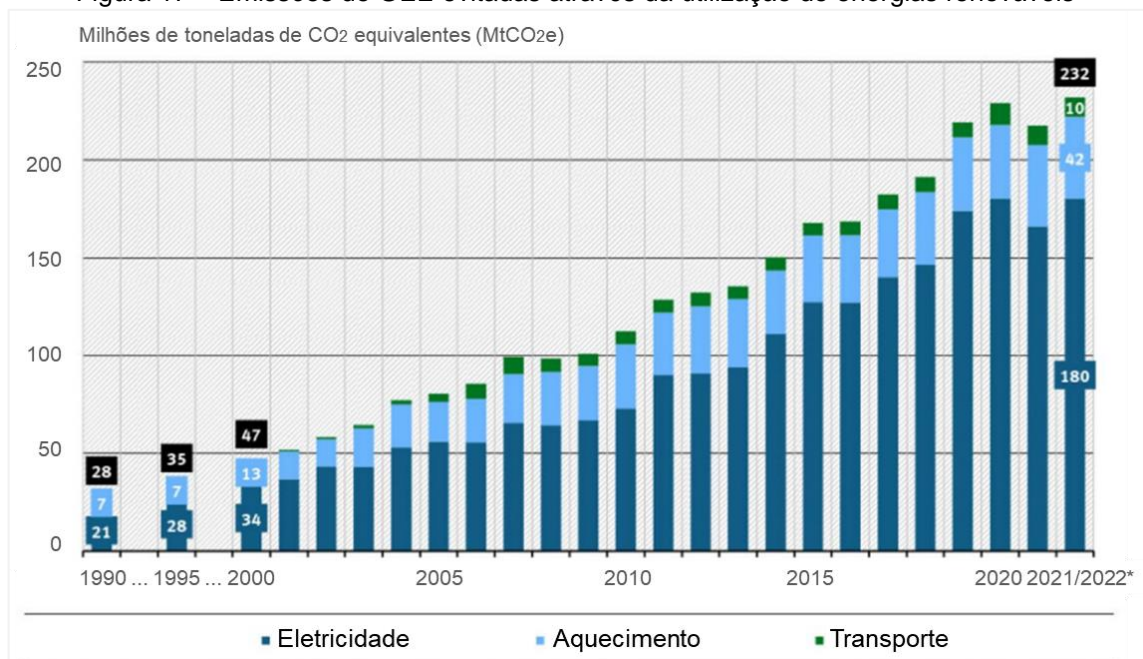
**Fontes dos valores-alvo para 2030: proporção do consumo final bruto de energia: Lei das Fontes de Energia Renováveis (EEG) 2023; Proporção do consumo bruto de eletricidade em 2030: Plano Nacional Integrado de Energia e Clima.

***Participação no consumo final bruto de energia calculada de acordo com regras de cálculo de acordo com a Diretiva da UE.

Além disso, medidas de eficiência energética vêm sendo promovidas pelo governo, especialmente, em relação à redução do consumo de energia. Conforme o Plano Nacional Integrado de Energia e Clima (*NECP — Der Integrierte Nationale Energie- und Klimaplan*), o consumo de energia deverá ser reduzido em 30% até 2030, em relação aos níveis de 2008; e em 50% até 2050. O consumo de energia na Alemanha vem diminuindo; caiu 21% entre 1990 e 2022 ([UBA, 2023a](#)).

Segundo a Agência Ambiental Alemã — *Umwelt Bundesamt* — [UBA \(2023a\)](#), as emissões relacionadas à energia representam cerca de 80% das emissões de GEE na Alemanha. Por isso, ao aumentar a participação das FERs na eletricidade bruta e no consumo final bruto de energia, deixa-se de usar carvão e petróleo, reduzindo as emissões de GEE, conforme Figura 17. Em 2022, foram evitadas 232 MtCO_{2e}, que teriam sido causadas pela utilização de combustíveis fósseis; valor superior a oito vezes do que foi evitado em 1990.

Figura 17 – Emissões de GEE evitadas através da utilização de energias renováveis

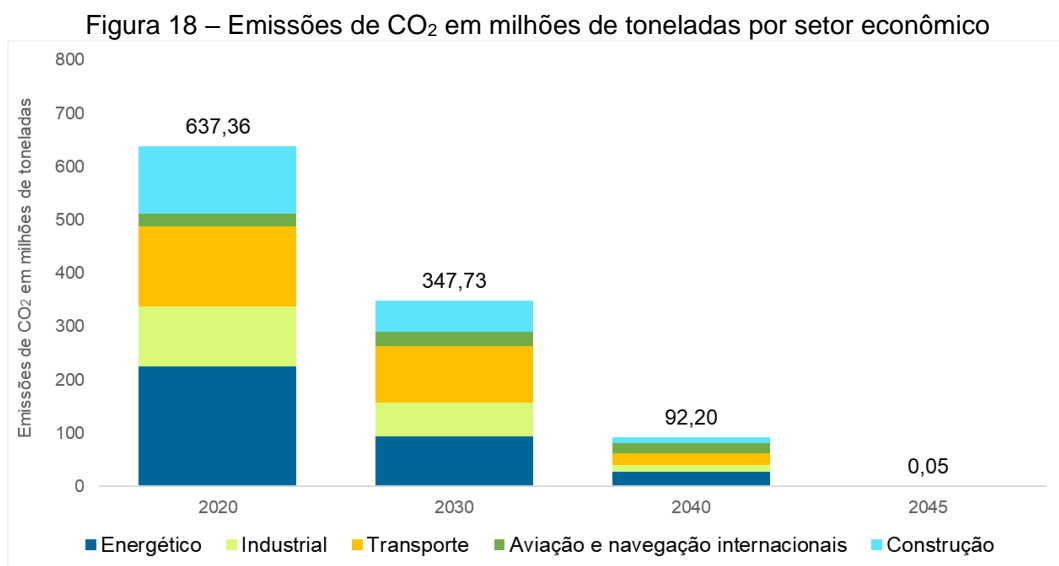


Fonte: [UBA \(2023a\)](#).

*Dados preliminares.

Dados da [UBA \(2022\)](#) mostram que, em comparação com 1990, as emissões na Alemanha caíram 38,7%. Houve progresso em todos os setores econômicos, especialmente no setor de energia. No entanto, as reduções em 2020 podem ser atribuídas às consequências do combate à pandemia covid-19, especialmente, nos setores de transporte e de energia. Apesar da queda nas emissões em 2020, a [UBA \(2022\)](#) mostrou que as emissões de GEE aumentaram em cerca de 4,5% em 2021, quando comparado a 2020. Isso fez com que o governo alemão determinasse maiores metas na redução das emissões, principalmente, através da maior participação das FERs resultante da construção de usinas solares e eólicas.

A Figura 18 mostra a projeção no decréscimo nas emissões de CO₂ em milhões de toneladas (Mt) por setor da economia. Destaca-se que o setor de energia foi o maior emissor em 2020, responsável por cerca de 35%, seguido pelo setor de transporte, com 24%. Em termos absolutos, espera-se redução das emissões em todos os setores nas próximas décadas, quando as emissões passarão de 637 MtCO₂ em 2020 para, aproximadamente, 0,05 MtCO₂ em 2045 ([Fraunhofer, 2021](#)).



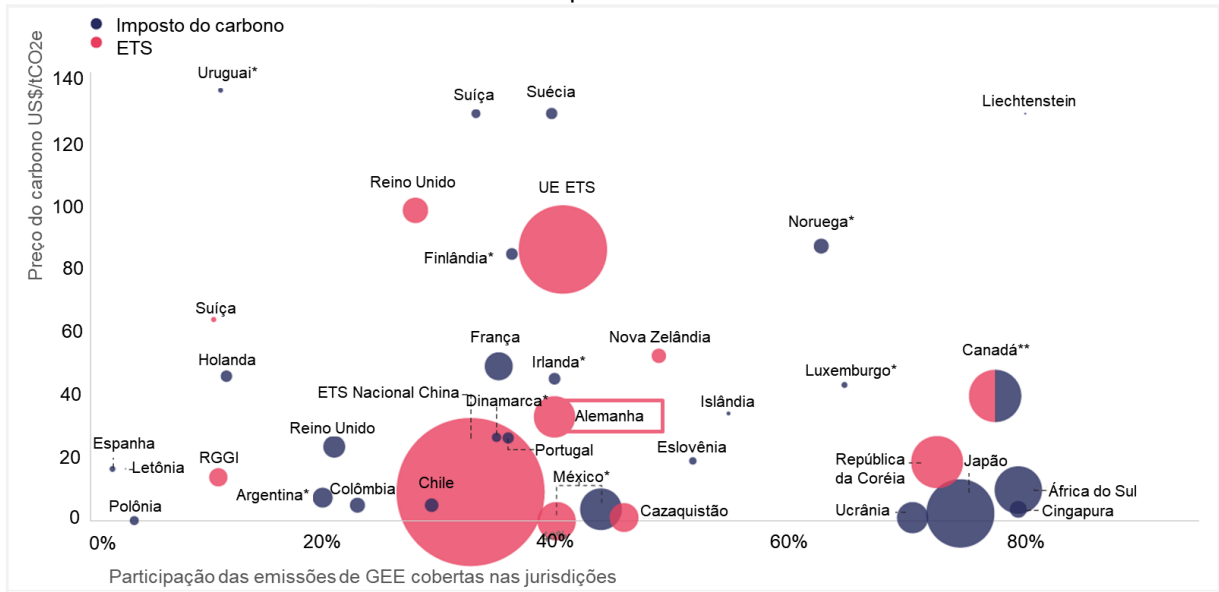
Fonte: Elaboração própria a partir dos dados do [Fraunhofer \(2021\)](#).

O potencial a ser explorado na redução de emissões nos diversos setores econômicos, aponta a necessidade de uma estratégia conjunta entre eles. Por isso, para atingir suas metas climáticas, a Alemanha tem adotado também mecanismos de precificação de carbono visando repassar aos poluidores a responsabilidade pela emissão de carbono, para estimular ainda mais a penetração das FERs.

O comércio europeu de emissões EU ETS reduz a quantidade e aumenta o preço dos certificados de emissões anualmente, para impulsionar o alcance das metas climáticas. Em 2021, foram leiloados 101 milhões de certificados; esta quantidade foi reduzida para cerca de 85 milhões em 2022. Além disso, o preço tem aumentado significativamente, em 2022 foi de 80,32 €/tCO₂, comparado a 52,50 €/tCO₂ em 2021 ([UBA, 2023b](#)).

O relatório do Banco Mundial ([BM, 2022](#)) mostrou uma comparação do preço do carbono e das emissões de GEE em diversos países, em relação às políticas de precificação de carbono adotadas. A partir de 2021, começou a operar o *Germany ETS*, ou seja, um comércio ETS próprio da Alemanha, que não inclui o EU ETS. Ainda em desenvolvimento, o valor do ETS alemão — 20 US\$/tCO₂e a 40 US\$/tCO₂e — está bem abaixo do valor do EU ETS — 80 US\$/tCO₂e a 100 US\$/tCO₂e, como mostrado na Figura 19.

Figura 19 – Parcela de emissões de GEE e preços para instrumentos de precificação de carbono por países



Fonte: [BM \(2022\)](#).

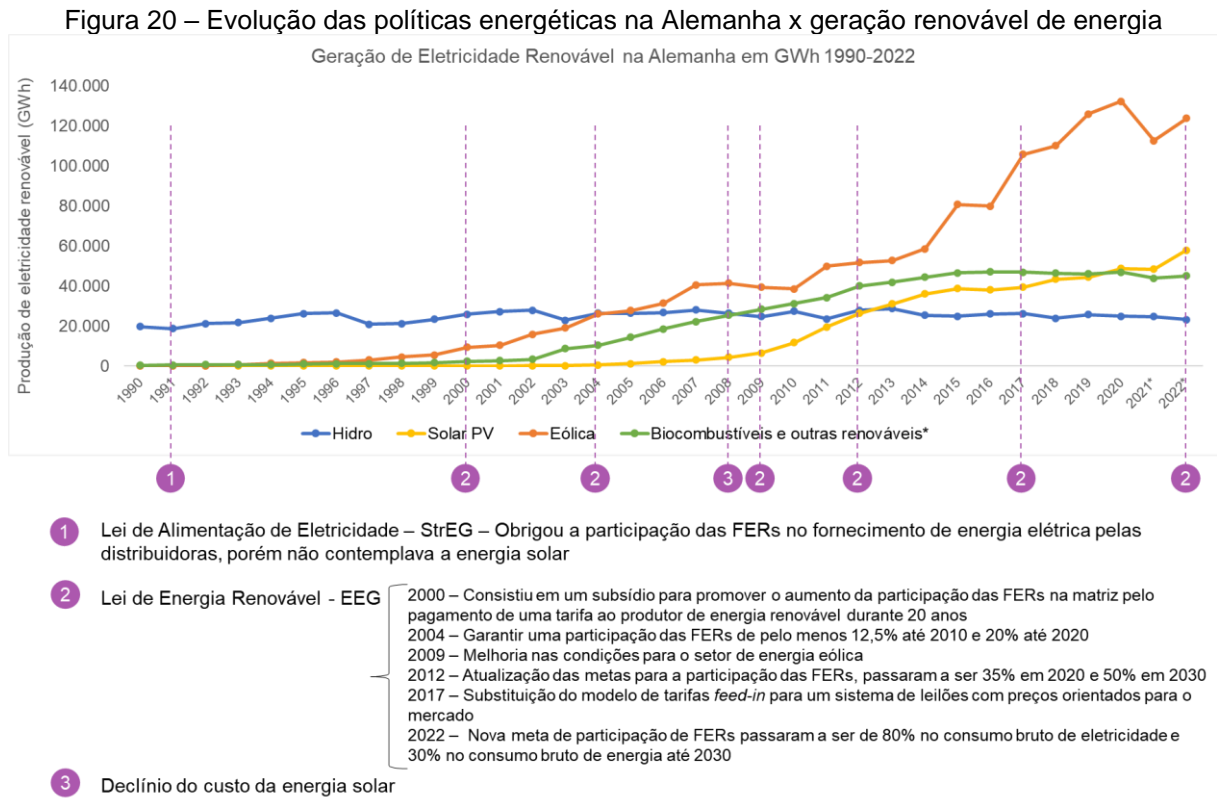
(O tamanho da bolha representa as emissões totais absolutas de gases de efeito estufa cobertos)

*Para instrumentos de preços de carbono (*CPI — Carbon Price Instruments*) que têm vários níveis de preço, é usado o preço aplicável à maior parcela de emissões.

**Esta é uma apresentação composta que representa o total de emissões cobertas por instrumentos de precificação de carbono sob a estrutura pan-canadense. Ele inclui uma combinação de instrumentos do tipo ETS e do tipo imposto sobre o carbono, implementados nos níveis provincial e federal.

De acordo com dados do [BM \(2023\)](#), em resposta à crise energética, o governo alemão adiou em um ano o aumento de 5 euros do preço fixo do CO₂ do seu ETS

nacional, bem como os aumentos subsequentes, previstos para 2024 e 2025. Pode-se concluir que as políticas energéticas adotadas na Alemanha tiveram sucesso na expansão das FERs, conforme Figura 20.



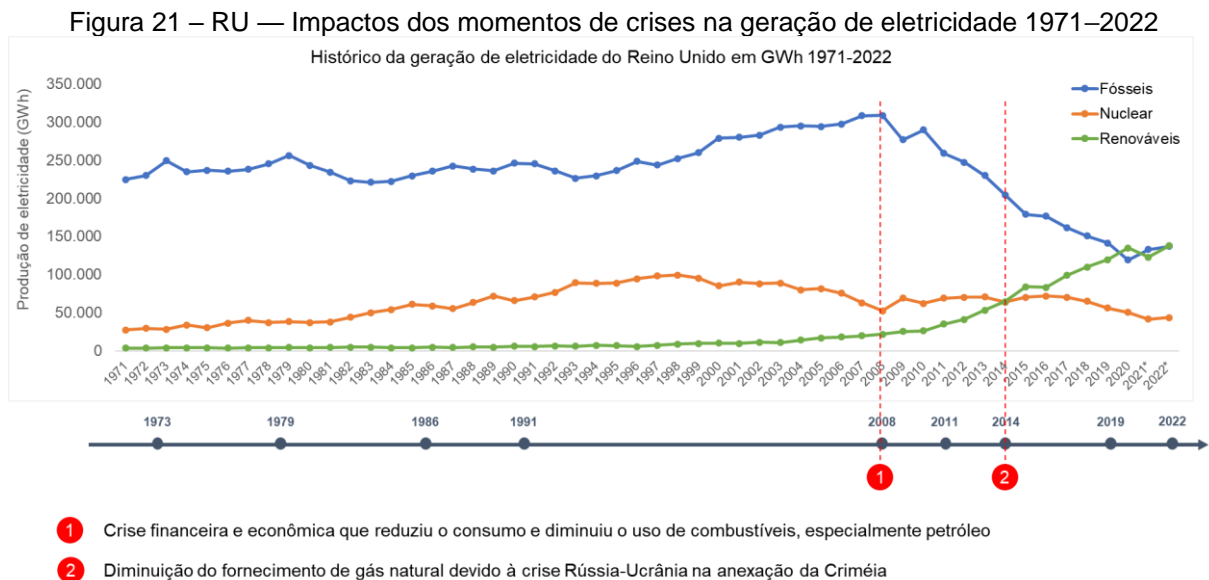
Fonte: Elaboração própria a partir dos dados de geração por fonte da [IEA \(2023d\)](#), dados de 2021 e 2022 da [IEA \(2023c\)](#).

*Outras renováveis incluem energia geotérmica.

A política energética de tarifas FIT implementada promoveu a expansão das FERs na matriz energética. À medida que essas fontes iam atingindo maturidade tecnológica e se tornando mais competitivas, as tarifas FIT e as metas da Lei de Energia Renovável iam se adequando a isso. Além disso, o desenvolvimento de FERs tem sido acompanhado pela redução da produção de energia a partir de carvão. A experiência alemã apresenta recomendações em torno de mudanças estruturais, visto que as tecnologias relacionadas à indústria de renováveis possuem uma grande oportunidade de crescimento industrial e econômico.

3.2 ANÁLISE DAS POLÍTICAS NO REINO UNIDO

O Reino Unido (RU) foi impactado, principalmente, por duas crises globais, conforme Figura 21. Apesar de estar localizado na Europa, assim como a Alemanha, não foi possível notar mudanças efetivas em relação à geração nuclear, o que mostra que cada caso analisado possui fatores próprios. A crise econômica de 2008 causou a diminuição do consumo, especialmente, de petróleo, marcando a primeira onda do impacto de crises globais na transição energética do RU. A segunda onda ocorreu em 2014, quando as tensões Rússia–Ucrânia ocasionaram a diminuição no fornecimento de gás natural.



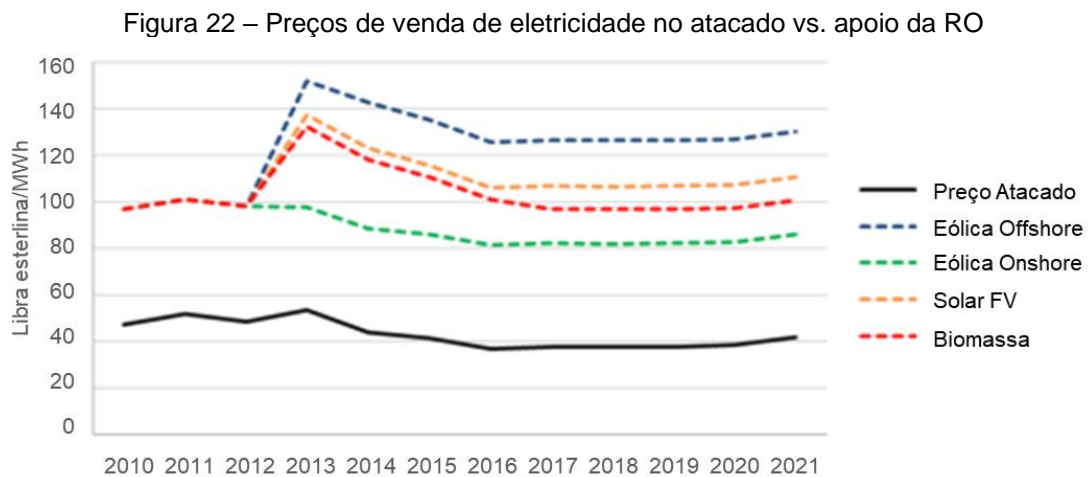
Fonte: Elaboração própria a partir de dados da [IEA \(2023b\)](#), dados de 2021 e 2022 da [IEA \(2023c\)](#).

Essas duas ondas marcaram a queda na geração fóssil no RU. Contudo, além dos momentos de crises, muitas políticas foram instauradas para o desenvolvimento de FERs. Segundo a [IEA \(2019\)](#), destacaram-se três principais políticas de apoio à geração de energia renovável: Obrigação de Renováveis (*RO — Renewable Obligation*) que existe desde 2002, tarifas FIT implantadas em 2010 e Leilões de Contratos por Diferença (*CFD — Contracts for Difference*) introduzidos em 2013, durante a Reforma do Mercado de Eletricidade (*EMR — Electricity Market Reform*) do RU para geração de energia de baixo carbono.

Em 1990, foi estabelecida uma política de leilões conhecida como Obrigação de Combustíveis Não Fósseis (*NFFO — Non-Fossil Fuel Obligation*). Ela resultou em

reduções nos preços das licitações vencedoras; o preço médio das propostas diminuiu de 6,7 €/kWh em 1994 para 4,2 €/kWh em 1998 ([Menanteau et al., 2003](#)).

A capacidade das tecnologias renováveis expandiu-se a partir dos anos 2000, com desenvolvimentos tecnológicos e fluxos de financiamento para endossar a geração de eletricidade renovável, resultando num aumento no número de geração de FERs em todo o RU. Até 2005, a capacidade instalada de FERs representava menos de 10% da capacidade total do RU. A RO, introduzida em 2002, exigia que os fornecedores de eletricidade do RU tivessem Certificados de Obrigação de Renováveis (*ROC — Renewable Obligation Certificate*) para cada megawatt-hora (MWh) de eletricidade fornecida. Ela apoiou projetos renováveis de grande escala e auxiliou no desenvolvimento de parques eólicos e solares ([BEIS, 2021](#)). A Figura 22 mostra os preços do apoio da RO.

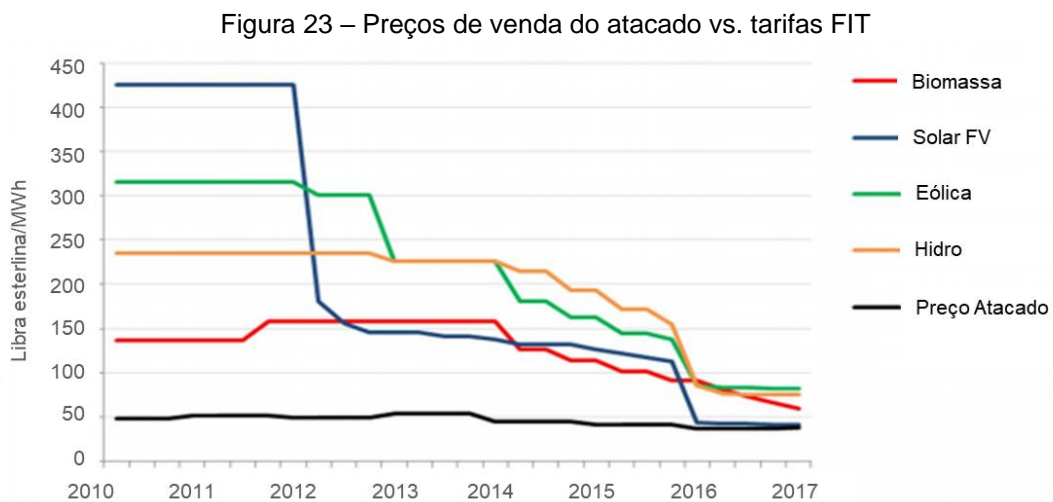


Fonte: Adaptado de [Helm \(2017, p.100\)](#).

O Setor de Mercados de Gás e Eletricidade (*OFGEM — Office of Gas and Electricity Markets*) era o setor responsável pela emissão dos ROCs para os geradores, que poderiam vender esses ROCs para fornecedores. O custo da política RO foi repassado aos consumidores por meio de suas contas de energia. Desde o início em 2002 até o final de 2016–2017, a OFGEM registrou 25.156 geradores com uma capacidade total de 29,2 GW. No período entre 2016 e 2017, 86,2 milhões de ROCs foram emitidos e corresponderam a 22,2% da geração total de eletricidade do RU; como consequência, 28,3 MtCO₂e foram evitadas ([IEA, 2019](#)).

As tarifas FITs foram introduzidas para apoiar a implantação de geração em pequena escala, na qual os geradores recebem uma tarifa, ou seja, um pagamento

por cada kWh gerado e um pagamento adicional por cada kWh exportado para a rede elétrica local. Os fornecedores de eletricidade pagam as FITs aos geradores e repassam esses custos aos consumidores por meio das contas de luz. Segundo dados da [IEA \(2019\)](#), desde a introdução em 2010, essa política apoiou mais de 800.000 instalações com uma capacidade total de 6 GW. Os custos da FIT são mostrados na Figura 23.

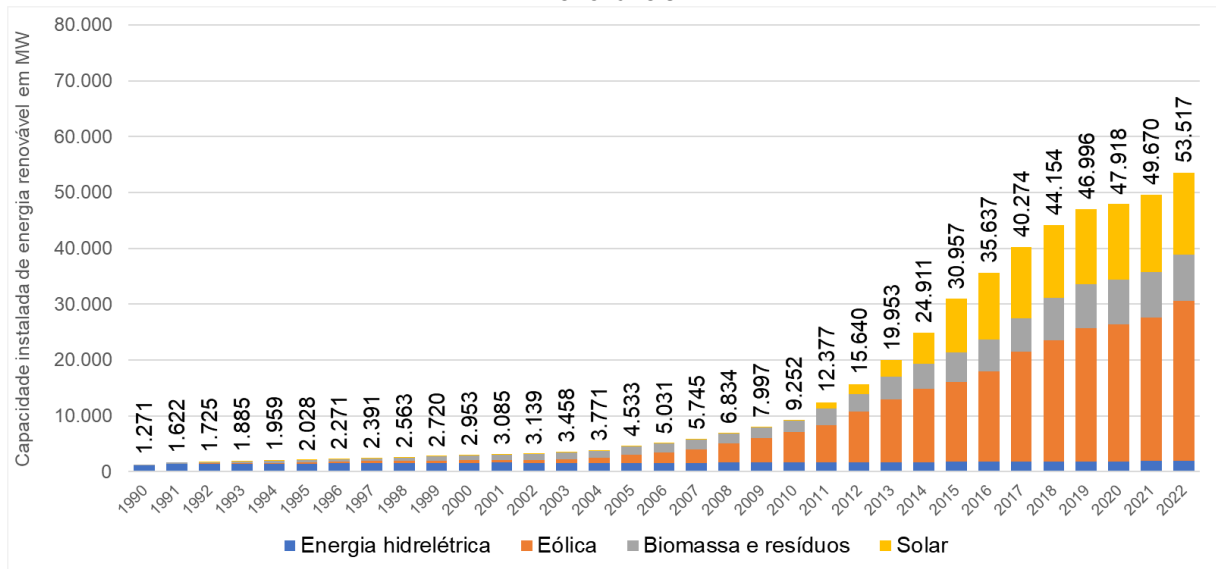


Fonte: Adaptado de [Helm \(2017, p.101\)](#).

A política RO foi finalizada em 2017, por isso, a expansão da capacidade de geração solar e eólica diminuiu com o número de novos geradores de pequena escala caindo também devido ao ajuste das tarifas FIT ([BEIS, 2021](#)). Cabe ressaltar que o RU introduziu as tarifas FIT em 2010; e em março de 2019 eliminou esse subsídio para novos empreendimentos. O CFD passou a ser a principal política do governo para apoiar o desenvolvimento de tecnologias renováveis. Os leilões CFD fornecem contratos de 15 anos para nova geração renovável a um preço de exercício garantido e resultaram em fortes reduções de custo, sendo a principal política para apoiar a geração de energia renovável em grande escala ([IEA, 2019](#)).

Segundo o Departamento de Segurança Energética e Net Zero — [DESNZ \(2023a\)](#), a chave para o aumento de implementação das FERs foi a mudança para leilões anuais de CFD, com base na maior rodada de atribuição de capacidade em 2022. A Figura 24 mostra a evolução da capacidade das FERs, a qual em 1990 era de 1.271 MW, quase 90% composta por hidrelétricas. Em comparação, no ano de 2022, as renováveis formaram mais de 53 GW da capacidade instalada, representada majoritariamente por eólicas (54%), solar (27%) e biomassa (15%).

Figura 24 – Capacidade instalada do RU (MW) de geração de eletricidade a partir de energias renováveis



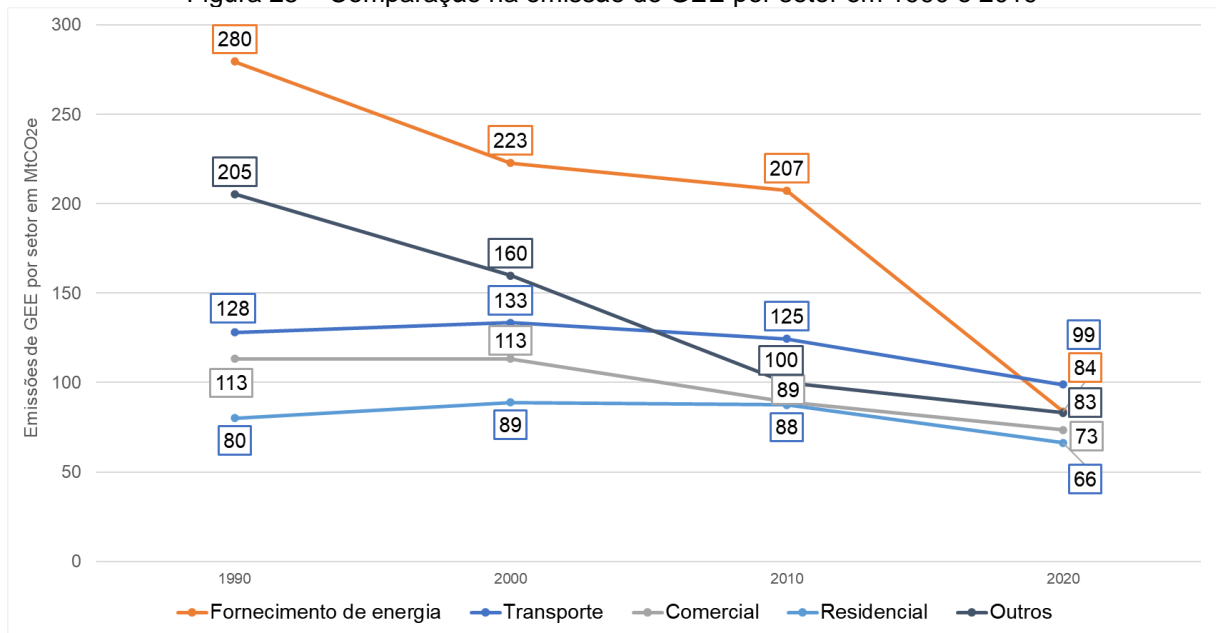
Fonte: Elaboração própria a partir de dados do [DESNZ \(2023b\)](#).

Como resultado das políticas instauradas, a capacidade eólica foi a que sofreu maior impacto, a qual aumentou continuamente desde a década de 2000. A capacidade instalada de energia solar foi estimulada após a introdução das tarifas FIT em 2010, que apoiava, principalmente, geradores de pequena escala com capacidade de até 5 MW. Observa-se que em 2010, menos de 100 MW de capacidade eram de geradores solares que representavam, aproximadamente, 1% da capacidade total de renováveis. Em 2015, os geradores solares foram responsáveis por mais de 30% da capacidade instalada de FERs. Além disso, com o fechamento das usinas de carvão no RU, várias grandes unidades de carvão foram convertidas para a capacidade de geração de biomassa ([BEIS, 2021](#)).

Desde sua adoção em 2008, a Lei de Mudanças Climáticas do RU estabeleceu uma política de longo prazo baseada na meta de reduzir as emissões de GEE em pelo menos 80% até 2050, em relação aos níveis de 1990 ([IEA, 2019](#)). Visto que a descarbonização do setor de energia vem tendo sucesso, o governo também visa reduções de emissões em outros setores; particularmente transporte, construção e indústria, para cumprir os objetivos em relação às mudanças climáticas.

Em 2020, as emissões totais de GEE totalizaram 405,5 MtCO_{2e}. Desde 1990, as emissões de GEE do RU diminuíram em 50%. Os maiores contribuintes para o total de emissões de GEE em 2020 foram as emissões relacionadas ao transporte, que representaram 24% do total, seguidas pelo setor de energia (21%), comercial (18%), residencial (16%), como mostra a Figura 25 ([DESNZ, 2022](#)).

Figura 25 – Comparação na emissão de GEE por setor em 1990 e 2019



Fonte: Elaboração própria a partir de dados do [DESNZ \(2022\)](#).

O setor de energia foi o principal responsável pela redução das emissões de GEE de 1990 a 2020. A principal fonte de emissões do setor de energia foi a queima de combustíveis na geração de energia elétrica em usinas, sendo que as centrais elétricas foram responsáveis por 73% das emissões do setor de energia em 1990; número que reduziu para 60% em 2020. A redução nas emissões no setor de energia, que passou de 279,5 MtCO_{2e} em 1990 para 84,0 MtCO_{2e} em 2020, foi resultado, principalmente, das mudanças de combustíveis usados para geração de eletricidade, incluindo o crescimento das FERs. Além disso, desde 1990, houve um declínio no uso de carvão nas usinas e um aumento no uso de gás, com menor teor de carbono, resultando em menos emissões.

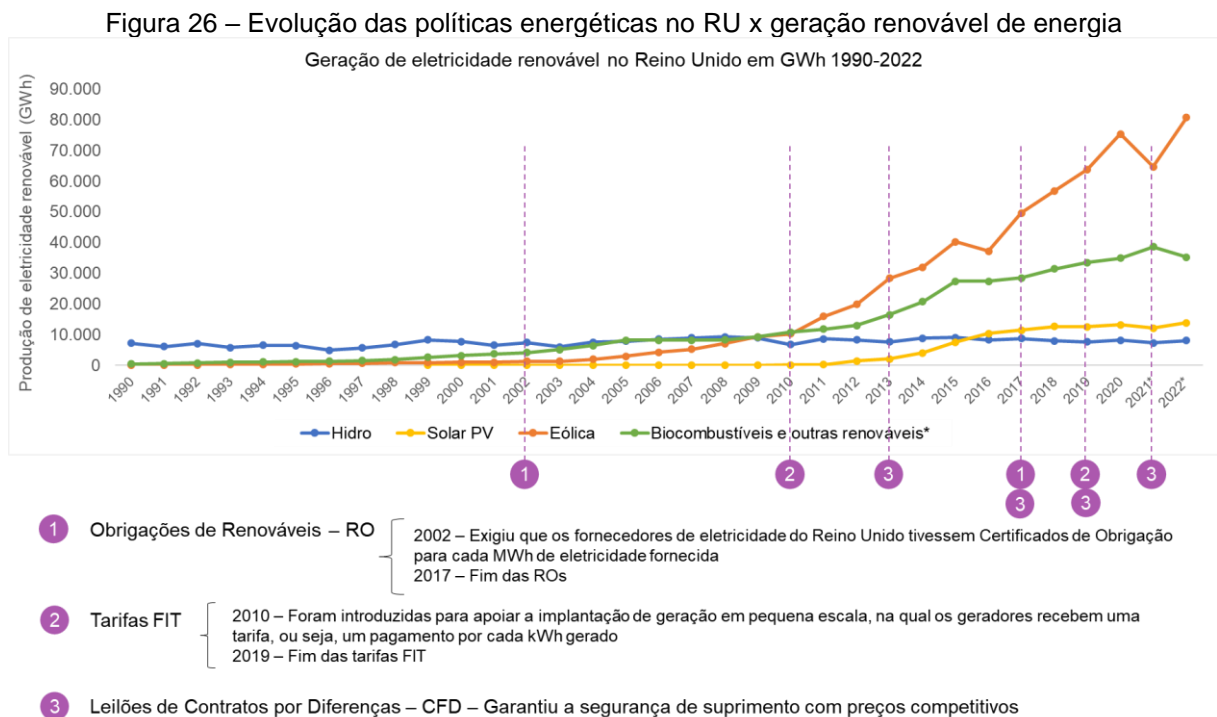
O antigo Departamento de Negócios, Energia e Estratégia Industrial (*BEIS — Department for Business, Energy & Industrial Strategy*)⁵, substituído pelo DESNZ, foi responsável, entre outras questões, pelas políticas nacionais de energia e clima e por promover ações internacionais para enfrentar as mudanças climáticas. Ele previu que a demanda geral por eletricidade pode dobrar até 2050, impulsionada por uma mudança para veículos elétricos e eletricidade substituindo gás para aquecimento.

⁵ O Departamento de Negócios, Energia e Estratégia Industrial (*BEIS — Department for Business, Energy & Industrial Strategy*) existiu até 2023 e foi substituído pelo Departamento de Segurança Energética e Net Zero (*DESNZ — Department for Energy Security and Net Zero*), Departamento de Ciência, Inovação e Tecnologia (*DSIT — Department for Science, Innovation and Technology*) e Departamento de Negócios e Comércio (*DBT — Department for Business and Trade*).

Por isso, a capacidade de geração também precisará aumentar para acompanhar o ritmo da demanda. Em virtude disso, o governo estabeleceu uma nova meta de ter mais de 40 GW de capacidade eólica até 2030 ([BEIS, 2021](#)).

A análise mostra que à medida que o setor de energia avança na descarbonização, a eletricidade se tornará cada vez mais importante para sustentar a descarbonização de outros setores, principalmente, transporte e aquecimento. No entanto, em relação ao RU, as tecnologias atuais, a estrutura regulatória e os sinais de preço, incluindo tributação, não refletem esses objetivos mais amplos de descarbonização.

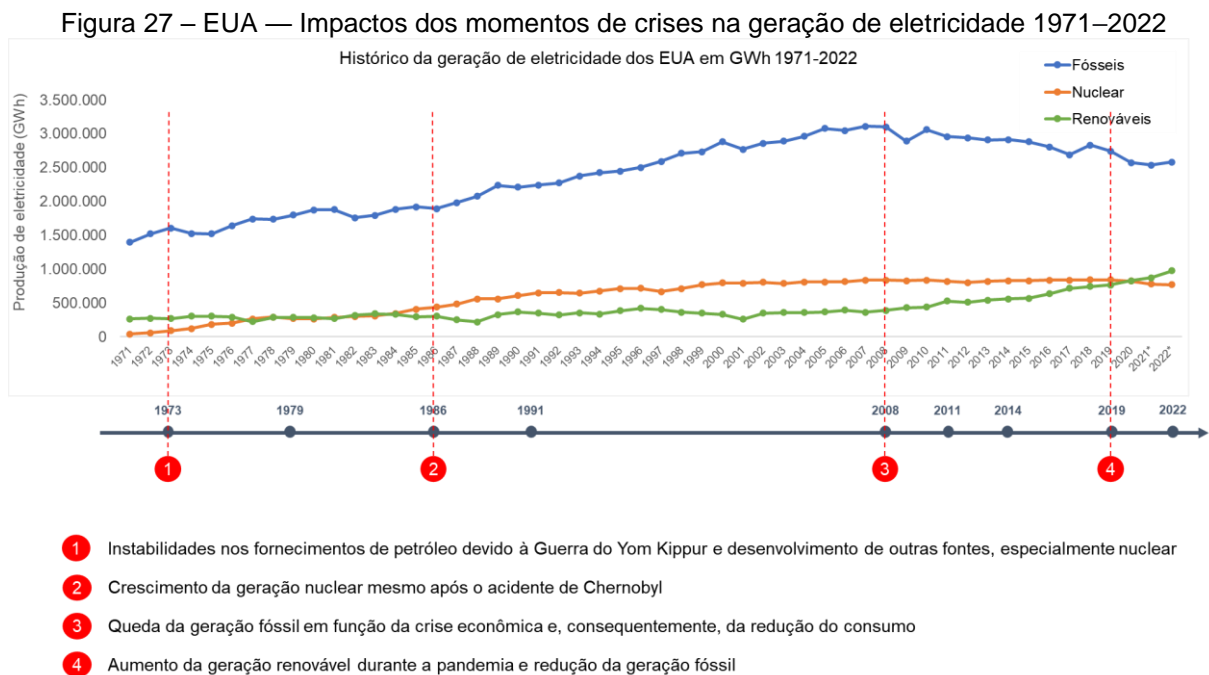
Portanto, cabe ao governo orientar a transformação e garantir uma estrutura regulatória flexível e adequada. Com o progresso tecnológico e o custo decrescente das FERs, a integração delas no sistema de energia e no mercado deve ser prioridade. A Figura 26 ilustra os principais impactos na geração renovável em função das políticas energéticas adotadas no RU.



Fonte: Elaboração própria a partir dos dados de geração por fonte da [IEA \(2023d\)](#), dados de 2021 e 2022 da [IEA \(2023c\)](#).

3.3 ANÁLISE DAS POLÍTICAS NOS ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA

Poucas alterações são mostradas na Figura 27 na geração de eletricidade dos Estados Unidos da América (EUA), mesmo em momentos de crise. A principal fonte é fóssil, com pequenas oscilações durante a guerra do Yom Kippur, a crise econômica de 2008 e a pandemia covid-19. Ressalta-se que mesmo durante a guerra do Iraque em 2003, a geração fóssil continuou crescente. Nota-se que a geração nuclear manteve os níveis de crescimento mesmo após os acidentes de Chernobyl e Fukushima. A crise de 2008 trouxe uma nova perspectiva sobre as FERs, com o governo americano implantando medidas para financiamento e investimento em energia renovável.



Fonte: Elaboração própria a partir de dados da [IEA \(2023b\)](#), dados de 2021 e 2022 da [IEA \(2023c\)](#).

Em virtude das crises do petróleo dos anos 70, os EUA começaram a criar políticas para desenvolver outras fontes de energia. O processo de reestruturação do setor elétrico começou em 1978 com a Lei de Políticas Regulatórias de Serviços Públicos (*PURPA — Public Utility Regulatory Policies Act*), que abriu o mercado de eletricidade à concorrência. Ela exigiu que as concessionárias comprassem eletricidade produzida por entidades não concessionárias usando cogeração ou fontes renováveis de pequena escala, com funcionamento semelhante ao FIT, entre os anos 1980 e 1990 ([Menz, 2005](#)).

Segundo [Menz \(2005\)](#), em 1992, a Lei de Política de Energia (*EPACT — Energy Policy Act*) abriu ainda mais o mercado, com a aplicação de um incentivo federal à produção de energia renovável, chamado de Crédito Fiscal de Produção (*PTC — Production Tax Credit*), que fornecia incentivos financeiros para eletricidade produzida a partir de novas instalações de energia renovável. Desde a sua implementação em 1992, o PTC contribuiu significativamente para o desenvolvimento eólico nos EUA.

A diminuição do crescimento ocorreu em 2010, como um efeito da crise financeira de 2008. Embora os projetos eólicos ainda fossem elegíveis para créditos fiscais, ocorreu uma queda nos investimentos. Além disso, uma redução geral na necessidade de novas fontes de geração e uma queda nos preços do gás natural, que prejudicaram a competitividade da energia eólica em termos de custo, contribuíram para o crescimento mais lento da capacidade eólica em 2010 ([EIA, 2012](#)). O percentual de crédito da PTC variou anualmente; os projetos eólicos que iniciaram a construção em 2016 qualificaram-se para 100% do valor total do crédito. Contudo, o percentual diminuiu 20% em 2017; em 2019, aumentou para 40% do valor total do crédito; em 2020, o crédito foi aumentado novamente para 60% para projetos eólicos, que devem ter iniciado a construção até 31 de dezembro de 2021 ([EIA, 2021](#)).

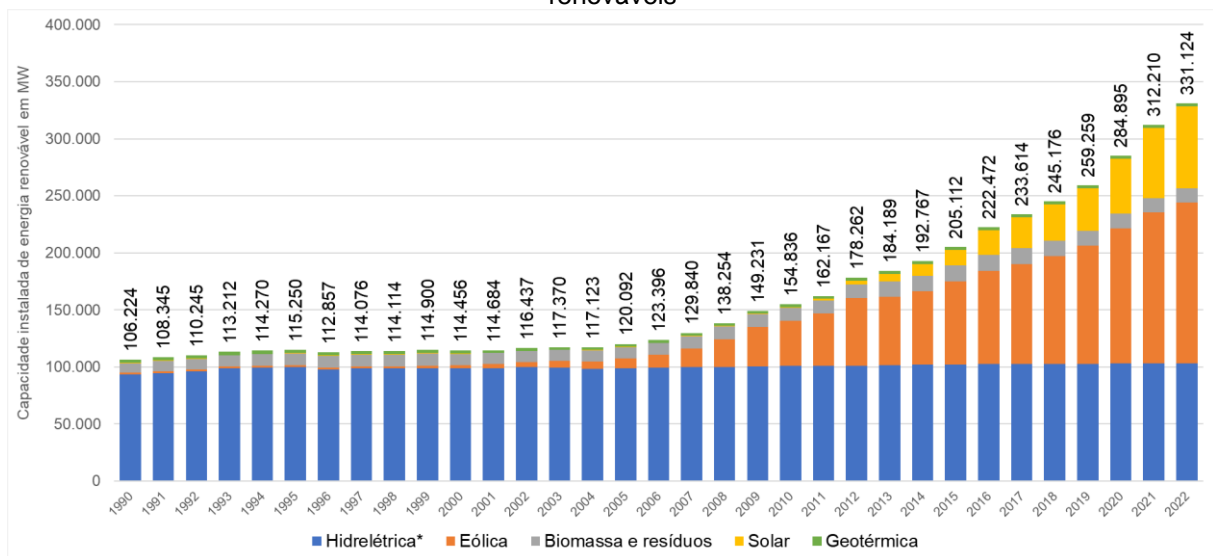
Os Padrões de Portfólio Renovável (*RPS — Renewable Portfolio Standards*), também conhecido como Padrões de Eletricidade Renovável (*RES — Renewable Electricity Standards*) foram adotados em 2003. Eles exigem um percentual crescente da capacidade de geração de um fornecedor de eletricidade ou vendas de eletricidade provenientes de FERs. “Os *RPSs*, usados em conjunto com incentivos financeiros, tiveram um efeito importante no desenvolvimento da energia eólica em vários estados” ([Menz, 2005, p.2405](#)).

Dados da [EIA \(2023a\)](#), mostram que, em relação às FERs, as políticas começaram a surtir efeito no aumento da capacidade instalada a partir dos anos 2000, conforme Figura 28, especialmente, após 2005, quando a capacidade renovável começou a aumentar mais de dois pontos percentuais ano a ano. No período compreendido entre 1990 e 2005, a capacidade instalada teve uma pequena variação, com o aumento, aproximadamente, de 6.900 MW em energia eólica, de 5.500 MW em energia hidrelétrica e 1.700 MW em biomassa. Em 1990, a energia hidrelétrica era responsável por 88% da capacidade instalada, seguida da biomassa com,

aproximadamente, 8%; eólica e geotérmica representavam em torno de 2% a 3% e a solar não chegava nem a 1%.

Em 2022, a capacidade de FERs mais que duplicou, passando de 120 GW em 2005, para 331,1 GW em 2022. Isso ocorreu, especialmente, devido ao aumento da energia eólica e solar, que foram as fontes mais incentivadas nas políticas implementadas. Em 2022, a fonte eólica representava a maior capacidade instalada, com 43%, seguida pela hidrelétrica, com 31% e solar, com 22%.

Figura 28 – Capacidade instalada dos EUA (MW) de geração de eletricidade a partir de energias renováveis



Fonte: Elaboração própria a partir de dados da [EIA \(2023a\)](#).

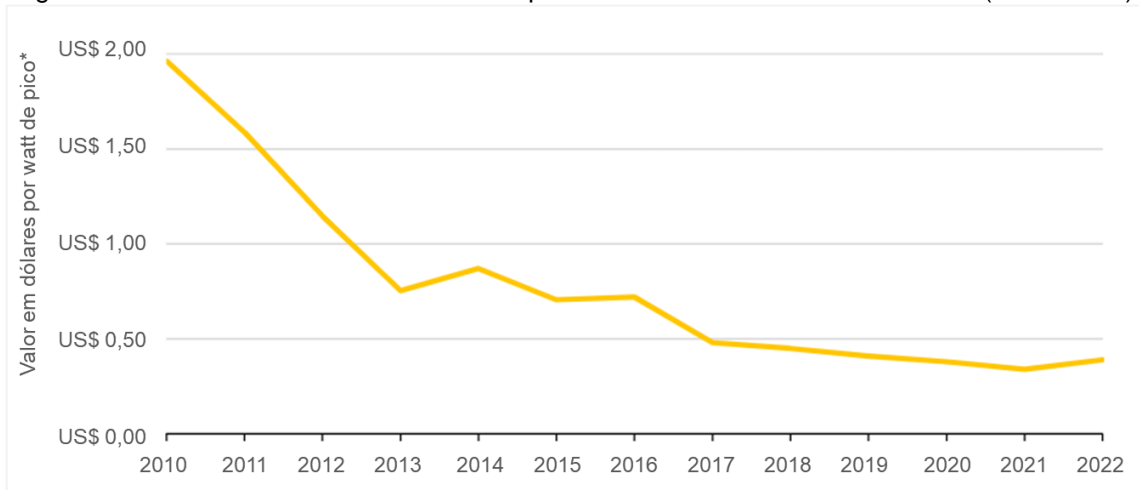
*Hidrelétrica inclui hidrelétrica convencional e hidrelétrica de armazenamento bombeado (*Hydro-pumped storage*), na qual dois reservatórios de água em altitudes diferentes podem gerar energia à medida que a água desce de um para o outro.

Em 2022, os EUA adicionaram 6,4 GW de nova capacidade solar de pequena escala (normalmente, instalações solares em telhados residenciais). Os custos dos painéis solares caíram significativamente desde 2010, ajudando a impulsionar o crescimento da capacidade solar.

O valor médio de remessa⁶ dos painéis solares nos EUA diminuiu de US\$ 1,96 por watt de pico (Wp) em 2010 para US\$ 0,39/Wp em 2022, conforme Figura 29 ([EIA, 2023b](#)).

⁶ As remessas de painéis solares dos EUA incluem importações, exportações e painéis produzidos e enviados internamente. Em 2022, cerca de 88% das remessas de painéis solares dos EUA foram importadas, principalmente da Ásia ([EIA, 2023b](#)).

Figura 29 – Valor médio das remessas dos painéis solares fotovoltaicos dos EUA (2010–2022)

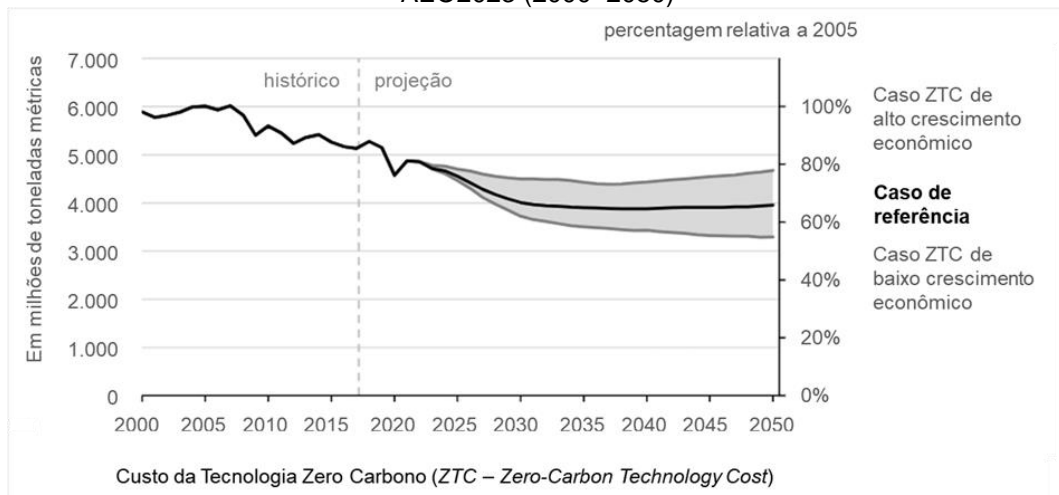


Fonte: [EIA \(2023b\)](#).

*Watts de pico (Wp) são uma unidade do fabricante que indica a saída de corrente contínua que um módulo fotovoltaico produzirá em condições de teste padrão (normalmente 1.000 watts por metro quadrado e 25 graus Celsius).

As FERs vêm desempenhando um papel importante na segurança energética dos EUA e na redução das emissões de GEE. Sua importância também é consequência da redução nas importações de energia e no uso de combustível fóssil, o qual é a maior fonte de emissões de CO₂ dos EUA. Por isso, a [EIA \(2023c\)](#) projetou a diminuição de CO₂ relacionadas à energia de 25% a 38%, abaixo do nível de 2005, até 2050, conforme Figura 30. Observa-se que esta projeção cobre as emissões relacionadas à energia, não cobrindo todo o âmbito da NDC dos EUA, que possui uma meta de 50% a 52% das emissões líquidas de GEE, abaixo do nível de 2005, até 2030.

Figura 30 – Total de emissões de CO₂ relacionadas à energia nos EUA, *Annual Energy Outlook — AEO2023 (2000–2050)*



Fonte: [EIA \(2023c\)](#).

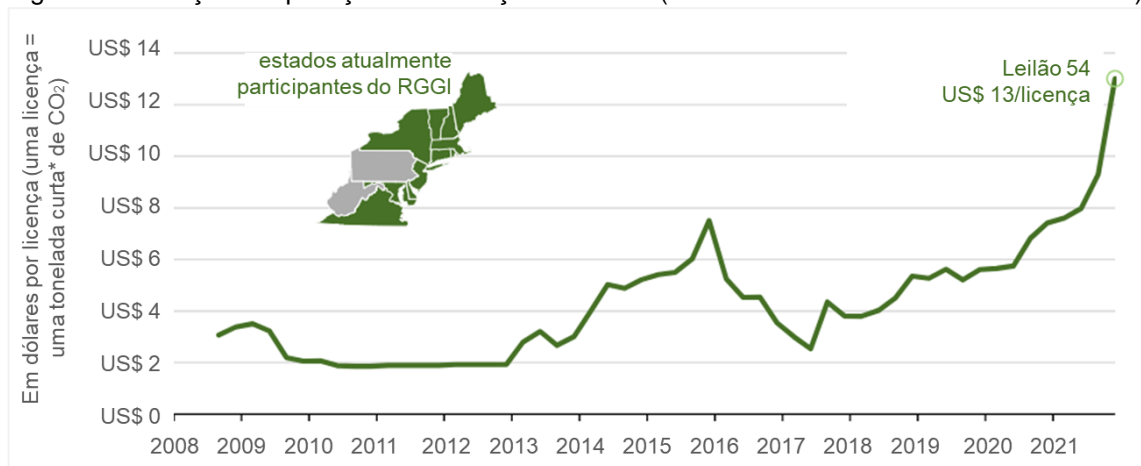
Nota: Caso ZTC de alto crescimento econômico pressupõe que os projetos qualificados recebam o máximo de créditos fiscais e no caso ZTC de baixo crescimento econômico receba apenas o crédito fiscal base. Exemplos de créditos fiscais são créditos de investimento ou de produção.

Aprovada em 2022, a Lei de Redução da Inflação (*IRA — Inflation Reduction Act*) visa impulsionar o aumento das FERs, por meio de subsídios governamentais que permitem deduzir uma porcentagem do custo dos sistemas renováveis ([EIA, 2023c](#)). Além do aumento projetado no consumo de renováveis, os estados americanos devem continuar com os programas de RPS e créditos de eletricidade renováveis, e talvez propor novas políticas para atingir a meta da NDC até 2030.

Algumas políticas que vêm sendo planejadas referem-se à imposição de uma taxa de carbono em toda a economia. Vários estados dos EUA continuam a desenvolver suas próprias iniciativas de precificação de carbono ou fortalecer as existentes. Um exemplo de política para limitar ou reduzir as emissões de CO₂ que vem sendo adotada é a Iniciativa Regional de Gases de Efeito Estufa (*RGGI — Regional Greenhouse Gas Initiative*), política do tipo ETS, na qual os estados vendem as licenças de CO₂ por meio de leilões ([EIA, 2022c](#)).

O leilão da RGGI realizado em dezembro de 2021 resultou em um preço de liquidação de US\$ 13,00 por licença, conforme Figura 31; superando o preço recorde do leilão anterior de US\$ 9,30 por licença. Ele vendeu 27 milhões de licenças para as centrais elétricas emitirem CO₂, gerando US\$ 351 milhões para os estados do RGGI. Conseqüentemente, os Estados podem investir estes fundos em programas que incentivem a eficiência energética e as FERs.

Figura 31 – Preço de liquidação das licenças da RGGI (setembro de 2008 a dezembro de 2021)

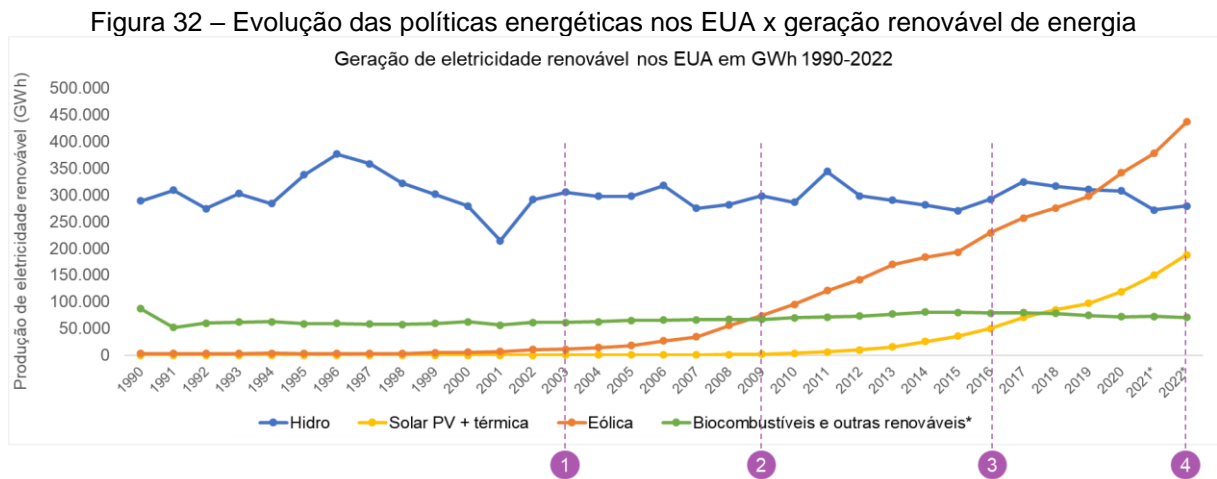


Fonte: [EIA \(2022c\)](#).

*Tonelada curta é a unidade de massa equivalente a 2000 libras.

A análise da Figura 19 do [BM \(2022\)](#) mostra que o ETS formado pelo RGGI até o momento tem contemplado apenas 10% das emissões e o preço cobrado continua baixo de, aproximadamente, 20 US\$/tCO_{2e}, quando comparado ao valor do ETS europeu, que varia de 80 US\$/tCO_{2e} a 100 US\$/tCO_{2e}. Segundo o relatório do [BM \(2022\)](#), a receita arrecadada por meio do sistema de *cap-and-trade* proposto será usada para apoiar os funcionários da indústria de combustíveis fósseis na transição para outros setores.

Nos EUA, apesar de implementarem políticas energéticas como créditos fiscais de apoio às FERs desde 1980, elas não aumentaram a capacidade e geração das FERs até, aproximadamente, 2000, conforme Figura 32.



- 1 Padrão de Portfólio Renovável – (*Renewable Portfolio Standards – RPS*) – 2003 – Nível federal: é um regulamento que requer o aumento da produção de energia a partir de FERs. O RPS federal dos EUA é chamado de *Renewable Electricity Standard (RES)*. Os Estados com programas RPS associam certificado de energia renovável (*Renewable Energy Certificate - REC*). Os RECs fornecem um mecanismo para rastrear a quantidade de energia renovável vendida
- 2 Lei Americana de Recuperação e Reinvestimento – 2009 – Autorizou um fundo de US\$ 80 bilhões para programas de P&D e implantação de energia limpa, por exemplo, por meio de crédito fiscal de 30% para a compra e instalação de equipamentos para a produção de eletricidade e aquecimento de água por energia solar
- 3 O percentual de crédito da PTC para os projetos eólicos que iniciaram a construção em 2016 qualificaram-se para 100% do valor total do crédito
- 4 A Lei de Redução da Inflação (*IRA - Inflation Reduction Act*) – 2022 – visa impulsionar o aumento das FERs, por meio de subsídios governamentais que permitem deduzir uma porcentagem do custo dos sistemas renováveis, por exemplo, ITC e PTC, beneficiando, principalmente, projetos solares de pequena escala

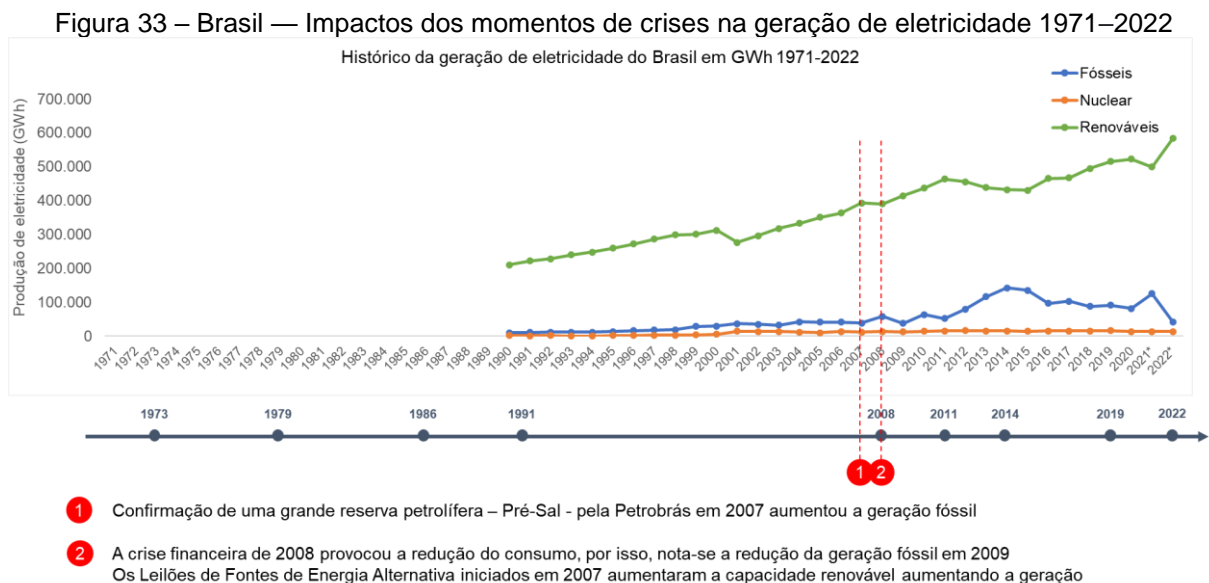
Fonte: Elaboração própria a partir dos dados de geração por fonte da [IEA \(2023d\)](#), dados de 2021 e 2022 da [IEA \(2023c\)](#).

Destaca-se que, devido à queda nos investimentos ocasionada pela crise de 2008, os EUA fizeram a Lei Americana de Recuperação e Reinvestimento, que autorizou um fundo para o programa de P&D e implantação de FERs. Destaca-se também que os EUA têm uma estratégia de RPS, semelhante às quotas, e que varia entre os estados.

Observou-se que a expansão de FERs representa um papel importante na segurança energética e na redução das emissões de GEE. Por isso, além das quotas obrigatórias e dos certificados voluntários, são esperadas novas políticas como taxaço de carbono em toda a economia, cujas receitas obtidas sejam aplicadas em políticas de proteção climática. Os EUA propõem que as receitas provenientes da taxaço de carbono sejam aplicadas em políticas de proteção climática.

3.4 ANÁLISE DAS POLÍTICAS NO BRASIL

A Figura 33 evidencia que as FERs sempre predominaram na geração de eletricidade brasileira, majoritariamente composta por hidrelétricas. Em 2007, foi confirmada pela Petrobrás a reserva petrolífera Pré-Sal, que contribuiu para o aumento da geração fóssil e realizado o 1º Leilão de Fontes Alternativas, seguido por outros leilões, explicando o aumento da geração renovável, composta por energia eólica, solar e biomassa, a partir desta data. Apenas em 2009, ocorreu uma queda na geração fóssil devido à crise de 2008, que afetou e reduziu o consumo a níveis mundiais.



Fonte: Elaboração própria a partir de dados da [IEA \(2023b\)](#), dados de 2021 e 2022 da [IEA \(2023c\)](#).

No contexto do Setor Elétrico Brasileiro (SEB), em 2002, o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas (PROINFA) foi criado para aumentar a geração de eletricidade proveniente de fontes eólica, biomassa e Pequenas Centrais Hidrelétricas

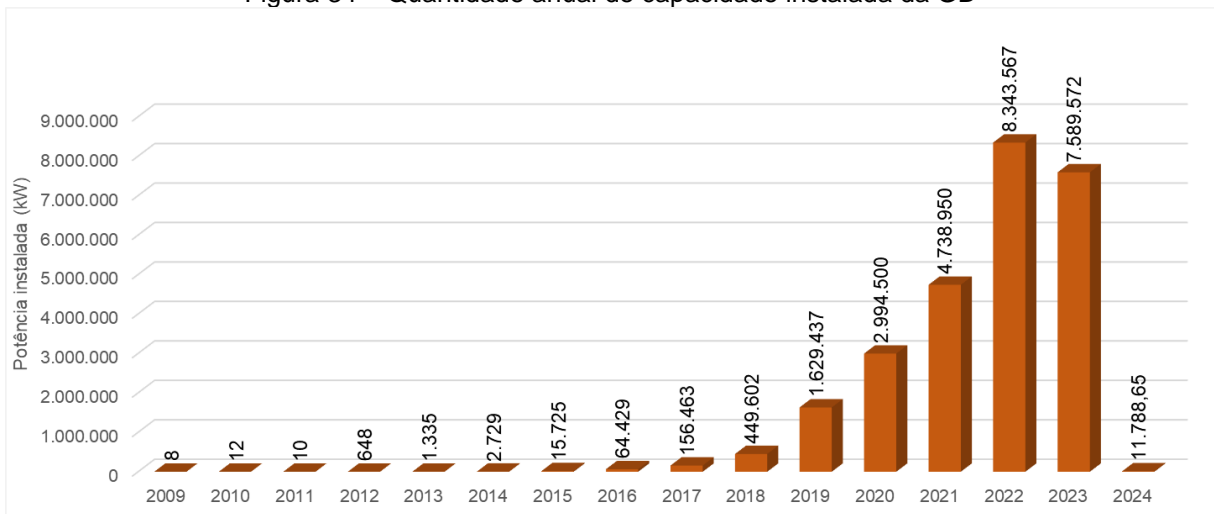
(PCHs). Segundo a Câmara de Comercialização de Energia Elétrica — [CCEE \(s.d.\)](#), os principais objetivos desta política foram: promover a diversificação das fontes de geração de energia elétrica, para aumentar a segurança no abastecimento ([Carvalho et al., 2020](#)). Como consequência desta política, estimulou-se a implantação de empreendimentos eólicos.

A aquisição de energia elétrica pelas concessionárias de distribuição para atendimento dos consumidores deve ser conduzida, segundo a regulação vigente desde 2004, por meio de licitações. A comercialização das FERs no Brasil em muitos casos é realizada em leilões específicos para essas fontes. Além dos leilões, destacam-se outras formas de comercialização dessas fontes como GD, acordos de compra e venda, e selos verdes.

A Resolução Normativa n.º 482 de 2012 da ANEEL, criou uma classe de geradores e consumidores: a microgeração e minigeração distribuída (MMGD), na qual o consumidor pode gerar eletricidade em pequena escala a partir de FERs, se conectar a sistemas de distribuição em todo o país e fornecer o excedente de energia gerado ([ANEEL, 2019](#)). Em 2019, a ANEEL decidiu pela revisão das regras de GD da REN n.º 482 de 2012, considerando os avanços das FERs e a competitividade dos últimos anos ([ANEEL, 2019](#)).

O Projeto de Lei (PL) nº 5.829 de 2019 foi aprovado por meio da Lei nº 14.300 em 2022, instituindo o Marco Legal da GD. Aponta-se que o Marco trouxe segurança jurídica ao setor de GD, o qual vem crescendo anualmente, conforme Figura 34, visto que antes ele era regulamentado por resoluções da ANEEL. Além disso, dentre as principais mudanças, o Marco institui que os novos consumidores da GD paguem pela Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição (TUSD), a partir de 2023, o que explica o número elevado em nova capacidade em 2022. De acordo com dados da [ANEEL \(2024\)](#), a geração de GD é majoritariamente composta por energia solar, superior a 98% de toda a potência instalada, por isso, pode-se concluir que apesar de incentivar a geração e consumo de FERs, o sucesso da GD pode ser atribuído a fonte solar fotovoltaica.

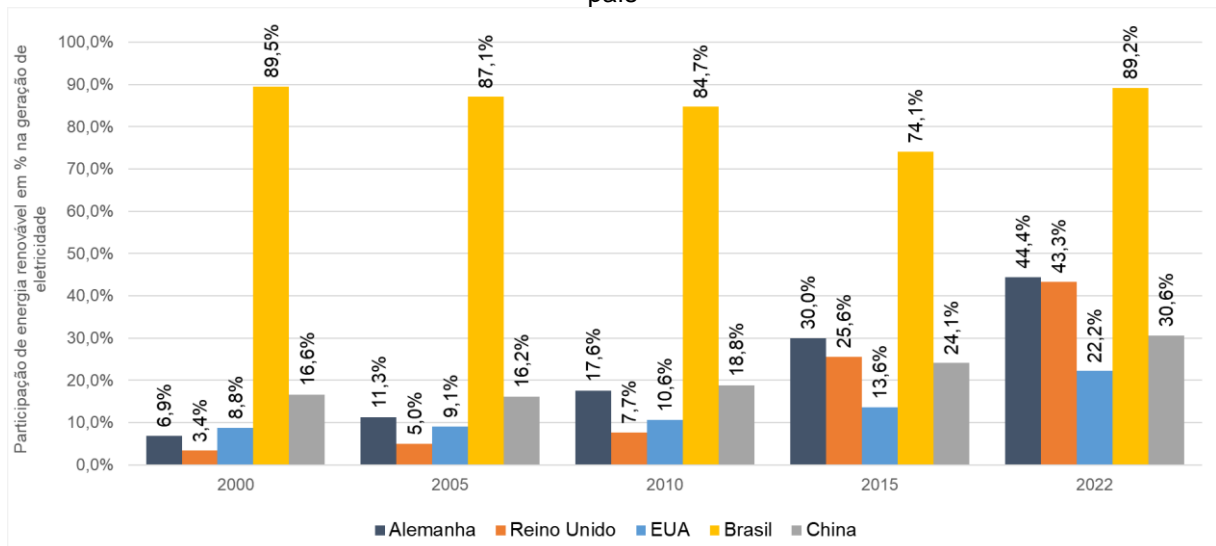
Figura 34 – Quantidade anual de capacidade instalada da GD



Fonte: Elaboração própria a partir de dados da [ANEEL \(2024\)](#).

Ressalta-se que o Brasil é um dos países que possui a maior vantagem para fazer a transição energética, devido à abundância de recursos renováveis. Quando comparado aos outros países presentes nas análises, o Brasil se destaca por já possuir a matriz elétrica altamente renovável, conforme Figura 35.

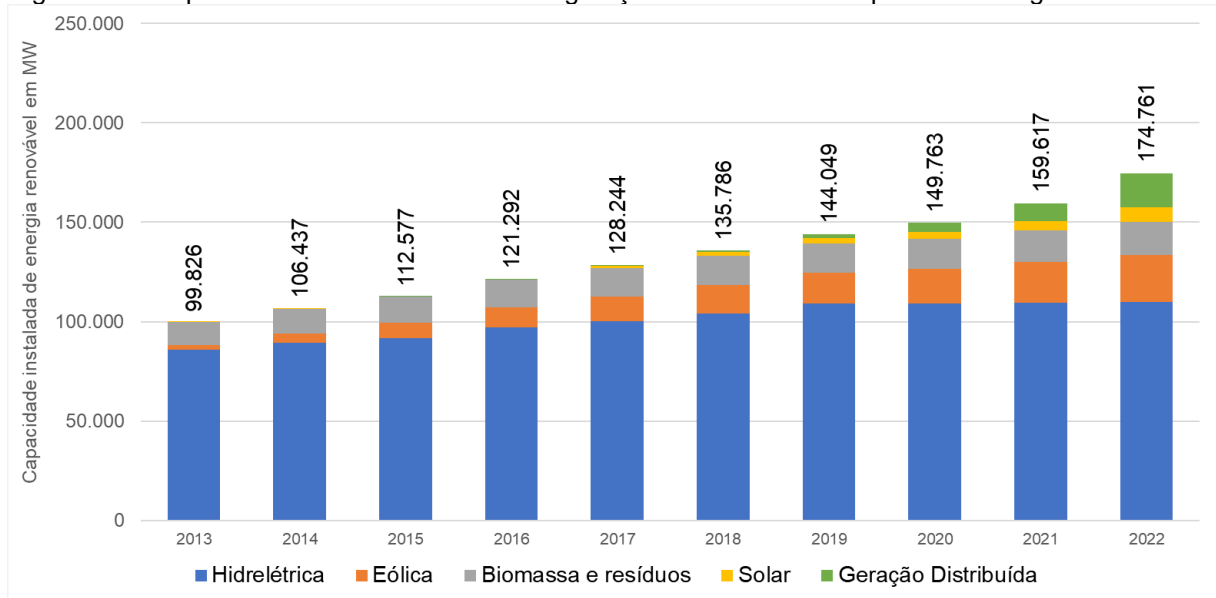
Figura 35 – Participação de energias renováveis na produção de eletricidade entre 2000 e 2022 por país



Fonte: Elaboração própria a partir de dados do [Enerdata \(2023\)](#).

Em relação à capacidade instalada, Figura 36, de acordo com da [EPE \(2023b\)](#), em 1990, a energia hidrelétrica era responsável por 86%, o restante era energia térmica (13%) e nuclear (1%); em 2015, as hidrelétricas passaram a representar 65%, as térmicas 28%, sendo 9% biomassa, e a energia eólica 5%.

Figura 36 – Capacidade instalada do Brasil de geração de eletricidade a partir de energias renováveis



Fonte: Elaboração própria a partir de dados da [EPE \(2023b\)](#).

Em 2022, a capacidade elétrica apresentava alterações mais relevantes, sendo 53% de energia hidrelétrica, 12% de eólica, 12% solar, 22% térmicas (sendo 8% biomassa) e 1% nuclear; evidenciando o aumento constante da energia eólica e solar, esta última representada, principalmente, pela GD.

Além do setor elétrico, o Brasil se destaca no setor energético por sua grande parcela de fontes renováveis em comparação com a matriz de energia do mundo. Segundo o Balanço Energético Nacional (BEN) de 2023 da Empresa de Pesquisa Energética — [EPE \(2023c\)](#), com ano base 2022, a participação de FERs na matriz energética brasileira aumentou de 45,0% em 2021 para 47,4% em 2022. Porém, em função da escassez hídrica de 2021, esse número foi abaixo dos 48,5% de 2020; ainda assim muito superior à média mundial de 14,1% em 2020. Há ênfase na biomassa da cana e hidrelétrica, responsáveis, respectivamente, por 15,4% e 12,5%. Ressalta-se que o cenário de 2021 foi circunstancial e a tendência de aumento de térmicas foi revertida em 2022.

Contudo, ressalta-se que a matriz energética brasileira ainda é majoritariamente não renovável, composta por 35,7% de petróleo e derivados, 10,5% de gás natural e 4,6% de carvão mineral. De acordo com dados [EPE \(2023c\)](#), em 2022, foram emitidos 423 milhões de toneladas de CO₂ equivalente⁷. Os principais

⁷ Equivalência de CO₂ dada pela métrica do potencial de aquecimento global, *GWP* — *Global Warming Potential*, por 100 anos, de acordo com o quinto Relatório de Avaliação (*AR5* — *Fifth Assessment Report*) do IPCC.

setores responsáveis pelas emissões foram o de transporte (49,7%), seguido pelo industrial (18,1%), residencial (4,4%) e outros setores (27,7%), sendo este último composto pelos setores agropecuário, serviços, energético e elétrico.

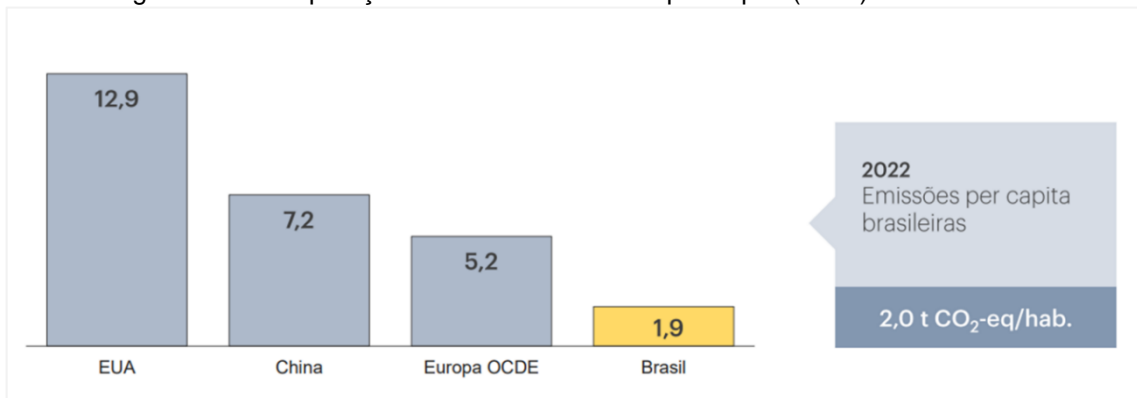
Os setores de transportes e industrial são os que mais emitem GEE. Por isso, foi estabelecida a criação de um mercado voluntário por meio de Certificados de Energias Renováveis (*REC — Renewable Energy Certificate*), cujo foco é aproveitar a renovabilidade do setor elétrico e conectar outros setores para criar um mercado de comércio de energia, aproveitando os benefícios ambientais e econômicos das FERs. Observa-se que o mercado deve integrar todos os setores econômicos, além do SEB, para permitir que haja um equilíbrio entre a oferta e a demanda, e promover uma transição energética inclusiva em torno de todos os setores energéticos.

Além do mercado voluntário, dois processos consideram implementar um ETS no Brasil. Um deles é chamado “Consideração dos Benefícios Ambientais no Setor Elétrico” da Lei n.º 14.120⁸ de 2021, coordenado pela EPE e pelo Ministério de Minas e Energia (MME); o outro processo é a discussão do Projeto de Lei n.º 528⁹ de 2021, que criaria o Mercado Brasileiro de Reduções de Emissões ([BM, 2022](#)).

Se o mecanismo de mercado for criado adequadamente, o Brasil tem a oportunidade de ser até mesmo um exportador de créditos de carbono para outros países que sejam grandes emissores de GEE. Quando comparado com os outros países das análises, o Brasil fica muito abaixo no número de emissões, conforme Figura 37. Em média, na produção e no consumo de energia, cada brasileiro emite o equivalente a 14,5% de um cidadão dos EUA, 26% de um cidadão da China e 36% de um cidadão da União Europeia ([EPE, 2023c](#)).

⁸ Lei n.º 14.120, disponível em https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2021/lei/L14120.htm#:~:text=De%201%C2%BA%20de%20setembro%20de,de%20distribui%C3%A7%C3%A3o%20conectadas%20ao%20SIN.

⁹ Projeto de Lei n.º 528, disponível em <https://www.camara.leg.br/propostas-legislativas/2270639>

Figura 37 – Comparação de Emissões de CO₂ per capita (2020) em tCO₂/hab.

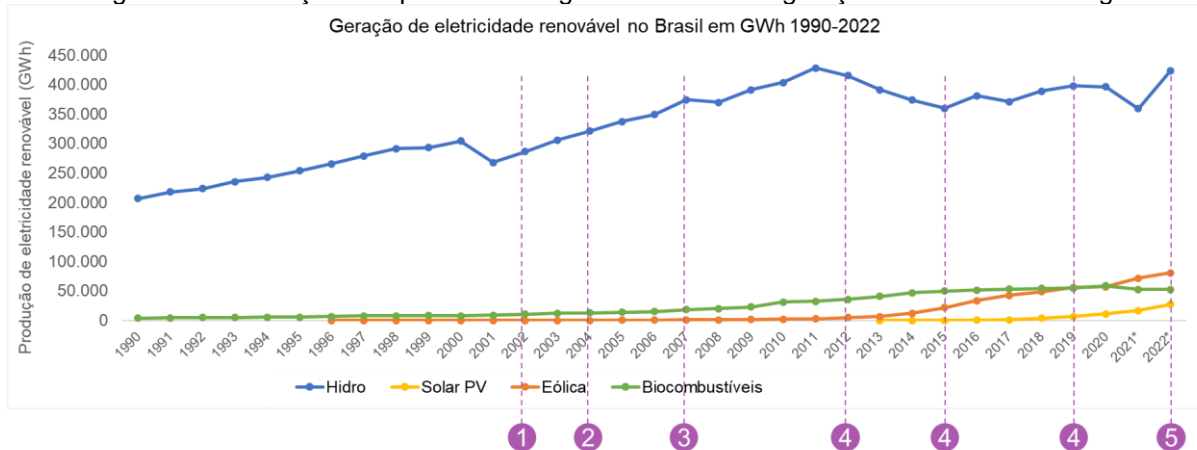
Fonte: [EPE \(2023c\)](#).

No Brasil, houve sucesso no aumento da participação de FERs, com suas políticas de incentivo que começaram com o Proinfa, leilões de tecnologias renováveis e desconto nos custos da rede para transmissão e distribuição para FERs. Porém, as fontes renováveis estão cada vez mais viáveis economicamente, então deve-se implementar regras de saída para essas políticas de incentivos. Além disso, tais incentivos causaram o aumento dos subsídios cruzados, prejudicando os consumidores que ainda fazem parte da rede.

A Lei n.º 14.120 de 2021 estabelece a eliminação gradual dos subsídios em novos empreendimentos presentes nas Tarifas de Uso dos Sistemas Elétricos de Transmissão (TUST) e Tarifas de Uso dos Sistemas Elétricos de Distribuição (TUSD). Tais subsídios são vistos como desnecessários, pois as FERs possuem boa participação no setor; e inviáveis, visto que impactam as tarifas dos consumidores de energia.

No Brasil, a abundância de recursos energéticos reduz a pressão sobre o sistema. Ressalta-se que o abastecimento não está em risco, porém, existe um desafio em desenvolver a expansão da geração energética que considere todas as fontes. É notável as políticas adotadas para diversificação da matriz elétrica. Apesar de ser majoritariamente hidrelétrica, tem sido crescente a participação de renováveis, além da geração distribuída, conforme Figura 38.

Figura 38 – Evolução das políticas energéticas no Brasil x geração renovável de energia



- 1 Proinfa – 2002 – Aumentar a geração de eletricidade proveniente de fontes eólica, biomassa e PCH
- 2 Novo Modelo do Setor Elétrico – NMSE – 2004 – Estabeleceu a contratação de energia por meio de leilões de energia
- 3 Leilões de FERs – a partir de 2007
- 4 Resolução Normativa REN 482
 - 2012 – Criação da geração distribuída (GD)
 - 2015 – Expansão da GD, principalmente, em residências, instalações industriais e comerciais
 - 2019 – Revisão da REN 482 para reduzir os subsídios da GD
- 5 Marco Legal da GD – 2022 – Conjunto de normas e regulamentações estabelecidas para orientar a expansão da GD

Fonte: Elaboração própria a partir dos dados de geração por fonte da [IEA \(2023d\)](#), dados de 2021 e 2022 da [IEA \(2023c\)](#).

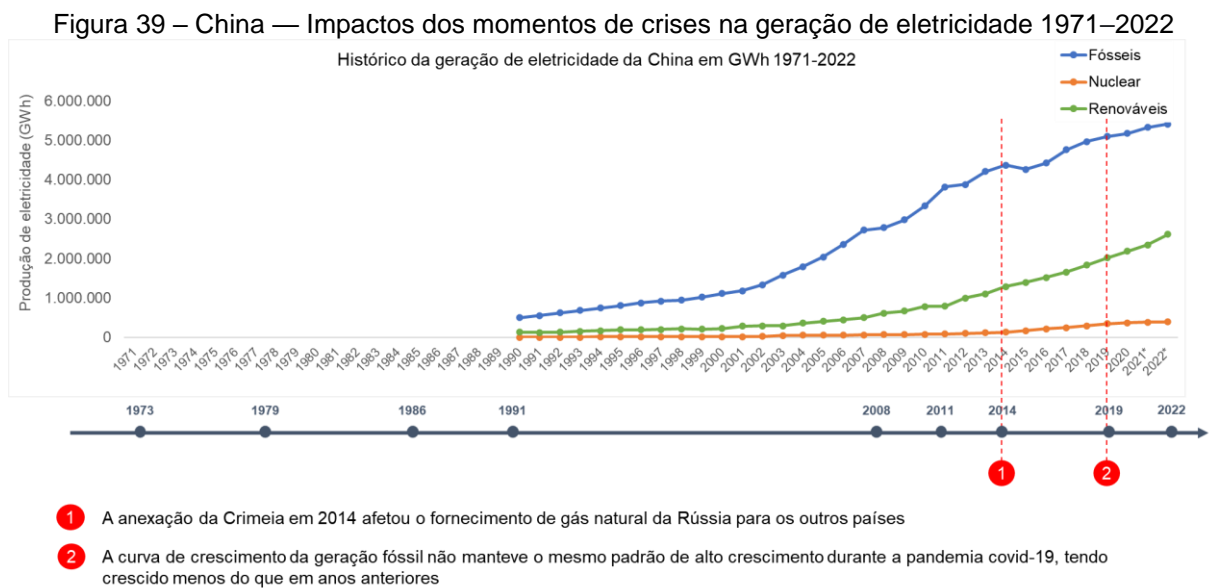
A experiência brasileira mostra a importância das políticas energéticas para estimular a diversificação da matriz, porém, é essencial que tais políticas tenham início, meio e fim para não prejudicar os principais envolvidos, ou seja, os consumidores. Discussões realizadas pela EPE propuseram um mercado de certificados, uma vez que ele já existe de forma voluntária.

É apontado que um mercado de carbono regulado que abrange toda a economia, considerando emissões diretas e indiretas, seria o mais adequado para a consideração dos benefícios ambientais das FERs. Assim como na experiência alemã, o Brasil também vem discutindo a criação de um mercado de energia nacional envolvendo todos os setores econômicos, cujo objetivo seria garantir a lei da oferta e da procura; e indo mais além, quando se propõe a criar um mercado internacional, em que atuará como um fornecedor de créditos de energia renovável.

3.5 ANÁLISE DAS POLÍTICAS NA CHINA

A China foi afetada por duas crises globais, principalmente, em termos de energia, a anexação da Crimeia em 2014 e a pandemia covid-19, conforme Figura 39.

As tensões de 2014 causaram interrupções no fornecimento de gás, explicando a queda na curva de geração fóssil. A covid-19 estagnou e, em alguns casos, diminuiu o crescimento econômico dos países. Contudo, a China continuou crescendo, mas nota-se que a geração de energia não manteve os ritmos de crescimento anteriores, especialmente, a geração fóssil, explicada pela redução da mobilidade devido aos *lockdowns*.



Fonte: Elaboração própria a partir de dados da [IEA \(2023b\)](#), dados de 2021 e 2022 da [IEA \(2023c\)](#).

Antes da década de 1980, o desenvolvimento de FER na China se concentrou, principalmente, na utilização de energia hidrelétrica e energia de biomassa rural. Após esse período, na década de 1980, surgiu na China um ambiente político em favor do crescimento das FERs, com destaque para a Lei Agrícola da República Popular da China (RPC) de 1983, que estimulava o uso da palha na produção agrícola para fornecer energia; a Lei das Águas da RPC, promulgada em 1988, a qual incentivou a exploração dos recursos hidrelétricos; o Parecer sobre o Fortalecimento da Construção de Energia Rural, que propôs um planejamento de longo prazo para o desenvolvimento de energia rural ([Andrews-Speed, 2015](#); [Fan et al., 2018](#)).

Além da formulação de políticas norteadoras, a partir da década de 1980 a China passou a usar incentivos econômicos para apoiar o desenvolvimento de FERs. Por exemplo, subsídios em termos de 50% da taxa de juros em relação à “*fabricação de turbinas, construção de usinas eólicas, produção de células fotovoltaicas, produção*

de aquecedor solar de água, geração de energia com bagaço e outros projetos” ([Fan et al., 2018, p.3](#)).

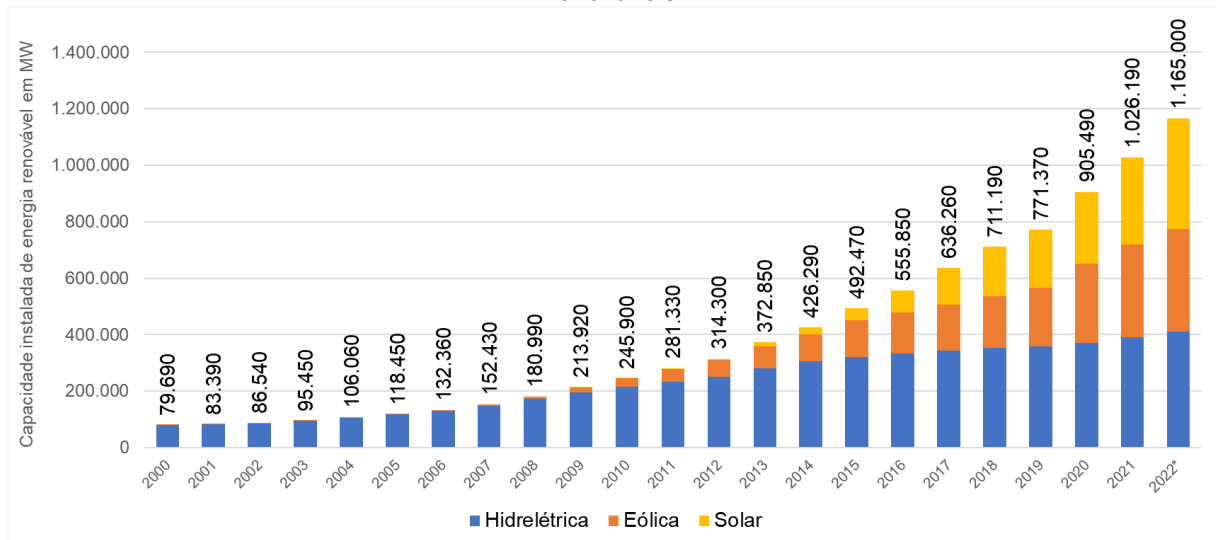
Em março de 1999, o governo chinês chegou a um acordo com o Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD) para fortalecer a capacidade de comercialização de FER na China por meio do Fundo Global para o Meio Ambiente (*GEF — Global Environment Facility*). Com a escassez de recursos energéticos, especialmente, em virtude das crescentes altas nos preços do petróleo em 2003 e a poluição ambiental se intensificando, a China passou a focar no aumento da participação de FER, a partir dos anos 2000 ([Andrews-Speed, 2015](#)).

Em 2005, foi adotada a Lei de Energias Renováveis, a qual estipulava que o estado deveria organizar o desenvolvimento e a utilização de FERs como prioridade na área de desenvolvimento de energia, e promover o estabelecimento e desenvolvimento de mercados de FERs, formulando metas de quantidade de FERs ([Fan et al., 2018](#)). Havia uma orientação clara para a tarifa *feed-in* da eletricidade proveniente de FER, as quais passaram a ser implementadas em apoio a projetos eólicos e solares; assim como estímulos por meio da redução de impostos para geradores de FER.

A China também instaurou políticas de leilões; duas rodadas de licitação para concessões de energia solar fotovoltaica de grande escala foram realizadas em 2009 e 2010. Além disso, o governo introduziu as primeiras FITs para energia solar fotovoltaica em 2011 ([Andrews-Speed, 2015](#)). Nos últimos anos, a China introduziu uma série de políticas de apoio relacionadas ao desenvolvimento de FERs, entre as quais destacam-se o RPS e o sistema de Comércio de Certificados Verdes (*TGC — Tradable Green Certificate*) para promover o consumo e a produção de energia renovável ([Song, 2020, p.1](#)).

Conforme apontado, as políticas de licitações e *feed-in* foram implementadas a partir de 2010. Essas políticas foram adotadas para promover um efetivo aumento na participação de renováveis, visto que as políticas criadas até os anos 2000 eram tidas como políticas norteadoras. Por isso, a capacidade instalada de FER teve um grande aumento no período entre 2000 e 2022, como mostra a Figura 40.

Figura 40 – Capacidade instalada chinesa (MW) de geração de eletricidade a partir de energias renováveis



Fonte: Elaboração própria a partir de dados do [NBS \(2023a\)](#), *dados de 2022 aproximados com base nas informações de capacidade do [CEC \(2023\)](#).

A energia eólica em 2010 era responsável por 3% da capacidade instalada, formada majoritariamente por 73% de fontes térmicas e 22% de hidrelétricas. Em 2022, a energia eólica representou 14% da capacidade instalada total e a energia solar, que em 2010 era inexpressiva, passou a responder por 15%; enquanto as fontes térmicas caíram para 52%. A capacidade de energia renovável passou de 25% em 2000 para 46% em 2022, com evolução, principalmente, das fontes eólicas e solar.

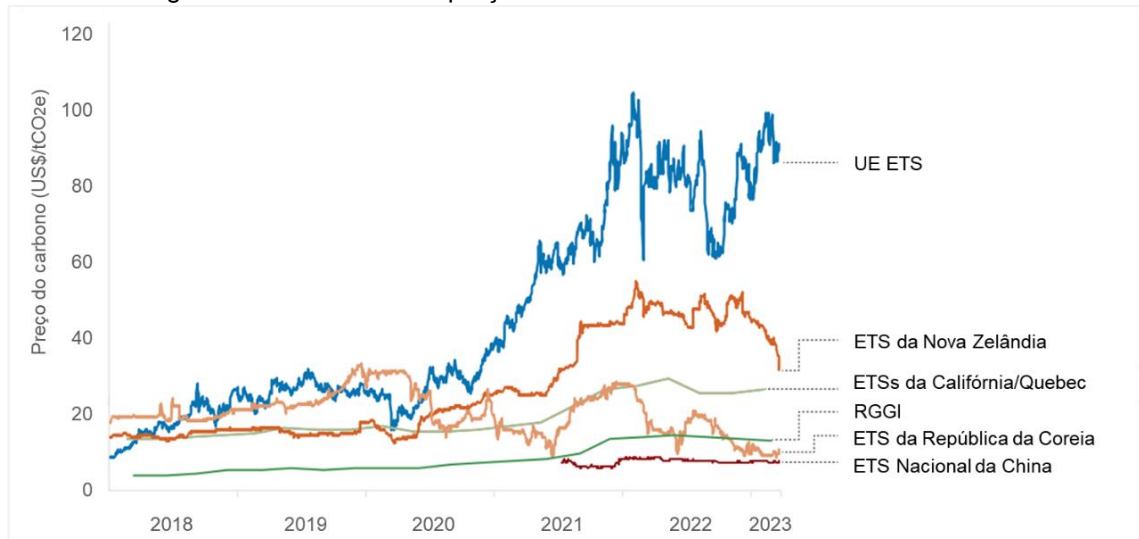
Em 2017, a Comissão Nacional de Desenvolvimento e Reforma (*NDRC — National Development and Reform Commission*), o Ministério da Fazenda (*MOF — Ministry of Finance*) e a Agência Nacional de Energia (*NEA — National Energy Agency*) emitiram em conjunto o Aviso sobre a Certificação e Assinatura Voluntária de Certificados de Eletricidade Verde para Energia Renovável. Foi estabelecido que órgãos governamentais, empresas e instituições, organizações sociais e indivíduos são incentivados a assinar voluntariamente os certificados verdes de eletricidade na Plataforma de Negociação de Certificado Verde, como prova do consumo de eletricidade verde. Este projeto deu início, a partir de 2018, às quotas de eletricidade de energia renovável e à transação obrigatória de certificado de eletricidade verde ([Song, 2020](#)).

Segundo dados da [S&P Global \(2022\)](#), foram emitidos 34,08 milhões de Certificados de Eletricidade Verde (*GEC — Green Electricity Certificate*) eólicos e 12,45 milhões de GECs solares fotovoltaicos até julho de 2022. Contudo, apenas 1,05 milhão de GECs eólicos e 2,05 milhões de GECs solares fotovoltaicos foram

adquiridos, representando, respectivamente, 3,1% e 16,5% do volume total emitido. Entre os motivos para a baixa procura está o fato de quando o mecanismo ter sido lançado, os produtores de energia podiam optar por emitir GEC ou aceitar o subsídio governamental para FERs, por isso, eles estavam inicialmente relutantes em vender GECs a preços inferiores aos subsídios a que tinham direito ([S&P Global, 2022](#)).

Em 2021, a China implementou seu comércio ETS, o qual ainda apresenta preços inferiores aos principais ETSs existentes, conforme Figura 41. Embora os preços das licenças de emissão permaneçam relativamente baixos em comparação com outros ETSs; muitas centrais hidrelétricas participam desse mercado, cobrindo mais de 30% das emissões totais de GEE da China ([BM, 2022](#)).

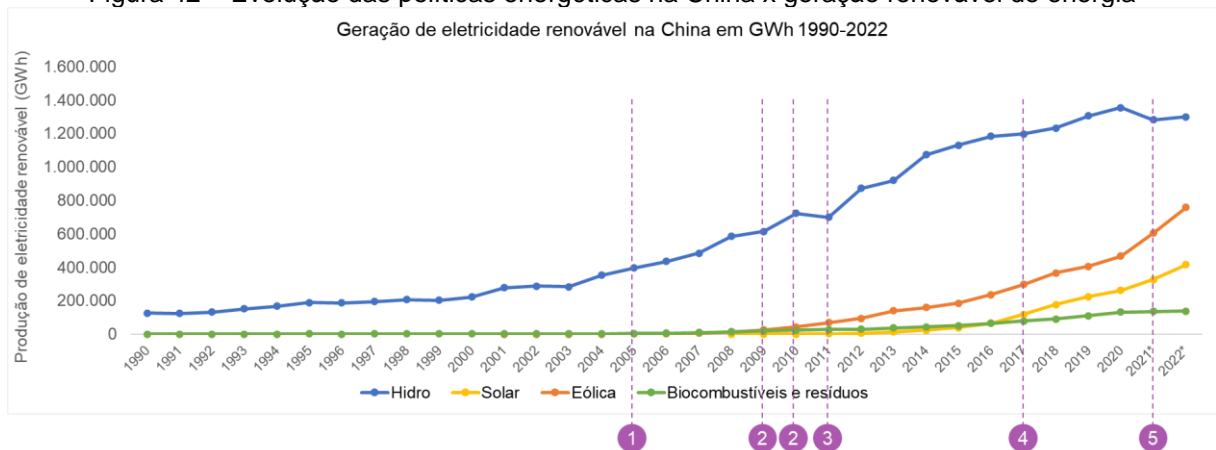
Figura 41 – Histórico dos preços dos ETSs selecionados de 2018 a 2022



Fonte: [BM \(2023\)](#).

A China teve políticas de leilões e tarifas FIT, que foram implementadas a partir de 2010. Essas políticas foram adotadas para promover um aumento efetivo na participação de FERs, uma vez que as políticas criadas até os anos 2000 eram tidas como políticas norteadoras, conforme Figura 42. A partir de 2010, começou a ocorrer o aumento expressivo da capacidade das FERs.

Figura 42 – Evolução das políticas energéticas na China x geração renovável de energia



- 1 Lei das Energias Renováveis – 2005 – O Estado deveria organizar o desenvolvimento e a utilização de FERs como prioridade na área de desenvolvimento de energia, e promover o estabelecimento e desenvolvimento de mercados de FERs, formulando metas de quantidade total de FER
- 2 Licitações para energia solar
- 3 Tarifas *feed-in* para energia solar – 2011
- 4 Certificados de eletricidade verde – lançado em 2017, os preços dos certificados concorreram com os subsídios
- 5 Implementação do ETS Nacional da China

Fonte: Elaboração própria a partir dos dados de geração por fonte da [IEA \(2023d\)](#), dados de 2021 e 2022 da [IEA \(2023c\)](#).

Ressalta-se que a China criou uma plataforma de negociação de certificados verdes em 2017 e um mecanismo de ETS nacional em 2021, dando às novas políticas um caráter centralizador, onde o governo central exerce o papel de planejador do setor.

4 A GUERRA RÚSSIA–UCRÂNIA E OS IMPACTOS NA TRANSIÇÃO ENERGÉTICA

A guerra Rússia–Ucrânia (GRU) iniciou-se num momento em que os formuladores de políticas da União Europeia (UE) já discutiam metas de energia renovável no âmbito do pacote “Objetivo 55¹⁰” (*Fit for 55*), composto por diversas medidas políticas. Dentre elas, por exemplo, o Mecanismo de Ajuste Fronteiriço de Carbono (*CBAM — Carbon Border Adjustment Mechanism*), um imposto para precificar as emissões de carbono dos produtos comercializados entre países da UE.

Após a invasão da Ucrânia pela Rússia, a segurança energética surgiu como uma forte motivação adicional para acelerar a implantação de energia renovável. Segundo a [IEA \(2023a\)](#), muitos países europeus aprovaram ou propuseram planos de ação com metas ainda mais ambiciosas e aumentaram o apoio político às energias renováveis. A Alemanha, por exemplo, aumentou as metas de eletricidade renovável e introduziu volumes de leilão mais altos.

De acordo com dados da [IEA \(2023e\)](#), a Rússia vem sendo o segundo maior exportador de petróleo bruto, atrás da Arábia Saudita. Cerca de 60% das exportações de petróleo da Rússia vão para países da OCDE Europa e 20% vão para a China. Em novembro de 2021, a OCDE importou um total de 4,5 milhões de barris de petróleo por dia da Rússia, 34% de suas importações totais, conforme mostrado no Anexo C. A dependência da UE e do RU no fornecimento de gás russo vem aumentando. Em 2001, a participação russa era de 26%; enquanto em 2021, foi de 32% [IEA \(2023e\)](#). É importante observar que os fluxos via Ucrânia representaram mais de 25% das entregas de gasodutos da Rússia para a UE e o RU em 2021.

A alta inflação e as interrupções na cadeia de suprimentos, resultantes da covid-19 e agravados com a GRU, levou a intervenções governamentais devido aos custos crescentes de energia. A Lei de Redução da Inflação (*IRA — Inflation Reduction Act*) nos Estados Unidos da América (EUA) e o plano *REPowerEU* na Europa são alguns exemplos de políticas adotadas.

¹⁰ O pacote Objetivo 55 é um conjunto de propostas destinadas a rever e atualizar a legislação da UE e a criar iniciativas visando assegurar que as políticas da UE estejam em consonância com os objetivos climáticos acordados pelo Conselho e pelo Parlamento Europeu. Refere-se à meta da UE de reduzir as emissões líquidas de gases com efeito de estufa em, pelo menos, 55% até 2030 (Comissão Europeia).

O estudo de [Zhou et al. \(2023\)](#) analisou o impacto da GRU na segurança energética e alimentar global. Os pesquisadores apontaram a necessidade de aumentar a capacidade de produção e os tipos de energia para resistir ao risco da guerra e pediram que as organizações internacionais equilibrem as demandas globais. Eles apresentaram três recomendações para os países lidarem com as consequências da guerra.

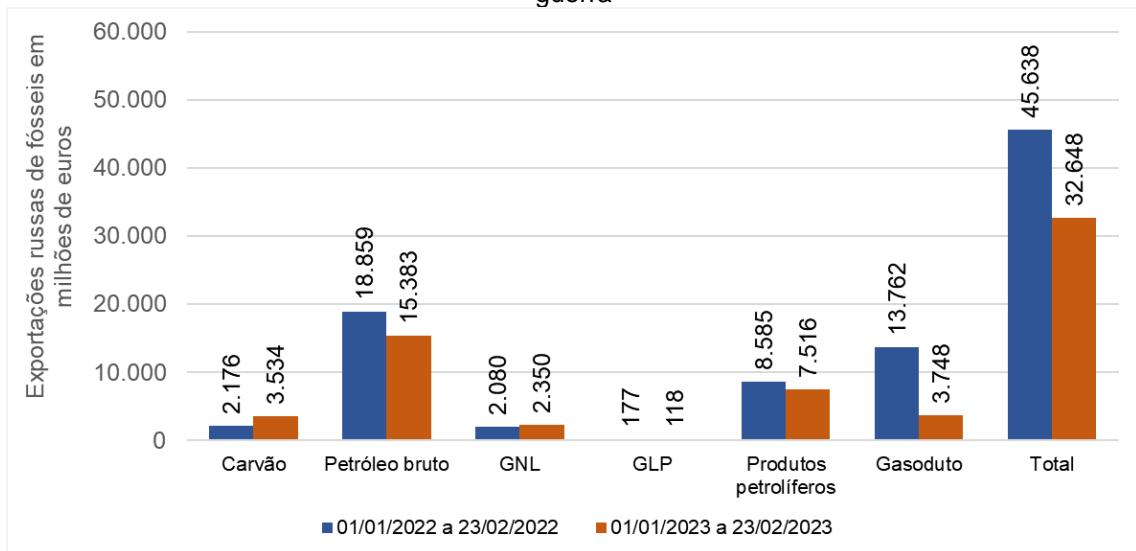
Segundo os autores, em primeiro lugar, os países devem não apenas aumentar o valor das importações dos países exportadores de energia existentes, como também estabelecer relações comerciais de energia recém-criadas com outros países exportadores de energia, além de desenvolver novos recursos energéticos, por exemplo, energia nuclear e eólica. Em segundo lugar, os países exportadores de energia devem aumentar a capacidade de exportar energia para lidar com a crise energética global.

Em terceiro lugar, a guerra não indica a redução absoluta das exportações de energia da Rússia e da Ucrânia. Os países com bom relacionamento com a Rússia podem servir como estação de transferência para o comércio de energia, como a China. Os autores acreditam que a importação de energia da China ainda pode manter um nível normal; enquanto as importações de energia da Alemanha, Itália, Holanda, Japão e Coreia do Sul seriam amplamente reduzidas ([Zhou et al., 2023](#)).

Devido à importância da Rússia como exportador, é importante analisar se com a GRU, as exportações russas aumentaram ou diminuíram em valor e/ou em quantidade. Os dados obtidos são apenas de 2022 e 2023, não sendo possível a obtenção dos dados de 2021, por isso, para comparar os impactos da GRU o período pré-guerra de análise é considerado de 01/01/2022 a 23/02/2022; e o período durante a guerra de 01/01/2023 a 23/02/2023. Para as análises das exportações da Rússia serão usados dados do Centro de Pesquisa em Energia e Ar (*CREA — Center for Research on Energy and Clean Air*), fundado na Finlândia, que criou uma ferramenta de rastreamento dos fósseis russos para detalhar as exportações de energia da Rússia e como elas mudaram após a invasão da Ucrânia.

A Figura 43 mostra o valor exportado total de combustíveis russos pré-guerra, aproximadamente, 46 bilhões de euros, comparado a, aproximadamente, 33 bilhões de euros durante a guerra. Isso aponta que com a GRU, neste período analisado, o valor das exportações da Rússia foi reduzido em quase 13 bilhões de euros. As principais reduções foram nas exportações por meio de gasodutos e de petróleo bruto.

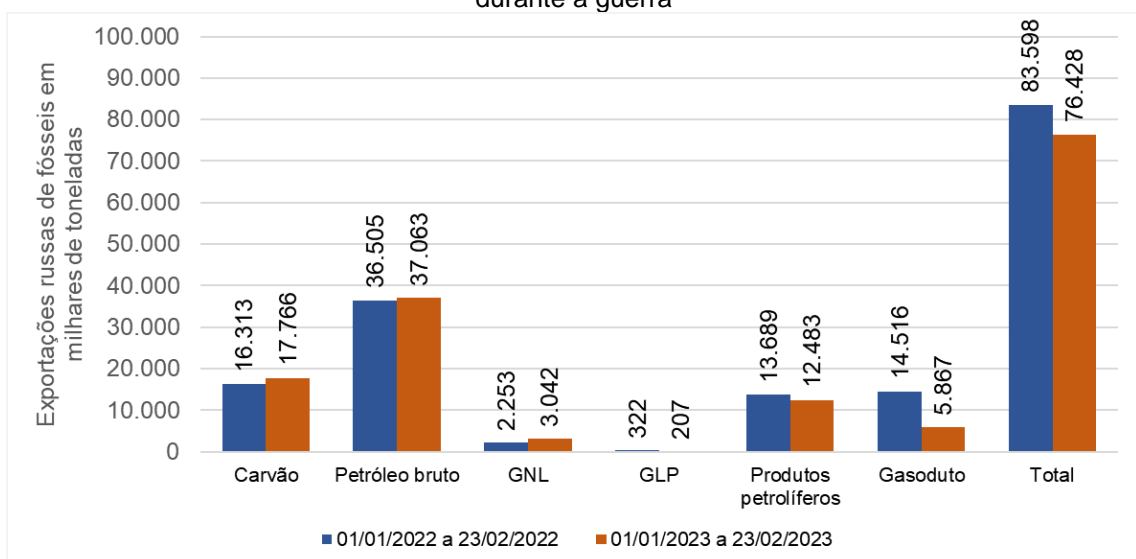
Figura 43 – Exportações de combustíveis russos em valor (milhões de euros) pré-guerra x durante a guerra



Fonte: Elaboração própria a partir de dados do [CREA \(2023\)](#).

A análise da quantidade exportada de combustíveis na Figura 44, também mostra a redução das exportações russas de 83.598 mil toneladas (ton.) pré-guerra, para 76.426 mil ton. durante a guerra. Contudo, nota-se que as exportações de petróleo bruto aumentaram em quantidade, mas diminuíram em valor, apontando uma desvalorização do petróleo russo durante a guerra.

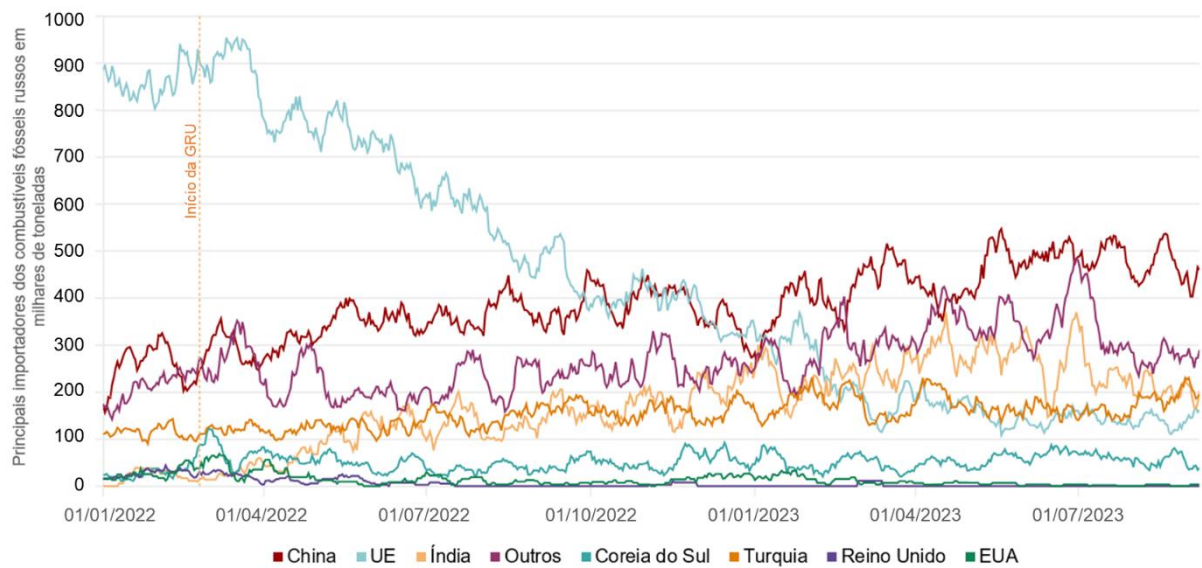
Figura 44 – Exportações de combustíveis russos em quantidade (milhares de toneladas) pré-guerra x durante a guerra



Fonte: Elaboração própria a partir de dados do [CREA \(2023\)](#).

Os principais países importadores dos combustíveis russos antes da GRU eram os membros da UE, conforme Figura 45, seguidos pela China. Porém, após o início da GRU, as importações europeias diminuíram; em contrapartida, as importações da China, Índia e Turquia aumentaram. Além disso, observa-se o aumento das exportações russas para outros países, evidenciando a necessidade da Rússia de diversificar os importadores devido às reduções nas importações da UE.

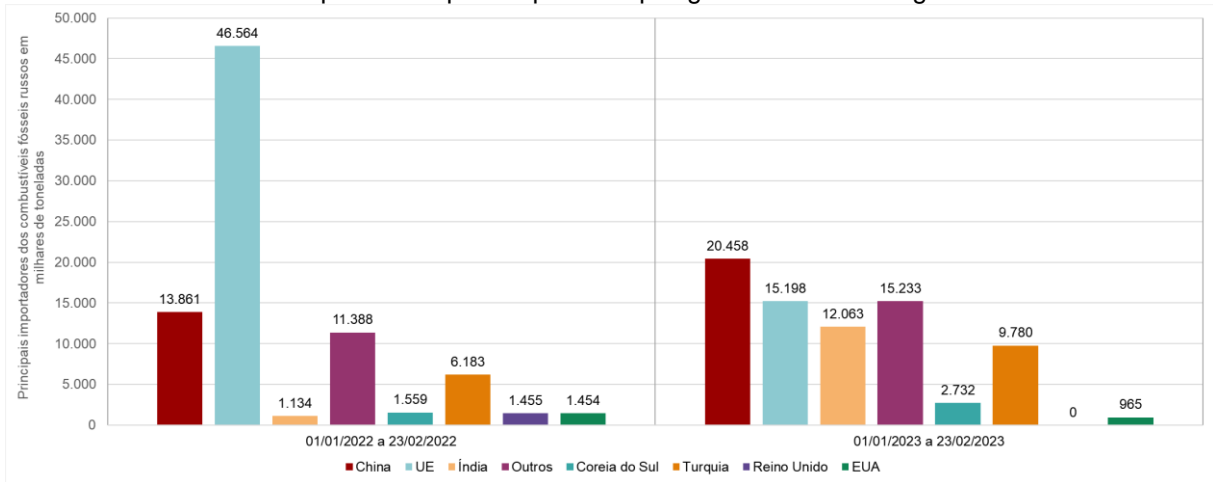
Figura 45 – Fluxo diário das exportações dos combustíveis da Rússia por país importador



Fonte: [CREA \(2023\)](#).

A comparação desse mesmo fluxo comercial em um mesmo período, presente na Figura 46, mostra o aumento das importações da Índia (10.929 mil ton.), China (6.596 mil ton.), Turquia (3.597 mil ton.); bem como a diminuição das importações europeias (31.366 mil ton.), Reino Unido (1.455 mil ton.), EUA (489 mil ton.), gerando um saldo negativo de 7.170 mil toneladas em relação às exportações dos combustíveis russos no período durante a guerra.

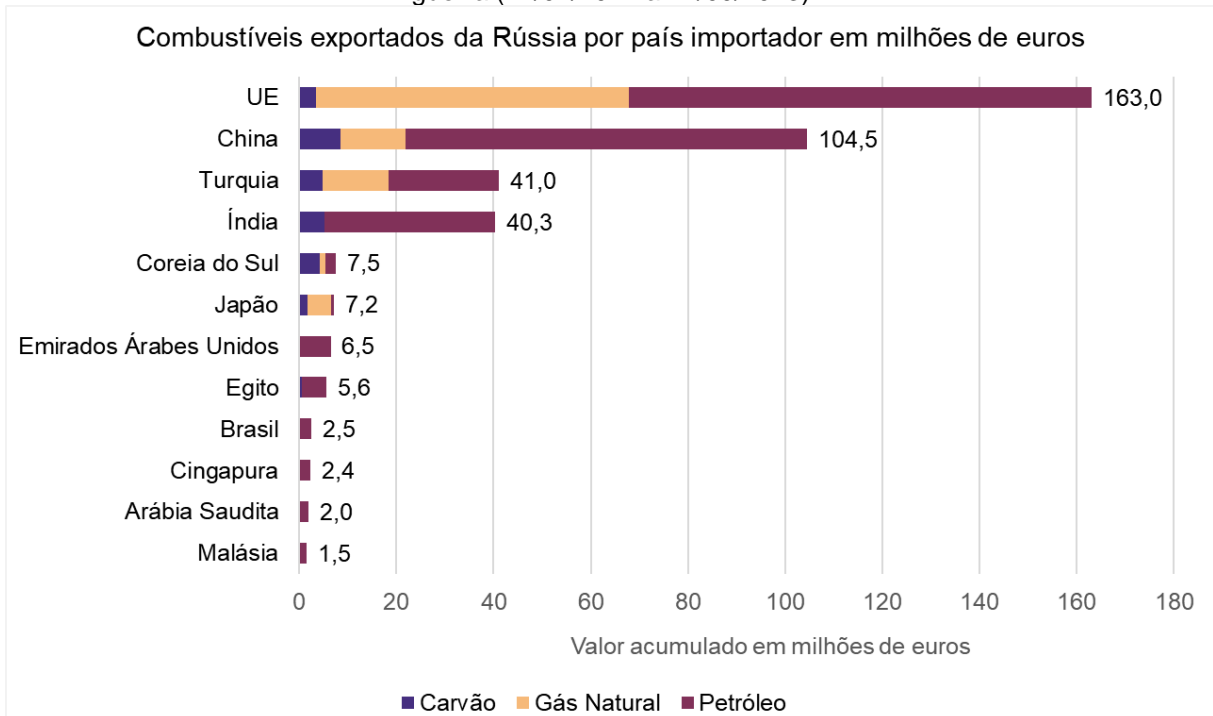
Figura 46 – Comparação da quantidade (milhares de toneladas) de combustíveis exportados pela Rússia para cada país importador pré-guerra x durante a guerra



Fonte: Elaboração própria a partir de dados do [CREA \(2023\)](#).

Após o início da GRU, o petróleo e o gás natural foram os combustíveis mais impactados, pois eram os mais exportados pela Rússia. A Figura 47 mostra a diversificação das exportações russas após a GRU, tendo ainda como principais importadores, China, Índia e Turquia; e comercializando, a partir de 2023, com outros países, por exemplo, Brasil, Cingapura, Arábia Saudita e Malásia.

Figura 47 – Exportações russas por tipo de combustível e por país importador a partir do início da guerra (24/02/2022 a 11/09/2023)

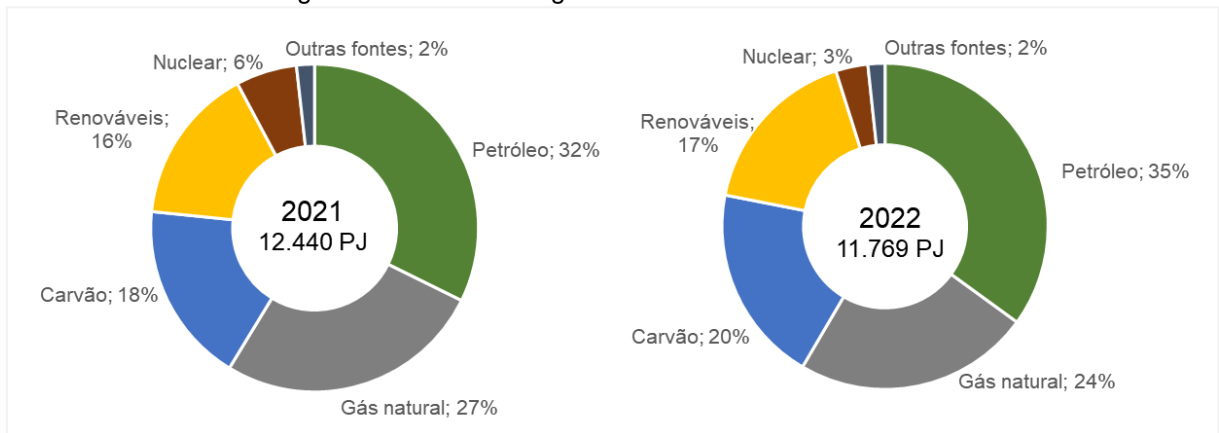


Fonte: Elaboração própria a partir de dados do [CREA \(2023\)](#).

4.1 IMPACTOS DA GUERRA NA ALEMANHA

A matriz energética alemã se constitui majoritariamente por fontes não renováveis, Figura 48. Em 2022, a composição foi de petróleo (35%), gás natural (24%), carvão (20%), renováveis (17%) e nuclear (3%). A variação em relação a 2021 mostra a alta na participação de petróleo e carvão, assim como a queda na participação do gás natural e da energia nuclear.

Figura 48 – Matriz energética da Alemanha 2021 e 2022



Fonte: Elaboração própria a partir de dados do [BDEW* \(2023a\)](#).

*BDEW — Associação Alemã das Indústrias de Energia e Água (*Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft*)

Quando analisadas as quantidades individuais, é observada a queda na variação 2021 e 2022 de 15,7% no gás natural. As variações observadas entre 2021 e 2022 mostram o impacto da guerra e a dependência energética de fontes não renováveis.

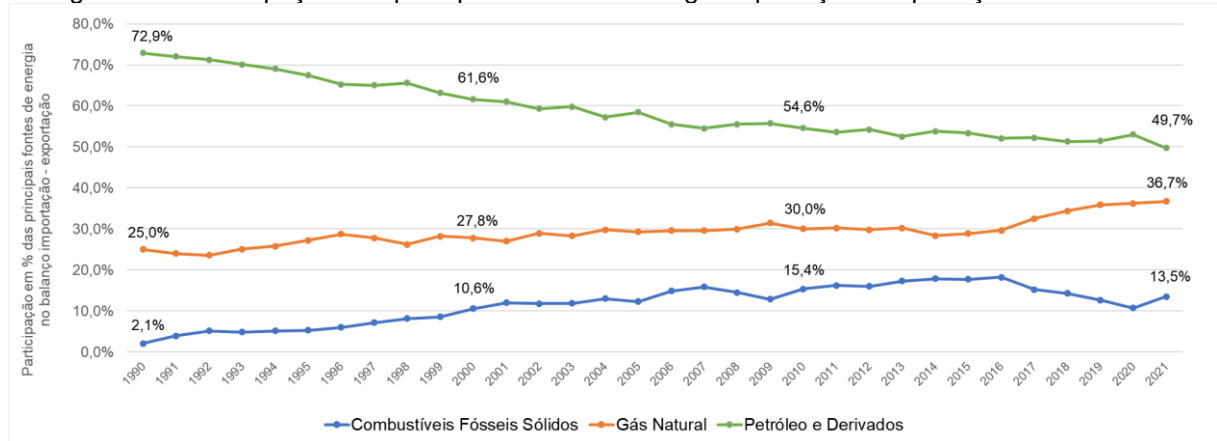
4.1.1 Importações de combustíveis

A evolução das fontes de energia mais importadas¹¹ pela Alemanha é mostrada na Figura 49. Nota-se que a partir da década de 90, ocorreu a diminuição da importação de petróleo e derivados, e a substituição deste combustível por gás natural

¹¹ Observa-se que foi efetuado o equilíbrio entre importação e exportação, uma vez que a pesquisa coletou informações sobre importações, porém, há uma lacuna nos dados de importação de Gás Natural de 2018 a 2021 em todas as fontes consultadas (IEA, EUROSTAT). Em virtude dessa lacuna, optou-se por realizar o balanço entre importação e exportação, uma vez que foi observado que os dados de exportação estão registrados como zero. Dessa forma, presume-se que os dados de importação de 2018 a 2021 estão relacionados ao balanço importação-exportação.

e combustíveis fósseis sólidos. Mesmo assim, em 2021, o petróleo e seus derivados foram os combustíveis mais importados, aproximadamente, 49,7%, seguido pelo gás natural 36,7%.

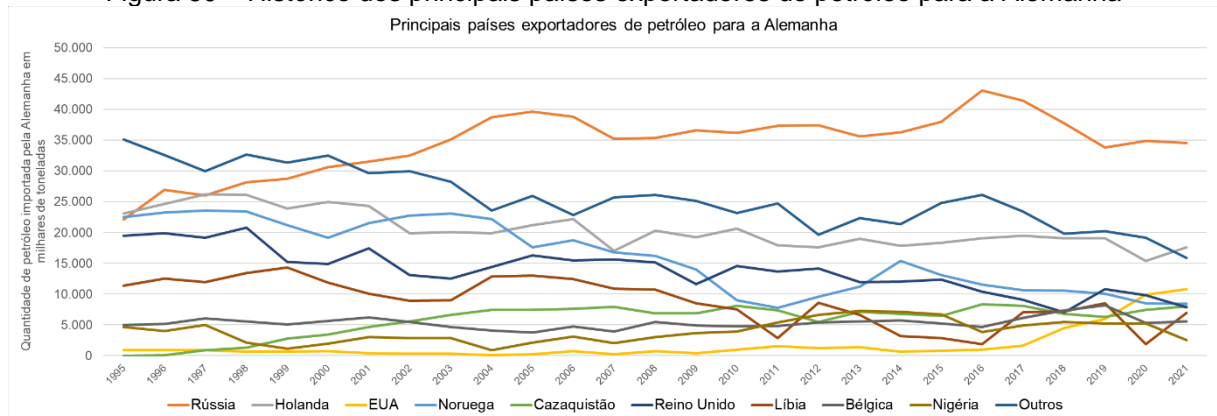
Figura 49 – Participação das principais fontes de energia importação - exportação da Alemanha



Fonte: Elaboração própria a partir de dados da [Eurostat \(2023a\)](#).

Dos países exportadores, a Rússia foi o maior fornecedor de petróleo (~29% do total de países exportadores em 2021) para a Alemanha em 2021, conforme mostrado na Figura 50. Em 2021, 15% do petróleo importado pela Alemanha veio da Holanda, 9% dos EUA e 7% da Noruega. Ocorreu o aumento na importação de petróleo proveniente da Rússia de 1995 a 2021, mostrando a dependência do petróleo russo.

Figura 50 – Histórico dos principais países exportadores de petróleo para a Alemanha

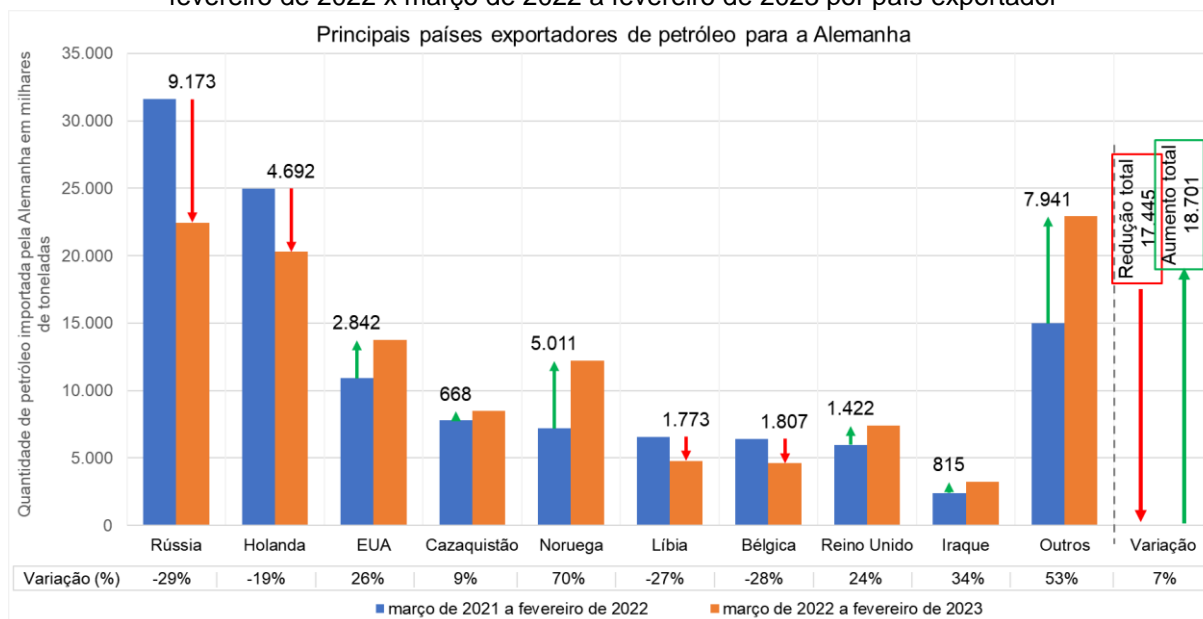


Fonte: Elaboração própria a partir de dados da [Eurostat \(2023b\)](#).

A análise de um mesmo período entre 2021 a 2023 mostra as mudanças provocadas nas importações devido à GRU. No caso do petróleo, a obtenção de dados de março de 2021 a fevereiro de 2022, período pré-guerra iniciada em 24 de

fevereiro de 2022; e de março de 2022 a fevereiro de 2023, período durante a guerra, da quantidade importada pela Alemanha dos seus principais exportadores mostra o quanto a guerra impactou as importações, visto que a Rússia era o principal exportador de petróleo para a Alemanha, como mostrado Figura 51.

Figura 51 – Comparação da quantidade de petróleo importada pela Alemanha de março de 2021 a fevereiro de 2022 x março de 2022 a fevereiro de 2023 por país exportador



Fonte: Elaboração própria a partir de dados do [Destatis \(2023a\)](#).

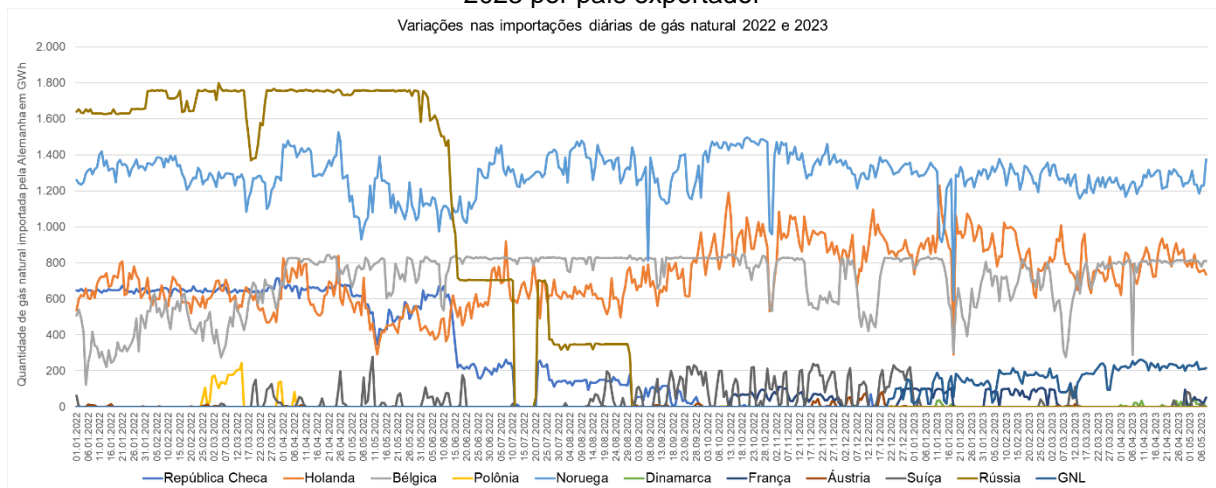
A análise dos principais importadores mostra o aumento da importação de petróleo pela Alemanha, principalmente, da Noruega (5.011 mil ton.), EUA (2.842 mil ton.), RU (1.422 mil ton.) e de outros países (7.941 mil ton.). A redução de petróleo importada da Rússia foi de 9.173 mil ton., ou seja, quase a soma do aumento da importação desses três países. Além disso, ocorreu a redução das importações do petróleo da Holanda em 4.692 mil ton.; acentuando o declínio nas importações no período durante a guerra.

Contudo, a análise da variação das importações totais de petróleo, ou seja, considerando todos os países exportadores, mostra que ocorreu a mudança nos fluxos de importação. A Alemanha deixou de importar petróleo russo, mas passou a importar de outros países, mantendo um volume semelhante à quantidade importada no período pré-guerra considerado. No período analisado, ocorreu um aumento de, aproximadamente, 1.255 mil ton.; representando um aumento de 7,2%. Em relação às exportações de petróleo realizadas pela Alemanha, para suprir a diminuição na

importação, esperava-se que a exportação fosse reduzida, porém, a variação no período considerado foi insignificante, aproximadamente, um aumento de 2%.

Os resultados corroboram a hipótese *a.i* (substituição da importação), pois as quantidades importadas de petróleo pela Alemanha compensaram a quantidade reduzida da Rússia, fato que invalida a hipótese *a.iii* (redução da importação). Em relação ao gás natural, após o início da guerra, pode-se observar o declínio diário nas exportações russas (linha dourada), atingindo zero a partir de setembro de 2022, devido à destruição da linha do gasoduto *Nord Stream 1*, conforme Figura 52.

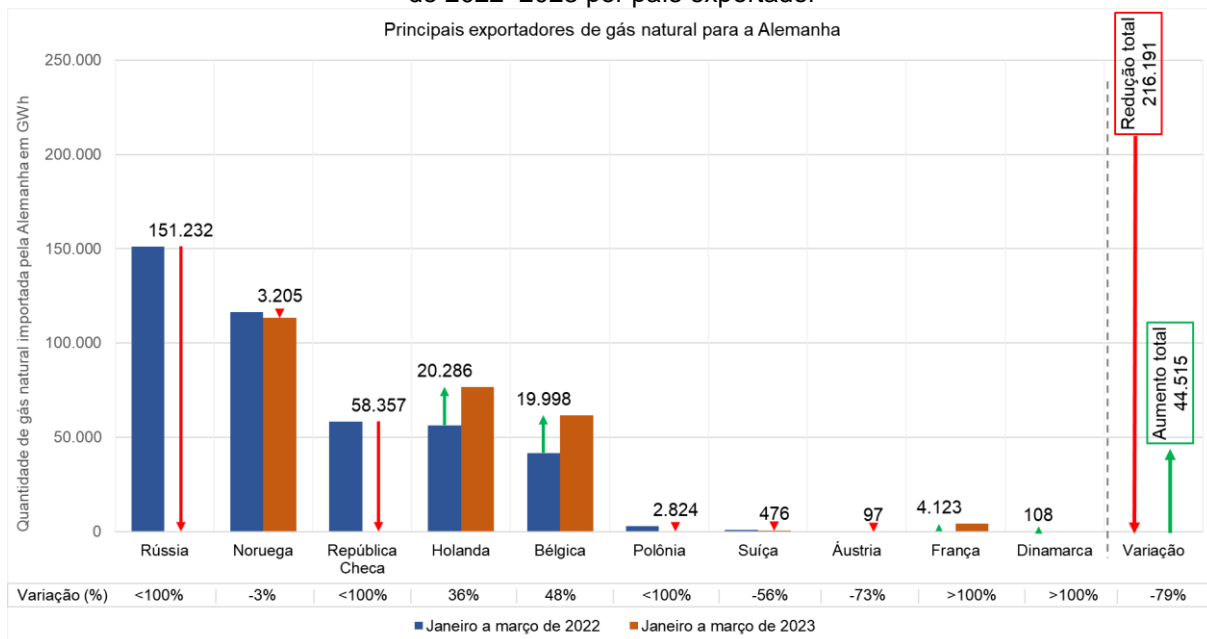
Figura 52 – Variação nas importações diárias realizadas pela Alemanha de janeiro de 2022 a maio de 2023 por país exportador



Fonte: Elaboração própria a partir de dados da Agência Federal de Rede de Energia da Alemanha (BNETZA – Bundesnetzagentur) — [BNETZA \(2023a\)](#).

A análise do período de janeiro a março de 2022 e de 2023, mostrada na Figura 53, evidencia o declínio. Apesar do aumento nas importações realizadas pela Alemanha de gás natural, principalmente, da Holanda (20.286 GWh) e da Bélgica (19.998 GWh), que estão fornecendo mais gás do que antes do início da guerra; ocorreu a redução de 151.232 GWh de gás natural russo e 58.357 GWh de gás proveniente da República Tcheca, possivelmente pela necessidade do gasoduto passar pela Ucrânia, a qual é um país de trânsito para o fornecimento de gás natural russo para a Europa. No período houve a redução total de 216 terawatts-hora (TWh) e um aumento de quase 45 TWh, portanto, o saldo nas importações foi negativo (~172 TWh).

Figura 53 – Comparação da quantidade de gás natural importada pela Alemanha de janeiro a março de 2022–2023 por país exportador

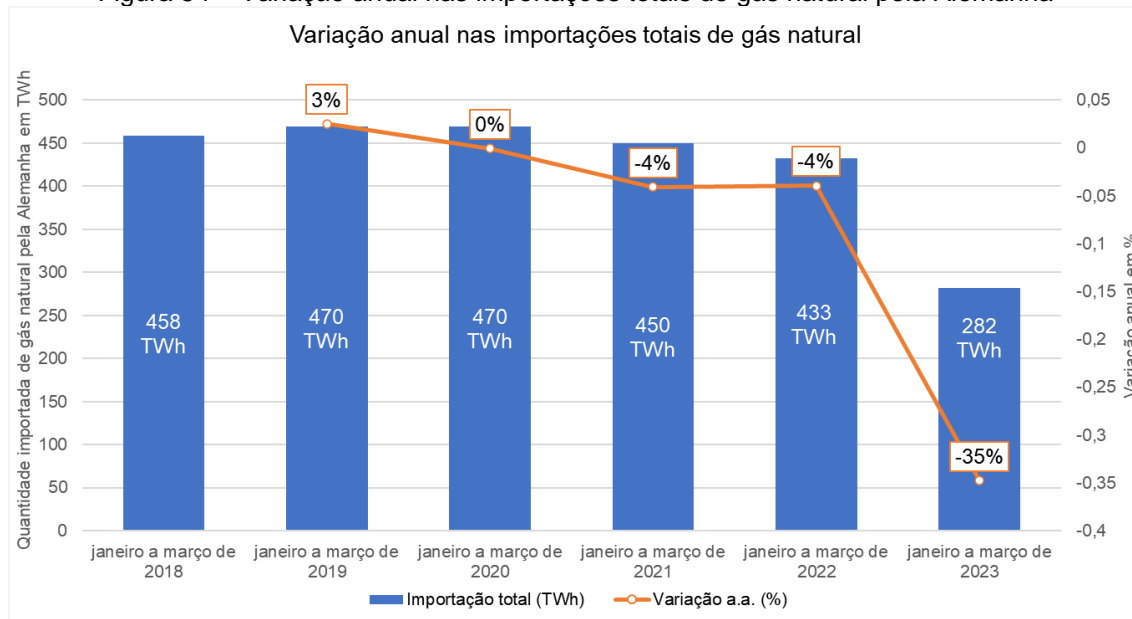


Fonte: Elaboração própria a partir de dados da [BNETZA \(2023a\)](#).

Os dados de importação de gás natural foram obtidos de janeiro a maio de 2023. A análise do ano de 2023 mostra que, além da importância da Bélgica e da Holanda, a Noruega se tornou o fornecedor de gás natural mais importante, porém, se considerado apenas o período de janeiro a março de 2023, o país forneceu menos gás comparado a 2022. Em relação às exportações, os dados analisados de janeiro a março de 2022 x 2023 (não ilustrados) mostram a redução em 67%, representada pelo gás destinado à República Tcheca. Houve uma inversão nos fluxos de gás entre Alemanha e França; a Alemanha, que antes exportava gás para a França, passou a importar uma pequena quantidade desse país.

A análise da variação nas importações totais de gás natural em um mesmo período, presente na Figura 54, mostra que as importações de gás natural vinham se mantendo constantes de 2018 a 2021; em torno de 460 a 470 TWh, de janeiro a março nos anos considerados. Porém, quando comparados os anos de 2022 e 2023, há uma grande redução nas importações de janeiro a março, sendo que em 2022 foram importados 433 TWh e em 2023, 282 TWh.

Figura 54 – Variação anual nas importações totais de gás natural pela Alemanha

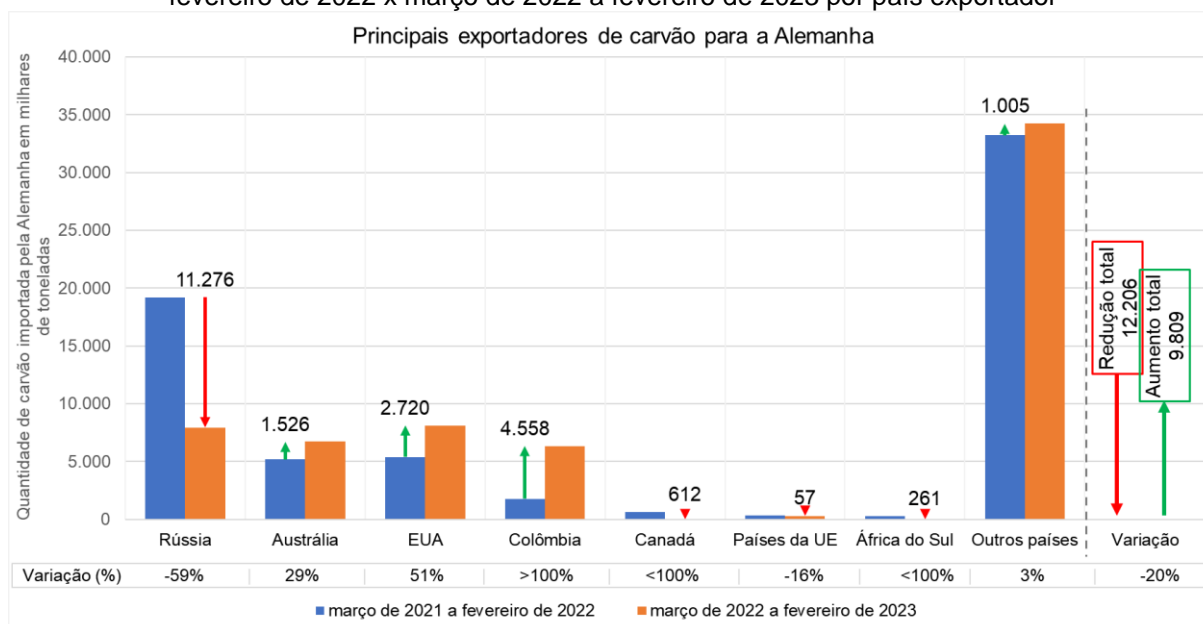


Fonte: Elaboração própria a partir de dados do [Destatis \(2023b\)](#).

Os resultados corroboram a hipótese *a.iii* (redução da importação), pois a guerra reduziu em, aproximadamente, 35% a importação de gás natural da Alemanha no período considerado e mostram que durante a guerra, os conflitos entre a Rússia e a Ucrânia afetaram a infraestrutura de transporte de energia na região, interrompendo o fluxo de gás natural.

Para analisar se a hipótese *a.ii* (alteração da importação) se comprova é necessário o levantamento dos dados de importação de combustíveis fósseis sólidos, visto que a redução na importação de gás natural poderia ser equilibrada pela importação, por exemplo, de carvão. A Figura 55 mostra a quantidade de carvão importada.

Figura 55 – Comparação da quantidade de carvão importada pela Alemanha de março de 2021 a fevereiro de 2022 x março de 2022 a fevereiro de 2023 por país exportador



Fonte: Elaboração própria a partir de dados do [Destatis \(2023c\)](#).

A comparação dos meses de março de 2021 a fevereiro de 2022 (pré-guerra) x março de 2022 a fevereiro de 2023 (durante a guerra) mostra o aumento em 9.809 mil ton. de carvão importada e a redução em 12.206 mil ton., por isso, houve um saldo negativo na importação de carvão de 2.396 mil ton. no período considerado. A GRU teve um alto impacto na queda das importações de carvão, visto que foi deixado de importar 11.276 mil ton. da Rússia; o aumento nas importações de outros países, por exemplo, Colômbia (4.558 mil ton.), EUA (2.720 mil ton.) e Austrália (1.526 mil ton.) não compensaram a redução.

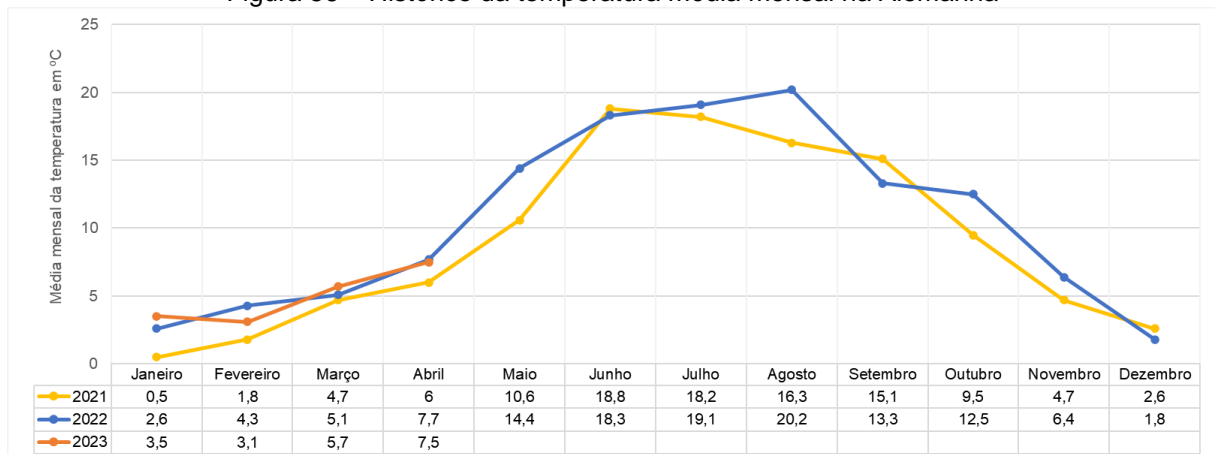
Por isso, a hipótese *a.ii* (alteração da importação) não se comprova, visto que a quantidade total de carvão importada foi inferior no período durante a guerra e não equilibrou o declínio nas importações de gás natural. Os resultados das importações mostram que a Alemanha ficou com um déficit na quantidade de energia importada de gás natural entre 2022 e 2023, após o início da guerra.

4.1.2 Produção de eletricidade e consumo de energia

Supõe-se que para superar o déficit nas importações de energia, a Alemanha possa ter aumentado a geração de eletricidade internamente, ou reduzido o consumo de energia. A análise mensal da geração de eletricidade na Alemanha entre março a fevereiro de 2021–2022, comparada com março a fevereiro de 2022–2023, permite

compreender se houve geração maior ou menor de uma fonte de energia devido à GRU. Para não prejudicar as análises, foram levantados dados meteorológicos, como os dados de temperaturas mensais, mostrados na Figura 56. Observa-se que os meses mais frios foram janeiro a março e outubro a dezembro, por isso, espera-se um aumento na geração de energia voltada, especialmente, para o aquecimento de residências.

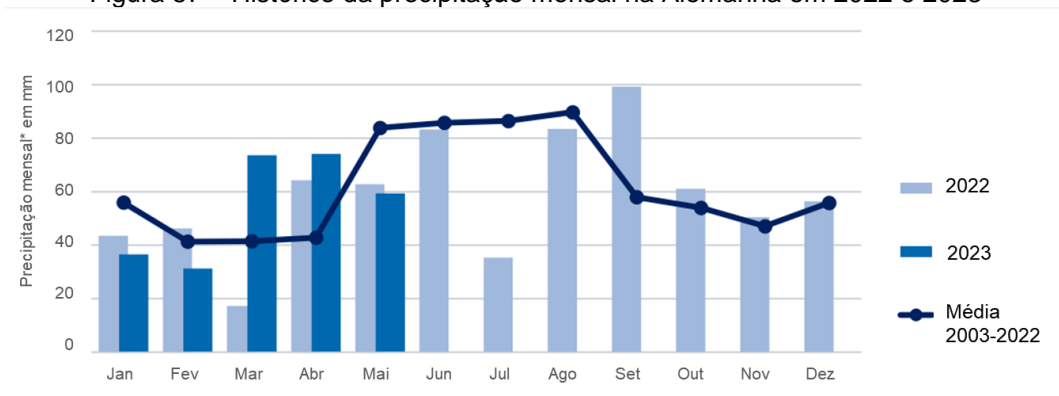
Figura 56 – Histórico da temperatura média mensal na Alemanha



Fonte: Elaboração própria a partir de dados da [BNETZA \(2023b\)](#).

Os dados de precipitação entre 2022 e 2023 são mostrados na Figura 57. Em 2022, houve uma alta variação nas precipitações mensais; sendo os meses de setembro e junho os mais chuvosos. A análise da média 2003–2022 mostra que os meses de maio a agosto tendem a ser os mais chuvosos, exceto no mês de julho de 2022. O conhecimento dos meses mais chuvosos é importante, pois auxilia na interpretação correta dos dados de geração hidrelétrica.

Figura 57 – Histórico da precipitação mensal na Alemanha em 2022 e 2023

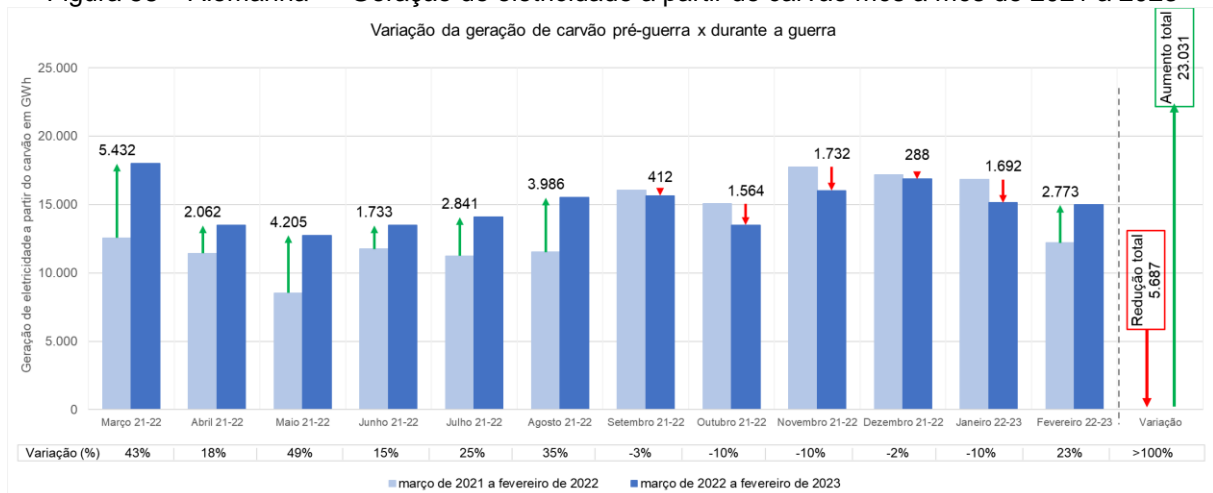


Fonte: [BDEW \(2023b, p.3\)](#).

*Precipitação calculada como indicador de produção ponderado pela distribuição geográfica. Produção hidrelétrica a partir de 28 de fevereiro de 2023 – avaliação de 41 estações meteorológicas.

A análise da produção de carvão, Figura 58, mostra uma grande influência da guerra na geração de eletricidade dessa fonte. Observa-se que no período mais próximo ao início da GRU ocorreu um elevado crescimento na produção, especialmente, no mês de março, com a evolução de 43%, quando comparado ao período pré-guerra. Os poucos meses nos quais ocorreu a redução de carvão foram, principalmente, meses mais quentes e a redução total (período considerado de 12 meses) de 5.687 GWh foi extremamente baixa, quando comparada ao aumento de 23.031 GWh. Os resultados do notável aumento na geração de eletricidade em usinas a carvão podem ser devido ao aumento nos preços do gás natural, evidenciando o aumento da competitividade do carvão, em comparação com as usinas a gás.

Figura 58 – Alemanha — Geração de eletricidade a partir de carvão mês a mês de 2021 a 2023

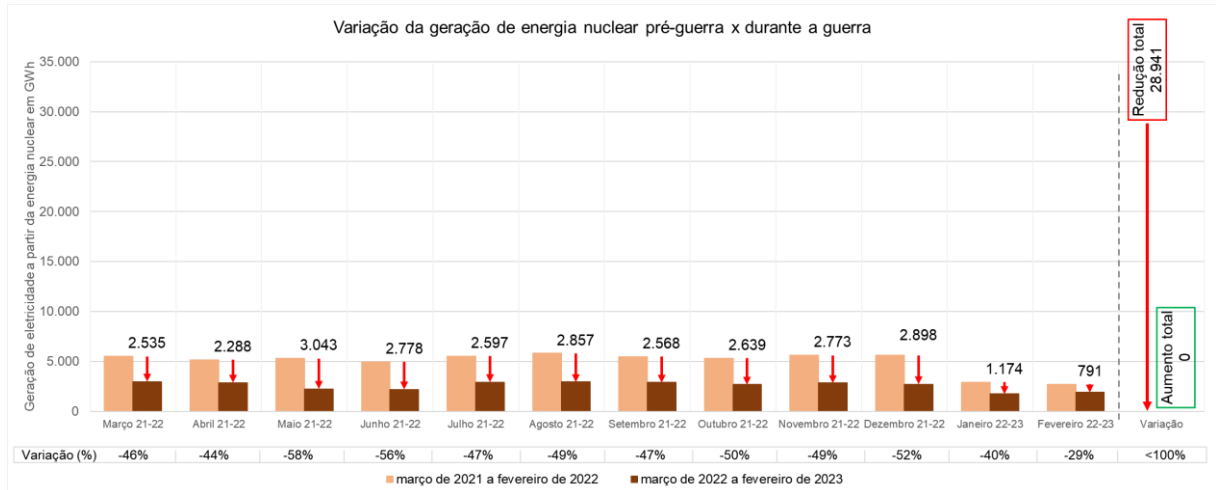


Fonte: Elaboração própria a partir de dados da [IEA \(2023c\)](#).

Em relação à geração proveniente de energia nuclear, ocorreu um acentuado declínio na produção de eletricidade, a qual caiu quase pela metade no período analisado, mostrado na Figura 59, visto que já estavam programadas a desativação de usinas nucleares alemãs. De acordo com o Governo Federal Alemão — [BRG \(2023\)](#), a continuação da operação não era possível por razões legais, técnicas e comerciais, porém, a situação extremamente tensa do fornecimento de eletricidade como resultado da guerra permitiu que as três últimas usinas nucleares *Emsland*, *Isar*

2 e Neckarwestheim 2 continuassem operando até meados de abril de 2023, alterando a Lei de Energia Atômica¹², a qual previa a finalização da energia nuclear até 2022.

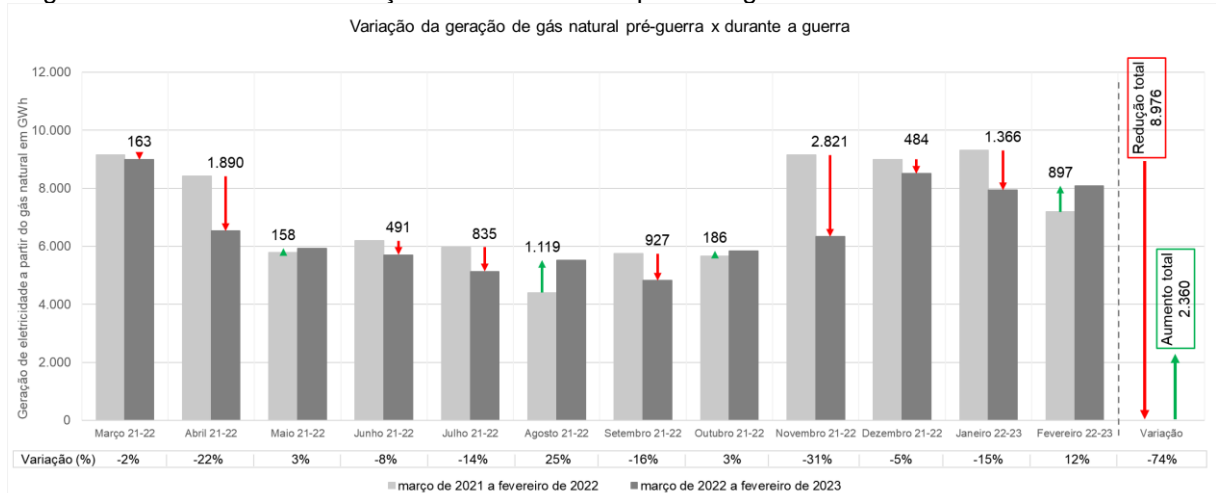
Figura 59 – Alemanha — Geração de eletricidade a partir de energia nuclear mês a mês de 2021 a 2023



Fonte: Elaboração própria a partir de dados da [IEA \(2023c\)](#).

A necessidade de economizar o gás natural, fonte altamente impactada pela guerra por ter suas importações reduzidas, evidencia a redução na geração de eletricidade a partir de gás natural, mostrada na Figura 60, devido ao conflito geopolítico e à alta nos preços do gás.

Figura 60 – Alemanha — Geração de eletricidade a partir do gás natural mês a mês de 2021 a 2023

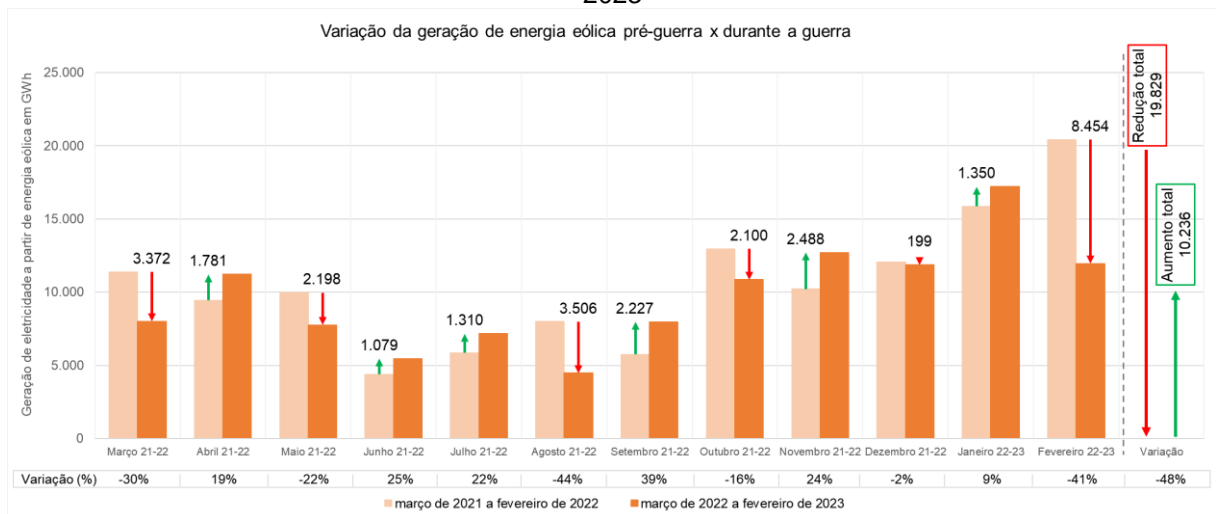


Fonte: Elaboração própria a partir de dados da [IEA \(2023c\)](#).

¹² Lei de 2002 sobre o fim ordenado do uso de energia nuclear para geração comercial de eletricidade.

A análise da geração a partir de energia eólica mostra a alta variação mês a mês; alternando crescimento e diminuição na produção, conforme Figura 61. Por isso, conclui-se que a guerra não impactou essa fonte de energia no curto prazo. Dada a oferta inelástica no curto prazo, não era esperado o aumento na geração eólica para compensar a queda causada pelo gás; e ainda houve a redução total de aproximadamente 9 mil GWh, provavelmente por questões naturais.

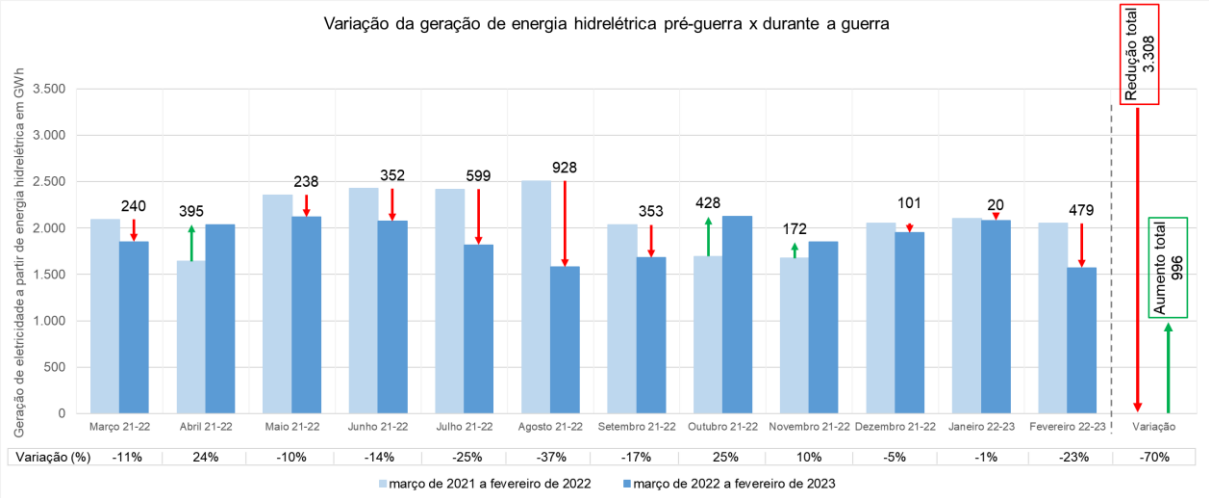
Figura 61 – Alemanha — Geração de eletricidade a partir de energia eólica mês a mês de 2021 a 2023



Fonte: Elaboração própria a partir de dados da [IEA \(2023c\)](#).

Os dados de geração hidrelétrica mostram que esta não é uma fonte de energia muito utilizada na Alemanha, visto que a geração média varia de 2.000 a 2.500 GWh; por isso, as variações no pré-guerra e durante a guerra são pequenas. A Figura 62 mostra que, apesar de ser uma fonte renovável, a geração hidrelétrica não contribuiu para suprir as demandas de eletricidade no período durante a guerra, visto que houve a redução de 2.312 GWh; as variações mensais observadas correspondem às variações do ano de 2022 em relação à média de precipitação mostrada na Figura 57, especialmente a diminuição de precipitações em janeiro e fevereiro de 2023.

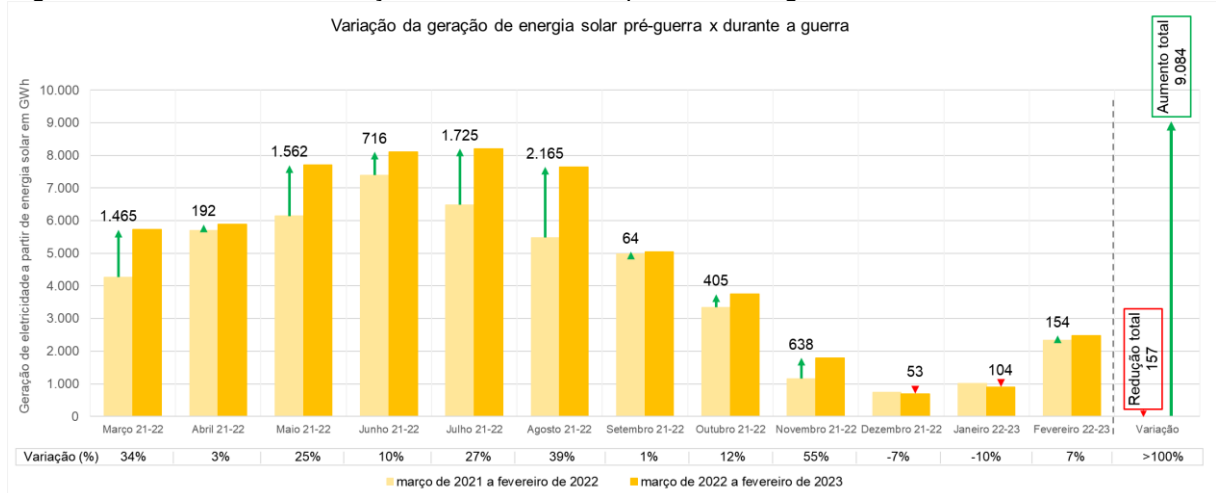
Figura 62 – Alemanha — Geração de eletricidade a partir de hidrelétricas mês a mês de 2021 a 2023



Fonte: Elaboração própria a partir de dados da [IEA \(2023c\)](#).

Os pequenos aumentos na geração solar, observados na Figura 63, podem ser explicados pelo aumento na temperatura entre 2021 e 2022, especialmente, nos meses de verão, possibilitando maior radiação solar, fato que contribuiu para compensar as reduções energéticas impostas pela GRU.

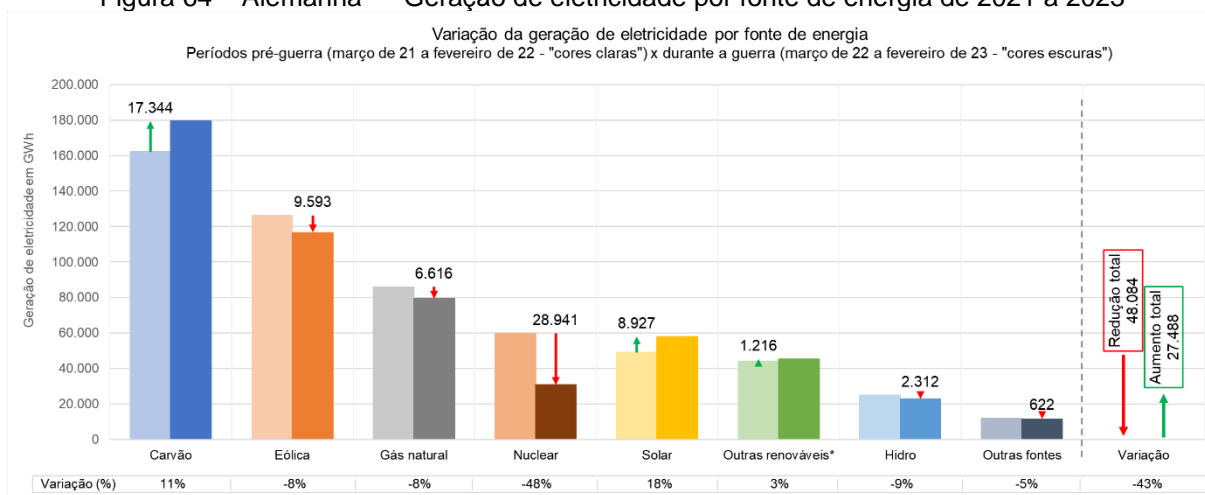
Figura 63 – Alemanha — Geração de eletricidade a partir de energia solar mês a mês de 2021 a 2023



Fonte: Elaboração própria a partir de dados da [IEA \(2023c\)](#).

A visão geral da geração de eletricidade, presente na Figura 64, mostra a redução de 48.084 GWh e um aumento de 27.488 GWh; produzindo um saldo negativo na geração de quase 20 mil GWh, especialmente, em virtude do descomissionamento de usinas nucleares. Além disso, ocorreu elevado aumento na geração de eletricidade a partir de carvão (17.344 GWh), fonte altamente poluente.

Figura 64 – Alemanha — Geração de eletricidade por fonte de energia de 2021 a 2023



Fonte: Elaboração própria a partir de dados da [IEA \(2023c\)](#).

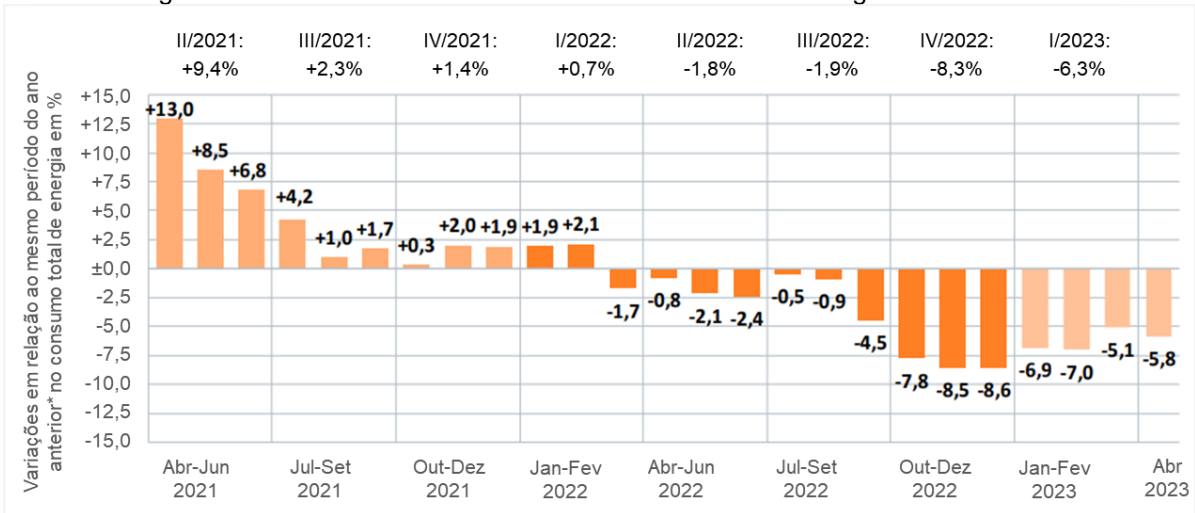
*Outras renováveis incluem energia geotérmica e biocombustíveis.

Os resultados mostram que em relação à geração de eletricidade, no período durante a guerra ocorreu um elevado aumento da geração proveniente de carvão, corroborando a hipótese *b.i* (geração não renovável), visto que a desativação das usinas nucleares já estava programada antes da guerra. Como já era esperado, em relação ao gás natural houve a diminuição na geração, visto que essa fonte foi extremamente impactada pela guerra, como mostrado nas importações.

Em relação à geração proveniente de fontes renováveis, não foram notados aumentos nas gerações devido à guerra. As gerações eólicas e hidrelétricas se mantiveram constantes e a geração solar aumentou, provavelmente, devido ao aumento da temperatura e da irradiação solar, pois não foram implementadas políticas visando o aumento da capacidade solar no período considerado. Portanto, a hipótese *b.ii* (geração renovável) é inválida. Esse resultado é extremamente ruim para a transição energética da Alemanha, visto que a guerra trouxe um elevado aumento na geração a carvão, mas não influenciou a geração renovável.

Para finalizar a análise e os resultados de todas as hipóteses levantadas, é necessário verificar se a guerra impactou o consumo de energia e, consequentemente, a produção econômica. A análise do consumo total de energia entre 2021 e 2023, Figura 65, evidencia que a partir de março de 2022 ocorreu a redução do consumo de 1,7% em relação ao período homólogo devido ao início da guerra. A evolução do consumo continuou decrescendo nos meses posteriores.

Figura 65 – Alemanha — Histórico do consumo total de energia de 2021 a 2023

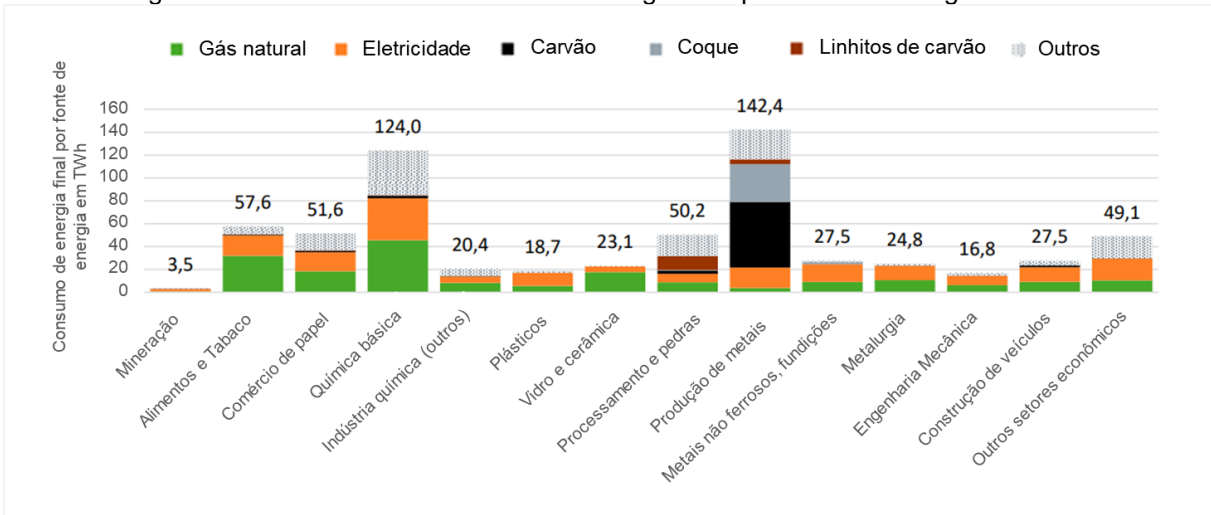


Fonte: [BDEW \(2023c, p.7\)](#).

*Variações do consumo de energia em relação ao período homólogo (normalizado em dias úteis).

A análise do consumo de energia final por fonte em 2022, Figura 66, mostra que o gás natural e a eletricidade têm alta participação no consumo de energia da indústria de transformação.

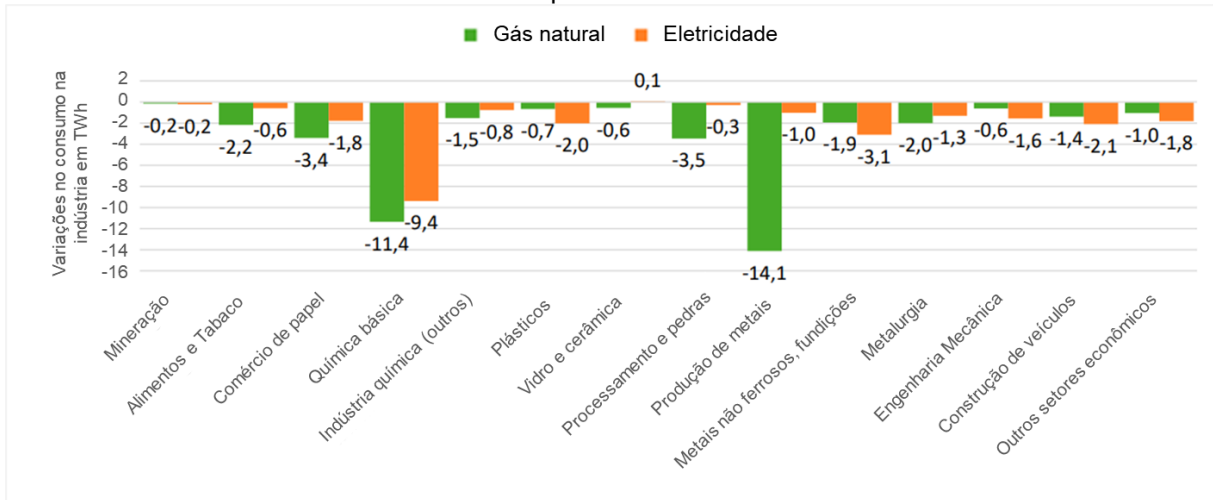
Figura 66 – Alemanha — Consumo de energia final por fonte de energia em 2022



Fonte: [BDEW \(2023c, p.6\)](#).

A análise do consumo de energia proveniente de gás natural e de eletricidade, Figura 67, mostra a redução do consumo de energia entre 2021 e 2022 em todos os setores da indústria de transformação. Em média, o consumo de eletricidade caiu 10% e o de gás natural caiu 18% em relação a 2021.

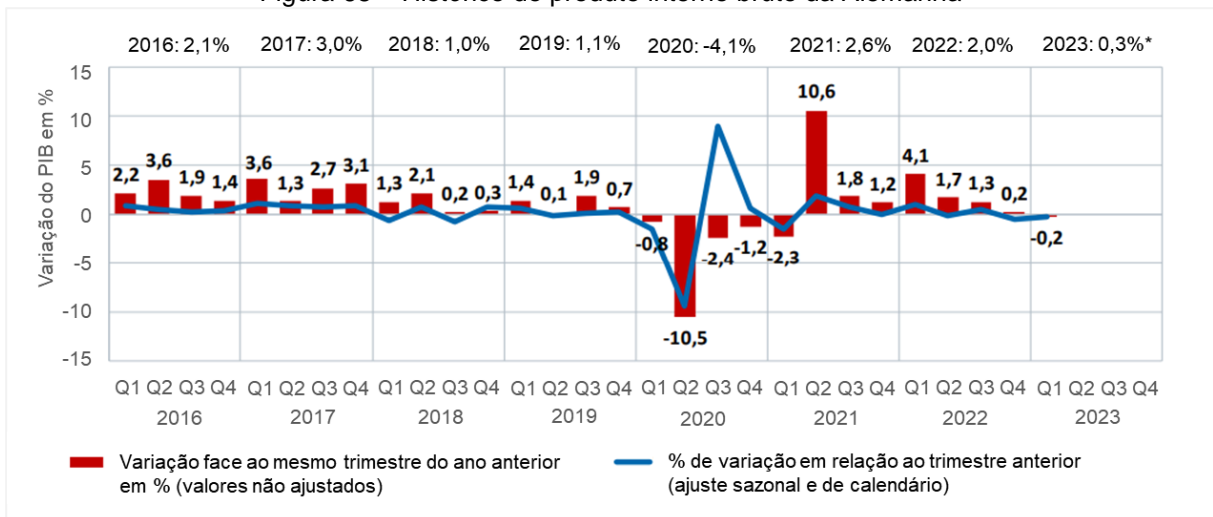
Figura 67 – Alemanha — Variação no consumo de eletricidade e gás natural na indústria de 2021 para 2022



Fonte: [BDEW \(2023c, p.6\)](#).

A queda do consumo observada, principalmente, na indústria de transformação gerou a queda de 2% no crescimento econômico de 2022, mostrada na Figura 68, comparado a 2,6% em 2021. Ressalta-se que é esperada uma queda ainda maior para 2023 como consequência da GRU.

Figura 68 – Histórico do produto interno bruto da Alemanha



Fonte: [BDEW \(2023c, p.3\)](#).

*Previsão de acordo com o relatório econômico anual 2023 do governo federal de 25 de janeiro de 2023.

Os dados levantados sobre o consumo e a produção econômica entre 2021 e 2023 tornam a hipótese *b.iii* (variação do consumo) válida, uma vez que a guerra impactou negativamente o consumo de energia e a produção econômica devido aos altos preços da energia e à disponibilidade limitada de fontes de energia.

O resumo dos principais resultados da Alemanha é mostrado na Tabela 4.

Tabela 4 – Alemanha — Avaliação das hipóteses e resultados

Hipóteses	Resultados
<i>a.i</i> – substituição da importação	Substituição do petróleo russo pelo de outros países, tais como, Noruega, EUA e RU.
<i>a.ii</i> – alteração da importação	Diminuiu as importações totais de carvão, assim sendo, o aumento da geração por esse combustível deve ter sido a partir de recursos internos.
<i>a.iii</i> – redução da importação	Diminuiu as importações totais de gás natural em 35%, o aumento da importação por outros países não foi suficiente para substituir a totalidade do que se importava da Rússia.
<i>b.i</i> – geração não renovável	Aumentou muito a geração de eletricidade proveniente de carvão.
<i>b.ii</i> – geração renovável	Não ocorreu aumento na geração renovável devido à guerra, mas devido a casos particulares, por exemplo, aumento da irradiação solar. Como no curto prazo a oferta é inelástica, o resultado é o esperado.
<i>b.iii</i> – variação do consumo	Houve déficit de energia proveniente de gás natural, pois tanto o consumo quanto o PIB caíram no período analisado, possivelmente, numa tentativa de equilibrar esse déficit.

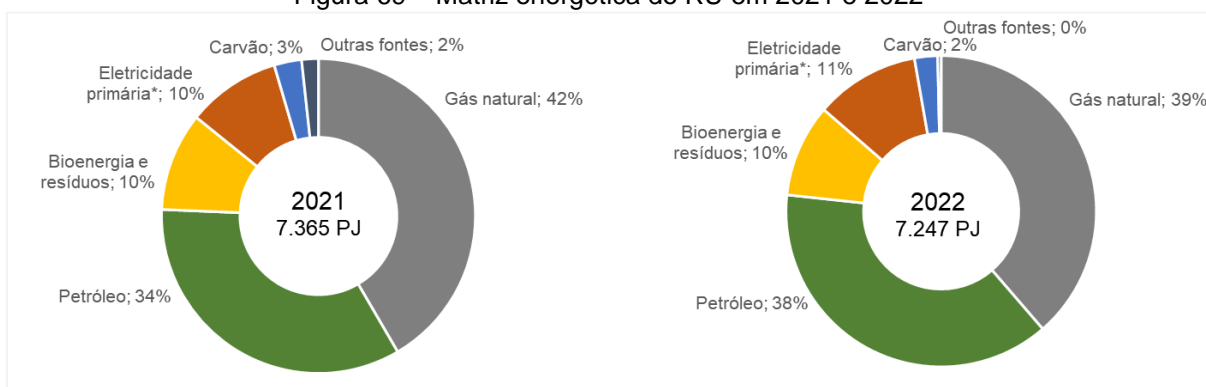
Fonte: Elaboração própria.

Em resumo, há o destaque da substituição parcial da geração elétrica a partir do gás natural pelo carvão, sem poder ainda se afirmar por quanto tempo essa política perdurará. Por outro lado, no âmbito europeu, ocorreram maiores estímulos à geração renovável, cujos resultados são de médio a longo prazo, pois dependem da construção de ativos de energia.

4.2 IMPACTOS DA GUERRA NO REINO UNIDO

O Reino Unido (RU) possui alta dependência de combustíveis fósseis. Em 2022, aproximadamente 79% da matriz energética foi formada por gás natural (39%) e petróleo (38%), conforme mostrado na Figura 69.

Figura 69 – Matriz energética do RU em 2021 e 2022



Fonte: Elaboração própria a partir de dados do Departamento de Segurança Energética e Net Zero — [DESNZ \(2023c\)](#).

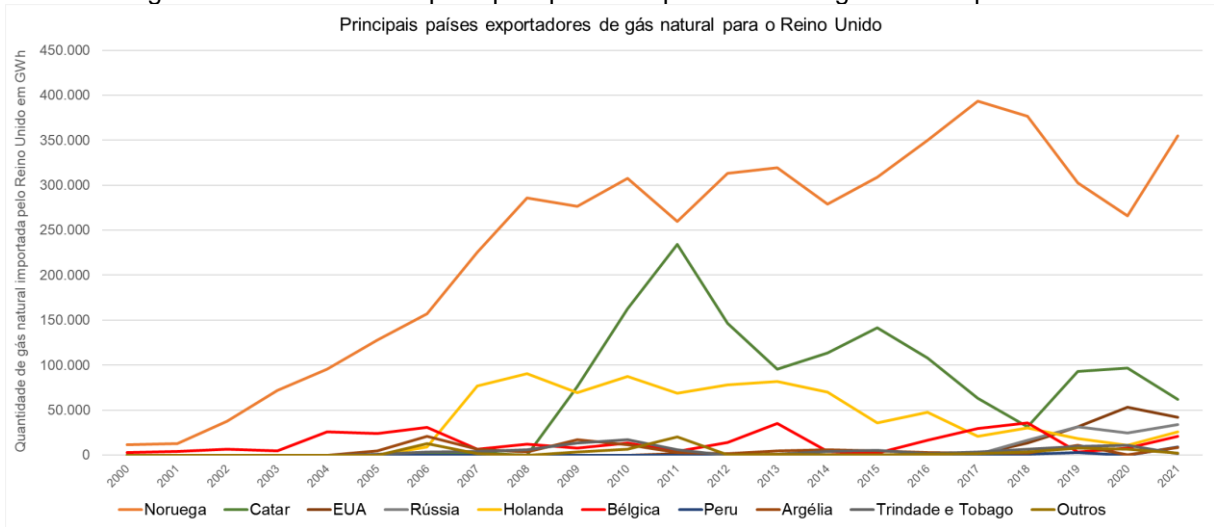
*Eletricidade primária inclui energia nuclear, eólica, hidro e solar.

A análise da variação 2022 em relação a 2021 mostra que ocorreu a diminuição de 8,5% na oferta de gás natural e um aumento de 9,8% na oferta de petróleo. Para analisar se essas variações foram causadas pela guerra, é necessário verificar as variações nas importações desses dois combustíveis.

4.2.1 Importações de combustíveis

A análise das importações tem foco nas duas principais fontes de energia, gás natural e petróleo, de acordo com a matriz energética do RU. Os dados obtidos do Departamento de Segurança Energética e Net Zero — [DESNZ \(2023d\)](#), presentes na Figura 70, mostram que a Rússia, de 2019 a 2021, foi o quarto maior exportador de gás natural para o RU. Contudo, a quantidade importada de gás russo é baixa comparada à quantidade importada da Noruega, maior exportador de gás para o RU. Em 2021, 63% do gás natural total importado foi proveniente da Noruega, 11% do Catar, 8% dos EUA e apenas 6% da Rússia.

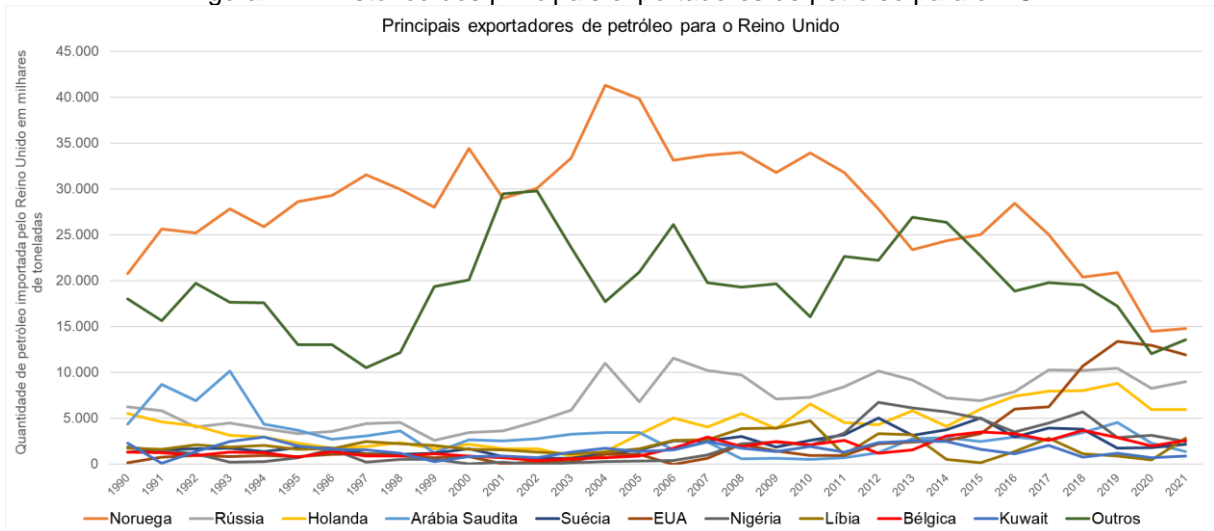
Figura 70 – Histórico dos principais países exportadores de gás natural para o RU



Fonte: Elaboração própria a partir de dados do [DESNZ \(2023d\)](#).

Em relação ao petróleo, a dependência da importação russa é maior quando comparada ao gás. O histórico de 1990 a 2021 dos principais exportadores de petróleo para o RU, presente na Figura 71, mostra que a Rússia alternava em terceiro e quarto lugar como maior exportador de petróleo para o RU. Em 2021, 13% do petróleo importado foi russo, atrás apenas da Noruega (22%) e dos EUA (18%). As importações de petróleo sempre foram altamente diversificadas; em 2021, 20% do petróleo total importado foi proveniente de diversos países.

Figura 71 – Histórico dos principais exportadores de petróleo para o RU



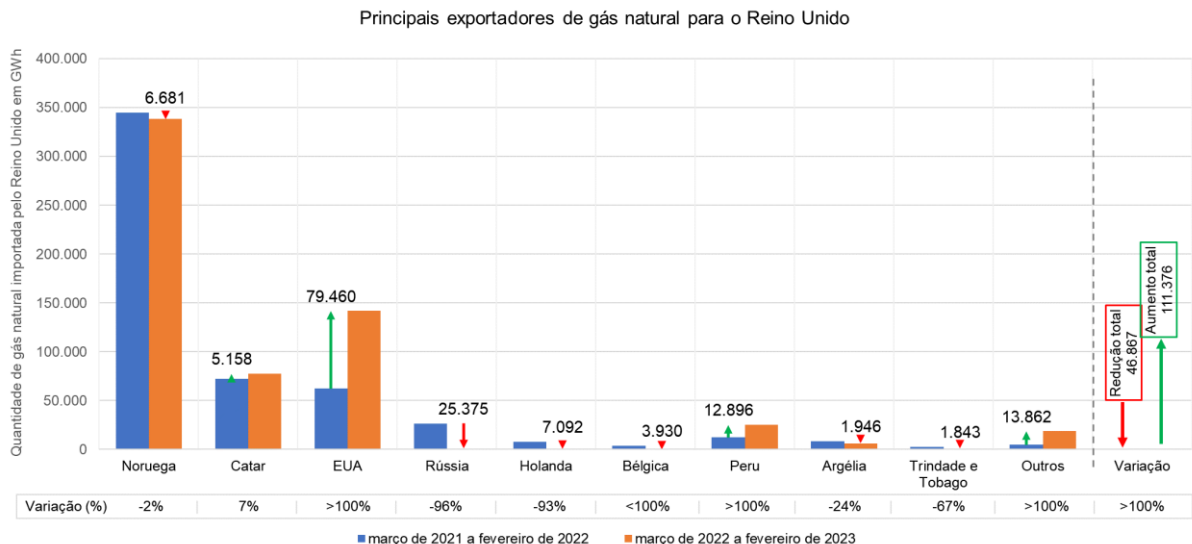
Fonte: Elaboração própria a partir de dados de 1990 a 2019 da [Eurostat \(2023b\)](#) e dados de 2020 e 2021 obtidos a partir de dados do [DESNZ \(2023e\)](#).

Os resultados dos históricos de importações mostram que o RU não é dependente do gás natural russo, visto que uma pequena parte do gás é proveniente da Rússia. Apesar de importar uma porcentagem um pouco maior de petróleo da Rússia, em comparação ao gás, o RU possui uma ampla gama de países exportadores de petróleo, fato que diminui a dependência do petróleo russo.

Além disso, para estar preparado durante o inverno, em caso de escassez de gás para a produção de eletricidade ou de redução das importações, o governo do RU lançou um Serviço de Flexibilidade de Demanda (*Demand Flexibility Service*). Tal medida foi tomada para reforçar a segurança energética, na qual o governo pagou aos consumidores para reduzir o consumo durante períodos de pico de demanda (DESNZ, 2023a).

A análise comparativa do período pré-guerra (março de 2021 a fevereiro de 2022) e durante a guerra (março de 2022 a fevereiro de 2023), presente na Figura 72, mostra que ocorreu a variação positiva de 64.508 GWh; ocorreu um aumento de 111.376 GWh nas importações de gás natural e a diminuição de 46.867 GWh. As principais diminuições foram nas importações de gás da Rússia (-25.375 GWh), da Holanda (-7.092 GWh) e da Bélgica (-3.930 GWh).

Figura 72 – Comparação da quantidade de gás natural importada pelo RU de março de 2021 a fevereiro de 2022 x março de 2022 a fevereiro de 2023 por país exportador



Fonte: Elaboração própria a partir de dados do (DESNZ (2023d)).

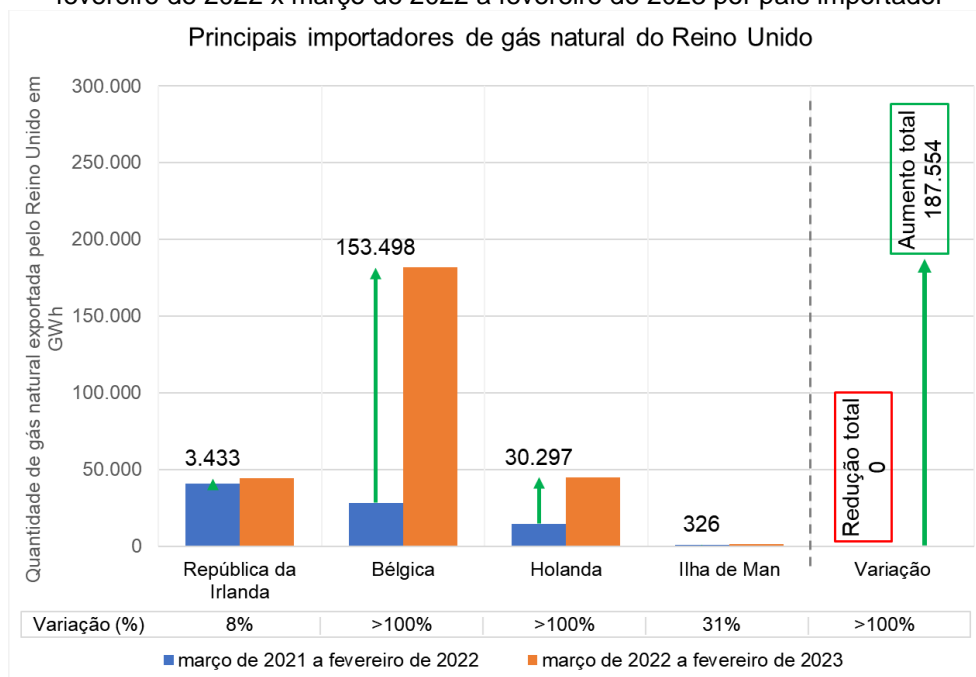
Apesar das reduções, o RU aumentou em 79.460 GWh as importações do gás proveniente dos EUA. A estreita relação com os EUA pode ser explicada pelo acordo de parceria entre o RU e os EUA para Segurança Energética e Acessibilidade (UK-

US Energy Security and Affordability Partnership), firmado em dezembro de 2022. O acordo de parceria incluiu “o compromisso de que os EUA se esforçarão para exportar pelo menos 9 a 10 mil milhões de metros cúbicos de GNL em 2023 através de terminais do Reino Unido” (DESNZ, 2023a, p.17).

Segundo o relatório do [DESNZ \(2023a\)](#), o RU recebeu entregas de GNL significativamente acima da média no quarto trimestre de 2022. Este fato proporcionou os elevados níveis de exportações para a Europa continental, tendo o RU atuado como um centro de entrega para apoiar os esforços dos estados da UE de encher o armazenamento de gás antes do inverno. Isto inverteu os padrões históricos, nos quais o Reino Unido exportava gás para o continente durante o verão e importava durante o inverno.

Além do aumento nas importações, o RU mais que triplicou as exportações de gás natural. O apoio aos esforços europeus para reduzir a dependência do gás russo, fez com que o RU aumentasse as exportações para Bélgica e Holanda. A Figura 73 mostra que ocorreu um aumento de gás exportado de 153.498 GWh para a Bélgica e 30.297 GWh para a Holanda, apresentando um saldo positivo nas exportações.

Figura 73 – Comparação da quantidade de gás natural exportada pelo RU de março de 2021 a fevereiro de 2022 x março de 2022 a fevereiro de 2023 por país importador



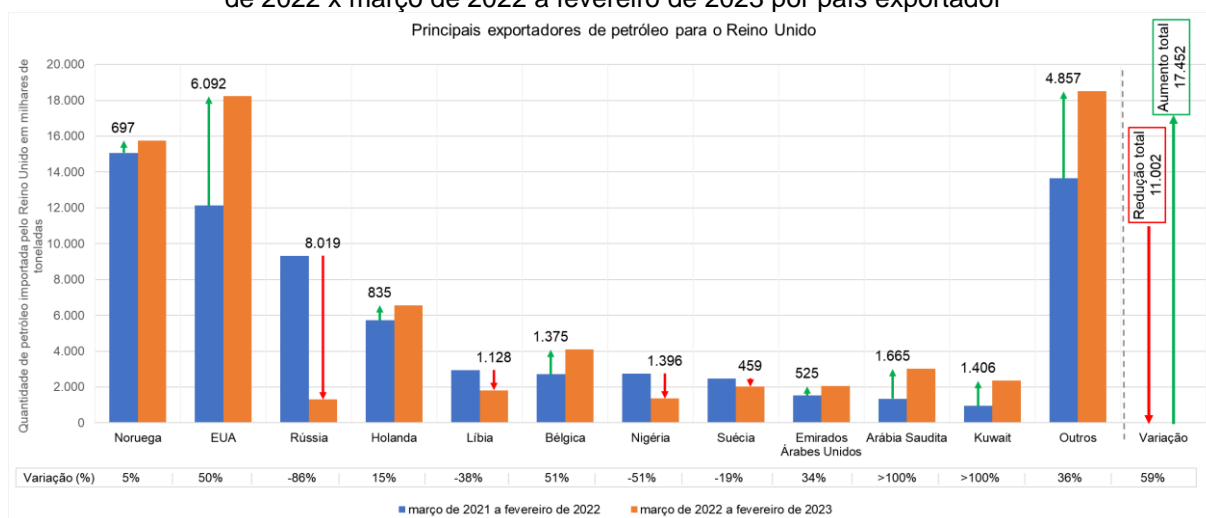
Fonte: Elaboração própria a partir de dados do [DESNZ \(2023d\)](#).

Ressalta-se a facilidade de exportação para esses países devido aos gasodutos que conectam o RU à Europa continental e à ilha da Irlanda para o

transporte de gás natural. Segundo o [DESNZ \(2023a\)](#), existem três interconectores de gás que se conectam ao Sistema Nacional de Transmissão do RU: o *Interconnector Limited*, um gasoduto bidirecional que liga a Bélgica e o Reino Unido; a *Balgzand Bacton Line*, um gasoduto bidirecional que conecta o Reino Unido e a Holanda; o *Moffat Interconnection Point*, um gasoduto interligado unidirecional que flui gás da Grã-Bretanha para a Irlanda, Irlanda do Norte e Ilha de Man.

A análise comparativa das importações de petróleo pré-guerra e durante a guerra, presente na Figura 74, mostra a variação positiva de 6.450 mil ton., visto que apesar da redução total de 11.002 mil ton., especialmente, nas importações russas (8.019 mil ton.), ocorreu o aumento de 6.092 mil ton. nas importações do petróleo proveniente dos EUA e o aumento de 4.857 mil ton. nas importações provenientes de petróleo de outros países, situação já explicada na análise do histórico das importações do RU. As exportações de petróleo realizadas pelo RU não foram analisadas detalhadamente, por apresentarem uma variação negativa de apenas 3%.

Figura 74 – Comparação da quantidade de petróleo importada pelo RU de março de 2021 a fevereiro de 2022 x março de 2022 a fevereiro de 2023 por país exportador

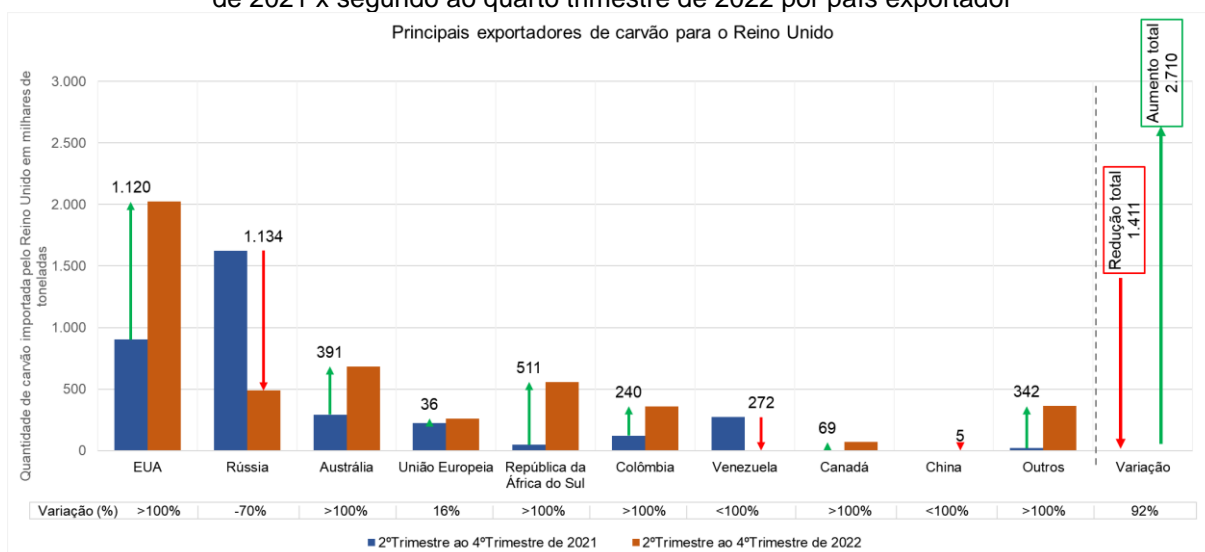


Fonte: Elaboração própria a partir de dados do [DESNZ \(2023e\)](#).

Os resultados mostram que no RU ocorreu um aumento das importações. Portanto, apenas a hipótese *a.i* (substituição da importação) é válida, visto que o gás russo foi substituído pela importação de gás de outros países. A hipótese *a.iii* (redução da importação) é inválida, pois as importações aumentaram; a hipótese *a.ii* (alteração da importação) também é inválida, pois tanto o gás, quanto o petróleo, não tiveram suas importações substituídas por outros combustíveis, inclusive foi observado o aumento delas.

Apesar de não ser um combustível importante na matriz energética do RU, foi realizada a análise do carvão. Por uma limitação de dados, o período pré-guerra levantado foi do segundo ao quarto trimestre de 2021; comparado ao período durante a guerra do segundo ao quarto trimestre de 2022. A Figura 75 mostra que apesar de pequena, a quantidade de carvão importada aumentou positivamente em 1.298 mil toneladas. Ocorreu a diminuição na importação do carvão russo (-1.134 mil ton.), porém, houve um aumento na importação do carvão dos EUA (1.120 mil ton.).

Figura 75 – Comparação da quantidade de carvão importada pelo RU do segundo ao quarto trimestre de 2021 x segundo ao quarto trimestre de 2022 por país exportador



Fonte: Elaboração própria a partir de dados do [DESNZ \(2023f\)](#).

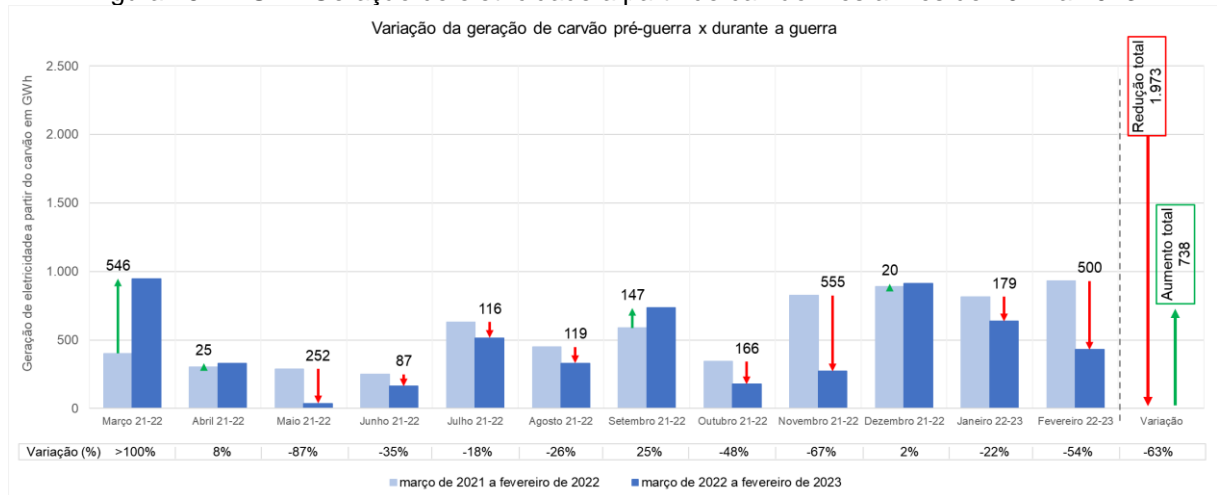
A diminuição nas importações do gás natural, do petróleo e do carvão da Rússia foi superada pelo aumento nas importações provenientes dos EUA, que passou a ser um grande exportador para o RU. Isso revela que o RU não só superou sua dependência em relação aos combustíveis russos, como também auxiliou alguns países europeus, especialmente, a Bélgica e a Holanda.

4.2.2 Produção de eletricidade e consumo de energia

Para analisar a geração de eletricidade foi realizado o levantamento de dados meteorológicos do RU, no período considerado, de março de 2021 a fevereiro de 2023. Por não ter ocorrido redução nas importações de combustíveis fósseis, espera-se que a geração de eletricidade dessas fontes não tenha reduzido.

A análise da Figura 76 comprova a expectativa, visto que seguindo em linha com os compromissos em reduzir o uso de fontes não renováveis, o RU reduziu a geração de carvão mesmo com a guerra. Ocorreu a redução total de 1.973 GWh comparada a um aumento de 738 GWh, explicado pelo maior nível de aumento no mês de março de 2022, possivelmente, devido ao início da guerra no fim de fevereiro.

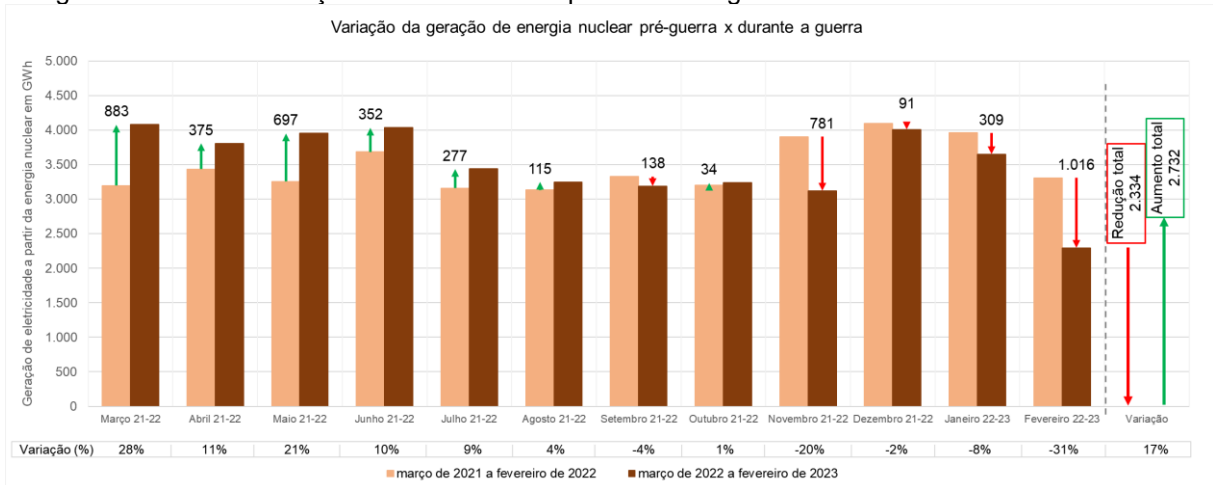
Figura 76 – RU — Geração de eletricidade a partir de carvão mês a mês de 2021 a 2023



Fonte: Elaboração própria a partir de dados da [IEA \(2023c\)](#).

A geração nuclear, apesar de ter aumentado nos meses mais próximos ao início da guerra, passou a diminuir nos meses subsequentes, Figura 77. O saldo foi pequeno, aproximadamente, 400 GWh. Porém, o comportamento da curva aponta que essa geração contribuiu no fornecimento de eletricidade, especialmente, no curto prazo. Além disso, a geração nuclear é vista como um componente vital no futuro do sistema elétrico do RU; inclusive foi estabelecida a *Great British Nuclear* para implementar um programa nuclear e definida a meta de implantar até 24 GW de capacidade nuclear até 2050 ([DESNZ, 2023a](#)).

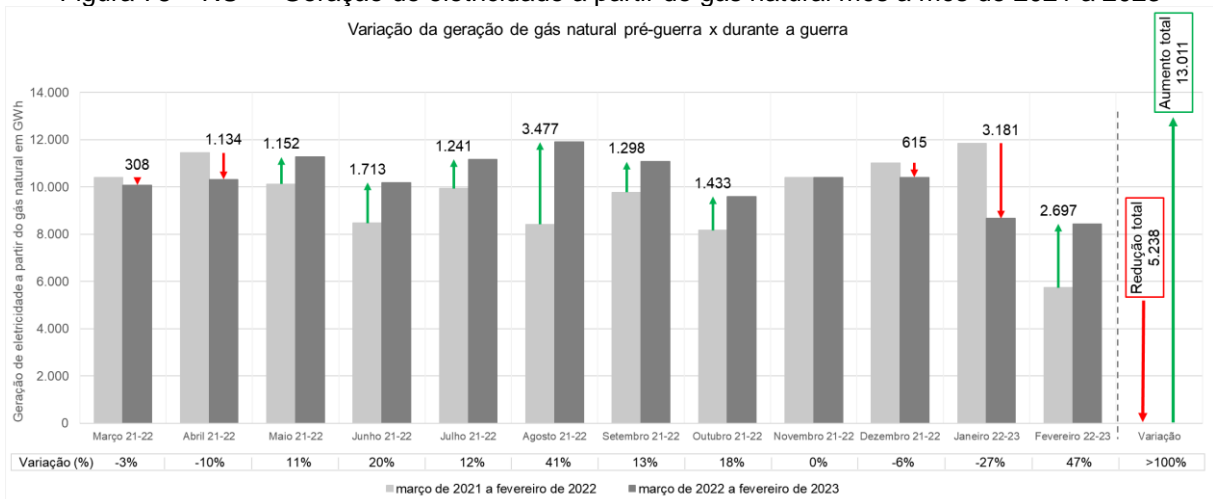
Figura 77 – RU — Geração de eletricidade a partir de energia nuclear mês a mês de 2021 a 2023



Fonte: Elaboração própria a partir de dados da [IEA \(2023c\)](#).

Segundo o [DESNZ \(2023a\)](#), em outubro de 2022, a instalação de armazenamento de gás bruto foi reaberta, representando um aumento na capacidade de armazenamento de gás de, aproximadamente, 50%. Ressalta-se que a produção interna de gás é uma parte essencial da segurança energética do RU e o armazenamento é uma ferramenta importante para reforçar o sistema energético. A Figura 78 mostra o aumento na produção de gás, uma vez que ocorreu um saldo positivo de quase 8.000 GWh na geração de gás natural.

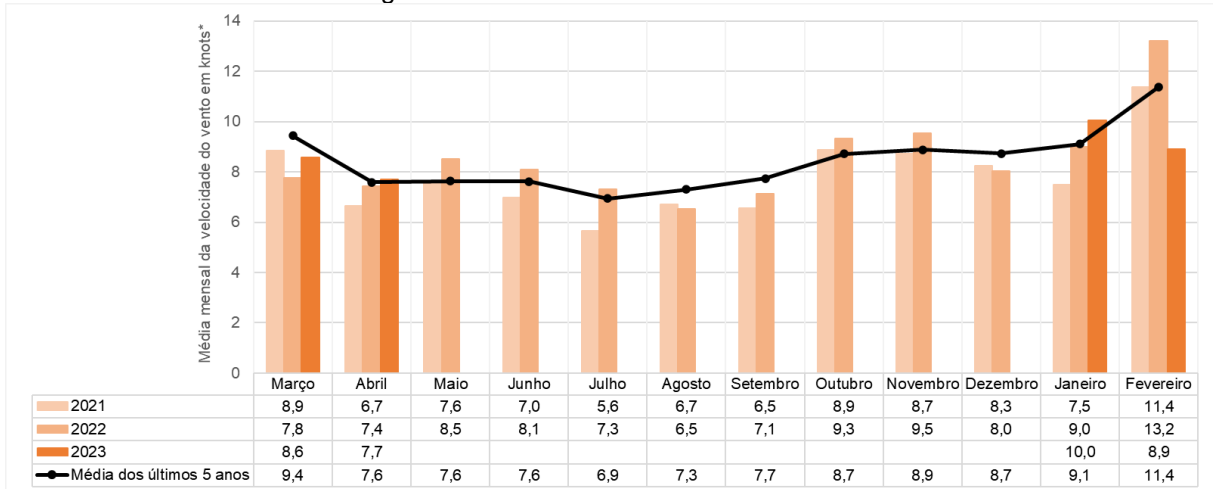
Figura 78 – RU — Geração de eletricidade a partir do gás natural mês a mês de 2021 a 2023



Fonte: Elaboração própria a partir de dados da [IEA \(2023c\)](#).

Para analisar a geração eólica, é importante ter os dados da velocidade do vento, os quais foram obtidos devido à disponibilidade de dados pelo governo do RU. O comportamento da curva média dos últimos cinco anos da Figura 79, mostra que os meses de maior velocidade do vento foram outubro a março.

Figura 79 – Velocidade do vento em Knots

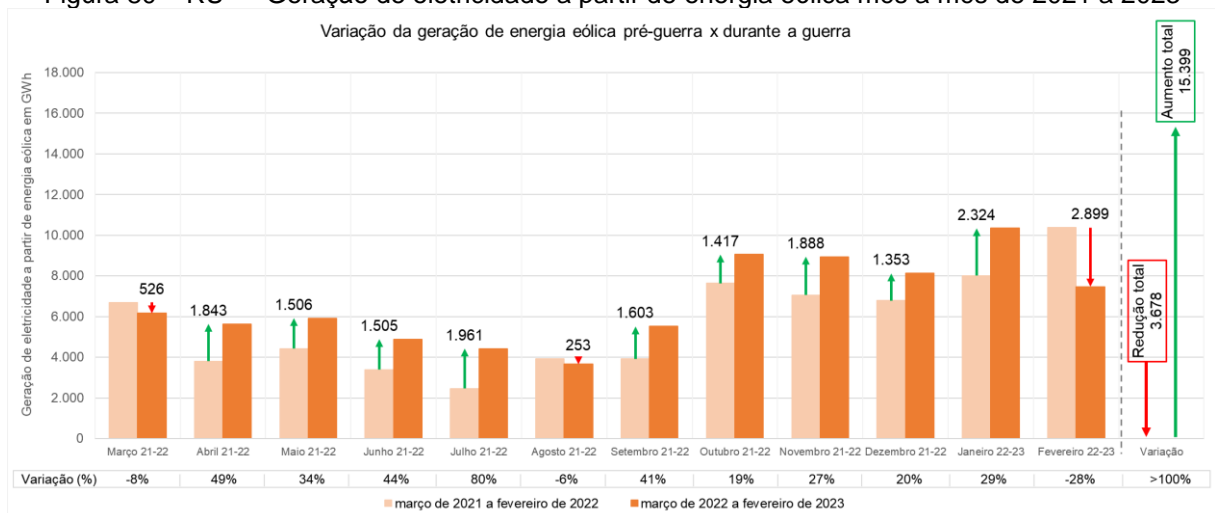


Fonte: Elaboração própria a partir de dados do [DESNZ \(2023g\)](#).

*1 knots é igual a 1,85 km/h (quilômetros por hora).

A Figura 80 mostra que a geração eólica foi maior nos meses de outubro a fevereiro, conforme esperado devido à análise da velocidade dos ventos. Apesar de seguir o comportamento já esperado, ocorreu um grande aumento na geração eólica no período da guerra; apresentando um saldo positivo de 11.720 GWh. Houve aumento na velocidade dos ventos em 2022 quando comparado a 2021, porém, acredita-se que a geração eólica tenha sido incentivada para contribuir com a disponibilidade de energia durante a guerra.

Figura 80 – RU — Geração de eletricidade a partir de energia eólica mês a mês de 2021 a 2023

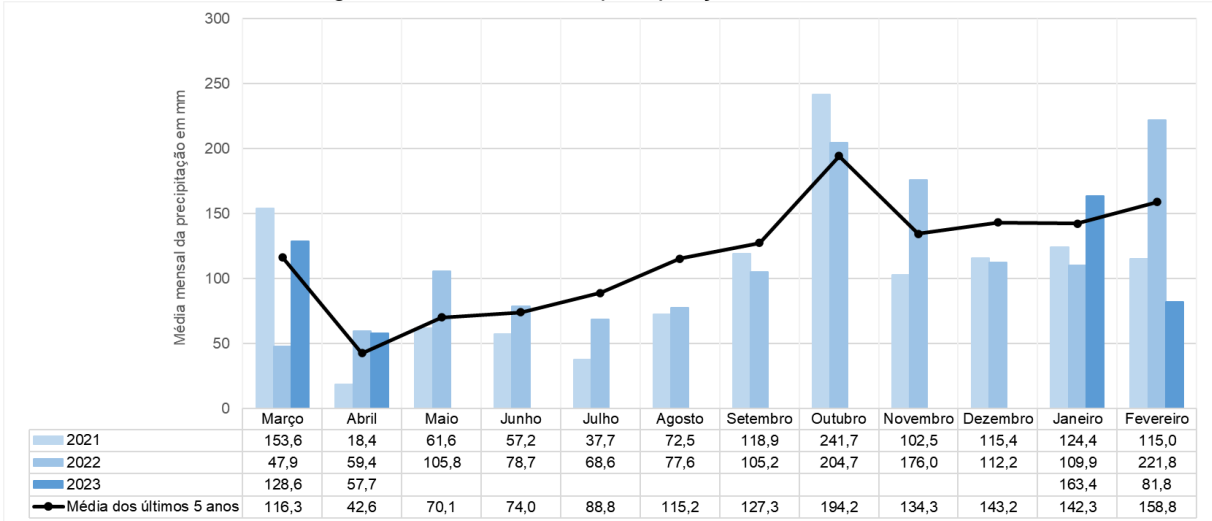


Fonte: Elaboração própria a partir de dados da [IEA \(2023c\)](#).

O RU tem o histórico de meses muito chuvosos, com picos de precipitação registrados entre outubro de 2021 e fevereiro de 2022, mostrados na Figura 81. É

importante destacar esses meses, pois fazem parte do período definido como pré-guerra nas análises.

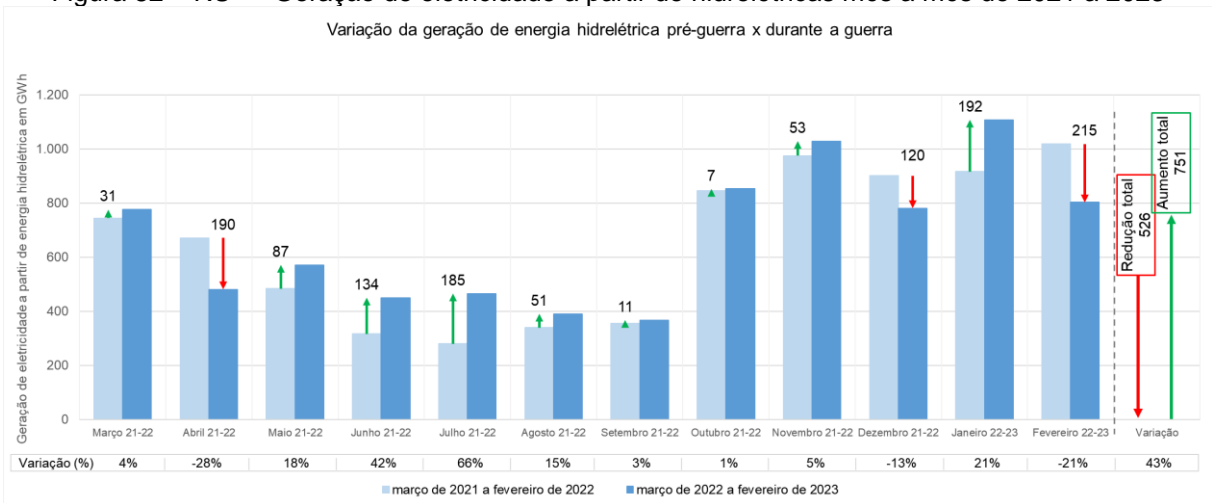
Figura 81 – Histórico da precipitação média no RU



Fonte: Elaboração própria a partir de dados do [DESNZ \(2023g\)](#).

A geração de eletricidade proveniente de hidrelétricas, mostrada na Figura 82, segue o mesmo comportamento das curvas de precipitação. Além disso, foi a fonte menos utilizada no RU e teve uma variação muito pequena no período durante a guerra, por isso, considera-se que essa fonte de energia não tenha sido afetada pelos impactos da guerra.

Figura 82 – RU — Geração de eletricidade a partir de hidrelétricas mês a mês de 2021 a 2023

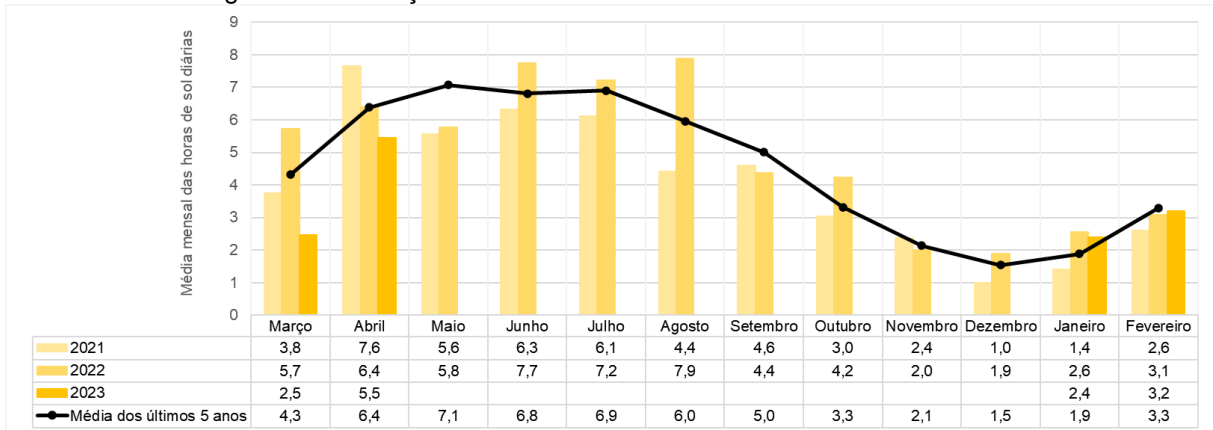


Fonte: Elaboração própria a partir de dados da [IEA \(2023c\)](#).

A análise da média de horas de sol, Figura 83, mostra que abril a maio foram os meses com maior incidência solar e os meses de novembro a fevereiro foram os

que apresentaram menor irradiação; comportamento similar à curva de temperatura média dos últimos cinco anos.

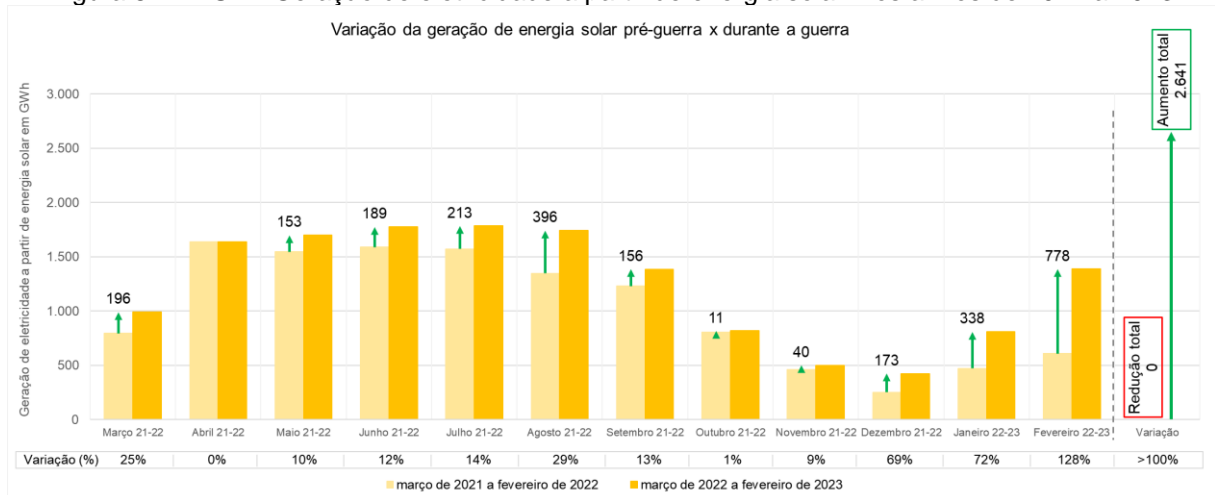
Figura 83 – Variação mensal da média de horas de sol diárias no RU



Fonte: Elaboração própria a partir de dados do [DESNZ \(2023g\)](#).

Apesar de constituir uma parcela muito pequena na geração de eletricidade, a produção solar foi positiva em todos os meses analisados. Tal fato, contudo, não foi devido à guerra, visto que os aumentos foram pequenos e extremamente alinhados aos períodos de maior irradiação solar, conforme Figura 84.

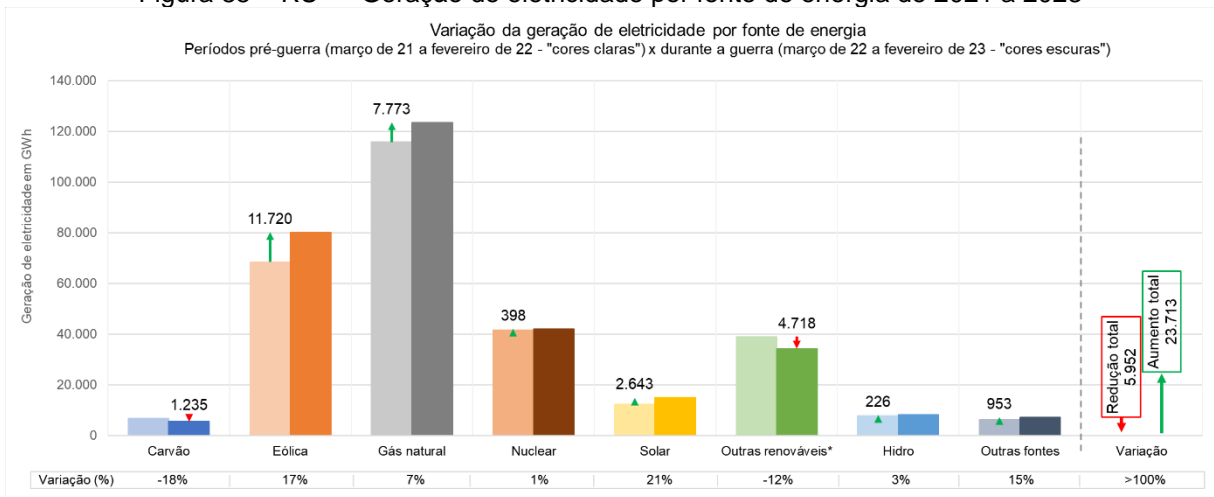
Figura 84 – RU — Geração de eletricidade a partir de energia solar mês a mês de 2021 a 2023



Fonte: Elaboração própria a partir de dados da [IEA \(2023c\)](#).

Os resultados validam a hipótese *b.ii* (geração renovável), pois houve um aumento na geração eólica, segunda fonte de energia mais consumida. A geração de eletricidade eólica foi a que teve o maior aumento no período, conforme Figura 85, seguida pelo gás natural.

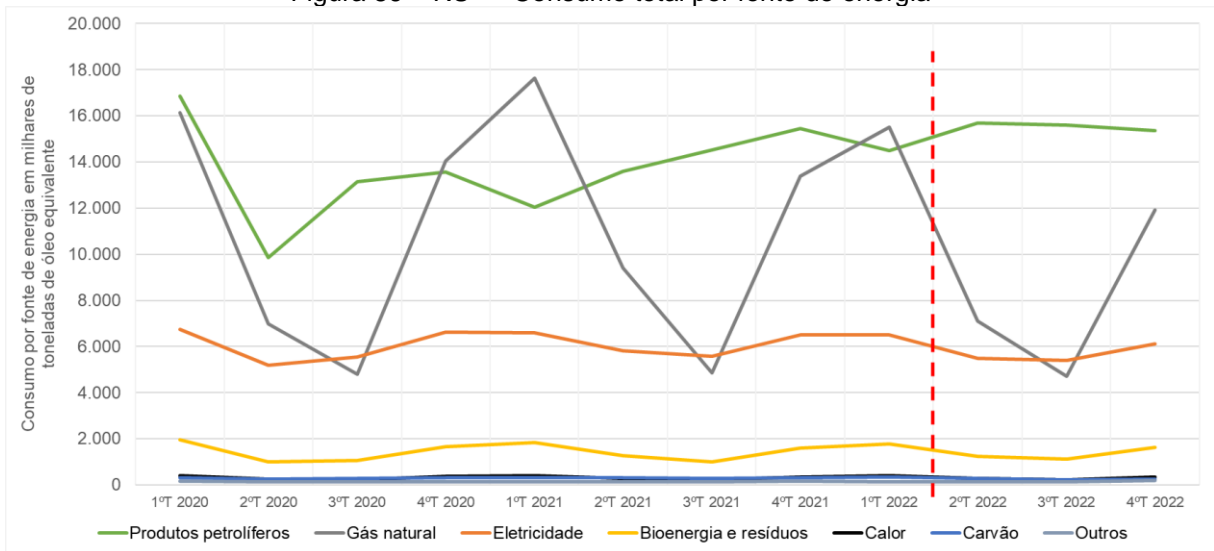
Figura 85 – RU — Geração de eletricidade por fonte de energia de 2021 a 2023



Fonte: Elaboração própria a partir de dados da [IEA \(2023c\)](#).

Em relação ao consumo final por fonte de energia, não houve diminuição do consumo no período durante a guerra, mas um aumento no consumo de produtos petrolíferos, o qual já vinha crescente segundo a curva da Figura 86, invalidando a hipótese *b.iii* (variação do consumo).

Figura 86 – RU — Consumo total por fonte de energia



Fonte: Elaboração própria a partir de dados do [DESNZ \(2023c\)](#).

A análise dos dados de consumo por setor não foi apresentada, mas os dados foram levantados e mostraram que ocorreu um aumento do consumo no setor de transporte, cujo comportamento foi semelhante ao aumento no consumo de petróleo.

O resumo dos principais resultados do RU é mostrado na Tabela 5.

Tabela 5 – RU — Avaliação das hipóteses e resultados

Hipóteses	Resultados
<i>a.i</i> – substituição da importação	Substituiu todas as importações russas de petróleo, carvão e gás natural, com destaque para o gás, pois o RU conseguiu ajudar outros países europeus, exportando gás para reduzir a dependência desses países em relação à Rússia. Os EUA se tornaram o maior fornecedor de energia para o RU.
<i>a.ii</i> – alteração da importação	A verificação da hipótese <i>a.iii</i> anula a hipótese <i>a.ii</i> .
<i>a.iii</i> – redução da importação	Não ocorreu diminuição na importação total de nenhum combustível, visto que o RU substituiu as importações provenientes da Rússia.
<i>b.i</i> – geração não renovável	Não reativou usinas de fontes não-renováveis. A geração a carvão diminuiu no período considerado.
<i>b.ii</i> – geração renovável	Aumentou a geração de energia eólica.
<i>b.iii</i> – variação do consumo	Não ocorreram mudanças no consumo.

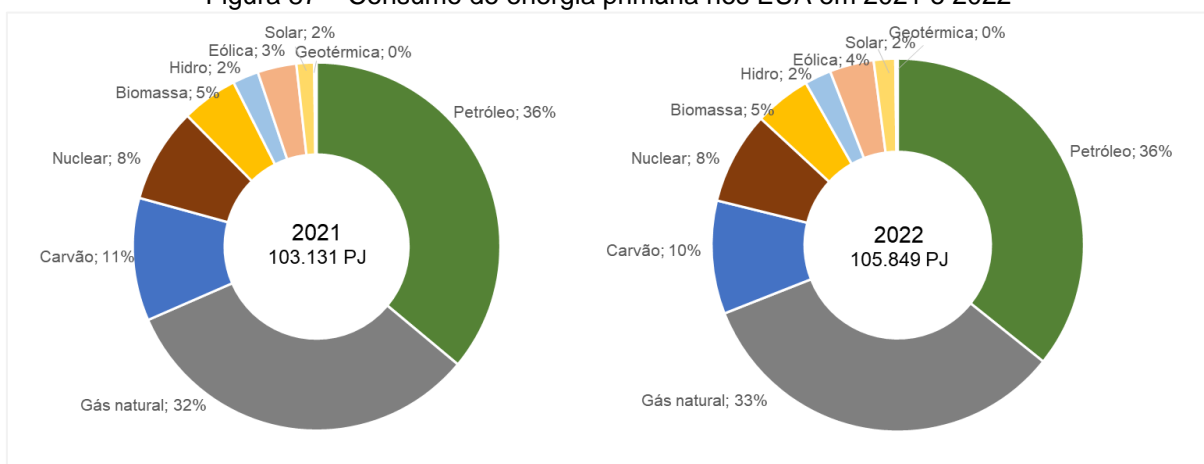
Fonte: Elaboração própria.

A matriz do RU não sofreu grandes mudanças, mas sim de seu comércio, tanto com relação a compradores, quanto a vendedores. O RU estreitou o acordo de parceria comercial com os EUA e por possuir linhas de gasodutos que interligam países europeus (Bélgica, Holanda, Irlanda), o RU ajudou no abastecimento de gás natural desses países.

4.3 IMPACTOS DA GUERRA NOS ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA

A matriz energética dos Estados Unidos (EUA) evidencia a dependência de combustíveis fósseis, com destaque para o petróleo. A Figura 87 mostra que o consumo por fonte se manteve constante entre 2021 e 2022, sendo majoritariamente composto por petróleo (36%) e gás natural (32% em 2021; 33% em 2022). As fontes renováveis ainda constituem uma pequena parcela do consumo primário de energia, aproximadamente, 13%.

Figura 87 – Consumo de energia primária nos EUA em 2021 e 2022



Fonte: Elaboração própria a partir de dados da [EIA \(2023e\)](#).

4.3.1 Importações de combustíveis

Os dados da [EIA \(2023f\)](#) sobre importação de energia mostram que praticamente toda a importação é composta de petróleo e derivados. A Tabela 6 mostra que não ocorreu variação nas importações de petróleo entre 2021 e 2022, sendo que essa fonte teve participação de, aproximadamente, 85% das importações de energia. Em relação ao gás natural, apesar da pequena participação nas importações totais (14% em 2022), apresentou uma variação de 8% comparado a 2021. É possível que o aumento nas importações de gás natural tenha sido devido à guerra, por isso, a necessidade de uma análise mais detalhada, que será apresentada adiante.

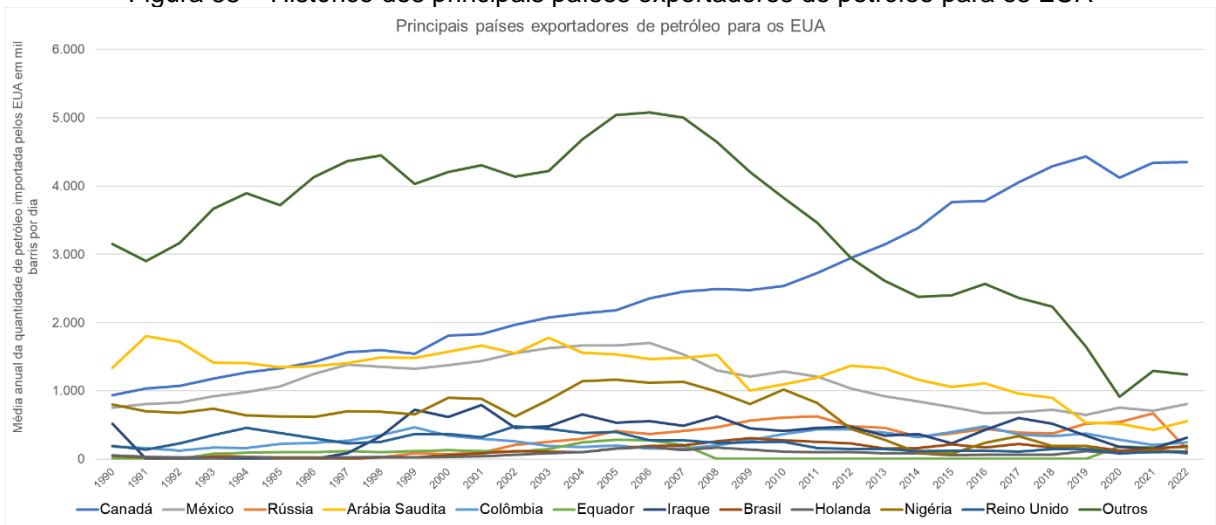
Tabela 6 – Importações de energia primária por fonte em 2021 e 2022 em petajoule (PJ)

	2021 (PJ)	2022 (PJ)	2021 (%)	2022 (%)	Var 21–22
Petróleo e derivados	19.202	18.960	85%	84%	-1%
Gás natural	3.037	3.270	13%	14%	8%
Carvão	118	145	1%	1%	22%
Biomassa	88	77	0%	0%	-13%
Eletricidade	191	205	1%	1%	7%
Total	22.637	22.657	100%	100%	-

Fonte: Elaboração própria a partir de dados da [EIA \(2023f\)](#).

A análise histórica, Figura 88, mostra que os principais exportadores de petróleo para os EUA frequentemente foram Canadá e México, possivelmente, devido à proximidade entre os países.

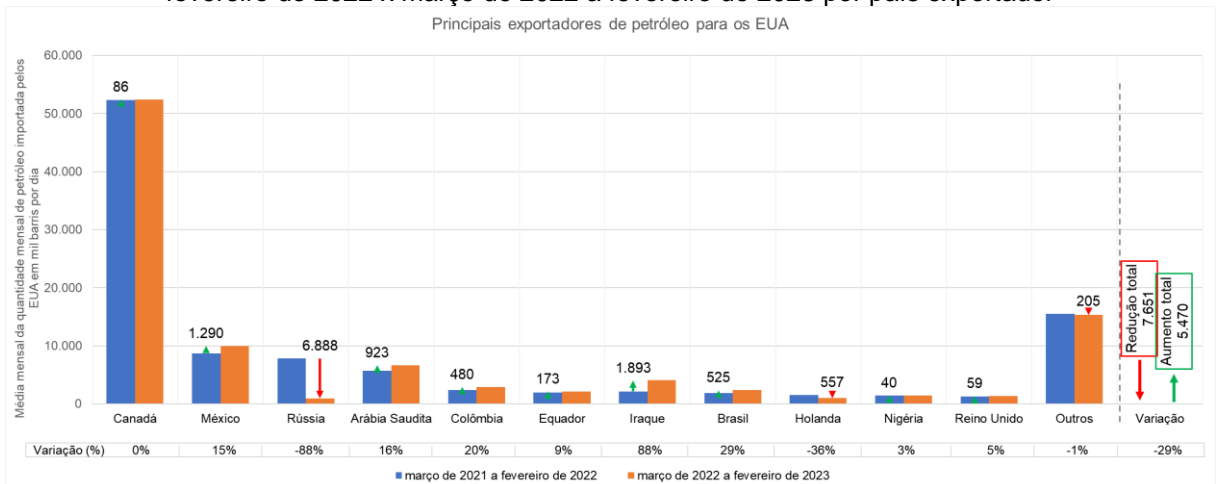
Figura 88 – Histórico dos principais países exportadores de petróleo para os EUA



Fonte: Elaboração própria a partir de dados da [EIA \(2023g\)](#).

A análise do período pré-guerra e durante a guerra confirma a pequena variação na quantidade de petróleo importada pelos EUA. Em relação à média mensal, em mil barris por dia, presente na Figura 89, ocorreu a redução nas importações de petróleo, pois a partir de maio de 2022 as importações de petróleo provenientes da Rússia foram suspensas.

Figura 89 – Comparação da quantidade de petróleo importada pelos EUA de março de 2021 a fevereiro de 2022 x março de 2022 a fevereiro de 2023 por país exportador



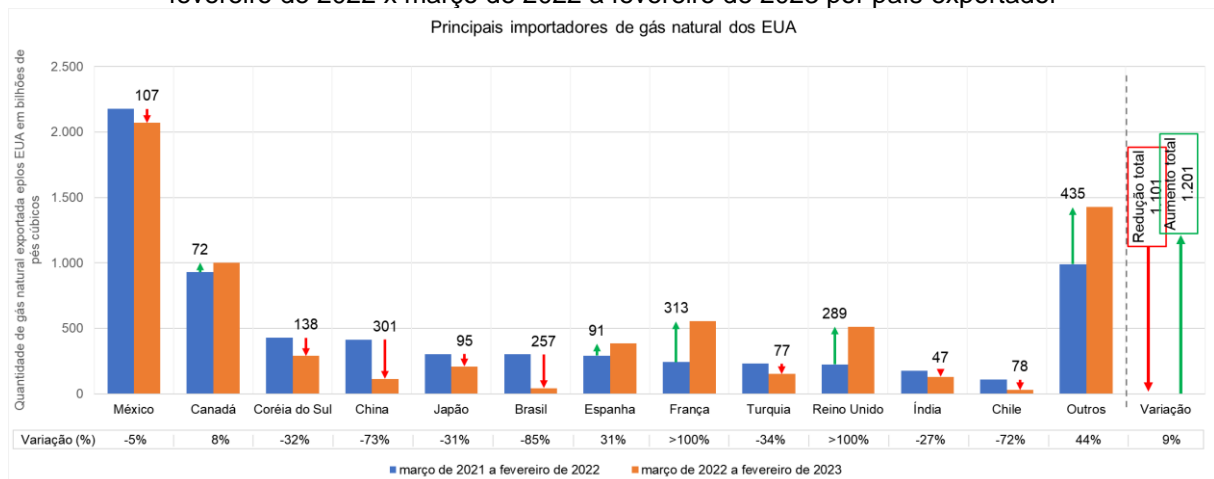
Fonte: Elaboração própria a partir de dados da [EIA \(2023g\)](#).

Contudo, devido à Rússia não ser o principal exportador de petróleo para os EUA, o impacto da eliminação das importações provenientes da Rússia foi muito pequeno, visto que os EUA passaram a importar mais petróleo dos seus principais exportadores, Canadá e México; além de países da OPEP, por exemplo, Iraque e Arábia Saudita.

Apesar de não ser expressiva a importação de gás natural, é interessante analisar o fluxo de importações e exportações, visto que outros países analisados, por exemplo, o RU importou muito gás natural dos EUA. Em relação às importações de gás natural realizadas pelos EUA, praticamente todo o gás natural importado foi proveniente do Canadá e no período durante a GRU não foram verificadas mudanças nas importações.

Em relação às exportações, praticamente não ocorreu variação, mas sim a mudança nos fluxos. Os EUA aumentaram expressivamente as exportações de gás natural para países da Europa, por exemplo, França e RU; e diminuíram as exportações para países da América e da Ásia, por exemplo, Brasil, Chile, China, como mostrado na Figura 90.

Figura 90 – Comparação da quantidade de gás natural exportada pelos EUA de março de 2021 a fevereiro de 2022 x março de 2022 a fevereiro de 2023 por país exportador



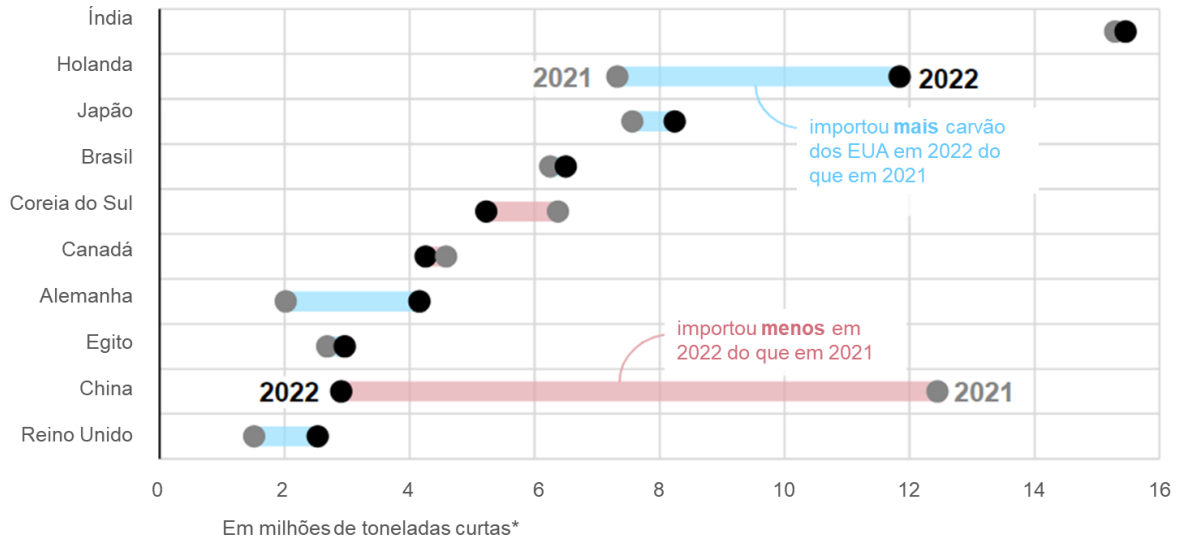
Fonte: Elaboração própria a partir de dados da [EIA \(2023h\)](#).

De acordo com dados da [EIA \(2023d\)](#), em 2022, os países que mais importaram carvão dos EUA foram Índia, Holanda, Japão, Brasil e Coreia do Sul. Embora os Estados Unidos tenham exportado, aproximadamente, a mesma quantidade de carvão em 2022 e em 2021, os destinos mudaram significativamente, conforme Figura 91. As exportações de carvão dos EUA para a Europa quase duplicaram após as sanções à Rússia em decorrência da GRU, dado que a Rússia era normalmente responsável por 40% das importações de carvão para a Europa.

Um declínio acentuado nas exportações de carvão dos EUA para a China compensou o aumento nas remessas para a Europa, com a diminuição de quase 77% das exportações de carvão dos EUA para a China em 2022, impulsionada pelo

crescimento na produção interna de carvão da China, bem como pela decisão da China de retomar as importações de carvão da Austrália ([EIA, 2023d](#)).

Figura 91 – Exportações anuais de carvão dos EUA segundo os 10 principais países de destino em 2022



Fonte: [EIA \(2023d\)](#).

*A tonelada curta é uma unidade de medida igual a 2.000 libras, comumente usada nos EUA.

Os resultados em relação às importações apontam que a hipótese *a.i* (substituição da importação) é válida no caso das importações de petróleo, visto que os EUA deixaram de importar petróleo russo e passaram a importar mais petróleo de outros países, invalidando a hipótese *a.iii* (redução da importação). Em relação ao gás natural, os EUA não importavam gás russo, mas sim do Canadá, por isso, não houve mudanças. A hipótese *a.ii* (alteração da importação) é inválida, pois o petróleo continuou sendo a fonte mais importada e não ocorreram mudanças significativas nas importações de gás natural e carvão.

4.3.2 Produção de eletricidade e consumo de energia

A análise dos dados de capacidade instalada anual da [EIA \(2023a\)](#) permite auxiliar nas análises de aumento ou diminuição da geração de eletricidade. A Tabela 7 mostra que os EUA têm aumentado nos últimos anos as capacidades instaladas de gás natural, energia eólica e solar; e reduzido, principalmente, a capacidade de carvão, comprovando o foco na transição energética.

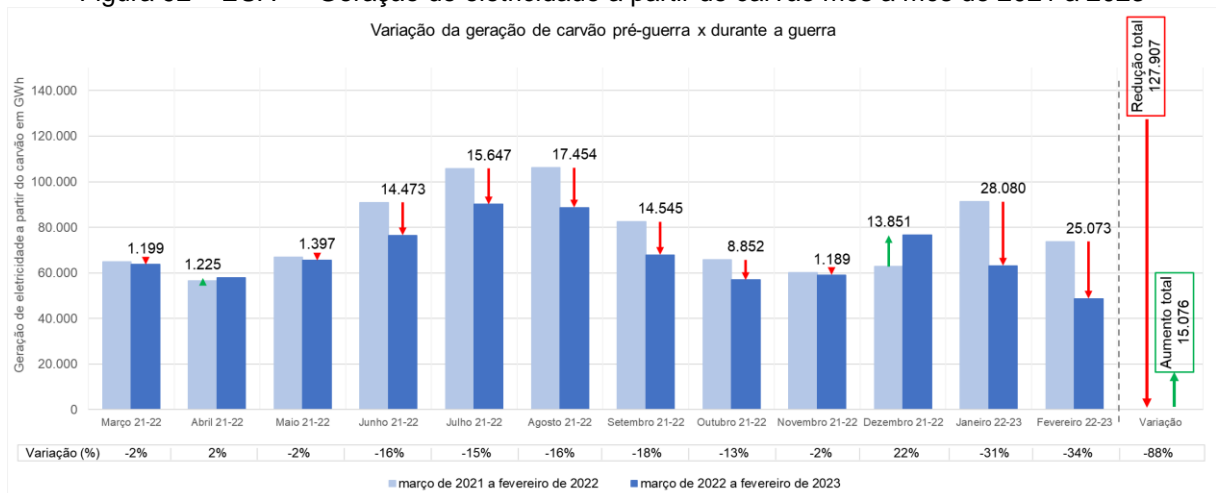
Tabela 7 – Variação nas capacidades instaladas em MW nos últimos seis anos

Variação nas capacidades instaladas em MW						
	Carvão	Nuclear	Gás natural	Eólica	Hidrelétrica	Solar
2018–2019	-14.129	-1.314	6.330	9.153	-151	5.590
2019–2020	-13.103	-1.618	9.240	14.808	389	10.586
2020–2021	-5.728	-955	6.063	14.374	-22	13.496
2021–2022	-11.574	-781	5.092	8.183	112	10.558
Aumento/Redução total	-44.534	-4.668	26.725	46.518	328	40.230

Fonte: Elaboração própria a partir de dados da [EIA \(2023a\)](#).

É possível verificar na Figura 92 que nos primeiros três meses após o início da guerra, os EUA diminuíram a geração de carvão numa porcentagem muito abaixo, em torno de 2%, dos meses posteriores. Isso significa que a guerra não afetou essa geração, visto que os EUA, por apresentarem planos de transição energética, vinham diminuindo a geração de carvão numa porcentagem em torno de 16%. Após os três primeiros meses do início da guerra, os EUA conseguiram restabelecer a redução da geração dessa fonte, apresentando a redução total de 127.907 GWh, comparada a um aumento de 15.076 GWh.

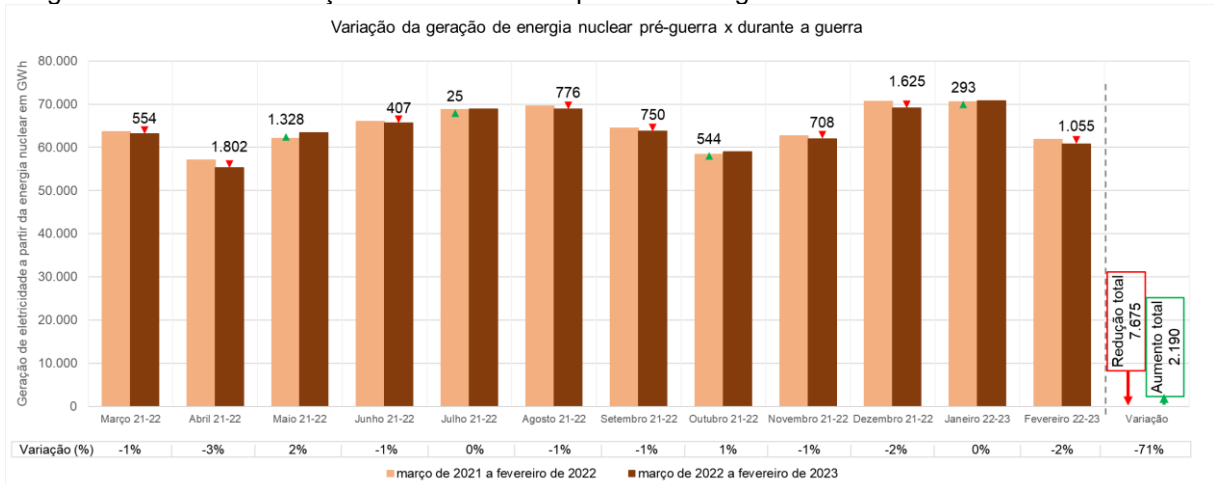
Figura 92 – EUA — Geração de eletricidade a partir de carvão mês a mês de 2021 a 2023



Fonte: Elaboração própria a partir de dados da [IEA \(2023c\)](#).

A geração de eletricidade proveniente de energia nuclear se manteve praticamente constante na comparação dos períodos pré-guerra e durante a guerra, apresentando variações entre 1% e 2%, conforme Figura 93.

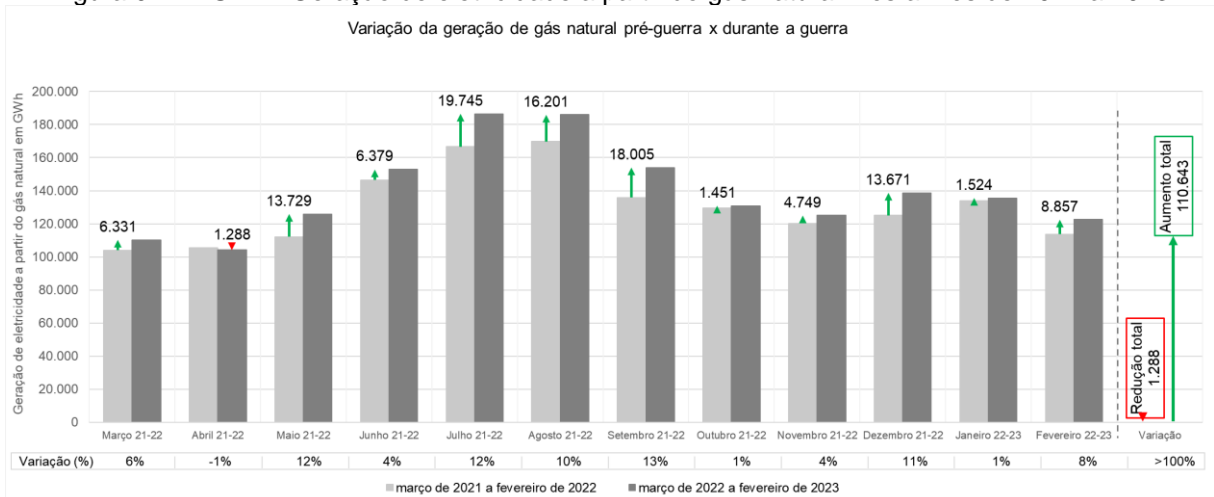
Figura 93 – EUA — Geração de eletricidade a partir de energia nuclear mês a mês de 2021 a 2023



Fonte: Elaboração própria a partir de dados da [IEA \(2023c\)](#).

Conforme observado, os EUA auxiliaram países da Europa devido à GRU, exportando gás natural para o RU. Dados da [EIA \(2023a\)](#) mostram que, entre março de 2021 e fevereiro de 2023, ocorreu o aumento da capacidade instalada de gás natural em quase 13,5 GW e um aumento na produção de gás natural, conforme Figura 94. O aumento foi expressivo, de 110.643 GWh, mostrando a importância dos EUA como um exportador de gás natural.

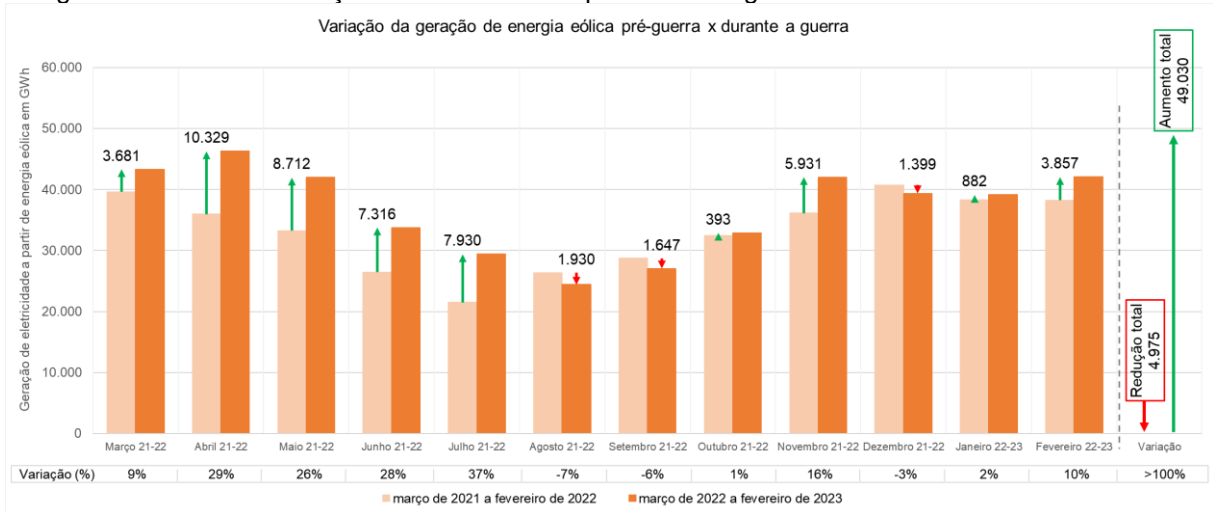
Figura 94 – EUA — Geração de eletricidade a partir do gás natural mês a mês de 2021 a 2023



Fonte: Elaboração própria a partir de dados da [IEA \(2023c\)](#).

Seguindo os planos de transição energética, ocorreu o aumento de 49.030 GWh contra a redução total de 4.975 GWh na geração eólica, como mostrado na Figura 95. Como o aumento foi expressivo, acredita-se que a produção dessa fonte de energia também aumentou devido à guerra, possivelmente, para auxiliar no consumo interno dos EUA, que será analisado adiante.

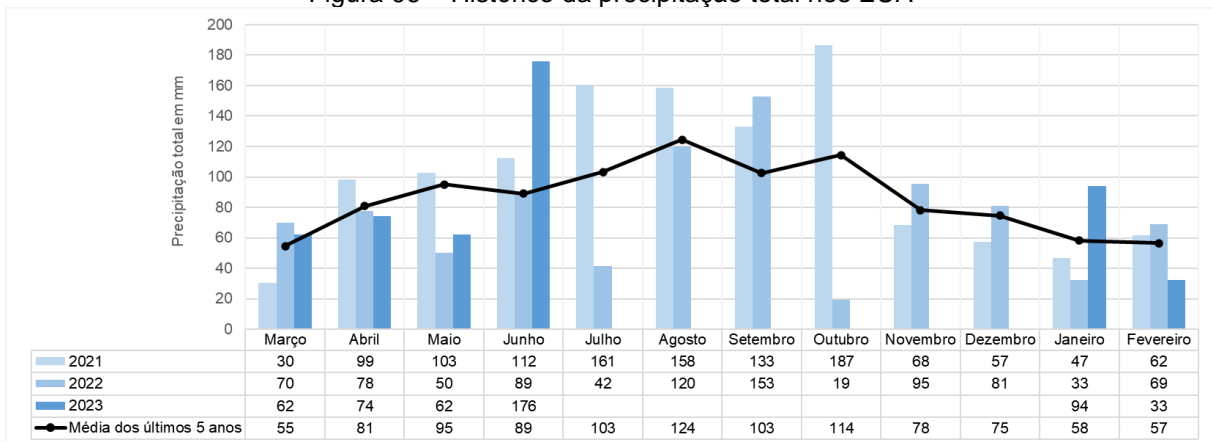
Figura 95 – EUA — Geração de eletricidade a partir de energia eólica mês a mês de 2021 a 2023



Fonte: Elaboração própria a partir de dados da [IEA \(2023c\)](#).

A análise da Figura 96 mostra que os meses mais chuvosos geralmente foram julho a outubro, de acordo com a média dos últimos cinco anos, com exceção de outubro de 2021 e junho de 2023, que apresentaram um alto volume de precipitação em relação à média.

Figura 96 – Histórico da precipitação total nos EUA

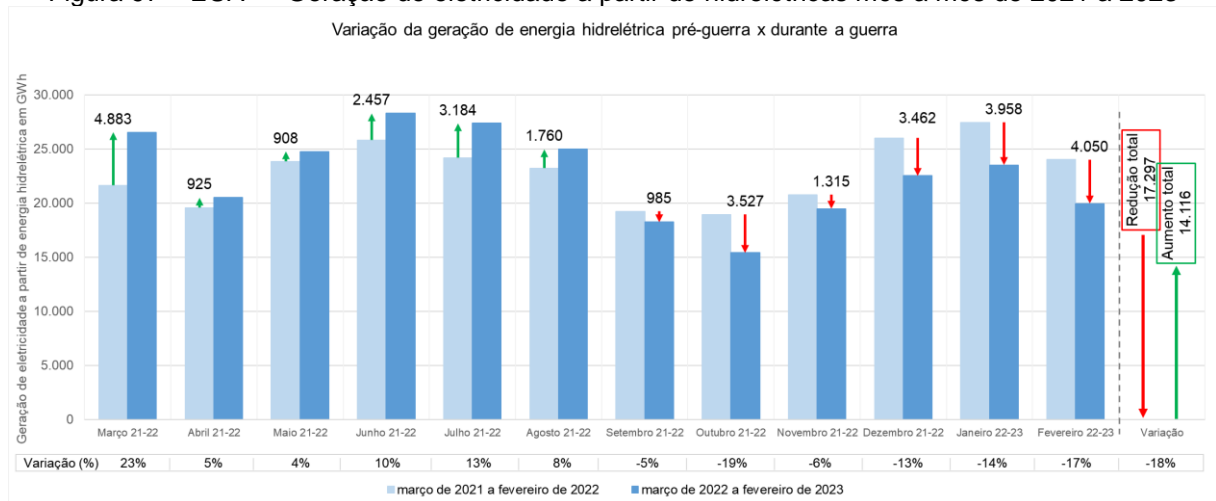


Fonte: Elaboração própria a partir de dados do [NOAA \(2023\)](#).

A Figura 97 mostra que a geração hidrelétrica teve uma variação negativa no período considerado. Ocorreu a redução total de 17.297 GWh comparada a um aumento total de 14.116 GWh. Não é possível afirmar que a produção de energia proveniente de hidrelétricas não ajudou no período durante a guerra, visto que nos meses mais próximos do início da guerra a geração aumentou. Porém, também não é possível afirmar que tal geração contribuiu com a produção de energia, visto que o

maior aumento foi no mês de março, aproximadamente, 23%, o qual também apresentou um aumento na precipitação em 2022, em comparação com 2021. Logo, a análise da geração hidrelétrica em relação ao período pré-guerra e durante a guerra é inconclusiva.

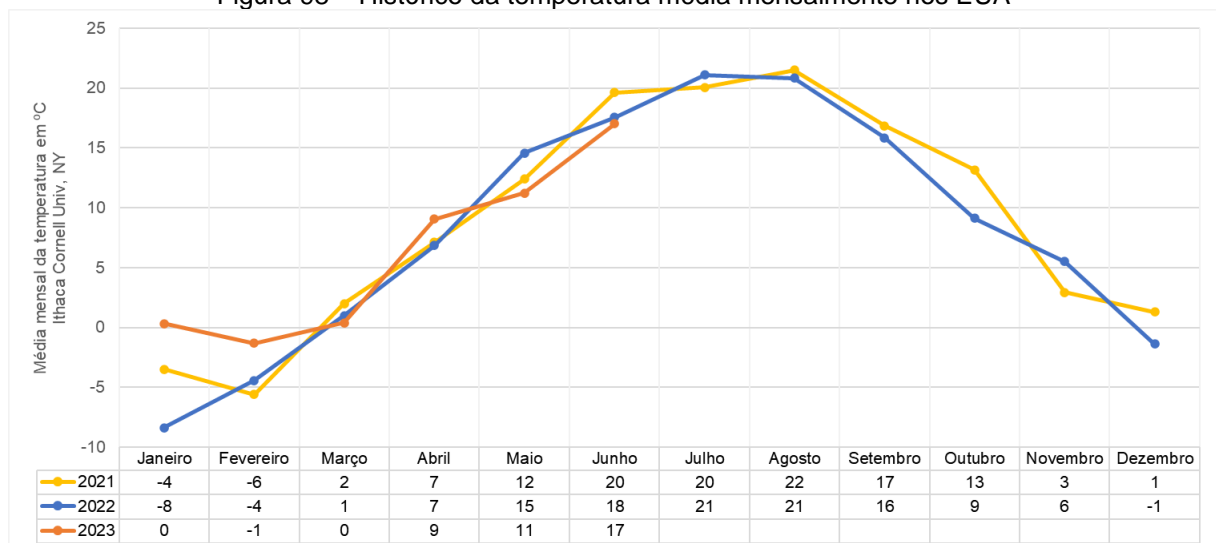
Figura 97 – EUA — Geração de eletricidade a partir de hidrelétricas mês a mês de 2021 a 2023



Fonte: Elaboração própria a partir de dados da [IEA \(2023c\)](#).

Em relação à temperatura, conforme a Figura 98, os EUA apresentam um inverno rigoroso de novembro a março; e um verão ameno de junho a setembro, meses nos quais se espera maior radiação solar.

Figura 98 – Histórico da temperatura média mensalmente nos EUA

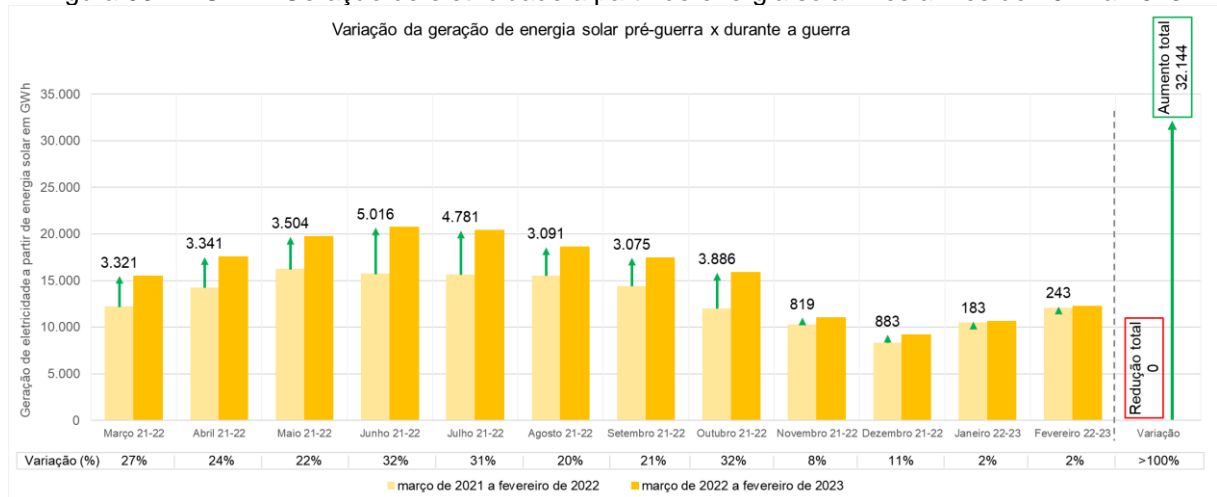


Fonte: Elaboração própria a partir de dados do [NOAA \(2023\)](#).

A geração de energia solar segue praticamente a curva analisada de temperatura, tendo maior geração de maio a agosto. A Figura 99 mostra que durante

a guerra houve um aumento expressivo na geração solar, que variou de 20% a 30%. Em virtude disso, ocorreu um aumento total de 32.144 GWh e assume-se que essa fonte de energia teve um impacto significativo no auxílio à produção de eletricidade.

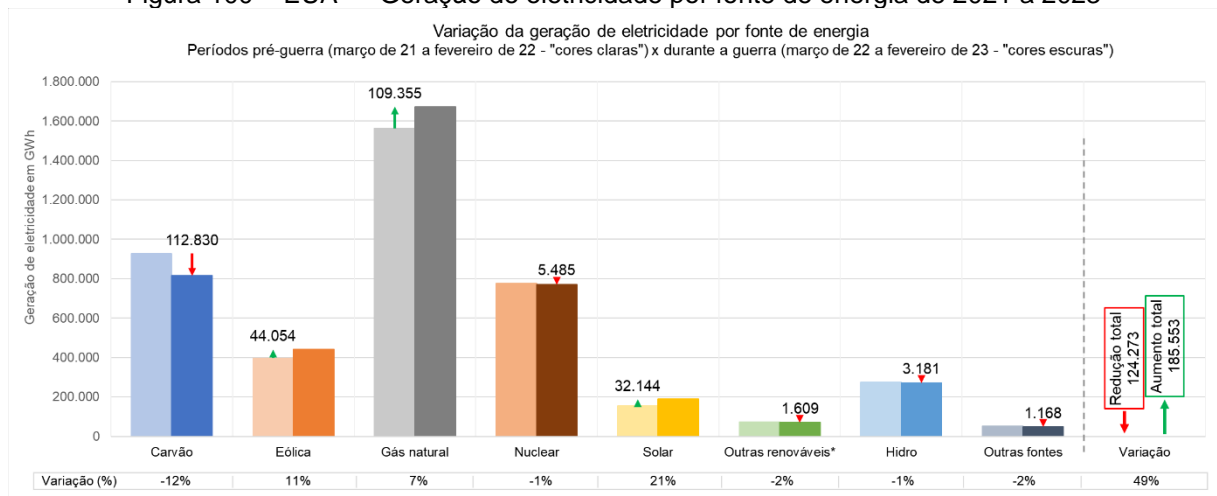
Figura 99 – EUA — Geração de eletricidade a partir de energia solar mês a mês de 2021 a 2023



Fonte: Elaboração própria a partir de dados da [IEA \(2023c\)](#).

A análise da geração de eletricidade das principais fontes de energia, Figura 100, mostra que os EUA apresentaram resultados extremamente positivos em relação à transição energética, pois, além da diminuição na produção de carvão, ocorreu aumento nas produções eólica e solar. Além disso, o país foi um importante produtor de gás natural, fonte que além de ser usada internamente, auxiliou países da Europa que deixaram de importar gás russo.

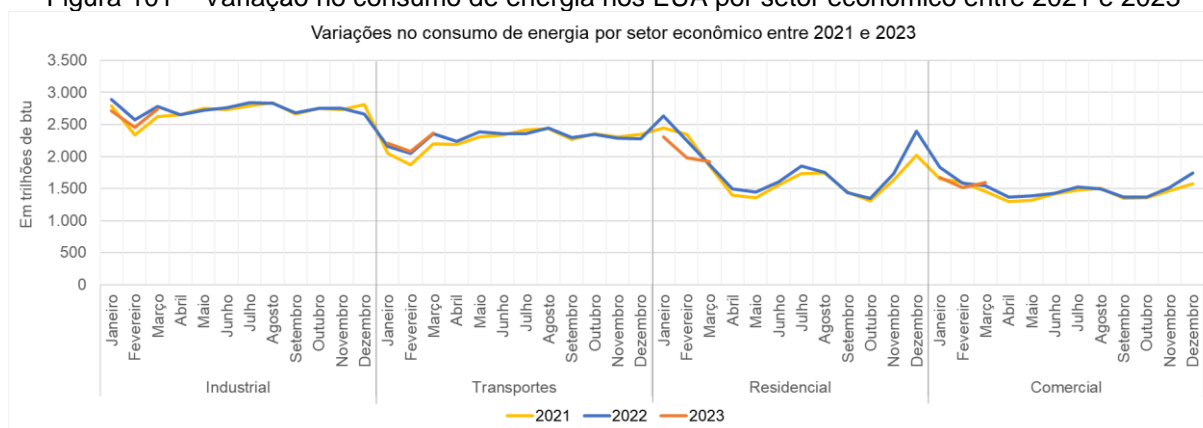
Figura 100 – EUA — Geração de eletricidade por fonte de energia de 2021 a 2023



Fonte: Elaboração própria a partir de dados da [IEA \(2023c\)](#).

Em relação ao consumo de energia, a análise do consumo por setor econômico mostra que a guerra não impactou o consumo dos EUA, o qual apresentou variações pouco relevantes conforme as curvas de 2021 e 2022, presentes na Figura 101, invalidando a hipótese *b.iii* (variação do consumo).

Figura 101 – Variação no consumo de energia nos EUA por setor econômico entre 2021 e 2023



Fonte: Elaboração própria a partir de dados da [EIA \(2023j\)](#).

O resumo dos principais resultados dos EUA é mostrado na Tabela 8.

Tabela 8 – EUA — Avaliação das hipóteses e resultados

Hipóteses	Resultados
<i>a.i</i> – substituição da importação	Os EUA deixaram de importar petróleo russo e passaram a importar de outros países. Ressalta-se que uma pequena parte do petróleo importado pelos EUA era proveniente da Rússia, por isso, a facilidade na substituição.
<i>a.ii</i> – alteração da importação	O petróleo continuou sendo a principal fonte de energia importada e não ocorreram variações significativas nas importações de gás natural e carvão. O carvão geralmente é uma fonte pouco importada pelos EUA; e praticamente todo o gás natural importado pelos EUA é proveniente do Canadá, por isso, a guerra não impactou nas importações dessas suas fontes.
<i>a.iii</i> – redução da importação	A hipótese <i>a.i</i> invalida a hipótese <i>a.iii</i> .
<i>b.i</i> – geração não renovável	Essa hipótese é parcialmente válida. Ocorreu uma extrema redução na produção de carvão, o que invalidaria a hipótese <i>b.i</i> , porém, houve um extremo aumento na produção de gás natural. Apesar de não ser uma fonte renovável, o aumento da produção de gás natural, nesse caso, foi visto como positivo, pois os EUA exportaram essa fonte para muitos países europeus que deixaram de importá-la da Rússia.
<i>b.ii</i> – geração renovável	Ocorreu o aumento de, aproximadamente, 50 mil GWh na geração eólica e 30 mil GWh na geração solar, resultados muito positivos em relação à transição energética.
<i>b.iii</i> – variação do consumo	Não houve mudanças no consumo de energia.

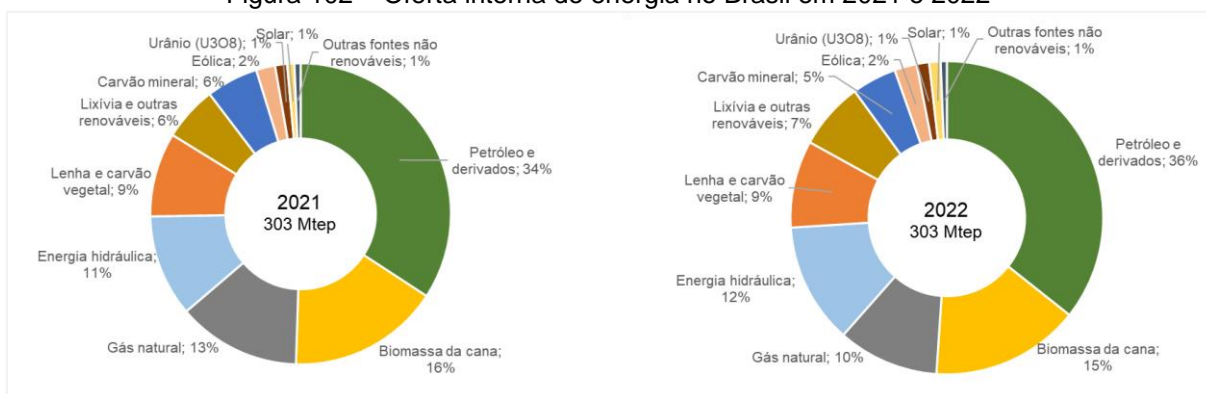
Fonte: Elaboração própria.

Em resumo, como consequência da GRU, os EUA aumentaram a produção e a exportação de gás natural, com maior volume sendo direcionado ao RU.

4.4 IMPACTOS DA GUERRA NO BRASIL

De acordo com dados do Balanço Energético Nacional (BEN), elaborado pela Empresa de Pesquisa Energética ([EPE, 2023c](#)), em 2022, a oferta interna de energia ainda foi majoritariamente não renovável (53%), constituída por petróleo e derivados (36%); gás natural (10%); carvão mineral (5%); urânio (1%) e outras fontes não renováveis (1%). Apesar disso, a matriz energética brasileira mantém um alto índice renovável (47%), muito superior ao observado em outros países. A participação de renováveis, em 2022, foi composta por biomassa da cana (15%); energia hidráulica (~13%); lenha e carvão vegetal (9%); lixívia e outras renováveis (7%); eólica (2%) e solar (1%), conforme Figura 102.

Figura 102 – Oferta interna de energia no Brasil em 2021 e 2022



Fonte: Elaboração própria a partir de dados da [EPE \(2023c\)](#).

As principais mudanças na matriz energética em 2022, em relação a 2021, foram a redução da biomassa devido às reduções da produção de etanol, de gás natural e de carvão mineral.

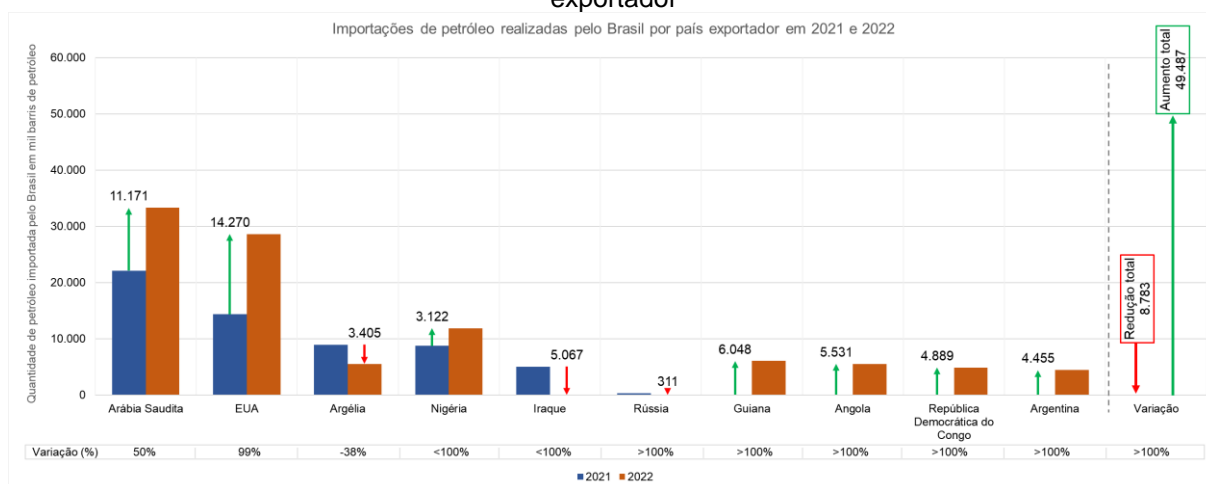
4.4.1 Importações de combustíveis

A Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) divulga os dados de comercialização de petróleo e derivados, gás natural e biocombustíveis, principais fontes de energia presentes na matriz energética. Contudo, os dados de

importação por país de origem são apenas anuais, por isso, não é possível analisar as importações conforme o período considerado nas análises anteriores, ou seja, de março de 2021 a fevereiro de 2022, e março de 2022 a fevereiro de 2023. Ressalta-se que dados mensais de importação são disponibilizados pela ANP, porém, não há a identificação do país de origem.

A Figura 103 mostra todos os países exportadores de petróleo para o Brasil em 2021 e 2022. O total de petróleo importado em 2021 foi 59.564 mil barris de petróleo¹³; em 2022 foi 100.268 mil barris de petróleo. Portanto, visto que o ano de 2021 não sofreu interferências da guerra iniciada em fevereiro de 2022, é possível concluir que ocorreu um aumento nas importações de petróleo realizadas pelo Brasil no período durante a guerra, especialmente, nas importações provenientes da Arábia Saudita e dos EUA. Em relação às importações provenientes da Rússia, em 2022, elas foram nulas; enquanto em 2021, apenas uma pequena parcela do petróleo era proveniente da Rússia, em torno de 311 mil barris de petróleo em 2021.

Figura 103 – Comparação da quantidade de petróleo importada pelo Brasil 2021 x 2022 por país exportador



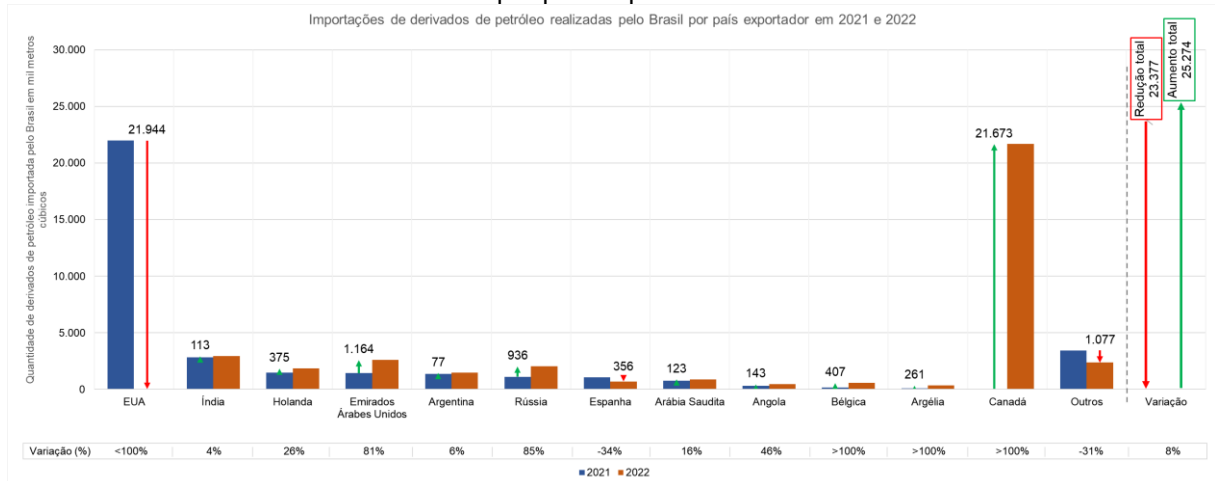
Fonte: Elaboração própria a partir de dados da [ANP \(2023a\)](#).

A ANP disponibiliza os dados de importação de derivados de petróleo, a qual também aumentou de 2021 (36.034 mil m³) para 2022 (37.932 mil m³). A Figura 104 evidencia que a importação de derivados aumentou pouco, porém, ocorreu a substituição de importadores. Em 2021, a maioria dos derivados de petróleo era importada dos EUA; em 2022, passou a ser importada do Canadá. Os resultados

¹³ 1 barril de petróleo equivale a 0,15898729 m³.

mostram um aumento total de 25.274 mil m³ e uma redução total de 23.377 mil m³, aproximadamente, saldo positivo de 8%.

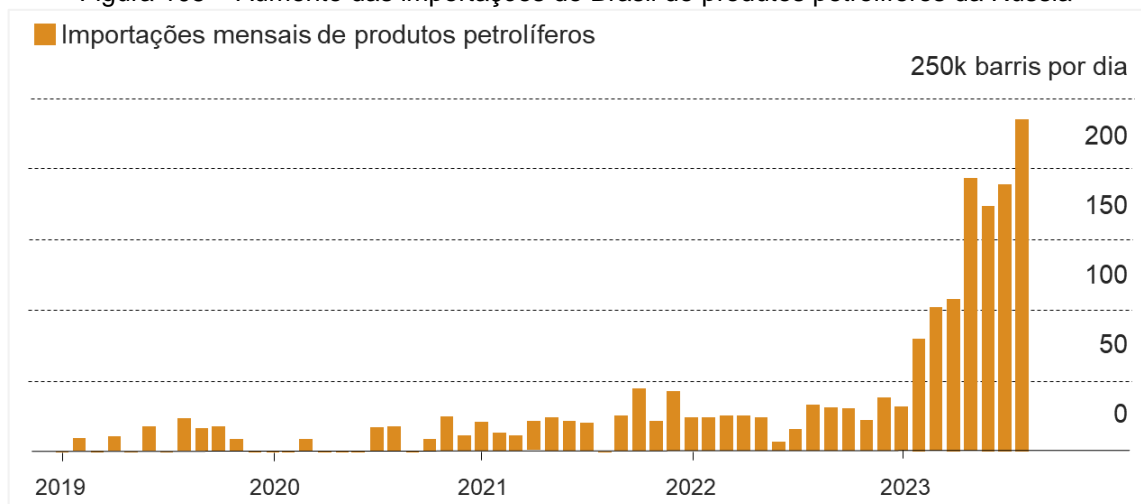
Figura 104 – Comparação da quantidade de derivados de petróleo importada pelo Brasil 2021 x 2022 por país exportador



Fonte: Elaboração própria a partir de dados da [ANP \(2023b\)](#).

Apesar da pequena importação de petróleo e derivados russos em 2021 e 2022, em 2023, a situação mudou, conforme Figura 105. Devido às restrições europeias às importações russas, a Rússia tem buscado novos mercados e o Brasil é um deles. Segundo notícia do [Bloomberg \(2023\)](#), em 2023, a Rússia passou a ser o principal fornecedor de produtos petrolíferos para o Brasil, visto que o Brasil almejava reduzir os custos de combustíveis para transporte e aproveitou os preços mais atrativos do petróleo russo. Como consequência, o Brasil se tornou o segundo maior comprador do diesel russo, atrás apenas da Turquia.

Figura 105 – Aumento das importações do Brasil de produtos petrolíferos da Rússia

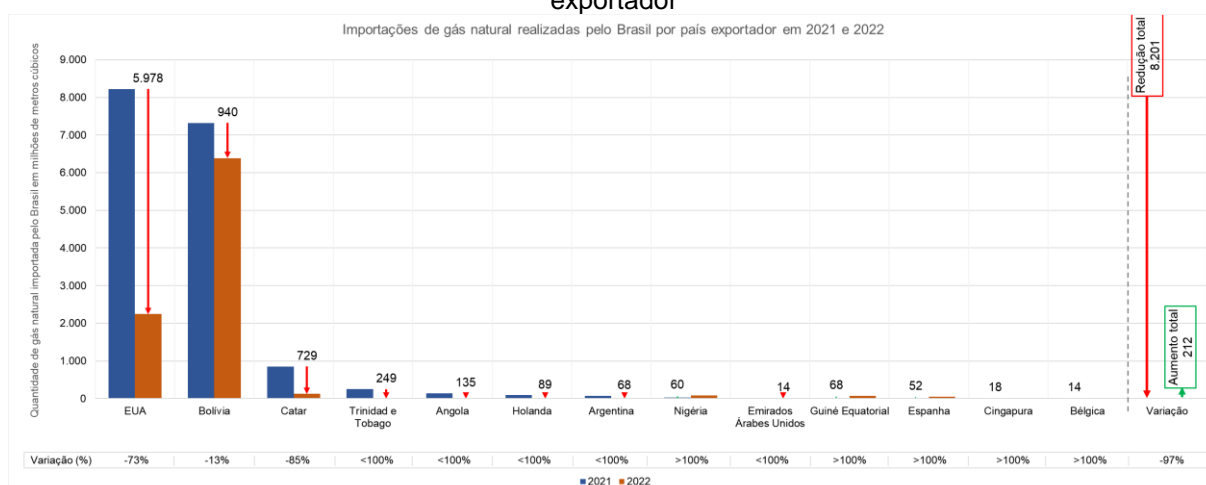


Fonte: [Kpler \(2023 apud Bloomberg, 2023\)](#).

Os dados de exportação foram levantados, mas não tiveram variações significativas de um ano para o outro. Em relação ao petróleo, em 2021 foram exportados 76.778 mil m³ e em 2022, 78.092 mil m³. Em relação aos derivados de petróleo, em 2021 foram exportados 16.396 mil m³ e em 2022, 19.020 mil m³, variação inferior a 3 mil m³.

As importações de gás natural realizadas pelo Brasil diminuíram quase pela metade entre 2021 e 2022, devido ao replecionamento (aumento) do nível dos reservatórios graças ao regime de chuvas em 2022 (EPE, 2023c). Conseqüentemente, em 2021, o país presenciou uma grave escassez hídrica; enquanto em 2022, as usinas termelétricas foram despachadas apenas pela compulsoriedade comercial. Em 2021, foi importado 16.974 milhões de m³ de gás natural e em 2022, 8.985 milhões de m³, conforme Figura 106.

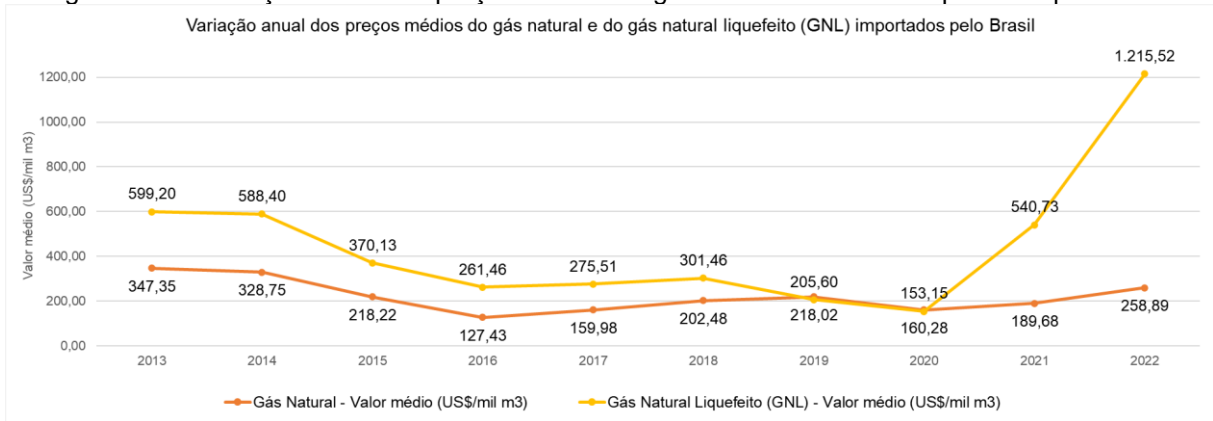
Figura 106 – Comparação da quantidade de gás natural importada pelo Brasil 2021 x 2022 por país exportador



Fonte: Elaboração própria a partir de dados da ANP (2023c).

A variação dos preços médios do gás natural e do gás natural liquefeito (GNL) é mostrada na Figura 107. Em 2021, o valor médio do gás natural foi 189,68 US\$/mil m³ e em 2022, 258,89 US\$/mil m³, uma variação de 36,5%. O valor médio do GNL apresentou uma variação ainda maior, de 125%, sendo o preço médio em 2021, 540,73 US\$/mil m³ e em 2022, 1.215,52 US\$/mil m³. Observa-se que se a escassez hídrica de 2021 tivesse se estendido para 2022, o país teria tido, ou estaria tendo, grandes dificuldades de superá-la.

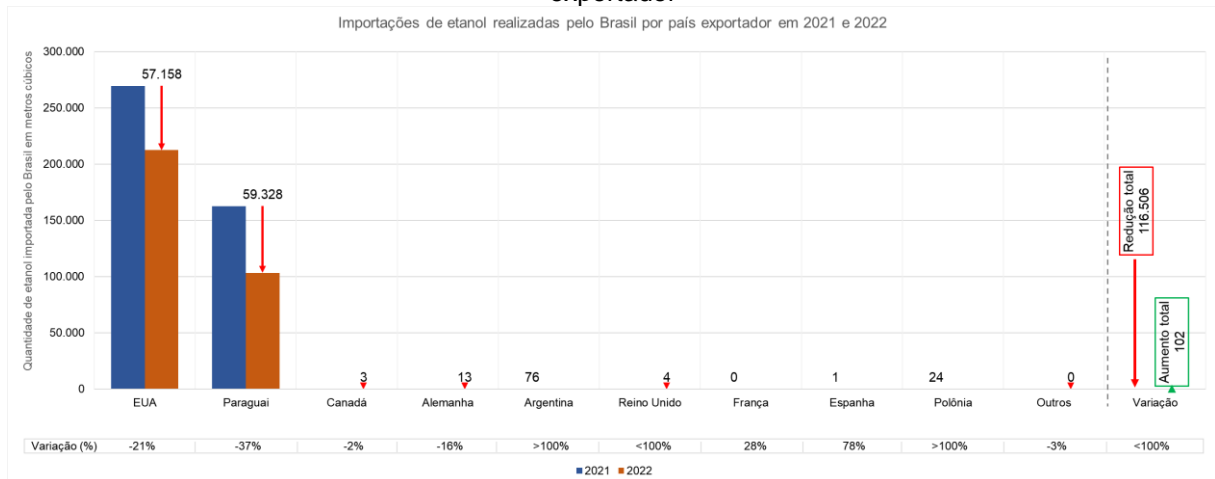
Figura 107 – Variação anual dos preços médios do gás natural e do GNL importados pelo Brasil



Fonte: Elaboração própria a partir de dados da [ANP \(2023c\)](#).

A Figura 108 mostra a variação nas importações de etanol entre 2021 e 2022. Nesse período, ocorreu a diminuição de 116 mil m³ de etanol importado. Em 2021 foram importados 432 mil m³ e em 2022, 316 mil m³. Praticamente todo o etanol importado foi proveniente dos EUA e do Paraguai; e o Brasil não conseguiu substituir as importações desses dois países. A queda nas importações pode ter sido causada pelo aumento do preço do etanol, em decorrência do aumento dos preços das commodities no mercado global com a guerra. Outro motivo para a queda pode ter sido devido ao aumento da produção local e/ou à redução do consumo interno.

Figura 108 – Comparação da quantidade de etanol importada pelo Brasil 2021 x 2022 por país exportador

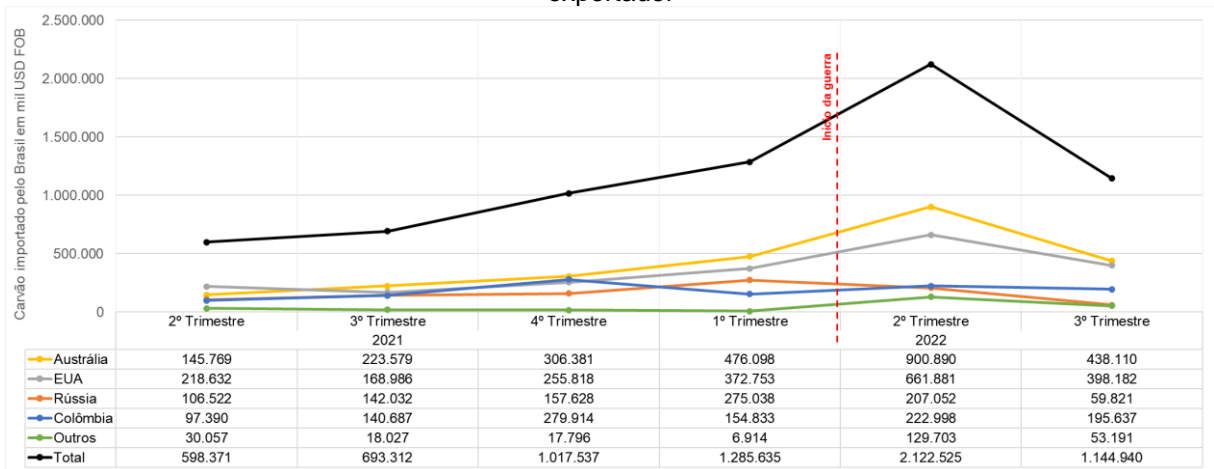


Fonte: Elaboração própria a partir de dados da [ANP \(2023d\)](#).

Apesar do carvão mineral compor apenas 5% da matriz energética brasileira em 2022, é possível notar a redução em relação a 2021, quando essa fonte era responsável por 6% da matriz. De acordo com a Figura 109, é possível notar o aumento de carvão importado, em valor de mercadoria, após o início da guerra em

quase todos os principais exportadores de carvão mineral, exceto a Rússia. Contudo, o elevado aumento no segundo trimestre de 2022 se deve também ao aumento dos preços das commodities, visto que antes da guerra, a importação em valor de carvão já vinha ascendendo; após o início da guerra, teve um acentuado crescimento. Além disso, dados de importação do BEN2023 da [EPE \(2023b\)](#) mostram que, em volume, a importação de carvão teve uma pequena diminuição de 2021 para 2022.

Figura 109 – Quantidade de carvão mineral importada em valor pelo Brasil em 2021 e 2022 por país exportador



Fonte: Elaboração própria a partir de dados da [ANM \(2023\)](#).

Os resultados de importação das principais fontes de energia brasileira mostram a redução nas importações de gás natural e de etanol, especialmente, dos EUA. Em nenhum dos casos pode-se afirmar correlação com a guerra, pois no caso do gás está vinculado ao término da escassez hídrica, e no caso do etanol pode ser em decorrência do aumento dos preços das commodities no mercado global, ou pelo aumento da produção local e/ou pela redução do consumo interno.

Ocorreu o aumento nas importações de petróleo da Arábia Saudita e dos EUA em 2022. Contudo, em relação aos derivados de petróleo, a partir de 2023, a Rússia se tornou o principal fornecedor de produtos petrolíferos para o Brasil. Ressalta-se a falta de dados de 2023, não divulgados pelo governo brasileiro, que impossibilita a conclusão da análise, visto que o Brasil pode ter deixado de importar de um país e passado a importar da Rússia mantendo o mesmo volume nas importações totais, ou a Rússia pode ter aumentado as importações totais de produtos petrolíferos para o Brasil.

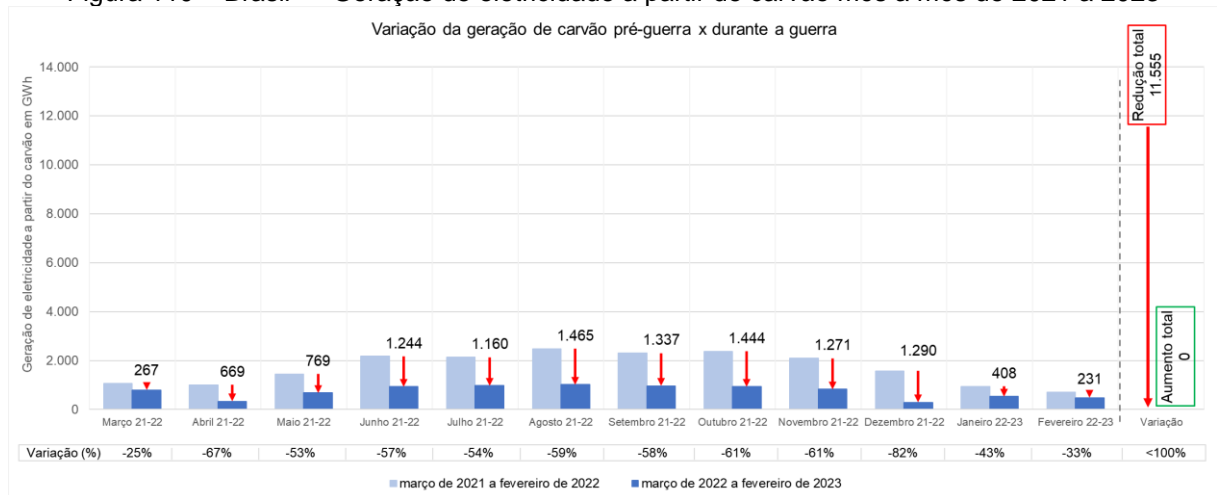
Em relação ao carvão, não é possível afirmar um aumento nas importações, visto que a obtenção de dados se restringiu a valores monetários de importação e,

conforme explicado, durante a guerra os preços das commodities aumentaram. Por isso, a hipótese *a.iii* (redução da importação) é parcialmente válida, visto que pela falta de dados da quantidade de carvão importada, não é possível afirmar se ocorreu a redução total das importações; porém, ocorreu a redução das importações de gás e etanol.

4.4.2 Produção de eletricidade e consumo de energia

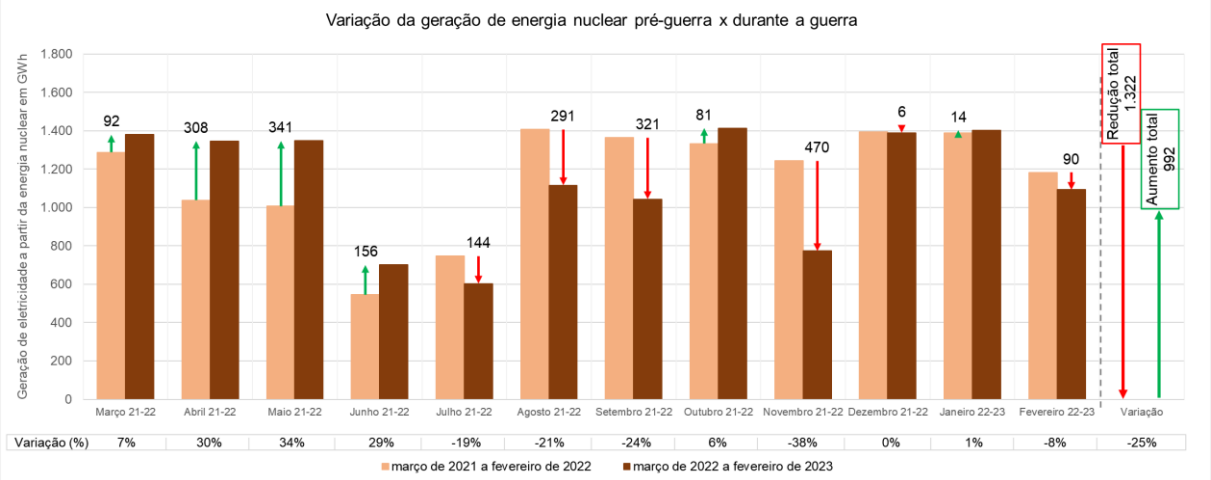
A matriz de energia elétrica brasileira é majoritariamente renovável, especialmente, pela geração hidrelétrica facilitada pela abundância das bacias hidrográficas. O carvão, por exemplo, constituiu apenas 2% da matriz elétrica em 2022. A análise da geração mensal na Figura 110 mostra que o Brasil reduziu a produção de carvão mensalmente a níveis em torno de 50%, exceto em março, período mais próximo ao início da guerra, quando a redução foi de 25%. Os resultados são decorrentes do replecionamento dos reservatórios, quando o despacho termelétrico a carvão foi no mínimo contratual (inflexibilidade).

Figura 110 – Brasil — Geração de eletricidade a partir de carvão mês a mês de 2021 a 2023



Assim como no caso do carvão, por compor apenas 2% da matriz elétrica brasileira, as variações de energia nuclear foram irrelevantes. A Figura 111 mostra a extrema variação percentual mensal na geração de eletricidade nuclear, porém, em quantidade, a variação foi muito pequena, inferior a 500 GWh. Isso se deve, provavelmente, por motivos operacionais das duas usinas, Angra 1 e Angra 2, sem qualquer vínculo com a guerra.

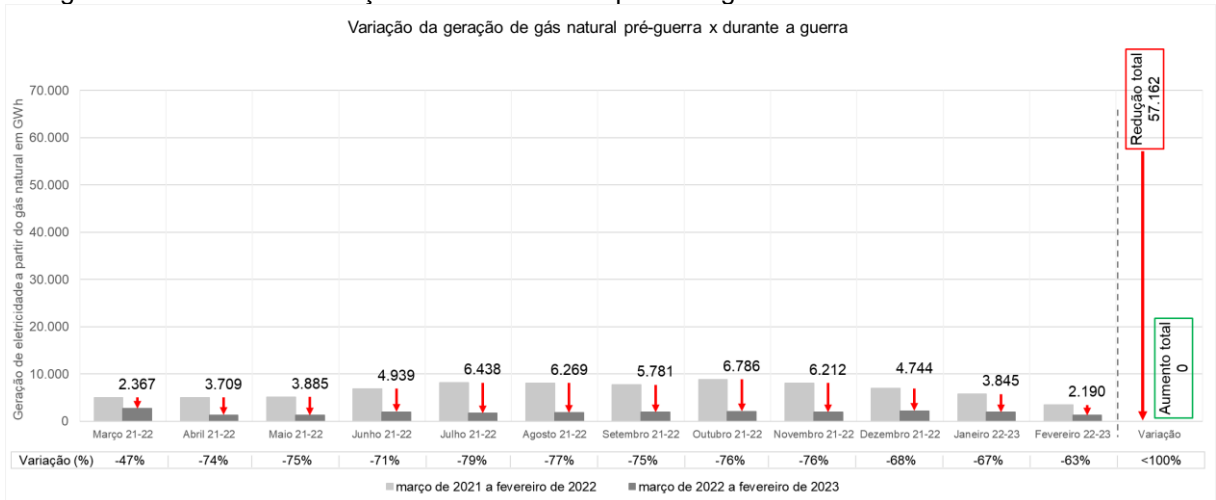
Figura 111 – Brasil — Geração de eletricidade a partir de energia nuclear mês a mês de 2021 a 2023



Fonte: Elaboração própria a partir de dados da [IEA \(2023c\)](#).

A análise da geração de eletricidade proveniente de gás natural, presente na Figura 112, mostra um comportamento semelhante ao do carvão, com altos índices de redução da produção, exceto em março, mês mais próximo do início da GRU. Ressalta-se que a redução da produção de gás natural foi maior que a do carvão, em torno de 70% a 80%, resultando na redução total de 57 mil GWh no período. O motivo foi a redução do despacho de termelétricas devido ao fim do período de crise hídrica.

Figura 112 – Brasil — Geração de eletricidade a partir do gás natural mês a mês de 2021 a 2023

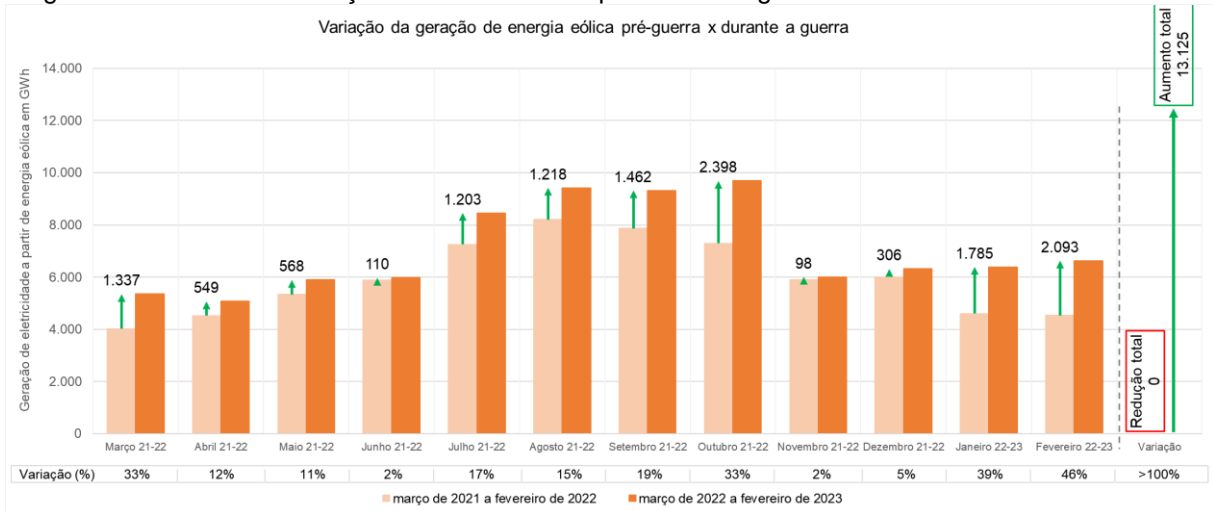


Fonte: Elaboração própria a partir de dados da [IEA \(2023c\)](#).

O Brasil vem investindo cada vez mais em energias renováveis, por isso, além da condição proporcionada pelas bacias hidrográficas, a energia eólica e solar também vem apresentando crescimento anual. Em relação à energia eólica, ocorreu o aumento de 13.125 GWh no período considerado, conforme Figura 113,

provavelmente em virtude das novas plantas que entraram em operação comercial nesse período.

Figura 113 – Brasil — Geração de eletricidade a partir de energia eólica mês a mês de 2021 a 2023

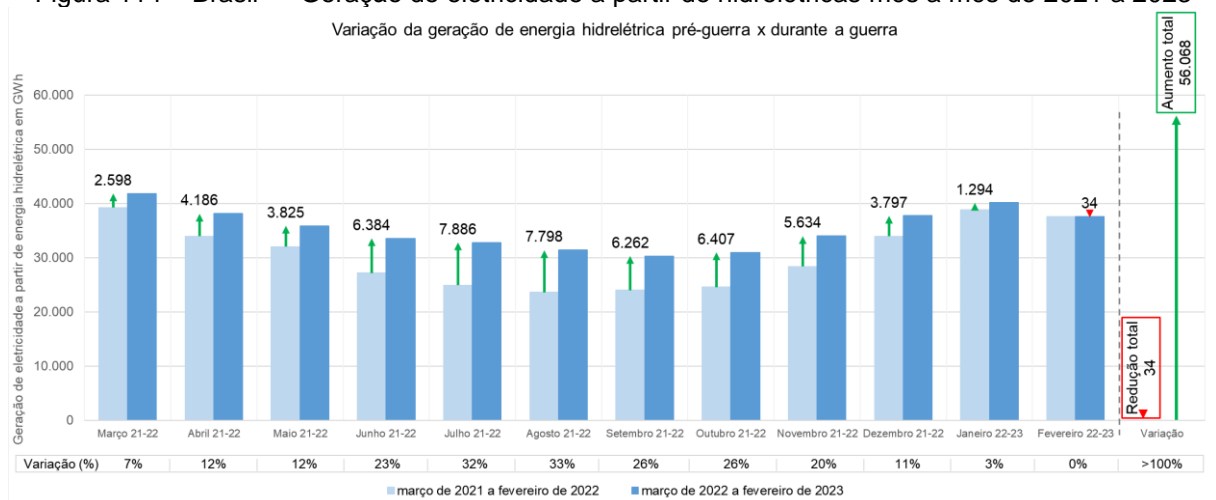


Fonte: Elaboração própria a partir de dados da [IEA \(2023c\)](#).

O verão tende a ser a estação mais chuvosa no Brasil, compreendida entre dezembro e fevereiro, por isso, espera-se que os maiores índices da produção hidrelétrica estejam entre esses meses. A Figura 114 comprova esse fato e mostra que a geração hidrelétrica se manteve alta durante o período considerado, apresentando aumento total de 56 mil GWh.

O regime de chuvas em 2022 provocou aumento do nível dos reservatórios e o consequente aumento da oferta de energia hidrelétrica, fato que compensou a queda na oferta de energia elétrica de gás natural e de carvão ([EPE, 2022c](#)).

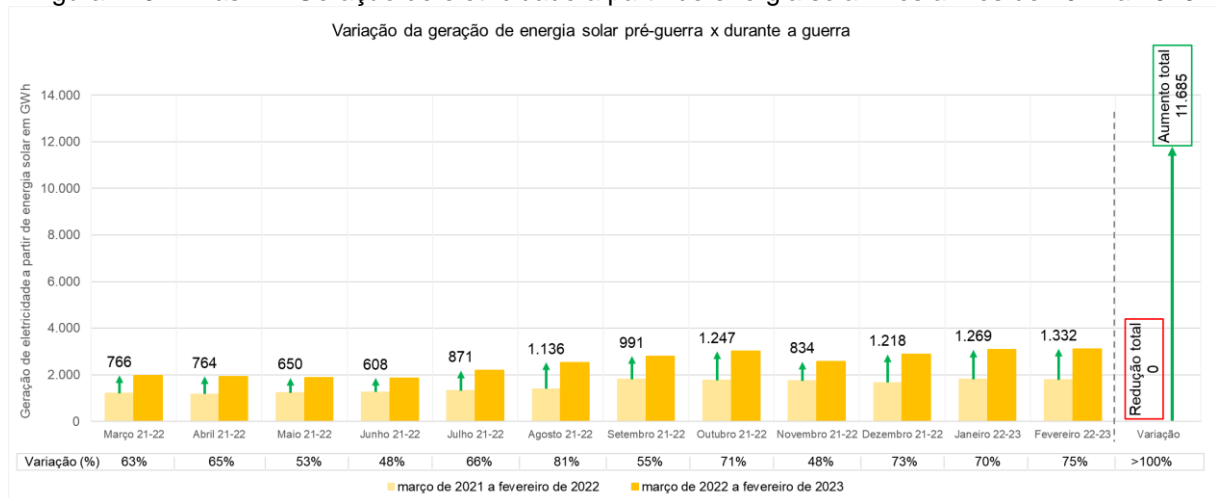
Figura 114 – Brasil — Geração de eletricidade a partir de hidrelétricas mês a mês de 2021 a 2023



Fonte: Elaboração própria a partir de dados da [IEA \(2023c\)](#).

Em função da primavera ter início em setembro e do verão em dezembro, estações mais quentes, espera-se que os meses de maior irradiação solar sejam entre setembro e fevereiro. A Figura 115 evidencia essa hipótese, visto que de setembro a fevereiro a produção de energia solar foi um pouco superior. A produção de energia solar foi favorável para a matriz elétrica e para a transição energética, por fornecer quase 12 mil GWh a mais de energia no período considerado.

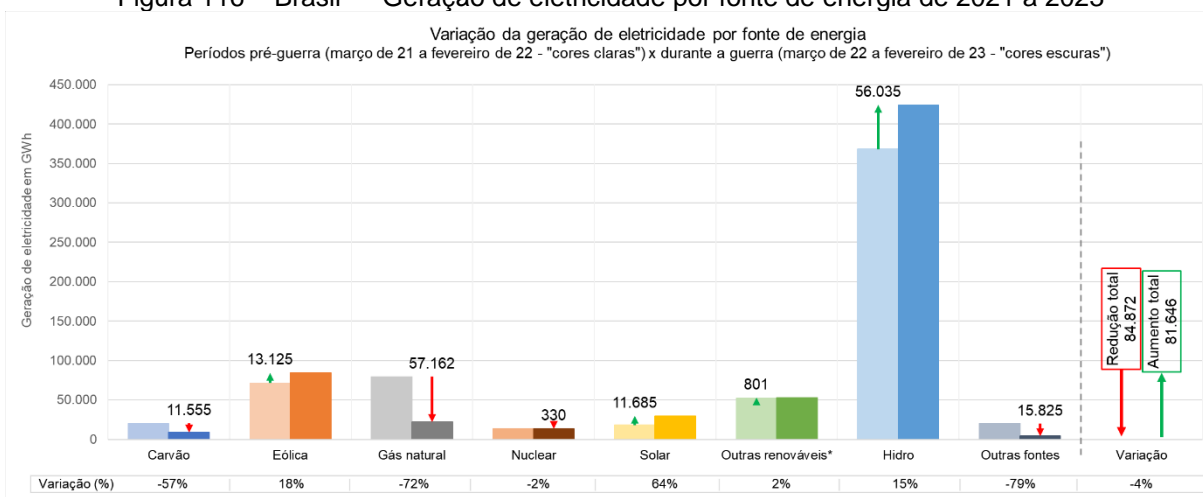
Figura 115 – Brasil — Geração de eletricidade a partir de energia solar mês a mês de 2021 a 2023



Fonte: Elaboração própria a partir de dados da [IEA \(2023c\)](#).

Conforme observado, a matriz elétrica é composta majoritariamente por energia hidrelétrica, conforme Figura 116. Apesar disso, a análise se concentra nas variações percentuais das fontes de energia em relação ao período pré-guerra e durante a guerra; e os resultados mostram que, mesmo com o aumento das gerações hidrelétrica (~56 mil GWh), eólica (~13 mil GWh) e solar (~12 mil GWh), o saldo ainda foi negativo em 3 mil GWh, visto que a redução total na geração foi 84.872 GWh e o aumento total foi 81.646 GWh.

Figura 116 – Brasil — Geração de eletricidade por fonte de energia de 2021 a 2023

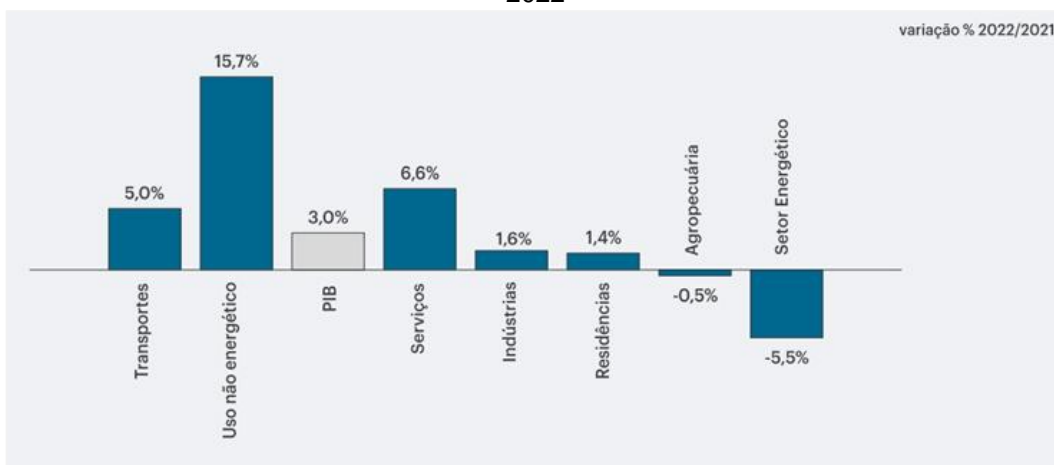


Fonte: Elaboração própria a partir de dados da [IEA \(2023c\)](#).

Os resultados apontam para o aumento da geração hidrelétrica, comprovando a hipótese *b.ii* (geração renovável), porém, tal aumento se deve ao replecionamento dos níveis dos reservatórios.

A Figura 117 mostra a variação percentual no consumo por setor econômico entre 2021 e 2022. Ocorreu o aumento do consumo de energia em quase todos os setores, exceto nos setores agropecuário e energético. O setor energético foi o que mais reduziu o consumo de 2021 para 2022, em 5,5%. Em relação ao consumo de energia elétrica, ocorreu um aumento de 2,3%, de acordo com dados da [EPE \(2023c\)](#), tendo sido consumidos 572,8 TWh em 2021 e 586,1 TWh em 2022.

Figura 117 – Variação no consumo de energia e no PIB do Brasil por setor econômico entre 2021 e 2022



Fonte: [EPE \(2023c\)](#).

O resumo dos principais resultados do Brasil é mostrado na Tabela 9.

Tabela 9 – Brasil — Avaliação das hipóteses e resultados

Hipóteses	Resultados
<i>a.i</i> – substituição da importação	Ocorreu a redução nas importações de gás natural e de etanol, especialmente, dos EUA devido ao fim do período de escassez hídrica. Não há indícios de vinculação com a guerra.
<i>a.ii</i> – alteração da importação	O Brasil deixou de importar gás natural e etanol dos EUA, mas aumentou as importações de petróleo da Arábia Saudita e dos EUA, causando a mudança relativa dos quantitativos de cada combustível. Apesar do aumento das importações de derivados de petróleo russo em 2023, não é possível afirmar se houve substituição de um país importador pela Rússia, ou se houve o aumento de importação de produtos petrolíferos para compensar as reduções nas importações de outros combustíveis.
<i>a.iii</i> – redução da importação	A hipótese <i>a.iii</i> é válida, visto que ocorreu uma redução total das importações. Contudo, tal fato como apontado na hipótese <i>a.i</i> não tem correlação com a guerra, mas sim com o aumento da produção hidrelétrica.
<i>b.i</i> – geração não renovável	As gerações de fontes não renováveis, carvão (em torno de 50% a 60% mensalmente) e gás natural (em torno de 70% a 80% mensalmente), reduziram-se em todos os meses analisados. A razão é o replecionamento dos reservatórios. Ressalta-se que a geração proveniente de petróleo não é descrita, por estar inclusa na geração proveniente de outras fontes, a qual também se reduziu no período considerado.
<i>b.ii</i> – geração renovável	Aumentou a geração renovável, com destaque para a geração hidrelétrica devido ao aumento dos níveis dos reservatórios das hidrelétricas de 2021 para 2022.
<i>b.iii</i> – variação do consumo	Essa hipótese se comprova parcialmente, visto que houve variações no consumo de 2021 para 2022. Em relação ao consumo de energia elétrica a variação foi pequena, aproximadamente, 2%, porém, em relação ao consumo por setor econômico, notaram-se grandes variações, com destaque para a redução em 5,5% do consumo no setor energético.

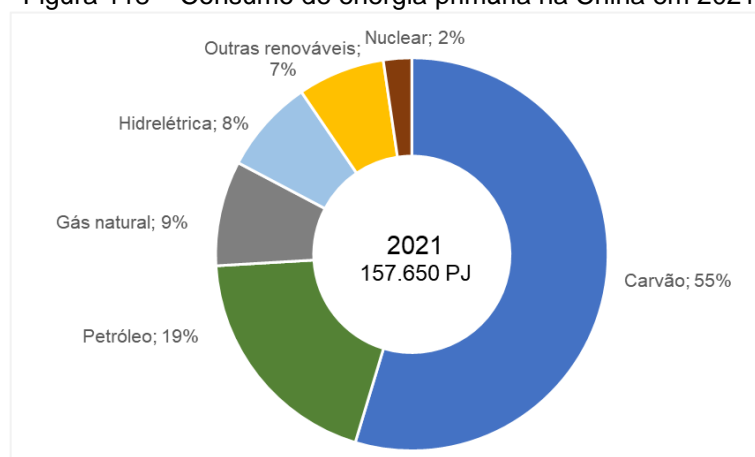
Fonte: Elaboração própria.

Em resumo, do ponto de vista energético, o Brasil não sentiu os efeitos da guerra, pois nas oscilações de importação, exportação e consumo interno não se identificaram correlações diretas com a guerra. Mais recentemente, o país aumentou as importações de derivados de petróleo da Rússia, porém, pela falta de dados de 2023, ainda não publicados, não é possível afirmar se o aumento das importações russas foram para substituir as importações de outro país, ou se ocorreu um aumento absoluto na quantidade de produtos petrolíferos importados.

4.5 IMPACTOS DA GUERRA NA CHINA

O mix energético da China possui majoritariamente fontes não renováveis, carvão (55%), petróleo (19%) e gás natural (9%), como mostrado na Figura 118. Não foi possível encontrar os dados de consumo de energia primária em 2022.

Figura 118 – Consumo de energia primária na China em 2021

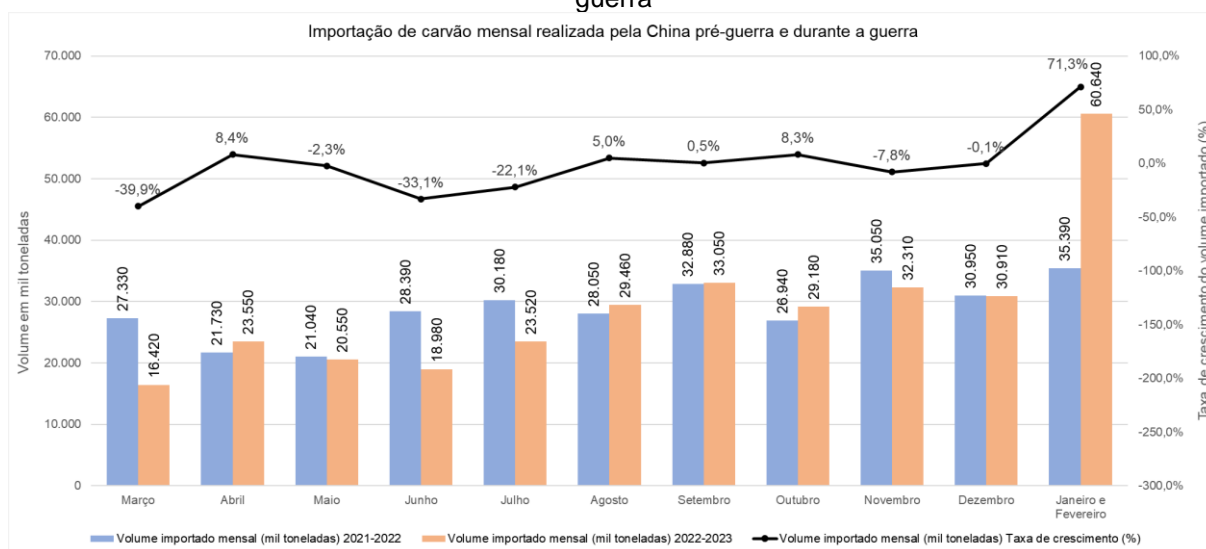


Fonte: [BP \(2022\)](#).

4.5.1 Importações de combustíveis

Os dados levantados de importação não apontam o país de origem da mercadoria importada em quantidade, apenas em valores (dólares). Por isso, as análises em quantidade são restritas aos dados mensais do período pré-guerra e durante a guerra. A Figura 119 mostra o volume de carvão importado de março de 2021 a fevereiro de 2022 (em azul) comparado ao volume de março de 2022 a fevereiro de 2023 (em laranja avermelhado). É possível verificar um declínio nas importações de março, período mais próximo ao início da guerra.

Figura 119 – Importação de carvão mensal realizada pela China no período pré-guerra x durante a guerra

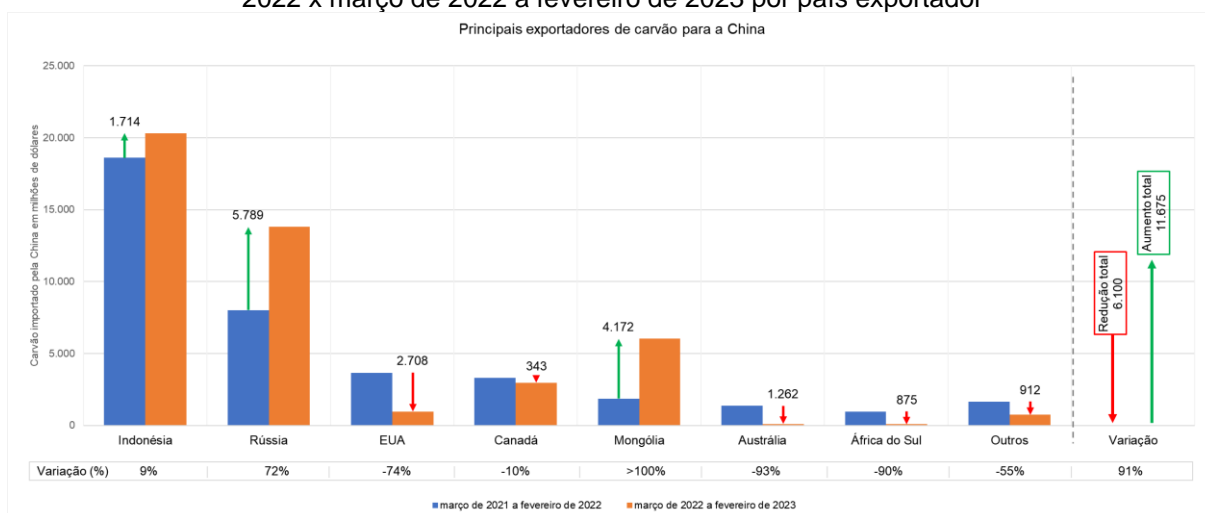


Fonte: Elaboração própria a partir de dados do [NBS \(2023b\)](#).

Conclui-se que, no curto prazo, a guerra afetou negativamente as importações de carvão, porém, as importações se recuperaram e voltaram a aumentar mensalmente, visto que houve uma pequena variação no total do período pré-guerra, no qual foram importados 317.930 mil ton. de carvão comparado a 318.570 mil ton. durante a guerra.

Apesar da quantidade importada de carvão ter se mantido praticamente constante no período analisado, em valor ocorreu um aumento total de 11,7 bilhões de dólares, comparado à redução total de 6.100 milhões de dólares no período considerado, conforme Figura 120.

Figura 120 – Comparação do valor de carvão importado pela China de março de 2021 a fevereiro de 2022 x março de 2022 a fevereiro de 2023 por país exportador



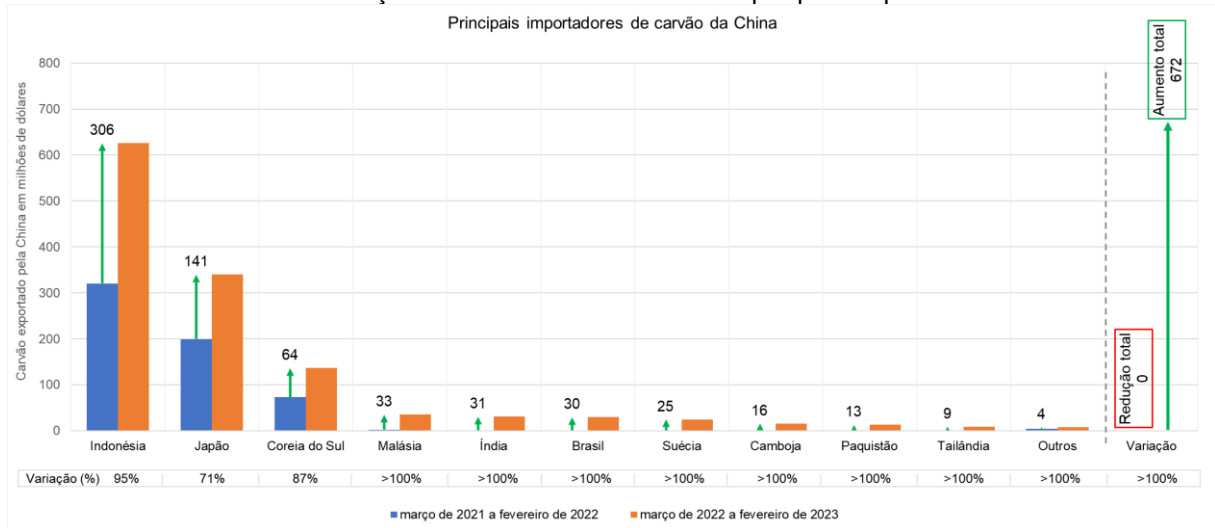
Fonte: Elaboração própria a partir de dados da [GACC \(2023a\)](#).

Possivelmente, a China deixou de importar carvão dos EUA e da Austrália e passou a importar mais carvão da Indonésia, da Rússia e da Mongólia, especialmente, pela facilidade e custo do transporte marítimo. O aumento das importações provenientes da Rússia é explicado pelas sanções europeias aos combustíveis russos, fazendo com que ela reposicione suas exportações e tendo a China como destino preferencial. Além disso, é possível afirmar que os preços do carvão aumentaram devido à guerra.

Em relação às exportações, no período de guerra ocorreu o aumento das exportações em 645 milhões de dólares, conforme Figura 121. A China passou a exportar carvão, principalmente, para países da Ásia, como Japão e Coreia do Sul, em função da proximidade. Contudo, quando comparadas as exportações com as importações, o aumento de carvão exportado, 672 milhões de dólares, é muito menor

do que o aumento total de 11 bilhões de dólares importados no período durante a guerra.

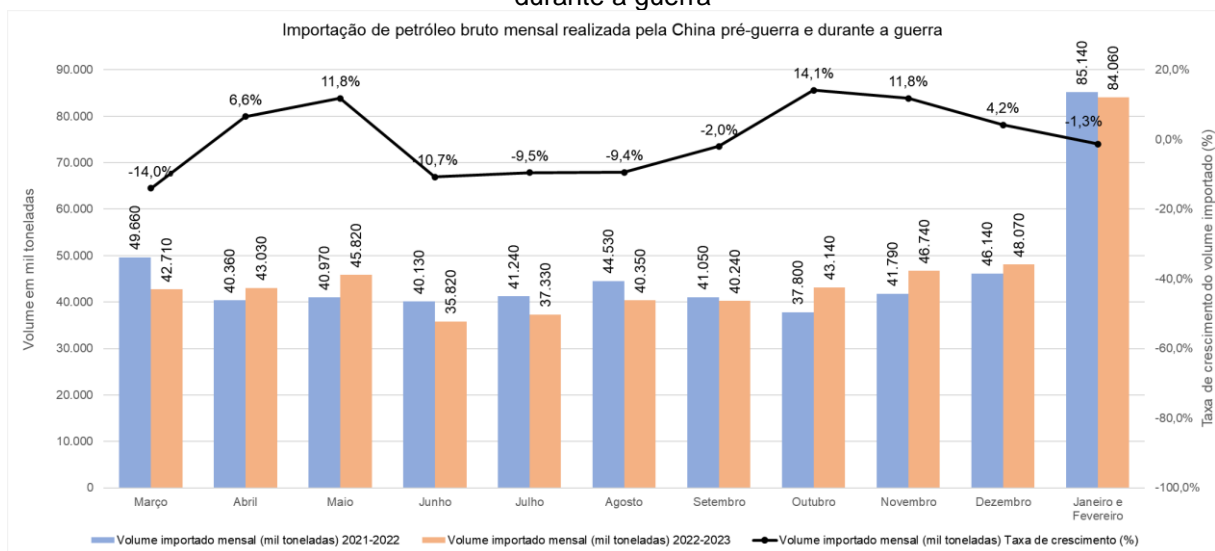
Figura 121 – Comparação do valor de carvão exportado da China de março de 2021 a fevereiro de 2022 x março de 2022 a fevereiro de 2023 por país importador



Fonte: Elaboração própria a partir de dados da [GACC \(2023a\)](#).

Situação similar à do carvão ocorreu em relação às importações de petróleo bruto. A Figura 122 mostra que a maior queda nas importações de petróleo foi no mês março. Em volumes totais, no período de março de 2021 a fevereiro de 2022 foi importado 508.810 mil ton. de petróleo; de março de 2022 a fevereiro de 2023 foi importado 507.310 mil toneladas.

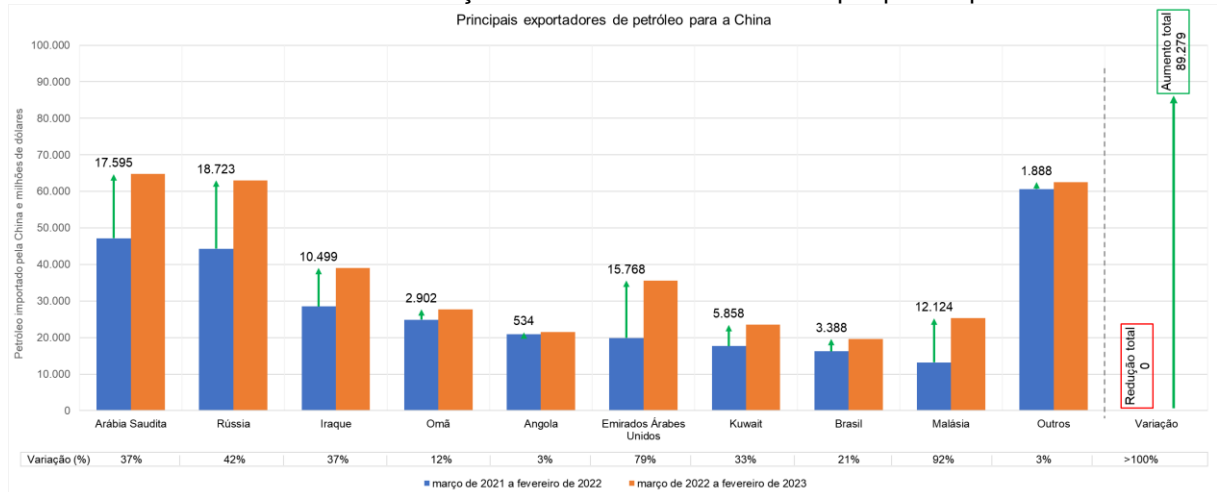
Figura 122 – Importação de petróleo bruto mensal realizada pela China no período pré-guerra x durante a guerra



Fonte: Elaboração própria a partir de dados do [NBS \(2023b\)](#).

Em volume, as importações de petróleo se mantiveram estáveis, porém, a análise, em valor de mercadoria, mostra um aumento acentuado no período de guerra de 89 bilhões de dólares, conforme Figura 123.

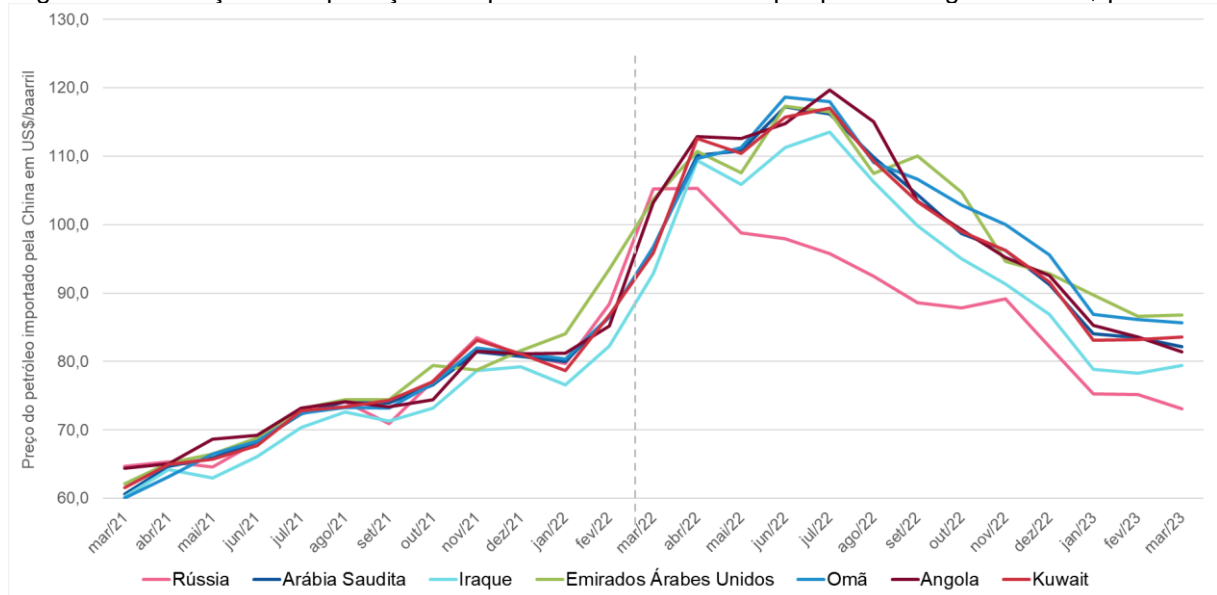
Figura 123 – Comparação do valor de petróleo e derivados importados pela China de março de 2021 a fevereiro de 2022 x março de 2022 a fevereiro de 2023 por país exportador



Fonte: Elaboração própria a partir de dados da [GACC \(2023b\)](#).

Os resultados mostram que a guerra ocasionou uma elevação marcante nos preços do petróleo, visto que as importações se mantiveram praticamente constantes no período considerado, mas o valor aumentou. A Figura 124 mostra que os preços do petróleo aumentaram após o início da GRU, alcançando seu valor máximo em julho de 2022 de quase US\$ 120/barril.

Figura 124 – Preço das importações de petróleo bruto da China por país de origem em US\$ por barril

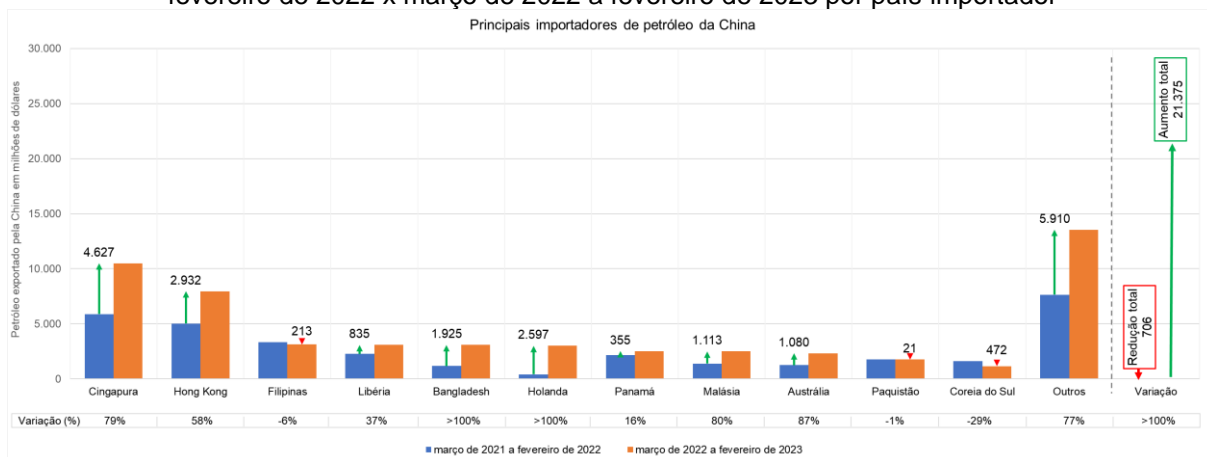


Fonte: [GACC \(2023 apud Lin; McMillan, 2023\)](#).

A análise de [Lin e McMillan \(2023\)](#) aponta que as mercadorias exportadas pela Rússia (linha rosa) têm sido mais baratas do que as de outros países da Opep desde o início da GRU.

Em relação às exportações, no período pré-guerra foram exportados 34 bilhões de dólares de petróleo comparado a um aumento total de 54 bilhões de dólares, portanto, ocorreu o saldo positivo de 20 bilhões de dólares, conforme Figura 125. Os principais compradores da China permaneceram quase os mesmos, exceto pelo aumento das importações de alguns países da Europa, por exemplo, Holanda, que aumentou as importações em, aproximadamente, 2,6 bilhões de dólares. Não foi possível a obtenção dos dados de quantidades exportadas de petróleo pela China.

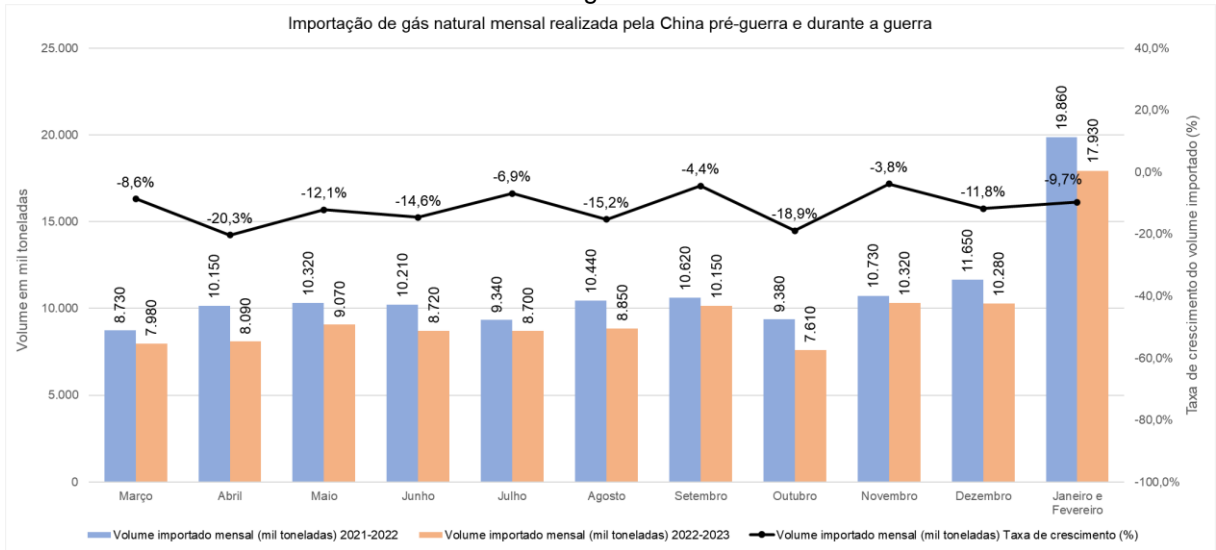
Figura 125 – Comparação do valor de petróleo e derivados exportados da China de março de 2021 a fevereiro de 2022 x março de 2022 a fevereiro de 2023 por país importador



Fonte: Elaboração própria a partir de dados da [GACC \(2023b\)](#).

Conforme analisado nos outros países, a guerra teve maior impacto nas importações de gás natural e na China não foi diferente. Houve a diminuição total das importações de gás natural de 13.730 mil ton. no período pré-guerra, quando comparado ao período durante a guerra. Além disso, a Figura 126 mostra a queda nas importações em todos os meses comparados.

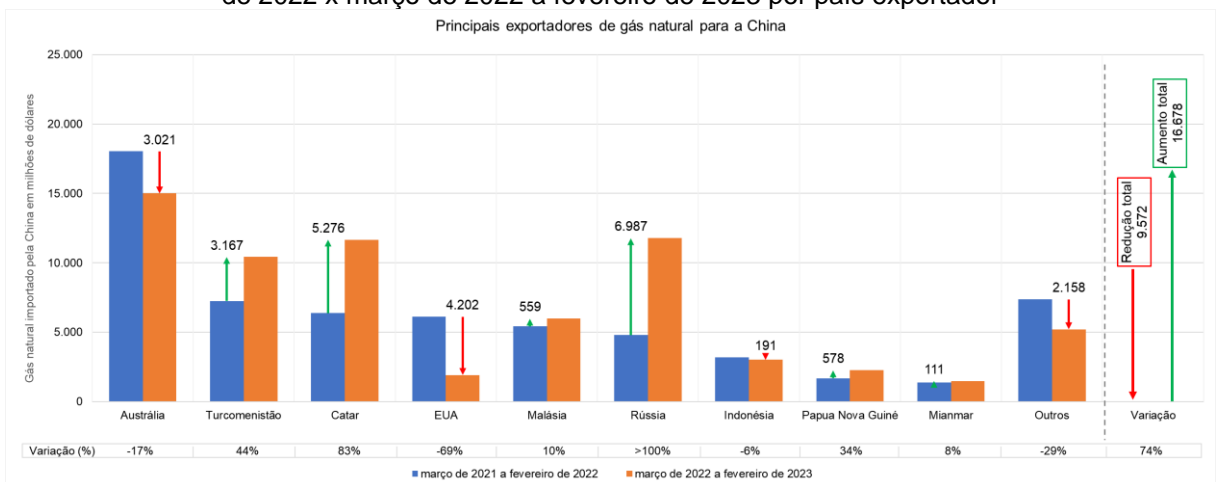
Figura 126 – Importação de gás natural mensal realizada pela China no período pré-guerra x durante a guerra



Fonte: Elaboração própria a partir de dados do [NBS \(2023b\)](#).

O preço do gás natural também aumentou no período da guerra, conforme a Figura 127, a qual mostra um aumento total de 16,7 bilhões de dólares, comparado a redução de 9.572 milhões de dólares no período analisado, ou seja, as importações aumentaram em aproximadamente 7 milhões de dólares. Em relação aos países de origem, houve um grande aumento em valor nas importações provenientes da Rússia, Catar e Turcomenistão; e diminuição nas importações provenientes dos EUA e da Austrália.

Figura 127 – Comparação do valor de gás natural importado pela China de março de 2021 a fevereiro de 2022 x março de 2022 a fevereiro de 2023 por país exportador



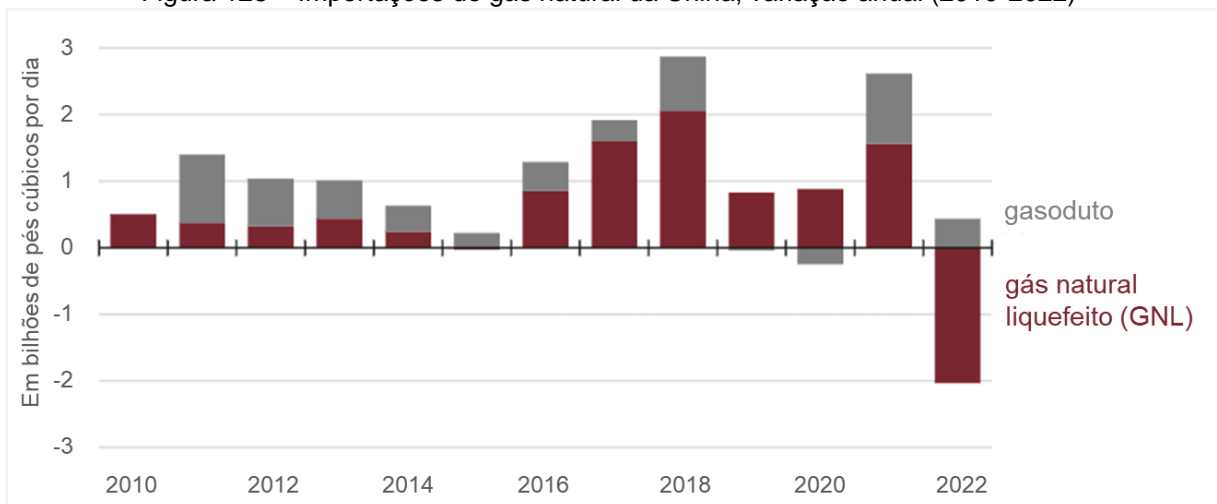
Fonte: Elaboração própria a partir de dados da [GACC \(2023c\)](#).

Embora a China esteja estreitamente alinhada com a estratégia da Rússia, no curto prazo, o aumento dos preços das commodities impactou as importações. As

análises mostram a alta nos preços do carvão, petróleo e gás natural. Em volume importado, o carvão e o petróleo apresentaram uma variação insignificante no período analisado. As importações de gás natural diminuíram em quantidade e aumentaram em valor, mostrando a alta demanda e competitividade global desse combustível no período durante a guerra.

De acordo com dados da [EIA \(2023j\)](#), as importações de GNL da China, em 2022, diminuíram 20%, em torno de 2 bilhões de pés cúbicos por dia (1 pé cúbico é, aproximadamente, 0,0283 m³), conforme Figura 128; após ter sido o maior importador mundial de GNL em 2021, principalmente devido à redução na procura e aos preços relativamente elevados do GNL. Deduz-se que o declínio na utilização de gás natural foi causado pelo crescimento econômico mais lento, que se deveu principalmente às políticas chinesas de covid zero, com medidas de isolamento e *lockdowns*.

Figura 128 – Importações de gás natural da China, variação anual (2010-2022)



Fonte: [EIA \(2023j\)](#).

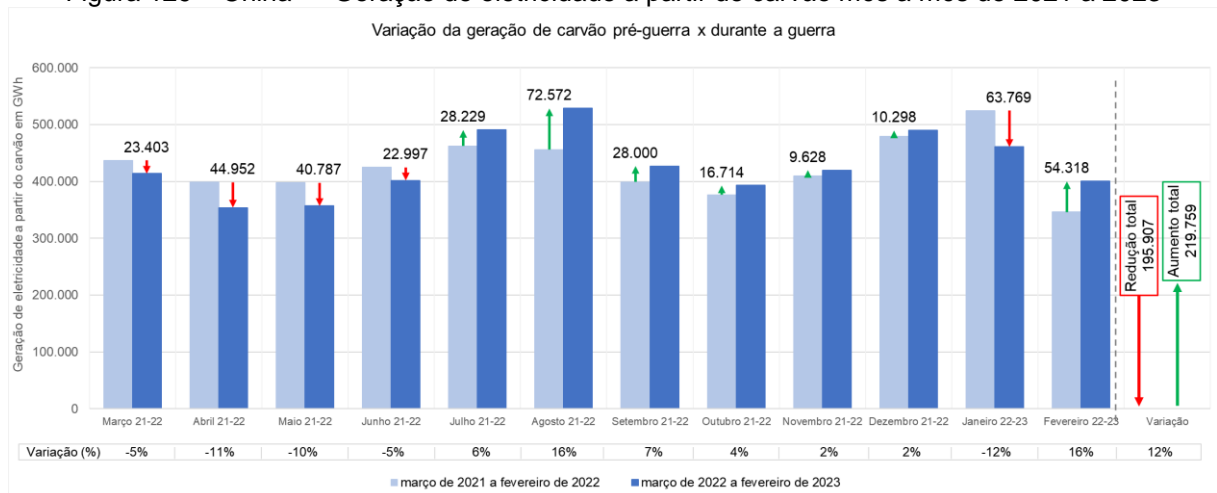
Os resultados evidenciam que a hipótese *a.i* (substituição da importação) é parcialmente válida, visto que no caso do carvão, possivelmente a China substituiu alguns importadores, especialmente, os EUA. A hipótese *a.ii* (alteração da importação) é inválida, pois as importações em volume de carvão e petróleo se mantiveram praticamente constantes, enquanto as importações de gás natural diminuíram, comprovando a hipótese *a.iii* (redução da importação).

4.5.2 Produção de eletricidade e consumo de energia

A comparação dos dados em GWh de geração de eletricidade em 2021 com o consumo primário de energia mostram que a geração de eletricidade compôs apenas 18% da matriz energética da China em 2021, o que significa que a maioria da energia utilizada na China é proveniente das importações.

A produção de carvão se destaca em relação às outras fontes de energia, assim como no mix energético. A comparação do período pré-guerra com o da guerra mostra um aumento de quase 24 mil GWh de carvão produzido. Porém, a instabilidade da curva mostrada na Figura 129 não permite afirmar que o saldo positivo foi devido à GRU, pois houve diminuição da produção nos meses mais próximos ao início dela.

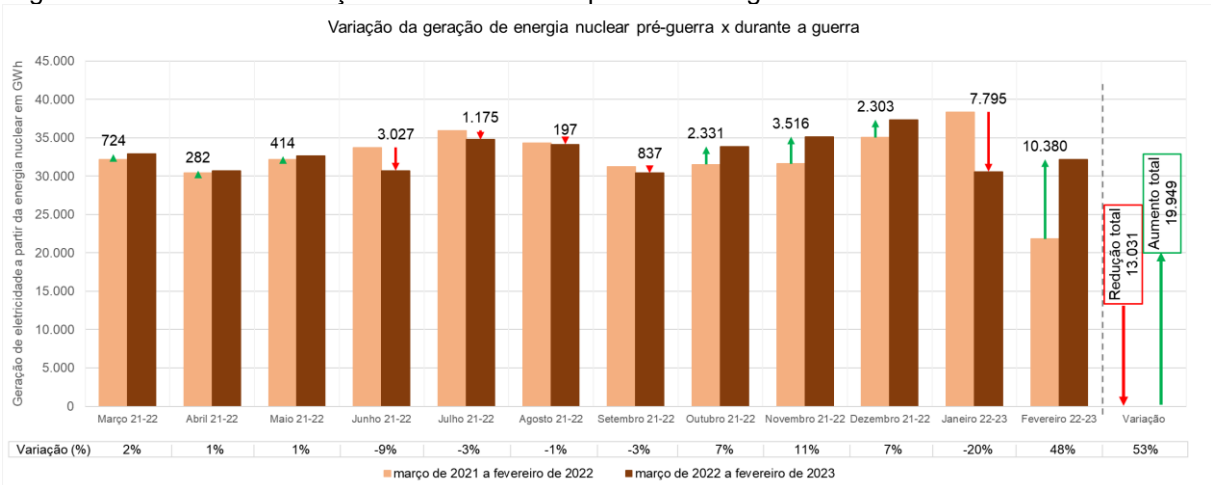
Figura 129 – China — Geração de eletricidade a partir de carvão mês a mês de 2021 a 2023



Fonte: Elaboração própria a partir de dados da [IEA \(2023c\)](#).

Assim como o carvão, a geração de energia nuclear apresentou pequenas variações, não sendo possível obter conclusões quanto aos efeitos da guerra, conforme Figura 130.

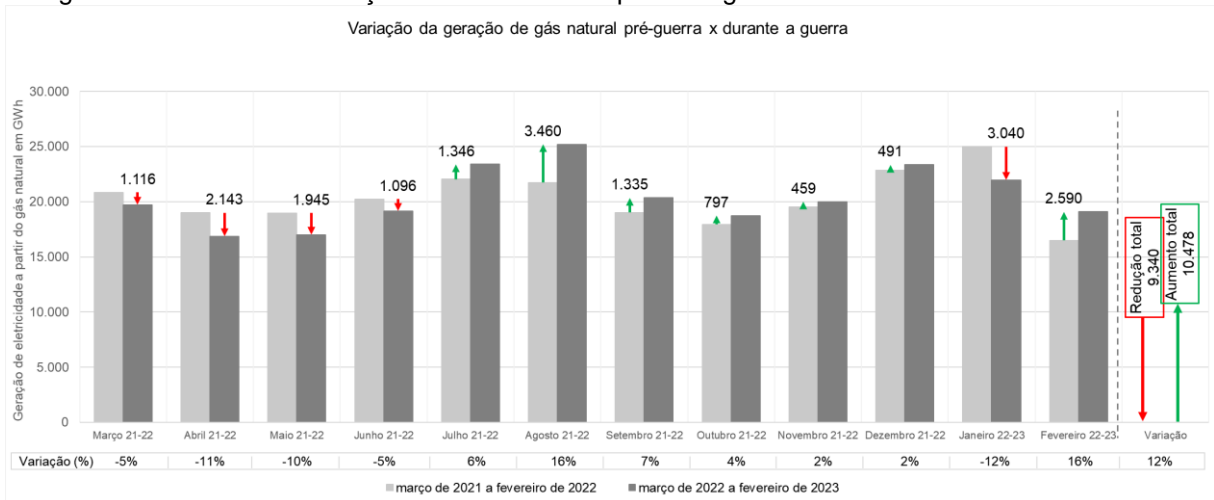
Figura 130 – China — Geração de eletricidade a partir de energia nuclear mês a mês de 2021 a 2023



Fonte: Elaboração própria a partir de dados da [IEA \(2023c\)](#).

A geração de gás natural diminuiu nos meses seguintes à guerra e voltou a aumentar a partir de junho de 2022, como mostra a Figura 131. Contudo, no geral a produção variou muito pouco, tendo redução total de 9.340 GWh e aumento total de 10.478 GWh no período analisado.

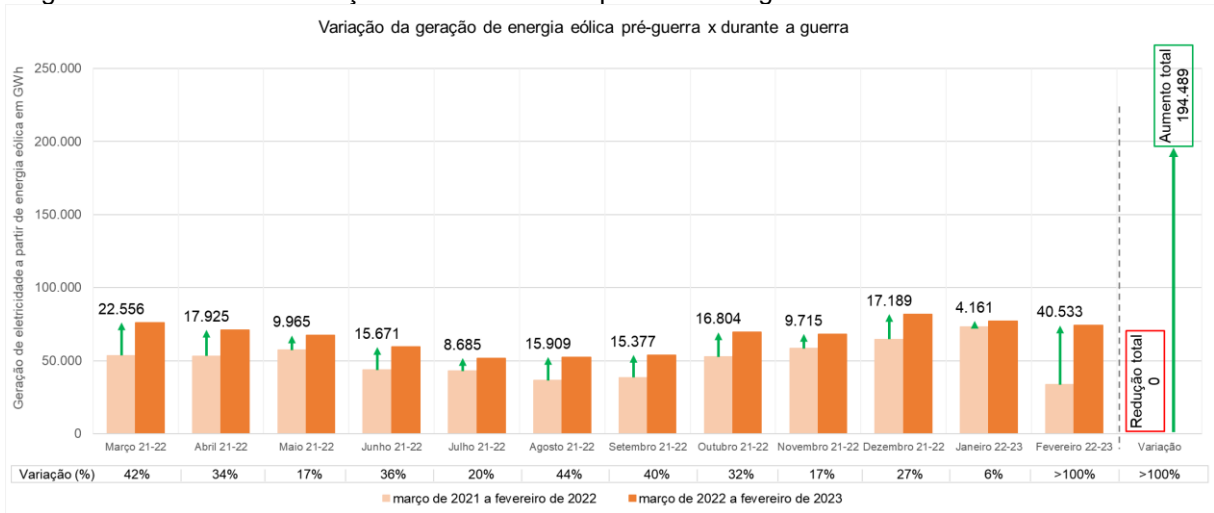
Figura 131 – China — Geração de eletricidade a partir do gás natural mês a mês de 2021 a 2023



Fonte: Elaboração própria a partir de dados da [IEA \(2023c\)](#).

Em 2022, as energias renováveis se tornaram maioria nas novas instalações de capacidade de energia e desempenharam um papel importante na garantia do fornecimento de energia na China. Em relação à produção de energia eólica, a China apresentou ótimos resultados para a transição energética no período durante a guerra, tendo tido um aumento total de 194.489 GWh, conforme Figura 132.

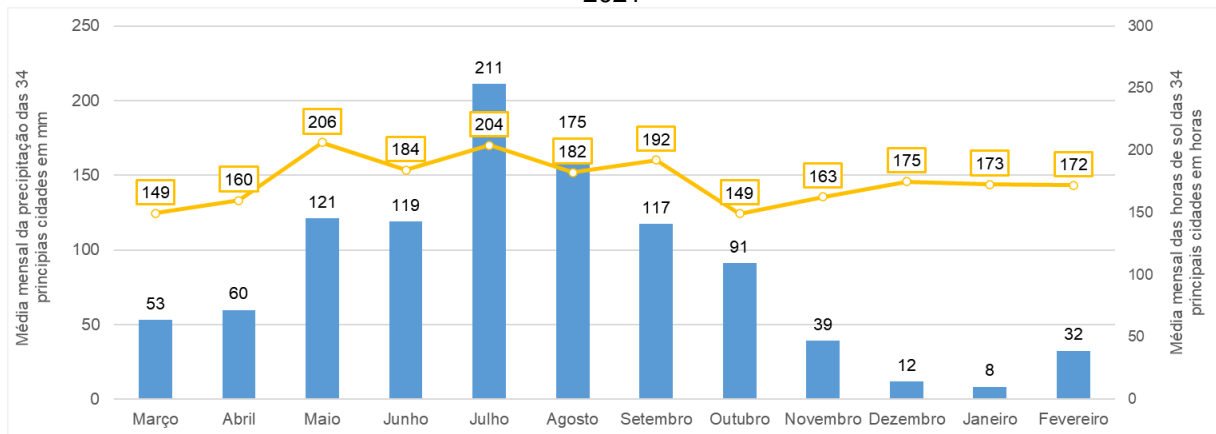
Figura 132 – China — Geração de eletricidade a partir de energia eólica mês a mês de 2021 a 2023



Fonte: Elaboração própria a partir de dados da [IEA \(2023c\)](#).

A Figura 133 mostra a média mensal das horas de sol e da precipitação das 34 principais cidades chinesas em 2021. Os meses mais chuvosos e mais quentes variaram de maio a setembro. Em relação às horas de sol, não houve grande variação ao longo do ano. A importância desses dados é para analisar as gerações hidrelétrica e solar, porém, tais dados estão incompletos, visto que para a análise completa seriam necessários os dados de 2022 para comparar os meses mais quentes e chuvosos ano a ano.

Figura 133 – Média mensal das horas de sol e da precipitação das 34 principais cidades da China em 2021

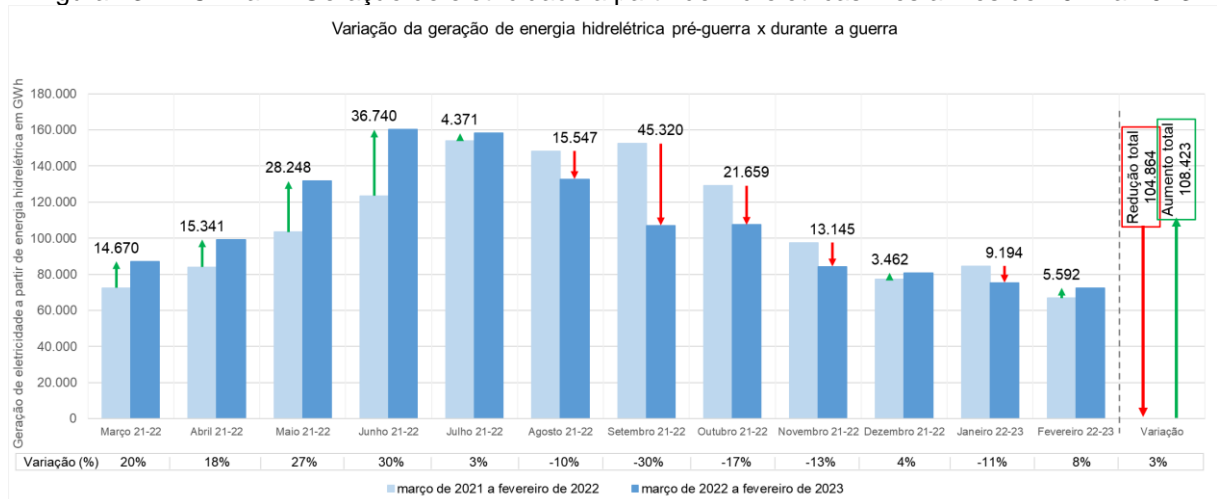


Fonte: Elaboração própria a partir de dados do [NBS \(2023c\)](#).

A curva de geração hidrelétrica da Figura 134 coincide com a curva de precipitação média. Apesar de não ser possível afirmar se um mês apresentou maior precipitação em 2022, ou em 2021; é possível verificar que ocorreu um aumento na geração hidrelétrica nos meses mais próximos ao início da guerra. Tal fato pode ser

explicado, possivelmente, pelo uso de água armazenada nos reservatórios, visto que após o período mais crítico, ou seja, mais próximo do início da GRU, a geração hidrelétrica diminuiu, talvez pela diminuição dos níveis de água armazenados.

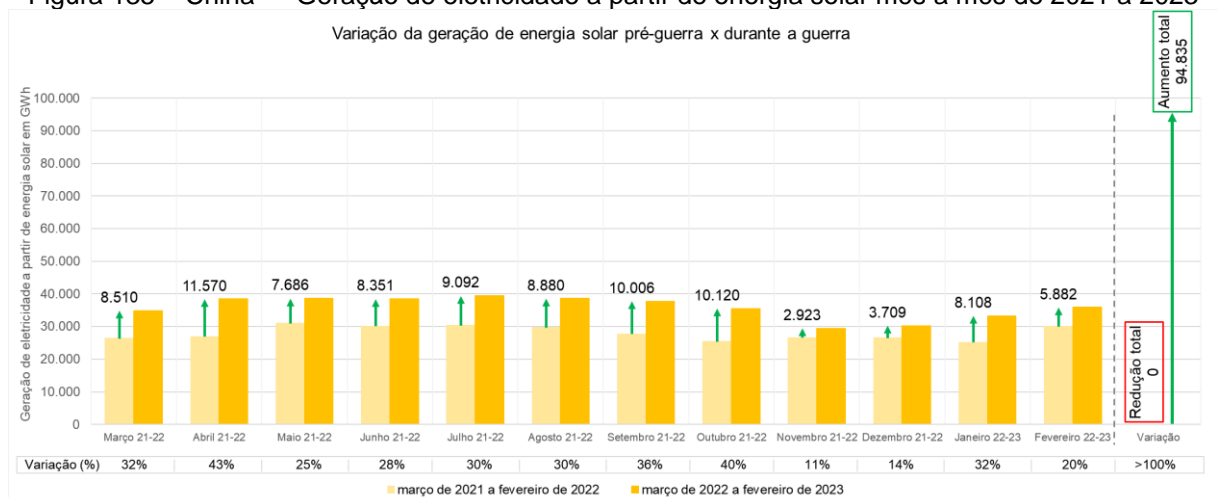
Figura 134 – China — Geração de eletricidade a partir de hidrelétricas mês a mês de 2021 a 2023



Fonte: Elaboração própria a partir de dados da [IEA \(2023c\)](#).

Conforme explicado na geração eólica, o aumento da capacidade instalada, especialmente, eólica e solar distribuídas, resultou no aumento da geração solar. A Figura 135 mostra um aumento total de, aproximadamente, 95 mil GWh, com variação mensal máxima acima de 40%.

Figura 135 – China — Geração de eletricidade a partir de energia solar mês a mês de 2021 a 2023

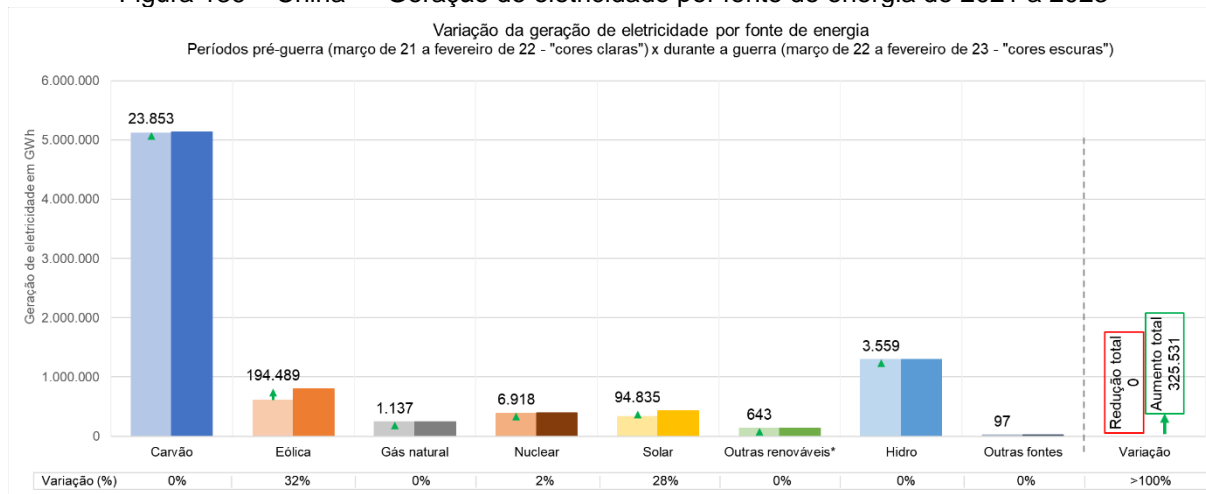


Fonte: Elaboração própria a partir de dados da [IEA \(2023c\)](#).

Apesar do aumento da capacidade de FERs, eólica e solar, o carvão ainda predomina na geração de energia elétrica, conforme Figura 136. No período total

analisado pré-guerra comparado ao da guerra, as únicas fontes que apresentaram variação relevante em pontos percentuais foram a eólica e a solar, com aumento de 32% e 28%, respectivamente. Isso mostra que essas fontes foram as que mais contribuíram para superar o período de instabilidades provocado pela GRU e apontam positivamente para o processo de transição energética chinês.

Figura 136 – China — Geração de eletricidade por fonte de energia de 2021 a 2023



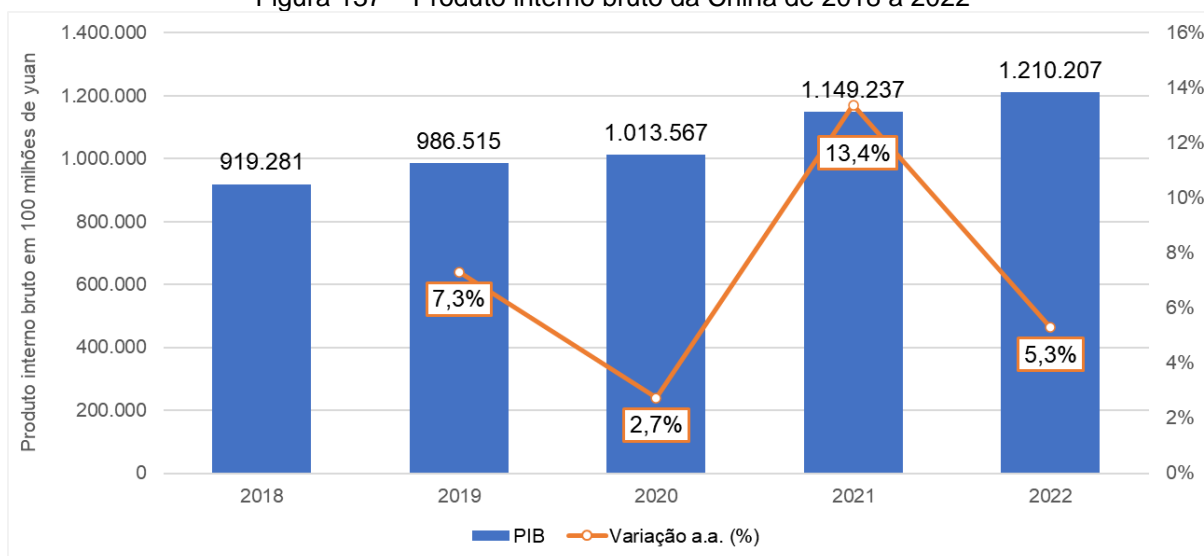
Fonte: Elaboração própria a partir de dados da [IEA \(2023c\)](#).

A hipótese *b.i* (geração não renovável) se comprova parcialmente, pois a geração de carvão aumentou quase 24 mil GWh, mas em pontos percentuais, o aumento foi de apenas 0,5%. O aumento da geração eólica e solar em quase 290 mil GWh tornam a hipótese *b.ii* (geração renovável) válida.

O escritório de estatística da China — [NBS \(2023d\)](#) descreve estimativas preliminares sobre o consumo total de energia em 2022. O consumo de carvão aumentou 4,3%; o de petróleo bruto diminuiu 3,1%; o de gás natural diminuiu 1,2%; e o de energia elétrica aumentou 3,6%. Os resultados coincidem com as análises, visto que apesar de pequenas as variações, em quantidades, as importações de carvão aumentaram e de petróleo diminuíram. As importações de gás natural também diminuíram, porém, por compor uma parcela menor no mix energético, a diminuição no consumo de energia foi menor quando comparada ao petróleo.

Em relação ao PIB, a Figura 137 mostra que o PIB chinês aumentou de 2022 para 2021, mas comprova o decréscimo na variação em pontos percentuais em períodos de crise, como verificado em 2020 em função da covid-19 e em 2022 em função da GRU.

Figura 137 – Produto interno bruto da China de 2018 a 2022



Fonte: Elaboração própria a partir de dados do [NBS \(2023d\)](#).

O resumo dos principais resultados da China é mostrado na Tabela 10.

Tabela 10 – China — Avaliação das hipóteses e resultados

Hipóteses	Resultados
<i>a.i</i> – substituição da importação	A hipótese <i>a.i</i> é parcialmente válida, visto que no caso do carvão, possivelmente a China deixou de importar carvão dos EUA e da Austrália e passou a importar mais carvão da Indonésia, da Rússia e da Mongólia.
<i>a.ii</i> – alteração da importação	As importações em volume de carvão e petróleo se mantiveram praticamente constantes.
<i>a.iii</i> – redução da importação	Houve redução nas importações de gás natural.
<i>b.i</i> – geração não renovável	A hipótese <i>b.i</i> se comprova parcialmente, pois a geração de carvão aumentou, mas se manteve constante em pontos percentuais.
<i>b.ii</i> – geração renovável	Ocorreu o aumento da geração eólica e solar em quase 290 mil GWh.
<i>b.iii</i> – variação do consumo	Variou da mesma forma que as importações e geração elétrica.

Fonte: Elaboração própria.

Devido à quantidade de dados analisados e resultados obtidos foi observada a importância de um resumo dos principais resultados encontrados, considerando todos os países analisados, na Tabela 11.

Tabela 11 – Resumo das hipóteses comprovadas e parcialmente comprovadas

	a.i Substituição da importação	a.ii Alteração da importação	a.iii Redução da importação	b.i Geração não renovável	b.ii Geração renovável	b.iii Variação do consumo
Alemanha	Substituição do petróleo russo pelo de outros países, tais como, Noruega, EUA e RU.	—	Diminuiu as importações totais de gás natural em 35%.	Aumentou a geração de eletricidade proveniente de carvão.	—	Houve déficit de energia proveniente de gás natural, pois tanto o consumo quanto o PIB caíram no período analisado.
RU	Substituiu todas as importações russas de petróleo, carvão e gás natural. Os EUA se tornaram o maior fornecedor de energia para o RU.	—	—	—	Aumentou a geração de energia eólica.	—
EUA	Os EUA deixaram de importar petróleo russo e passaram a importar de outros países.	—	—	Essa hipótese é parcialmente válida. Ocorreu uma extrema redução na produção de carvão, o que invalidaria a hipótese <i>b.i</i> , porém, houve um extremo aumento na produção de gás natural.	Ocorreu o aumento na geração eólica e solar, resultados muito positivos em relação à transição energética.	—
Brasil	—	O Brasil deixou de importar gás natural e etanol dos EUA, mas aumentou as importações de petróleo da Arábia Saudita e dos EUA, causando a mudança relativa dos quantitativos de cada combustível.	Ocorreu uma redução total das importações. Contudo, tal fato como apontado na hipótese <i>a.i</i> não tem correlação com a guerra, mas sim com o aumento da produção hidrelétrica.	—	Aumentou a geração renovável, com destaque para a geração hidrelétrica devido ao aumento dos níveis dos reservatórios das hidrelétricas de 2021 para 2022.	Em relação ao consumo de energia elétrica a variação foi pequena, porém, em relação ao consumo por setor econômico, ocorreu a redução em 5,5% do consumo no setor energético.
China	A hipótese <i>a.i</i> é parcialmente válida, no caso do carvão, possivelmente a China deixou de importar carvão dos EUA e da Austrália e passou a importar mais carvão da Indonésia, da Rússia e da Mongólia.	—	Houve redução nas importações de gás natural.	A hipótese <i>b.i</i> se comprova parcialmente, pois a geração de carvão aumentou, mas se manteve constante em pontos percentuais.	Ocorreu o aumento da geração eólica e solar em quase 290 mil GWh.	Variou da mesma forma que as importações e geração elétrica.

Fonte: Elaboração própria.

5 CONCLUSÃO

A crise energética oriunda da guerra Rússia–Ucrânia (GRU) afetou a cadeia de suprimentos e o abastecimento de energia, especialmente, em países da Europa que são grandes importadores de petróleo e gás natural russo. A crise atual provocada pela guerra, aliada às preocupações com as mudanças climáticas e às metas de descarbonização e transição energética, impactaram as importações e exportações de energia, na geração de energia elétrica, no consumo e na economia.

Pesquisas realizadas por outros autores mostraram que os países mais afetados pelas consequências das sanções impostas à Rússia pela invasão à Ucrânia focaram em substituir os exportadores de energia no curto prazo, enquanto alteravam seu mix energético no médio e longo prazo. O objetivo do trabalho foi verificar se as ações realizadas, em diferentes países, aceleraram ou desaceleraram o desenvolvimento das fontes de energia renováveis (FERs) e, conseqüentemente, da transição energética.

A revisão da literatura mostrou que momentos de crises, geralmente provocados por conflitos geopolíticos e guerras, interferiram negativamente na cadeia de suprimentos de energia, impactando diretamente nas importações e levando os países a modificarem e/ou criarem políticas no setor energético. Guerras como Yom Kippur (1973), Revolução do Irã (1979) e Golfo Pérsico (1991) levaram ao aumento dos preços de petróleo e a busca dos países por diversificarem o fornecimento de energia, especialmente, no desenvolvimento do gás natural e de usinas nucleares.

Desastres ambientais como Chernobyl (1986) e Fukushima (2011) tiveram efeitos adversos sobre a geração nuclear. Eles levaram alguns países, por exemplo, Alemanha, a desativarem suas usinas devido a preocupações com a segurança dessa fonte. Apesar disso, Estados Unidos da América (EUA) e China, por exemplo, mantiveram a geração nuclear como parte de sua matriz. A partir dos anos 2000, as preocupações com as emissões de gases do efeito estufa (GEE) se acentuaram, demandando uma forte ação política por meio do Protocolo de Kyoto e resultando na adoção e desenvolvimento de FERs.

As crises após os anos 2000 também impactaram no setor energético. As tensões na Crimeia (2014) entre a Rússia e a Ucrânia afetaram o fornecimento de gás natural, dificultando as importações europeias e levando a Europa a repensar a dependência energética sobre o petróleo e o gás russos.

Na Alemanha, a *Energiewende*, criada na década de 1980, foi consequência dos choques de petróleo da década de 1970 e propôs o aumento da participação das FERs. Outro exemplo, foi o acidente de Chernobyl que levou a protestos da população e medidas do governo para redução e, posteriormente, eliminação da geração nuclear. O Reino Unido (RU) foi muito afetado pela tensão Rússia–Ucrânia de 2014, pois dependia das importações de gás natural russo, e acabou prorrogando o prazo definido para finalizar algumas políticas de apoio às FERs, por exemplo, tarifas *feed-in* (FIT) e obrigações de quotas renováveis.

A crise financeira de 2008 levou os EUA a adotarem medidas de créditos fiscais e leis de incentivo à energia renovável como estratégia para resolver em parte a crise de investimentos. A pandemia covid-19 iniciada na China causou *lockdowns* e redução da mobilidade. Como consequência, o consumo de petróleo diminuiu, especialmente, devido à redução nos transportes e aliada a essa situação, as emissões de GEE também diminuíram. Outro exemplo das influências de momentos de crises sobre as políticas energéticas é o Brasil, que criou em 1975 o Proálcool devido à alta dos preços nos choques do petróleo, para diminuir a dependência do petróleo.

A análise das principais políticas energéticas adotadas nos países analisados mostrou que os momentos de crises redefinem as políticas dos países. Os resultados das consequências da GRU no setor energético nos países escolhidos tiveram como objetivo verificar os movimentos provocados pela guerra em relação à transição energética, em função de três fatores: importações de combustíveis, geração de eletricidade e consumo de energia.

Na Alemanha, em relação às importações de combustíveis, as importações de petróleo aumentaram, pois ocorreu a substituição do petróleo russo por petróleo proveniente de diversos países, principalmente, dos principais fornecedores, por exemplo, Noruega, EUA e RU. As importações totais de carvão diminuíram, por isso, pode-se afirmar que essa fonte não substituiu as importações de gás natural, as quais foram as mais afetadas pela guerra, com diminuição total de 35% devido ao encerramento do fornecimento russo.

No setor elétrico, ocorreu o aumento da geração de eletricidade proveniente de carvão, fato prejudicial para a transição energética. Foi possível notar pequenos aumentos na geração renovável, com destaque para a solar, porém, no período durante a guerra também ocorreu um aumento da irradiação solar. Os resultados da

Alemanha mostram que a guerra, no curto prazo, desacelerou a transição energética, devido ao aumento de geração a carvão para equilibrar o déficit de energia proveniente de gás natural. Além disso, a economia alemã também foi afetada, pois os resultados mostraram que tanto o consumo quanto o produto interno bruto (PIB) caíram no período durante a guerra (março de 2022 a fevereiro de 2023) quando comparado ao período pré-guerra (março de 2021 a fevereiro de 2022).

O RU também deixou de importar da Rússia. Apesar disso, conseguiu substituir as importações de petróleo, carvão e gás natural, especialmente, pelo aumento das importações dos EUA. O país europeu conseguiu auxiliar no fornecimento de energia de outros países europeus, exportando gás para reduzir a dependência desses países dos combustíveis russos. Não ocorreu reativação de usinas de fontes não-renováveis, principalmente o carvão, cuja geração diminuiu na comparação dos períodos pré-guerra e durante a guerra. Ocorreu o aumento da geração de energia eólica, que em conjunto com os demais fatores analisados mostram que o RU acelerou a transição energética durante a guerra.

Diferente dos países europeus analisados, os EUA não eram tão dependentes dos combustíveis russos antes da guerra, uma pequena parcela do petróleo norte-americano era importada da Rússia, o que facilitou a substituição por outros países. Além disso, o carvão é uma fonte pouco importada e praticamente todo o gás natural é importado do Canadá. Os resultados da geração de eletricidade mostram que diminuiu a geração a carvão e aumentou a de gás, a qual apesar de não ser renovável é vista como uma fonte menos poluente do que o carvão. Quando analisado em conjunto com o RU, a geração de gás pelos EUA explica o aumento das exportações norte-americanas dessa fonte para os países europeus. Esses resultados já seriam suficientes para apontar a aceleração da transição energética, mas o aumento da geração eólica e solar geram resultados ainda mais positivos.

Observou-se que o Brasil não foi afetado pela guerra, visto que as importações de gás natural foram reduzidas em 2022 devido ao replecionamento dos níveis dos reservatórios. Em termos de geração de eletricidade, o Brasil já é majoritariamente renovável e no período durante a guerra, diminuiu a geração não renovável e aumentou a renovável, especialmente, a geração hidrelétrica, fato propiciado pelo aumento dos níveis dos reservatórios, também foi notado o aumento no crescimento anual da capacidade instalada e a entrada em operação de usinas solares e eólicas. Ressalta-se que a falta de dados afetou a análise, visto que as importações de

produtos petrolíferos da Rússia aumentaram em 2023, mas não é possível afirmar se houve um aumento das importações, ou se o Brasil passou a importar da Rússia e deixou de importar de outros países.

A China, grande parceira e aliada comercial da Rússia, não deixou de importar os combustíveis russos, porém, ainda assim foi afetada pela guerra. Ocorreu a redução nas importações de gás natural, possivelmente, em virtude da dificuldade de transporte dessa fonte. Além disso, a China ajudou a Rússia, por substituir as importações dessa fonte dos EUA e da Austrália pela Rússia, Indonésia e Mongólia. As importações de carvão e petróleo, em volume, se mantiveram praticamente constantes, portanto, não houve desaceleração da transição energética devido ao fator importação. A geração de eletricidade a carvão aumentou em quantidade, mas não em pontos percentuais, e ocorreu o aumento da geração eólica e solar, fator que aponta para a aceleração da transição energética.

Concluiu-se das análises e dos resultados que as decisões dos países afetam seus fornecimentos de energia e, conseqüentemente, suas economias. A comparação de dois países presentes no mesmo continente, por exemplo, RU e Alemanha, comprova esse fato. O RU decidiu substituir as importações russas, não reativou usinas a carvão e garantiu que a transição energética continuasse. No caso da Alemanha, algumas decisões definidas antes da guerra se iniciar propiciaram a desaceleração da transição energética, por exemplo, a desativação das usinas nucleares. Ao mesmo tempo em que a energia nuclear saía da matriz alemã, ocorreu o aumento da geração a carvão para superar o déficit causado pela diminuição das importações de gás natural. Por isso, como recomendação do trabalho, acredita-se que em momentos de crises globais, os países devem repensar as suas decisões políticas, buscando aumentar a resiliência e se adaptar às mudanças.

Em relação à limitação do trabalho, ressalta-se que as análises foram limitadas ao período considerado, pois a GRU não teve fim até o momento. Portanto, como sugestão para estudos futuros podem ser exploradas análises considerando um período maior, por exemplo, as conseqüências da GRU nos próximos 5 anos. Além disso, o trabalho abordou a evolução das FERs, porém, foram expostos programas como o *RePowerEU* na Europa que possui medidas de eficiência energética e desenvolvimento de novas tecnologias, as quais podem gerar resultados diferentes dos obtidos em relação às conseqüências da GRU na transição energética.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGATON, C. B. Will a geopolitical conflict accelerate energy transition in oil-importing countries? A case study of the Philippines from a real options perspective.

Resources; Multidisciplinary Digital Publishing Institute, v. 11, n. 6, p. 59, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/resources11060059>.

ALLAM, Z.; BIBRI, S. E.; SHARPE, S. A. The rising impacts of the COVID-19 pandemic and the Russia–Ukraine war: energy transition, climate justice, global inequality, and supply chain disruption. **Resources; Multidisciplinary Digital Publishing Institute**, v. 11, n. 11, p. 99, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/resources11110099>.

ANDREWS-SPEED, P. Energy law in support of the low-carbon transition: Lessons from the United Kingdom and China. **Frontiers L. China**, v. 10, p. 295-315, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.3868/s050-004-015-0016-6>.

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. **Revisão das regras aplicáveis à micro e minigeração distribuída – Resolução Normativa nº 482/2012**: Relatório de Análise de Impacto Regulatório nº 003/2019-SRD/SGT/SRM/SRG/SCG/SMA/ANEEL. Brasília, 7 out. 2019. Disponível em: <https://www2.aneel.gov.br/cedoc/air2019003srd.pdf>.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. **Unidades com geração distribuída**. Brasília: Ministério de Minas e Energia, 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/aneel/pt-br/centrais-de-conteudos/relatorios-e-indicadores/geracao>. Acesso em: 6 jan. 2024.

ANM - Agência Nacional de Mineração. **Série estatísticas e economia mineral - Informe mineral (2021 a 2022)**: Publicações nacionais. Brasília: Ministério de Minas e Energia, 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/anm/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/informe-mineral/publicacoes-nacionais/publicacoes-nacionais-1>. Acesso em: 5 jul. 2023.

ANP - Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **Anuário estatístico 2023**: Tabela 2.51 – Importação de petróleo, segundo regiões geográficas, países e blocos econômicos de procedência – 2013-2022. Brasília: Ministério de Minas e Energia, 2023a. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/anuario-estatistico/arquivos-anuario-estatistico-2023/secao-2/tabelas/t2-51.xls>. Acesso em: 3 jul. 2023.

ANP - Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **Anuário estatístico 2023**: Tabela 2.54 – Importação de derivados de petróleo, segundo regiões geográficas, países e blocos econômicos de procedência – 2022. Brasília: Ministério de Minas e Energia, 2023b. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/anuario-estatistico/arquivos-anuario-estatistico-2023/secao-2/tabelas/t2-54.xls>. Acesso em: 3 jul. 2023.

ANP - Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **Anuário estatístico 2023**: Tabela 2.60 – Importação de gás natural, segundo países de

procedência – 2013-2022; Tabela 2.61 – Dispêndio com importação e valores médios do gás natural importado – 2013-2022. Brasília: Ministério de Minas e Energia, 2023c. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/anuario-estatistico/arquivos-anuario-estatistico-2023/secao-2/tabelas/t2-60.xls>; <https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/anuario-estatistico/arquivos-anuario-estatistico-2023/secao-2/tabelas/t2-61.xls>. Acesso em: 3 jul. 2023.

ANP - Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **Anuário estatístico 2023**: Tabela 4.4 – Importação de etanol, segundo regiões geográficas e países – 2013-2022. Brasília: Ministério de Minas e Energia, 2023d. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/anuario-estatistico/arquivos-anuario-estatistico-2023/secao-4/tabelas/t4-4.xls>. Acesso em: 3 jul. 2023.

APPUNN, K. Q&A: Why is Germany phasing out nuclear power and why now. **Clean Energy Wire: Journalism for the energy transition**. Berlim, 2023. Disponível em: <https://www.cleanenergywire.org/news/qa-why-germany-phasing-out-nuclear-power-and-why-now>. Acesso em: 19 jul. 2023.

ARCHER, L. *et al.* The first oil war: implications of the Gulf crisis in the oil market. **Oxford Institute for Energy Studies**, 1990. Disponível em: <https://oxfordenergy.org/wpcms/wp-content/uploads/2010/11/SP1-TheFirstOil-WarImplicationsoftheGulfCrisisintheOilMarket-LArcheretal-1990.pdf>. Acesso em: 30 mar. 2023.

BASHIR, M. F. *et al.* An outlook on the development of renewable energy, policy measures to reshape the current energy mix, and how to achieve sustainable economic growth in the post COVID-19 era. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 29, n. 29, p. 43636-43647, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11356-022-20010-w>.

BAYER, P.; AKLIN, M. The European Union emissions trading system reduced CO2 emissions despite low prices. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 117, n. 16, p. 8804-8812, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1073/pnas.1918128117>.

BDEW - Associação Alemã das Indústrias de Energia e Água (*Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft*). **Fornecimento de energia 2022 – relatório anual atualizado**: O abastecimento de energia 2022 (*Die Energieversorgung 2022 – aktualisierter Jahresbericht*). Berlim, 2023a. Disponível em: <https://www.bdew.de/service/publikationen/jahresbericht-energieversorgung/>. Acesso em: 6 jun. 2023.

BDEW - Associação Alemã das Indústrias de Energia e Água (*Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft*). **Dados meteorológicos da Alemanha** (*Witterungsdaten Deutschland*). Berlim, 2023b. Disponível em: <https://www.bdew.de/service/daten-und-grafiken/witterungsdaten-deutschland/>. Acesso em: 6 jun. 2023.

BDEW - Associação Alemã das Indústrias de Energia e Água (*Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft*). **Economia e consumo de energia, edição 04/2023** (*Konjunktur und Energieverbrauch*). Berlim, 2023c. Disponível em: <https://www.bdew.de/service/anwendungshilfen/konjunktur-und-energieverbrauch/>. Acesso em: 6 jun. 2023.

BEASLEY, B. A. **Overview: The Oil Shocks of the 1970s**. Energy History Online. Yale University. 2023. Disponível em: <https://energyhistory.yale.edu/the-oil-shocks-of-the-1970s/>. Acesso em: 29 mar. 2023.

BEIS - Departamento de Negócios, Energia e Estratégia Industrial do Reino Unido (*Department for Business, Energy & Industrial Strategy*). **Capacity of UK electricity generation assets in the 21st century, 2000 to 2019**. Londres: Governo do RU, 25 mar. 2021a. Disponível em: https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/976058/UK_electricity_generation_capacity_in_the_21st_century.pdf. Acesso em: 18 ago. 2021.

BLOOMBERG. **Brazil's Russian fuel imports soar to record high**. Bloomberg Línea, 18 ago. 2023. Disponível em: <https://www.bloomberglinea.com/2023/08/18/brazils-russian-fuel-imports-soar-to-record-high/>.

BM - Banco Mundial (*World Bank Group*). **State and trends of carbon pricing 2022**. Washington, DC, 24 mai. 2022. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10986/37455>.

BM - Banco Mundial (*World Bank Group*). **State and trends of carbon pricing 2023**. Washington, DC, mai. 2023. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10986/39796>.

BMWK - Ministério Federal da Economia e Proteção Climática Alemão (*Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz*). **Edição completa dos dados de energia (Energiedaten: Gesamtausgabe)**. Berlim, 20 jan. 2022. Disponível em: <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Artikel/Energie/energiedaten-gesamtausgabe.html>. Acesso em: 31 ago. 2023.

BNETZA - Agência Federal de Rede de Energia da Alemanha (*Bundesnetzagentur*). **Situação atual do abastecimento de gás**. Bonn, 2023a. Disponível em: https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Gasversorgung/aktuelle_gasversorgung/_svg/Gasimporte/Gasimporte.html?nn=1077982. Acesso em: 9 mai. 2023.

BNETZA - Agência Federal de Rede de Energia da Alemanha (*Bundesnetzagentur*). **Temperatura média mensal**. Bonn, 2023b. Disponível em: https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Gasversorgung/aktuelle_gasversorgung/_svg/GasTemperatur/Temperatur2023_monatlich.html?nn=1077982. Acesso em: 1 jun. 2023.

BÖKENKAMP, G. *et al.* D.09.1 - Policy instruments to promote renewables in EU: WP 9 Report on policy assessment of instruments to internalise environment related external costs in EU member states, via promotion of renewables. **CASES–Costs Assessment for Sustainable Energy Markets Project**, n. 518294, 2008. Disponível em: http://www.feem-project.net/cases/downloads_deliverables.php.

BOROWSKI, P. F. Mitigating climate change and the development of green energy versus a return to fossil fuels due to the energy crisis in 2022. **Energies; Multidisciplinary Digital Publishing Institute**, v. 15, n. 24, p. 9289, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/en15249289>.

BP. **BP Statistical Review of World Energy 2022**: Table Primary energy: Consumption by fuel. Londres, 71. ed., 2022. Disponível em: <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html>. Acesso em: 12 jul. 2023.

BREETZ, H.; MILDENBERGER, M.; STOKES, L. The political logics of clean energy transitions. **Business and Politics**, v. 20, n. 4, p. 492-522, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/bap.2018.14>.

BRG - Governo Federal da Alemanha (*Bundesregierung*). **Transição Energética: "A eliminação nuclear torna nosso país mais seguro" („Der Atomausstieg macht unser Land sicherer“)**. Alemanha, 19 abr. 2023. Disponível em: <https://www.bundesregierung.de/breg-de/aktuelles/ausstieg-aus-der-kernkraft-2135796>. Acesso em: 1 jun. 2023.

BUND - Escritório Federal para a Segurança da Gestão de Resíduos Nucleares da Alemanha (*Bundesamt für die Sicherheit der nuklearen Entsorgung*). **The Chernobyl accident**. Berlim, s.d. Disponível em: https://www.base.bund.de/EN/ns/accidents/chernobyl/chernobyl_node.html. Acesso em: 19 jul. 2023.

CANDEO, A. A. **A crise econômica-financeira e o mercado de crédito de carbono**. 2014. 50 p. Monografia (Bacharelado em Ciências Econômicas) – Faculdade de Ciências Econômicas, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/handle/1884/37634>. Acesso em: 29 ago. 2023.

CARVALHO, N. *et al.* How likely is Brazil to achieve its NDC commitments in the energy sector? A review on Brazilian low-carbon energy perspectives. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 133, p. 110343, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110343>.

CCEE - Câmara de Comercialização de Energia Elétrica. **Proinfra**. São Paulo, s.d. Disponível em: <https://www.ccee.org.br/en/mercado/proinfra>. Acesso em: 13 set. 2023.

CEC - Conselho de Eletricidade da China (*China Electricity Council*). **Analysis and forecast of the electricity demand-supply situation in China (2022-2023)**. Pequim, 19 jan. 2023. Disponível em: <https://english.cec.org.cn/#/newsdetails?id=1618958977897418754>.

CHAVES, L. I. *et al.* Current status and perspectives of the electric sector in Brazil. **IEEE Latin America Transactions**, v. 19, n. 4, p. 660-668, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/TLA.2021.9448549>.

COSTANTINI, V. *et al.* Fuelling the fire: Rethinking European policy in times of energy and climate crises. **Energies**, v. 15, n. 20, p. 7781, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/en15207781>.

CREA - Centro de Pesquisa em Energia e Ar (*Center for Research on Energy and Clean Air*). **Payments to Russia for fossil fuels - since 24 February 2022**. Helsinque, atualizado em 11 set. 2023. Disponível em: <https://www.russiafossiltracker.com/>. Acesso em: 14 set. 2023.

DESNZ - Departamento de Segurança Energética e Net Zero (*Department for Energy Security and Net Zero*). **Final UK greenhouse gas emissions national statistics: 1990 to 2020**: 2020 UK greenhouse gas emissions: final figures - data tables. Londres: Governo do RU, 2022. Disponível em: <https://www.gov.uk/government/statistics/final-uk-greenhouse-gas-emissions-national-statistics-1990-to-2020>. Acesso: 29 jul. 2022.

DESNZ - Departamento de Segurança Energética e Net Zero (*Department for Energy Security and Net Zero*). **Policy paper - Powering Up Britain: Energy Security Plan**. Londres: Governo do RU, 4 abr. 2023a. Disponível em: <https://www.gov.uk/government/publications/powering-up-britain/powering-up-britain-energy-security-plan>. Acesso em: 15 jun. 2023.

DESNZ - Departamento de Segurança Energética e Net Zero (*Department for Energy Security and Net Zero*). **Capacity of, generation from renewable sources and shares of total generation (Resumo das estatísticas de energia do Reino Unido, DUKES - Digest of UK Energy Statistics - DUKES 6.2)**. Londres: Governo do RU, 2023b. Disponível em: <https://www.gov.uk/government/statistics/renewable-sources-of-energy-chapter-6-digest-of-united-kingdom-energy-statistics-dukes>. Acesso em: 1 set. 2023.

DESNZ - Departamento de Segurança Energética e Net Zero (*Department for Energy Security and Net Zero*). **Energy Trends: UK total energy**: Supply and use of fuels (ET 1.3 - quarterly) - Table 1.3b annual by fuel. Londres: Governo do RU, 2023c. Disponível em: <https://www.gov.uk/government/statistics/total-energy-section-1-energy-trends>. Acesso em: 7 jun. 2023.

DESNZ - Departamento de Segurança Energética e Net Zero (*Department for Energy Security and Net Zero*). **Energy Trends: UK gas**: Natural gas imports (ET 4.4 - monthly) - Table 4.4 Supplementary information on the origin of UK gas imports, annual data. Londres: Governo do RU, 2023d. Disponível em: <https://www.gov.uk/government/statistics/gas-section-4-energy-trends>. Acesso em: 12 jun. 2023.

DESNZ - Departamento de Segurança Energética e Net Zero (*Department for Energy Security and Net Zero*). **Energy Trends: UK oil and oil products**: Imports of primary oil and petroleum products by country of origin (ET 3.14 - monthly). Londres: Governo do RU, 2023e. Disponível em: <https://www.gov.uk/government/statistics/oil-and-oil-products-section-3-energy-trends>. Acesso em: 12 jun. 2023.

DESNZ - Departamento de Segurança Energética e Net Zero (*Department for Energy Security and Net Zero*). **Energy Trends: UK solid fuels**: Coal imports (ET

2.4 - quarterly) -Table 2.4 Coal imports. Londres: Governo do RU, 2023f. Disponível em: <https://www.gov.uk/government/statistics/solid-fuels-and-derived-gases-section-2-energy-trends>. Acesso em: 12 jun. 2023.

DESNZ - Departamento de Segurança Energética e Net Zero (*Department for Energy Security and Net Zero*). **Energy Trends: UK weather: Energy Trends weather tables (ODS)**. Londres: Governo do RU, 2023g. Disponível em: <https://www.gov.uk/government/statistics/energy-trends-section-7-weather>. Acesso em: 14 jun. 2023.

DESTATIS - Departamento Federal de Estatísticas (*Statistisches Bundesamt*). **Plataforma GENESIS, tabela 51000-0008: Exportação e importação (comércio exterior)**: Alemanha, meses, países, classificação de mercadorias (**Em WAM2, foi escolhida a opção SITC (2-Steller): AuBenhandel (72) - SITC33, o qual corresponde ao comércio de petróleo, derivados de petróleo e produtos relacionados*). Hesse: Governo da Alemanha, 2023a. Disponível em: <https://www-genesis.destatis.de/genesis/online?sequenz=statistikTabellen&selectionname=51000#abreadcrumb>. Acesso em: 13 jun. 2023.

DESTATIS - Departamento Federal de Estatísticas (*Statistisches Bundesamt*). **Plataforma GENESIS, tabela 43321-0001: Geração, alimentação de rede, consumo próprio, status de armazenamento de gás**: Alemanha, meses. (**Análise de GAS013 Alimentação de gás de países vizinhos na rede*). Hesse: Governo da Alemanha, 2023b. Disponível em: <https://www-genesis.destatis.de/genesis/online?operation=statistic&levelindex=0&levelid=1686750334308&code=43321>. Acesso em: 14 jun. 2023.

DESTATIS - Departamento Federal de Estatísticas (*Statistisches Bundesamt*). **Plataforma GENESIS, tabela 43511-0002: Importação de carvão**: Alemanha, meses, país de origem. Hesse: Governo da Alemanha, 2023c. Disponível em: <https://www-genesis.destatis.de/genesis/online?operation=table&code=43511-0002&bypass=true&levelindex=0&levelid=1686749030920>. Acesso em: 14 jun. 2023.

DUNN, C.; WUNNAVA, A. The effect of the Fukushima nuclear disaster on the evolution of the global energy mix. **M-RCBG Associate Working Paper**, n. 127, p. 1-56, 2019. Disponível em: https://www.hks.harvard.edu/sites/default/files/centers/mrcbg/files/127_final.pdf.

EIA - Agência Governamental de Informação de Energia dos EUA (*U.S. Energy Information Administration*). **Wind energy tax credit set to expire at the end of 2012**. Governo dos EUA, 21 nov. 2012. Disponível em: <https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=8870>.

EIA - Agência Governamental de Informação de Energia dos EUA (*U.S. Energy Information Administration*). **U.S. wind energy production tax credit extended through 2021**. Governo dos EUA, 28 jan. 2021. Disponível em: <https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=46576>.

EIA - Agência Governamental de Informação de Energia dos EUA (*U.S. Energy Information Administration*). **U.S. to release 30 million barrels of crude oil from its**

Strategic Petroleum Reserve. Governo dos EUA, 8 mar. 2022a. Disponível em: <https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=51538>.

EIA - Agência Governamental de Informação de Energia dos EUA (*U.S. Energy Information Administration*). **Renewable energy explained - Incentives.** Governo dos EUA, 30 dez. 2022b. Disponível em: <https://www.eia.gov/energyexplained/renewable-sources/incentives.php>.

EIA - Agência Governamental de Informação de Energia dos EUA (*U.S. Energy Information Administration*). **CO₂ emissions allowance prices increased in latest RGGI auction.** Governo dos EUA, 24 jan. 2022c. Disponível em: <https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=50998>.

EIA - Agência Governamental de Informação de Energia dos EUA (*U.S. Energy Information Administration*). **Table 7.7a Electric Net Summer Capacity: Total (All Sectors).** Governo dos EUA, 2023a. Disponível em: <https://www.eia.gov/totalenergy/data/browser/?tbl=T07.07A#/?f=A&start=1980&end=2022&charted=7-17-15-4>. Acesso em: 4 set. 2023.

EIA - Agência Governamental de Informação de Energia dos EUA (*U.S. Energy Information Administration*). **Solar panel shipments set a record high in 2022 as capacity continued to grow.** Governo dos EUA, 28 ago. 2023b. Disponível em: <https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=60261>.

EIA - Agência Governamental de Informação de Energia dos EUA (*U.S. Energy Information Administration*). **Annual Energy Outlook 2023 (AEO2023).** Governo dos EUA, 16 mar. 2023c. Disponível em: <https://www.eia.gov/outlooks/aeo/narrative/index.php#TheElectricityMixinth>.

EIA - Agência Governamental de Informação de Energia dos EUA (*U.S. Energy Information Administration*). **U.S. coal exports remained relatively unchanged between 2021 and 2022.** Governo dos EUA, 28 mar. 2023d. Disponível em: <https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=55980>.

EIA - Agência Governamental de Informação de Energia dos EUA (*U.S. Energy Information Administration*). **June 2023 monthly energy review – 1. Energy Overview:** Table 1.3 Primary Energy Consumption by Source. Governo dos EUA, 2023e. Disponível em: <https://www.eia.gov/totalenergy/data/browser/index.php?tbl=T01.03#/?f=A&start=1949&end=2022&charted=1-2-3-5-12>. Acesso em: 22 jun. 2023.

EIA - Agência Governamental de Informação de Energia dos EUA (*U.S. Energy Information Administration*). **June 2023 monthly energy review – 1. Energy Overview:** Table 1.4a Primary Energy Imports by Source. Governo dos EUA, 2023f. Disponível em: <https://www.eia.gov/totalenergy/data/browser/index.php?tbl=T01.04A#/?f=A>. Acesso em: 22 jun. 2023.

EIA - Agência Governamental de Informação de Energia dos EUA (*U.S. Energy Information Administration*). **June 2023 monthly energy review – 3. Petroleum:** Table 3.3c Petroleum Trade: Imports from OPEC Countries, Table 3.3d Petroleum

Trade: Imports from Non-OPEC Countries. Governo dos EUA, 2023g. Disponível em: <https://www.eia.gov/totalenergy/data/browser/index.php?tbl=T03.03C#/?f=M&start=202102&end=202302&charted=10;> <https://www.eia.gov/totalenergy/data/browser/index.php?tbl=T03.03D#/?f=M>. Acesso em: 22 jun. 2023.

EIA - Agência Governamental de Informação de Energia dos EUA (*U.S. Energy Information Administration*). **June 2023 monthly energy review – 4. Natural Gas:** Table 4.2a Natural Gas Imports by Country, Table 4.2b Natural Gas Exports by Country. Governo dos EUA, 2023h. Disponível em: <https://www.eia.gov/totalenergy/data/browser/index.php?tbl=T04.02A#/?f=A;> <https://www.eia.gov/totalenergy/data/browser/index.php?tbl=T04.02B#/?f=A>. Acesso em: 22 jun. 2023.

EIA - Agência Governamental de Informação de Energia dos EUA (*U.S. Energy Information Administration*). **June 2023 monthly energy review – 2. Energy Consumption by Sector:** Table 2.1a Energy Consumption: Residential, Commercial, and Industrial Sectors, Table 2.1b Energy Consumption: Transportation Sector, Total End-Use Sectors, and Electric Power Sector. Governo dos EUA, 2023i. Disponível em: <https://www.eia.gov/totalenergy/data/browser/index.php?tbl=T02.01A#/?f=A;> <https://www.eia.gov/totalenergy/data/browser/index.php?tbl=T02.01B#/?f=A>. Acesso em: 30 jun. 2023.

EIA - Agência Governamental de Informação de Energia dos EUA (*U.S. Energy Information Administration*). **China's natural gas consumption and LNG imports declined in 2022, amid zero-COVID policies.** Governo dos EUA, 1 jun. 2023j. Disponível em: <https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=56680>.

ENERDATA - **World energy & climate statistics – Yearbook 2023:** Share of renewables in electricity production (Benchmark countries – Trend over 1990 - 2022). 2023. Disponível em: <https://yearbook.enerdata.net/renewables/renewable-in-electricity-production-share.html>. Acesso em: 22 ago. 2023.

EPE - Empresa de Pesquisa Energética. **Balço Energético Nacional (BEN) 2023 - Relatório Final:** Tabela 5.5.b – Micro e Minigeração Distribuída. Brasília: Ministérios de Minas e Energia, 2023a. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2023>. Acesso em: 3 jul. 2023.

EPE - Empresa de Pesquisa Energética. **Balço Energético Nacional (BEN) 2023 - Relatório Final:** Anexo I. Capacidade Instalada – Brasil – Tabela I.1 – Capacidade Instalada de Geração Elétrica, Tabela 4.3 – Importações de Energia. Brasília: Ministérios de Minas e Energia, 2023b. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-748/topico-687/BEN2023.pdf>. Acesso em: 15 jul. 2023.

EPE - Empresa de Pesquisa Energética. **Balço Energético Nacional (BEN) 2023 - Relatório Síntese.** Brasília: Ministérios de Minas e Energia, 2023c. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados->

[abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-748/topico-681/BEN_S%C3%ADntese_2023_PT.pdf](#). Acesso em: 15 jul. 2023.

ESTRADA, M. A. R.; KOUTRONAS, E. The impact of the Russian Aggression against Ukraine on the Russia-EU Trade. **Journal of Policy Modeling**, v. 44, n. 3, p. 599-616, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jpolmod.2022.06.004>.

EUROSTAT - Gabinete de Estatísticas da União Europeia. **Balanços de energia - Energy balance, total energy supply**. Luxemburgo, 2023a. Disponível em: https://ec.europa.eu/eurostat/cache/infographs/energy_balances/enbal.html. Acesso em: 17 mai. 2023.

EUROSTAT - Gabinete de Estatísticas da União Europeia. **Comércio de energia - Energy trade**. Luxemburgo, 2023b. Disponível em: https://ec.europa.eu/eurostat/cache/infographs/energy_trade/entrade.html?language=EN. Acesso em: 17 mai. 2023.

FAGIANI, R.; BARQUÍN, J.; HAKVOORT, R. Risk-based assessment of the cost-efficiency and the effectivity of renewable energy support schemes: Certificate markets versus *feed-in* tariffs. **Energy policy**, v. 55, p. 648-661, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.12.066>.

FAN, J. *et al.* The development of China's renewable energy policy and implications to Africa. **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**, v. 394, n. 4, 2018. IOP Publishing, p. 042034. Disponível em: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/394/4/042034>

FIGUEIREDO, R. *et al.* The impacts of geopolitical risks on the energy sector: micro-level operative analysis in the European union. **Economies**, v. 10, n. 12, p. 299, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/economies10120299>

FLEURY, A. *et al.* Abordagens quantitativa e qualitativa e métodos de pesquisa adotados na engenharia. *In*: FLEURY, A. *et al.* **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações**. Coordenação: Cauchick, P. A. Miguel. 3. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2018. cap. 3 e 4, p. 47-74.

FRAUNHOFER - Organização Alemã de Pesquisa em Ciência Aplicada. **Energy charts**. Bade-Vurtemberg, atualizado em 11 dez. 2021. Disponível em: https://energy-charts.info/charts/remod_emissions/chart.htm?l=de&c=DE.

FRAUNHOFER - Organização Alemã de Pesquisa em Ciência Aplicada. **Energy charts**. Bade-Vurtemberg, 2023. Disponível em: https://energy-charts.info/charts/renewable_share/chart.htm?l=de&c=DE&interval=year&share=renewable_share_total&legendItems=11. Acesso em: 31 ago. 2023.

FRITZ-MORGENTHAL, S. *et al.* The global financial crisis and its impact on renewable energy finance. **Paris: United Nations Environment programme—Frankfurt School of Finance and Management**, 2009. Disponível em: <https://www.nrel.gov/docs/fy09osti/44930.pdf>. Acesso em: 1 abr. 2023.

GACC - Administração Geral Aduaneira da China (*General Administration of Customs China*). **Plataforma de consulta on-line de estatísticas aduaneiras:**

Escolha de mercadoria segundo código: carvão e lenhite 2701, 2702. Governo da China, 2023a. Disponível em: <http://stats.customs.gov.cn/>. Acesso em: 13 jul. 2023.

GACC - Administração Geral Aduaneira da China (General Administration of Customs China). **Plataforma de consulta on-line de estatísticas aduaneiras:** Escolha de mercadoria segundo código: petróleo bruto 2709 e derivados 2710. Governo da China, 2023b. Disponível em: <http://stats.customs.gov.cn/>. Acesso em: 13 jul. 2023.

GACC - Administração Geral Aduaneira da China (General Administration of Customs China). **Plataforma de consulta on-line de estatísticas aduaneiras:** Escolha de mercadoria segundo código: gás natural e gás natural liquefeito 271111 e 271121. Governo da China, 2023c. Disponível em: <http://stats.customs.gov.cn/>. Acesso em: 13 jul. 2023.

GROSS, S. What Iran's 1979 revolution meant for US and global oil markets. **The Brookings Institution**. Washington, DC, 5 mar. 2019. Disponível em: <https://www.brookings.edu/articles/what-irans-1979-revolution-meant-for-us-and-global-oil-markets/>.

HELM, D. Electricity generation. In: HELM, D. **Cost of energy review**. 2017. cap. 7, p. 80-121. Disponível em: https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/654902/Cost_of_Energy_Review.pdf. Acesso em: 18 ago. 2021.

IEA - Agência Internacional de Energia (*International Energy Agency*). Energy and climate change, Renewable energy. In: IEA. **Energy Policies of IEA Countries - United Kingdom**. Paris, 2019. cap. 3 e 4, p. 33-78. Disponível em: https://iea.blob.core.windows.net/assets/298930c2-4e7c-436e-9ad0-2fb8f1cce2c6/Energy_Policies_of_IEA_Countries_United_Kingdom_2019_Review.pdf. Acesso em: 18 ago. 2021.

IEA - Agência Internacional de Energia (*International Energy Agency*). **Green stimulus after the 2008 crisis - Learning from successes and failures**. Paris, 29 jun. 2020a. Disponível em: <https://www.iea.org/articles/green-stimulus-after-the-2008-crisis>.

IEA - Agência Internacional de Energia (*International Energy Agency*). 2020 – Decline and recovery: Global overview. In: IEA. **Electricity Market Report - December 2020**. Paris, dez. 2020b. p. 8-42. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/electricity-market-report-december-2020>.

IEA - Agência Internacional de Energia (*International Energy Agency*). **Global Energy Review 2021: Assessing the effects of economic recoveries on global energy demand and CO₂ emissions in 2021**. Paris, abr. 2021a. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/global-energy-review-2021>.

IEA - Agência Internacional de Energia (*International Energy Agency*). Overview and key findings. In: IEA. **World Energy Investment 2022**. Paris, jun. 2022a. p. 8-26. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/world-energy-investment-2022/overview-and-key-findings>.

IEA - Agência Internacional de Energia (*International Energy Agency*). **Nuclear power:** Tracking nuclear electricity. Paris, jun. 2022b. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/nuclear-electricity>. Acesso em 20 dez. 2023.

IEA - Agência Internacional de Energia (*International Energy Agency*). **Russia's War on Ukraine:** Analysing the impacts of Russia's invasion of Ukraine on global energy markets and international energy security. Paris, 2023a. Disponível em: <https://www.iea.org/topics/russias-war-on-ukraine>. Acesso em: 30 mar. 2023.

IEA - Agência Internacional de Energia (*International Energy Agency*). **World energy statistics and balances:** World Energy Balances 2022 Highlights (**Dados de 1971-2020*). Paris, 2023b. Disponível em: <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-product/world-energy-statistics-and-balances#world-energy-statistics>. Acesso em: 11 mai. 2023.

IEA - Agência Internacional de Energia (*International Energy Agency*). **Monthly Electricity Statistics.** (**Seleção por país e ano*). Paris, 2023c. Disponível em: <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/monthly-electricity-statistics>. Acesso em: 9 mai. 2023.

IEA - Agência Internacional de Energia (*International Energy Agency*). **Data explorer:** Energy topic (Energy supply), Indicator (Electricity generation by source). (**Dados de 1990-2020, seleção por país*). Paris, 2023d. Disponível em: <https://www.iea.org/countries/>. Acesso em: 18 jul. 2023.

IEA - Agência Internacional de Energia (*International Energy Agency*). **Oil market and Russian supply.** Paris, 2023e. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/russian-supplies-to-global-energy-markets/oil-market-and-russian-supply-2>. Acesso em: 21 jul. 2023.

IEA – Agência Internacional de Energia (*International Energy Agency*). World Energy Outlook 2023. Paris, 2023f. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2023>. Acesso em: 9 jan. 2023.

IRENA - Agência Internacional de Energia Renovável (*International Renewable Energy Agency*). **A new world: The geopolitics of the energy transformation.** Abu Dhabi, jan. 2019. Disponível em: https://www.irena.org/-/media/files/irena/agency/publication/2019/jan/global_commission_geopolitics_new_world_2019.pdf.

IRENA - Agência Internacional de Energia Renovável (*International Renewable Energy Agency*). **Energy transition holds key to tackle global energy and climate crisis.** Abu Dhabi, mar. 2022. Disponível em: <https://www.irena.org/news/pressreleases/2022/Mar/Energy-Transition-Holds-Key-to-Tackle-Global-Energy-and-Climate-Crisis>.

JONEK-KOWALSKA, I. Multi-criteria evaluation of the effectiveness of energy policy in Central and Eastern European countries in a long-term perspective. **Energy Strategy Reviews**, v. 44, p. 100973, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.esr.2022.100973>.

KAZAK, J. K. *et al.* Renewable energy creditors versus renewable energy debtors: Seeking a pattern in a sustainable energy transition during the climate crisis. **The Anthropocene Review**, p. 1-21, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1177/20530196221149111>.

KHAN, I. *et al.* Linking energy transitions, energy consumption, and environmental sustainability in OECD countries. **Gondwana Research**, v. 103, p. 445-457, 2022a. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.gr.2021.10.026>.

KHAN, F. Borders and pipelines. **Nature Energy**, v. 7, n. 3, p. 213-213, 2022b. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41560-022-01009-6>.

KITZING, L.; MITCHELL, C.; MORTHORST, P. E. Renewable energy policies in Europe: Converging or diverging? **Energy policy**, v. 51, p. 192-201, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.08.064>.

KUZEMKO, C. *et al.* Russia's war on Ukraine, European energy policy responses & implications for sustainable transformations. **Energy Research & Social Science**, v. 93, p. 102842, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.erss.2022.102842>.

LIMA, M. A. *et al.* Renewable energy in reducing greenhouse gas emissions: Reaching the goals of the Paris agreement in Brazil. **Environmental Development**, v. 33, p. 100504, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envdev.2020.100504>.

LIN, A.; MCMILLAN, G. China imports record volumes of Russian oil in first half of 2023. **Financial Times**, jul. 2023. Disponível em: <https://www.ft.com/content/dd0a0026-0972-45ed-9e62-1f0ea6c0ec58>.

MENANTEAU, P.; FINON, D.; LAMY, M. L. Prices versus quantities: choosing policies for promoting the development of renewable energy. **Energy policy**, v. 31, n. 8, p. 799-812, 2003. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0301-4215\(02\)00133-7](https://doi.org/10.1016/S0301-4215(02)00133-7).

MENZ, F. C. Green electricity policies in the United States: case study. **Energy Policy**, v. 33, n. 18, p. 2398-2410, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2004.05.011>.

NBS - Escritório Nacional de Estatísticas da China (*National Bureau of Statistics of China*). **China Statistical Yearbook 2022**: 9-15 Installed Capacity of Power Generation. Governo da China, 2023a. Disponível em: <http://www.stats.gov.cn/sj/ndsj/2022/indexeh.htm>. Acesso em: 11 set. 2023.

NBS - Escritório Nacional de Estatísticas da China (*National Bureau of Statistics of China*). **Energy production from January to February 2022, Energy Production from January to February 2023**. Governo da China, 2023b. Disponível em: http://www.stats.gov.cn/english/PressRelease/202203/t20220317_1828823.html; http://www.stats.gov.cn/english/PressRelease/202303/t20230317_1937567.html. Acesso em: 12 jul. 2023c.

NBS - Escritório Nacional de Estatísticas da China (*National Bureau of Statistics of China*). **China Statistical Yearbook 2022**: 7 Monthly Precipitation by Major City 2021, 8-8 Monthly Sunshine Hours by Major City 2021. Governo da China, 2023c.

Disponível em: <http://www.stats.gov.cn/sj/ndsj/2022/indexeh.htm>. Acesso em: 11 set. 2023c.

NBS - Escritório Nacional de Estatísticas da China (*National Bureau of Statistics of China*). **Statistical communique of the people's republic of China on the 2022 national economic and social development**. Governo da China, 2023d. Disponível em: http://www.stats.gov.cn/english/PressRelease/202302/t20230227_1918979.html. Acesso em: 13 jul. 2023.

NOAA - Centros Nacionais de Informações Ambientais (*National Oceanic and Atmospheric Administration*) - (*NCEI - National Centers for Environmental Information*) Centros Regionais de Clima (*RCCs - Regional Climate Centers*). **Applied Climate Information System (ACIS) - Temperature and Precipitation**. 2023. Disponível em: <http://drought.rcc-acis.org/>; <https://www.drought.gov/data-maps-tools/applied-climate-information-system-acis-temperature-and-precipitation>. Acesso em: 29 jun. 2023.

ORSATTI, G. Government R&D and green technology spillovers: the Chernobyl disaster as a natural experiment. **The Journal of Technology Transfer**, p.1-28, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10961-023-10000-6>.

OSIČKA, J.; ČERNOCH, F. European energy politics after Ukraine: The road ahead. **Energy Research & Social Science**, v. 91, p. 102757, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.erss.2022.102757>.

PAILLERE, H.; DONOVAN, J. Nuclear power 10 years after Fukushima: The long road back. **IAEA - International Atomic Energy Agency**. 2021. Disponível em: <https://www.iaea.org/newscenter/news/nuclear-power-10-years-after-fukushima-the-long-road-back>.

PEREIRA, A. O. *et al.* Strategies to promote renewable energy in Brazil. **Renewable and sustainable energy reviews**, v. 15, n. 1, p. 681-688, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.09.027>.

RYNES, S.; GEPHART, R. From the editors: Qualitative research and the “Academy of Management Journal”. **The Academy of Management Journal**, v. 47, n. 4, p. 454-462, 2004. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/20159596>.

SCHWABE, P.; CORY, K.; NEWCOMB, J. Renewable energy project financing: Impacts of the financial crisis and federal legislation. **National Renewable Energy Lab. (NREL)**, Colorado, 2009. Disponível em: <https://www.nrel.gov/docs/fy09osti/44930.pdf>. Acesso em: 1 abr. 2023.

SOKHANVAR, A.; LEE, C. C. How do energy price hikes affect exchange rates during the war in Ukraine? **Empirical Economics**, p. 1-14, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00181-022-02320-7>.

SONG, X. *et al.* Efficiency of tradable green certificate markets in China. **Journal of Cleaner Production**, v. 264, p. 121518, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121518>.

STEFFEN, B.; PATT, A. A historical turning point? Early evidence on how the Russia-Ukraine war changes public support for clean energy policies. **Energy Research & Social Science**, v. 91, p. 102758, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.erss.2022.102758>.

STURM, C. Between a rock and a hard place: European energy policy and complexity in the wake of the Ukraine war. **Journal of Industrial and Business Economics**, v. 49, n. 4, p. 835-878, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s40812-022-00233-1>.

S&P GLOBAL. **Policy uncertainty clouds future of China's green electricity certificates**. Electric Power | Energy Transition - S&P Global Commodity Insights. 2022. Disponível em: <https://www.spglobal.com/commodityinsights/en/market-insights/latest-news/energy-transition/072722-policy-uncertainty-clouds-future-of-chinas-green-electricity-certificates>.

UBA - Agência Ambiental Federal Alemã (*Umwelt Bundesamtes*). **As emissões de gases de efeito estufa aumentaram 4,5% em 2021 (*Treibhausgasemissionen stiegen 2021 um 4,5 Prozent*)**. Governo da Alemanha, 15 mar. 2022. Disponível em: <https://www.umweltbundesamt.de/presse/pressemitteilungen/treibhausgasemissionen-stiegen-2021-um-45-prozent>.

UBA - Agência Ambiental Alemã (*Umwelt Bundesamtes*). **Relatório de Indicadores (*Mein Indikatorenbericht „Daten zur Umwelt“*)**. Governo da Alemanha, 2023a. Disponível em: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/umweltindikatoren/bericht>. Acesso em: 31 ago. 2023.

UBA - Agência Ambiental Alemã (*Umwelt Bundesamtes*). **Receita recorde no comércio de emissões: mais de 13 bilhões de euros para proteção do clima (*Rekordeinnahmen im Emissionshandel: Über 13 Milliarden Euro für den Klimaschutz*)**. Governo da Alemanha, 2023b. Disponível em: <https://www.umweltbundesamt.de/presse/pressemitteilungen/rekordeinnahmen-im-emissionshandel-ueber-13>, publicado em 3 jan. 2023.

UMAR, M.; RIAZ, Y.; YOUSAF, I. Impact of Russian-Ukraine war on clean energy, conventional energy, and metal markets: Evidence from event study approach. **Resources Policy**, v. 79, p. 102966, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2022.102966>.

UNFCCC - Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima (*United Nations Climate Change*). **Registro das Contribuições Nacionalmente Determinadas**. 2023. Disponível em: <https://unfccc.int/NDCREG>. Acesso em: 1 set. 2023, atualizado em 19 dez. 2023.

WEF - Fórum Econômico Mundial (*World Economic Forum*). **Energy Transition - The 1973 energy crisis sparked the idea for establishing the IEA. What have we learned since?** 2022. Disponível em: <https://www.weforum.org/agenda/2022/03/iea-1970s-energy-crisis/>.

WRI - World Resources Institute Brazil. **Mudanças climáticas alarmantes: veja 5 grandes resultados do relatório do IPCC**. 2021. Disponível em: <https://wribrasil.org.br/pt/blog/clima/ipcc-relatorio-mudancas-climaticas-2021>. Acesso em: 12 ago. 2021.

ZHOU, X. Y. *et al.* Influence of Russia-Ukraine war on the global energy and food security. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 188, p. 106657, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2022.106657>.

ANEXOS

Anexo A – Fatores gerais de conversão de energia

		Multiplicador para converter em:					
		EJ	Gcal	Mtoe	Mbtu	bcme	GWh
Converter de:	EJ	1	2,388 x 10 ⁸	23,88	9,478 x 10 ⁸	27,78	2,778 x 10 ⁵
	Gcal	4,1868 x 10 ⁻⁹	1	10 ⁻⁷	3,968	1,163 x 10 ⁻⁷	1,163 x 10 ⁻³
	Mtoe	4,1868 x 10 ⁻²	10 ⁷	1	3,968 x 10 ⁷	1,163	11630
	Mbtu	1,0551 x 10 ⁻⁹	0,252	2,52 x 10 ⁻⁸	1	2,932 x 10 ⁻⁸	2,931 x 10 ⁻⁴
	bcme	0,036	8,60 x 10 ⁶	0,86	3,41 x 10 ⁷	1	9999
	GWh	3,6 x 10 ⁻⁶	860	8,6 x 10 ⁻⁵	3412	1 x 10 ⁻⁴	1

Fonte: [IEA \(2023f, p.320\)](#).

Nota: Ao gás natural é atribuído um baixo poder calorífico de 1 MJ por 44,1 kg. As conversões de/para bilhões de metros cúbicos de gás natural equivalente (bcme) são fornecidas como multiplicadores representativos, mas podem diferir dos valores médios obtidos pela conversão dos volumes de gás natural entre os balanços da IEA devido ao uso de densidades de energia específicas do país.

Anexo B – Estoques de petróleo em milhões de toneladas

	Europa	América do Norte	Japão (Total)	Japão (SPR)	EUA (SPR)	América do Norte (s/SPR)	OCDE	OCDE s/SPR
1986								
Q2	138,6	202,7	65,5	20,7	67,2	135,5	412,8	324,9
Q3	146,0	208,7	65,9	20,7	67,9	140,8	426,1	337,5
Q4	157,6	218,1	70,4	20,7	68,6	149,5	451,8	362,6
1987								
Q1	154,0	214,1/	68,0	20,7	69,4	144,7	442,1	352,0
Q2	144,3	210,6	67,1	19,6	70,3	140,3	428,5	338,5
Q3	147,9	207,6	69,4	19,6	71,6	136,1	430,9	339,7
Q4	160,3	216,2	69,6	19,7	72,2	144,0	451,8	359,9
1988								
Q1	159,4	218,2	71,9	21,4	73,2	145,0	455,3	360,8
Q2	150,0	212,9	69,9	22,1	73,6	139,3	438,3	342,6
Q3	154,1	217,6	74,3	22,1	74,4	143,2	451,8	355,3
Q4	158,4	220,0	74,5	22,5	75,1	144,9	459,2	361,7
1989								
Q1	153,3	216,8	71,9	24,5	75,7	141,1	447,5	347,3
Q2	150,4	212,2	73,8	24,6	76,5	135,7	442,3	341,2
Q3	151,8	218,5	74,3	24,6	77,9	140,6	450,2	347,8
Q4	158,0	223,4	76,1	25,5	78,3	145,1	463,8	360,0
1990								
Q1	155,7	213,4	77,1	26,7	78,3	135,1	452,5	347,5
Q2	155,6	223,1	77,5	27,0	78,7	144,4	462,8	357,1

Fonte: [Archer et al. \(1990, p.26\)](#).

Anexo C – Importações de petróleo da OCDE, totais e da Rússia, novembro de 2021 em mil barris por dia

	Petróleo total			Petróleo bruto + Gás Natural Liquefeito (GNL) + matérias-primas		
	Total	Rússia	%	Total	Rússia	%
Austrália	960	–	0%	145	–	0%
Japão	3.993	126	3%	2.894	122	4%
Coréia	3.678	313	9%	2.713	155	6%
Nova Zelândia	126	–	0%	67	–	0%
OCDE Ásia Oceania	8.589	439	5%	6.046	277	5%
Canadá	960	–	0%	709	–	0%
Chile	334	–	0%	109	–	0%
México	1.036	–	0%	10	–	0%
Estados Unidos	8.533	626	7%	6.836	478	7%
OCDE Américas	3.687	626	17%	2.574	478	19%
Áustria	291	8	3%	156	8	5%
Bélgica	1.189	278	23%	648	183	28%
República Checa	244	52	21%	138	52	38%
Dinamarca	189	28	15%	90	–	0%
Estônia	38	13	34%	–	–	0%
Finlândia	309	246	80%	240	201	84%
França	1.844	233	13%	736	98	13%
Alemanha	2.748	835	30%	1.877	687	37%
Grécia	683	200	29%	568	191	34%
Hungria	216	92	43%	135	79	59%
Islândia	14	–	0%	–	–	0%
Irlanda	184	11	6%	61	–	0%
Israel	359	–	0%	310	–	0%
Itália	1.521	204	13%	1.235	180	15%
Letônia	37	9	24%	–	–	0%
Lituânia	224	185	83%	198	173	87%
Luxemburgo	59	–	0%	–	–	0%
Holanda	3.184	748	23%	1.321	414	31%
Noruega	183	45	25%	56	10	18%
Polônia	878	509	58%	632	372	59%
Portugal	310	31	10%	144	31	22%
República Eslovaca	148	109	74%	119	109	92%
Eslovênia	75	–	0%	–	–	0%
Espanha	1.677	183	11%	1.337	134	10%
Suécia	492	43	9%	338	31	9%
Suíça	202	–	0%	73	–	0%
Peru	1.201	258	21%	736	141	19%
Reino Unido	1.567	170	11%	976	56	6%
OCDE Europa	13.186	4.492	34%	9.773	3.148	32%
Total da OCDE	21.465	5.556	26%	16.240	3.904	24%

Fonte: [IEA \(2023e\)](#).