



As rotas para conduzir o processo de transição energética de baixo carbono no setor elétrico: uma análise comparativa da Alemanha e o Japão

Paths to drive the low-carbon energy transition process in the electrical energy sector: A comparative analysis between Germany and Japan

William Adrian Clavijo VITTO^{1*}, Helder Queiroz PINTO JR.^{1**}

¹ Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

E-mails de contato: * william.clavijo1990@gmail.com, ** helder@ie.ufrj.br

Artigo recebido em 8 de novembro de 2021, versão final aceita em 19 de janeiro de 2023, publicado em 10 de novembro de 2023.

RESUMO: O seguinte trabalho analisa as rotas de política pública para conduzir a transição energética de baixo carbono a partir de uma perspectiva comparada dos casos da Alemanha e Japão. Para isso, foi realizada uma pesquisa qualitativa a partir do estudo comparativo de ambos os países com base na literatura sobre *policy mix*. Dessa forma, foi realizado um mapeamento dos pacotes de política pública adotados em cada país para conduzir a descarbonização da matriz elétrica, permitindo identificar os tipos de instrumentos considerados, o escopo dos esforços governamentais implementados e as opções tecnológicas contempladas para substituir as fontes fósseis. Entre os principais resultados, encontrou-se que as políticas de incentivo ao aumento da capacidade de geração de eletricidade a partir de fontes renováveis estão transitando de esquemas de precificação com impacto na tarifa dos consumidores para o estabelecimento de esquemas de precificação que respondam a sinais de mercado, em decorrência da redução dos custos de instalação e geração de eletricidade a partir das fontes renováveis variáveis. O estudo identificou diferenças nas opções tecnológicas consideradas para impulsionar a descarbonização, tendo como elemento notável, a desativação da geração de energia nuclear na Alemanha e a reativação dessa fonte no Japão. Em ambos os casos, identificou-se que as políticas públicas também caminham para a adaptação dos sistemas elétricos à dinâmica das fontes renováveis variáveis. Finalmente, o escopo das políticas governamentais dos dois países almeja o impulso do desenvolvimento econômico por meio da construção de nova capacidade produtiva e tecnológica.

Palavras-chave: transição energética de baixo carbono; *policy mix*; políticas públicas; Alemanha; Japão.

ABSTRACT: The following paper analyzes the public policy paths to drive the low-carbon energy transition from a comparative perspective between the German and Japanese cases. For this purpose, qualitative research

was carried out based on the comparative study between both countries and of literature about Policy Mix. Therefore, a mapping of the public policy packages adopted in each country to drive the decarbonization of the electric matrix was performed, allowing to identify the type of instruments considered, the scope of the governmental efforts implemented, and the technological options contemplated to replace fossil sources. Among the main results, it was found that the incentive policies to increase the capacity to generate electricity from renewable sources are moving from pricing schemes with an impact on the consumers' tariffs to the establishment of pricing schemes that respond to market signals, due to the reduction of the installation and electricity generation costs from variable renewable sources. The study identified differences in the technological options considered to drive decarbonization, such as phasing out nuclear power generation in Germany and its reactivation in Japan. In both cases, it was identified that public policies are also moving towards an adaptation of the electricity systems to the dynamics of variable renewable sources. Finally, the scope of the governmental policies in both countries aims at boosting economic development through the construction of new productive and technological capacity.

Keywords: low-carbon energy transition; Policy Mix; public policies; Germany; Japan.

1. Introdução

Com a assinatura do acordo de Paris, em 2015, a comunidade internacional marcou um divisor de águas na decisão de combater a emergência climática, por meio da implementação de esforços para evitar o aumento na temperatura da Terra e sua manutenção em 2 °C quando comparado com níveis pré-industriais (IRENA, 2019). Para atingir esse objetivo, a redução das emissões de gases de efeito estufa, decorrente da utilização de fontes fósseis de energia, aparece como a questão central nessa empreitada, uma vez que são a primeira causa das emissões (OCDE, 2021). Contudo a substituição das fontes fósseis não é uma questão trivial, considerando que respondem por mais de 80% no consumo de energia primária no mundo (BP, 2020)^{1,2}.

Nas últimas décadas, preocupações com o impacto das energias fósseis nas emissões têm influenciado uma mudança de orientação nas políticas públicas e nos planos de negócio de diversas

empresas para incentivar o desenvolvimento e a difusão de fontes de energia mais limpas. Como resultado, em decorrência do desenvolvimento e a introdução comercial das novas fontes renováveis, principalmente solar fotovoltaica e energia eólica, surgiu a opção da eletrificação dos sistemas de energia com base nessas novas tecnologias, para avançar na descarbonização das matrizes energéticas nacionais. Desta forma, a geração de eletricidade, responsável por 48% das emissões totais das indústrias de energia, em nível global, converteu-se no setor que tem experimentado a maior quantidade avanços, e, no centro dos esforços para conduzir a transição energética de baixo carbono (IEA, 2020a).

Contudo, apesar dos avanços com a difusão das novas fontes renováveis em vários países, os resultados ainda são insuficientes para propiciar a redução das emissões de CO₂ nos níveis propostos pela comunidade científica para evitar a ocorrência de efeitos irreversíveis sobre o planeta (OCDE, 2020). Diferentemente das transições anteriores, a

¹ De acordo com dados da IEA (2020a), as emissões globais de CO₂ tem crescido de forma sustentada durante mais de um século, passando de menos de 5 giga toneladas em 1900 até o pico de 33.5 giga toneladas em 2018.

² No mix energético mundial, o petróleo tem uma participação de 33%, seguido do carvão (27%) e gás natural (24%) (BP, 2020).

atual implica um processo de mudança estrutural sem precedente na história (Goldthau *et al.*, 2020).

A transição energética em curso significa a desestabilização do regime sociotécnico dominante, configurado a partir dos regimes tecnológicos advindos com o paradigma dos combustíveis fósseis, sua substituição por um regime sociotécnico novo, composto pela combinação de opções tecnológicas já existentes, e, que ainda devem sofrer aprimoramentos – inovações incrementais –, por tecnologias que apenas se encontram em estágios iniciais de desenvolvimento, ou por soluções que estão por serem criadas (Kivimaa & Kern, 2016; IEA, 2020b). Assim, também, a determinação de transitar na substituição das fontes fósseis por uma ampla e nova constelação de opções tecnológicas, incluindo tecnologias não associadas diretamente ao setor de energia – inteligência artificial, por exemplo –, devem contemplar a administração dos impactos econômicos, sociais e políticos desse processo de mudança para garantir sua viabilidade (IRENA, 2019; WEC, 2019).

O reconhecimento da complexidade subjacente ao processo de transição energética de baixo carbono tem incentivado a adoção de um papel mais ativo por parte do Estado, em aqueles países onde as preocupações com a emergência climática já conseguiram se posicionar num grau de prioridade maior dentro da agenda governamental (Rogge & Reichardt, 2016; Rogge & Johnstone, 2017; IEA, 2019). Como resultado, esses países têm formulado planos governamentais, caracterizados pela adoção simultânea de um amplo número de ferramentas de política pública, em muitos casos abrangendo diferentes esferas mais além do setor energético, tais como ciência, tecnologia e inovação (CT&I), desenvolvimento industrial, meio ambiente, entre

outros. A partir desses pacotes de política pública – *policy mixes*, cada país tem delineado uma rota particular para conduzir essa transição de longo prazo. Considerando a complexidade, e a novidade que ainda significa esse processo, resulta fundamental entender a abordagem em matéria de políticas públicas que está sendo realizada pelos países líderes nesse esforço.

O objetivo deste trabalho é analisar as políticas públicas desenhadas para impulsionar a transição energética de baixo carbono no setor elétrico a partir de uma perspectiva comparada, de abordagem qualitativa, dos casos da Alemanha e Japão. Cabe notar que, nesses dois países, a geração termoelétrica fóssil – a carvão (Alemanha) e gás natural (Japão) – domina a estrutura da matriz elétrica; e, em ambos, a geração de energia nuclear sempre constituiu um elemento fundamental para assegurar o suprimento de eletricidade e o desenvolvimento tecnológico e industrial.

Assim, o trabalho ficou dividido em cinco seções além desta introdução. A primeira seção faz uma revisão da literatura sobre *policy mix*, a fim de examinar o papel, cada vez mais ativo, que tem a desempenhar o Estado no processo de transição energética; bem como a abrangência de instrumentos de políticas públicas que estão sendo adotados para viabilizar esse processo de mudança. A segunda seção faz uma descrição da metodologia e dos critérios utilizados para a análise comparativa dos países contemplados. A terceira seção faz uma revisão dos pacotes e instrumentos de política pública que estão sendo adotados pelos países contemplados no estudo. Em seguida, a seção quatro busca comparar os casos de Alemanha e Japão com base nos critérios de análise definidos na seção três. Por último, são apontadas as reflexões finais deste trabalho.

2. O papel das políticas públicas na transformação energética: uma breve revisão da literatura sobre *policy mix*

O processo de descarbonização da matriz energética no mundo é uma questão complexa e associada ao escopo das transformações estruturais que deverão ocorrer em nível técnico, econômico, social e político. Colocar fim ao regime sociotécnico atual, dominado pelas fontes de energia fósseis, destravar o processo de difusão das novas fontes renováveis nos sistemas de energia e, simultaneamente, administrar os efeitos disruptivos dessa mudança, justificam uma ação ativa do Estado para garantir resultados eficazes em longo prazo. E a administração dos riscos intrínsecos a esse processo constitui um objetivo que é transversal entre diversas organizações do Estado com competência na execução de políticas públicas em campos variados como a política energética, mas igualmente na sua articulação com demais políticas públicas relacionadas com a macroeconomia, o meio ambiente, o desenvolvimento industrial, a CT&I, entre outros.

Uma abordagem que resulta adequada para entender o tipo e o escopo da intervenção estatal para atender desafios, como o do processo de descarbonização dos sistemas de geração de energia elétrica, encontra-se na literatura sobre *policy mix*. Tal abordagem tem sido frequentemente utilizada para analisar respostas públicas a fenômenos complexos, principalmente no campo da economia do meio ambiente, da economia da inovação e as ciências políticas (Braathen, 2007; Kern & Howlet,

2009; Lehmann, 2012; Kivimaa & Kern, 2016; Rogge *et al.*, 2017).

A noção de *policy mix* reflete uma situação em que uma ou mais organizações do Estado, às vezes, com racionalidades diferenciadas, e com estruturas de governança diversas, optam pela implementação de um conjunto coerente de instrumentos de política pública com a finalidade de atingir determinados objetivos de forma mais eficiente e eficaz do que só usar um único instrumento (Kivimaa & Kern, 2016; Li & Taeihagh, 2020). A combinação de instrumentos de política pública, em muitos casos rotulada como pacotes de política pública, é utilizada com o intuito de melhorar a efetividade das políticas executadas individualmente, ou que, individualmente, não conseguiriam atingir o objetivo desejado, ao mesmo tempo que visando minimizar efeitos indesejados (Givoni *et al.*, 2013).

A partir dessa literatura, tem sido possível analisar diversos aspectos do processo das políticas públicas nas experiências de implementação de pacotes orientados a transições sustentáveis. Alguns estudos têm utilizado essa abordagem para entender a racionalidade e o percurso lógico por detrás da construção dos pacotes de política pública que são executados (Li & Taeihagh, 2020)³. Essa racionalidade é associada à percepção da existência de um problema que requer a intervenção do Estado, e que dá lugar ao ciclo de elaboração ou revisão das políticas públicas – colocação na agenda governamental, formulação de instrumentos de política, legitimação e adoção, implementação, avaliação, adaptação, sucessão e terminação (Rogge & Reichardt, 2016). Uma característica central dos estudos sobre transições com base na adoção do

³ Essa racionalidade persegue a consecução de objetivos últimos, seja numa forma abstrata, ou, objetivos específicos em campos determinados das políticas públicas (Kern & Howlett, 2009; Rogge & Reichardt, 2016; Li & Taeihagh, 2020).

conceito de *policy mix* é a análise sobre como os instrumentos de política emergem e interagem (Del Rio, 2009; Philibert, 2011).

Dessa forma, tem sido possível aprofundar os estudos por meio de avaliações sobre a influência e a qualidade dos resultados dos pacotes de política na busca pelo alcance dos objetivos propostos, com base na adoção de distintas dimensões de análise – efetividade, eficiência, vantagens, ou desvantagens, consistência, coerência, entre outros (Carbone, 2008; Fisher & Preonas, 2010; Rogge & Reichardt, 2016). Ainda no âmbito da interação, estudos mais aprofundados têm adotado o conceito de *policy mix* para analisar questões como a integração das políticas e sua coordenação por meio de múltiplas organizações do Estado, em distintos níveis de governo, e, portanto, considerando distintos recortes geográficos. Em decorrência do anterior, alguns estudos passaram a considerar a análise dos atores envolvidos como parte dos esforços por entender o processo de construção dos pacotes de política e seus resultados (Rogge *et al.*, 2017).

Considerando a diversidade de escopo nos estudos voltados à análise de políticas para transições sustentáveis com base na adoção dessa literatura sobre *policy mix*, para os objetivos desta pesquisa, resulta particularmente útil, do ponto de vista

normativo, entender como se dá o processo de construção dos pacotes de política pública, o qual está sintetizado na Figura 1.

A partir dos objetivos gerais, são formuladas estratégias que constituem orientações de longo prazo compostas por fins interdependentes (objetivos) e meios para atingir esses fins (políticas públicas) (Li & Taeihagh, 2020). Os objetivos, o primeiro componente das estratégias, estão consubstanciados por metas de longo prazo com níveis de ambição quantificados, e podem se basear em visões do futuro.

O segundo componente de cada estratégia é a definição de planos de ação – que, neste trabalho, serão rotulados como orientações –, os quais estabelecem a rota geral proposta pelos governos para a realização dos objetivos. Eles podem incluir convenções, diretrizes, planos de ação estratégica e roteiros (Rogge & Reichardt, 2016). Os planos contêm pacotes de instrumentos de política pública formulados para alcançar os objetivos de cada estratégia. Finalmente, os instrumentos de política pública constituem ferramentas concretas desenhadas para alcançar determinadas metas, e, que em conjunto com os demais instrumentos, contribuem no atingimento do objetivo que motivou a formulação do plano de ação. Essas ferramentas também são definidas como medidas, programas ou políticas (Rogge *et al.*, 2017; Li & Taeihagh, 2020).



FIGURA 1 – O processo de desenho do *policy mix*.

FONTE: elaboração própria a partir de Li & Taeihagh (2020) e Rogge & Reichardt (2016).

O processo de construção dos pacotes de política ocorre atendendo a diversas dimensões que resultam de utilidade para os objetivos da nossa pesquisa. A primeira delas tem a ver com as diferentes áreas de atuação do Estado que podem ser consideradas no pacote de políticas. No caso das políticas voltadas a transições sustentáveis, elas podem incluir políticas em setores tais como: energia, clima e meio ambiente, CT&I, desenvolvimento industrial, política exterior, entre outros.

A segunda dimensão tem a ver com os níveis de governança na formulação e execução das políticas, podendo ser em escala internacional, nacional, estadual ou local. Igualmente, os níveis de governança podem ser compreendidos pelas organizações envolvidas, podendo involucrar ministérios, departamentos, secretarias, nos âmbitos federal, de estados e municípios, e outras instâncias subordinadas a esses órgãos (Rogge & Reichardt, 2016).

A terceira dimensão é relacionada com o recorte geográfico, o qual constitui o espaço que abrangem os pacotes de política. Por último, está a dimensão temporal, entendendo, tal como foi mencionado anteriormente, que os pacotes de política evoluem ao longo do tempo em decorrência de diversas variáveis, entre elas, a trajetória prévia das organizações do Estado na execução de políticas (path dependence), mudanças nas condições das instituições, de tipo socioeconômico, ou pela dinâmica do processo político, no qual interagem diversos atores defendendo seus interesses (Howlett & Rayner, 2007; Kern *et al.*, 2019). Dessa forma, a literatura sobre *policy mix* oferece diversos insumos para nortear a elaboração do marco metodológico guia para a análise comparativa das experiências dos países contemplados.

3. Aspectos metodológicos

Para atingir os objetivos do trabalho, foi realizada uma pesquisa exploratória de abordagem qualitativa com base no estudo comparativo das experiências da Alemanha e do Japão (Bulgacov, 1998; Dezin & Lincoln, 2006). Para a análise comparativa, foram estabelecidos vários critérios de análise de dados e de informação, visando a identificação de semelhanças e diferenças nas orientações e no escopo das políticas públicas implementadas pelos países selecionados para conduzir a transição energética de baixo carbono no setor elétrico. Também, a análise comparativa busca identificar as escolhas em termos de instrumentos de política pública. Igualmente, a análise busca entender as opções tecnológicas contempladas para substituir as fontes fósseis.

Os critérios de análise foram divididos em quatro grupos. O primeiro deles busca examinar o escopo dos esforços governamentais para conduzir a transição. Para isso, foi identificada a participação das fontes renováveis e da energia nuclear na matriz elétrica dos países analisados. Em seguida, foram identificadas as metas de aumento da participação dessas fontes na matriz elétrica até 2030. Com base nessa informação, foram estabelecidas duas categorias para qualificar o escopo dos planos governamentais para impulsionar a descarbonização:

- **Gradual:** aumento do volume de energia elétrica gerada a partir de fontes de baixo carbono, até 2030 > 30% e < 50%, quando comparada com níveis de 2018.

- **Acelerada:** aumento do volume de energia elétrica gerada a partir de fontes de baixo carbono em 2030 > 50% quando comparado com níveis de 2018.

O segundo critério de análise, complementar com o anterior, busca identificar o escopo dos planos governamentais mais além da descarbonização da matriz elétrica. Para isso, além das duas categorias expostas anteriormente, foram incluídas outras duas relacionadas com o interesse dos Estados por impulsionar o desenvolvimento econômico. As quatro categorias de objetivos são apontadas na forma seguinte:

- **TGBC**: transição gradual para uma matriz elétrica de baixo carbono.

- **TABC**: transição acelerada para uma matriz elétrica de baixo carbono.

- **DCP**: desenvolvimento de capacidade produtiva em setores específicos da cadeia de fornecimento de equipamentos e serviços para o setor elétrico. Para definir capacidade produtiva foi utilizada aquela desenvolvida por Moreira (2004), entendida como Capacidade produtiva, entendida como a quantidade máxima de peça/produtos e/ou serviços que podem ser produzidas pelo parque empresarial nacional de forma competitiva em termos de eficiência econômica, prazo e qualidade.

- **DCT**: desenvolvimento de capacidade tecnológica em setores específicos da cadeia de fornecimento de equipamentos e serviços para o setor elétrico. Para a definição de capacidade tecnológica é utilizada aquela desenvolvida por Mori *et al.*, (2013), entendida como a capacidade das empresas para absorver, usar, adaptar, gerar, desenvolver, transferir e difundir tecnologias. Essa capacidade é possibilitada pelo diverso leque de recursos, as habilidades (organizacionais, operativas e relacionais) e os mecanismos de aprendizado empregados por elas. De acordo com os autores, as capacidades constituem construções de segunda ordem, a partir de um conjunto de elementos que ancora e espelha as capacidades de absorção, de operação e

de inovação (adaptação e geração) tecnológica de uma empresa.

Dessa forma, por meio do mapeamento das políticas públicas para conduzir a transição, pode-se identificar várias combinações de objetivos nos planos governamentais:

- i. TGBC
- ii. TABC
- iii. TGBC + DCP
- iv. TABC + DCP
- v. TGBC + DCP + DCT
- vi. TABC + DCP + DCT

O terceiro grupo de critérios de análise comparativa entre os países tem a ver com os pacotes de política pública que os países estão adotando para incentivar a difusão das energias renováveis, assegurar sua integração segura, flexível e economicamente eficiente no sistema elétrico, e promover o desenvolvimento industrial e tecnológico nesses setores. Nesse sentido, foram consideradas como ponto de referência as taxonomias estabelecidas por Daszkiewicz (2020) e Edler & Fagerberg (2017) em matéria de política energética, política industrial e política de CT&I (ver Tabela 1).

Por último, o quarto critério de análise comparativa tem a ver com as opções tecnológicas que já têm sido adotadas, e aquelas que os planos governamentais vislumbram como prospectos para acelerar a descarbonização da matriz elétrica. Nesse sentido, foram tomadas como referência as tecnologias apontadas pela IEA (2019) nos setores de geração de eletricidade, prédios, e para a integração de sistemas (Tabela 2).

Dessa forma, foram estabelecidas as orientações metodológicas para realizar a análise comparativa dos casos da Alemanha e Japão.

TABELA 1 – Ferramentas de política pública para a condução de transições sustentáveis.

Categoria de política pública	Tipo de ferramenta
Definição de metas e planejamento estratégico	Estratégias energéticas Planos de ação Objetivos
Políticas voltadas para custos de investimento inicial	Subsídios Descontos Empréstimos em condições preferenciais Benefícios/incentivos fiscais Financiamento direto à PD&I em empresas
Políticas voltadas para a geração de energia	Tarifas Feed-in Tarifas Feed-in-premium Leilões Licitações Certificados Políticas de autogeração, autoconsumo e venda de eletricidade à rede
Regulatório	Regras de conexão e despacho Obrigações e mandatos Standards Etiquetas Ambiente regulatório que não proíbe ou permite PPA's corporativos
Incentivos ao desenvolvimento industrial e da CT&I	Políticas de Treinamento e Competências Políticas de promoção do empreendedorismo Serviços técnicos e assessoria Políticas de promoção de clusters Políticas para apoiar a colaboração Políticas da Rede de Inovação Utilização do poder de compra do Estado Aquisição pré-comercial Prêmios à inovação Prospecção tecnológica

FONTE: elaboração própria a partir de Daszkiewicz (2020) e Edler & Fagerberg (2017).

TABELA 2 – Opções tecnológicas para conduzir a descarbonização nos setores elétrico e residencial.

Setor	Tecnologias consideradas
Geração de eletricidade	Solar fotovoltaica; eólica onshore; eólica offshore; hidroelétrica; bioenergia; energia solar concentrada; energia oceânica; energia nuclear; energia a álcool; e Captura e Armazenamento de Carbono (CCUS) em eletricidade.
Prédios	Envelopes de construção; aquecimento; bombas de calor; resfriamento; iluminação; aparelhos e equipamentos; centros de dados e redes.
Integração de sistemas	Armazenamento de energia; Smart Grids; hidrogênio; e resposta à demanda.

FONTE: elaboração própria a partir de dados da IEA, 2019.

4. Os casos de estudo: analisando as rotas para impulsionar a transição energética no setor elétrico: os casos da Alemanha e Japão

4.1. Alemanha

A Alemanha é um dos países com a mais longa trajetória de implementação de políticas orientadas a atender a emergência climática. A construção do pacote de políticas públicas visando o atendimento desse fenômeno começou a ter lugar, pelo menos, desde a década de 1980, inserindo-se na agenda governamental junto com outras questões sensíveis da política energética e climática do país, tais como a vulnerabilidade pelas importações de petróleo e as críticas pelos perigos associados com o desenvolvimento de energia nuclear (Kuittinen & Velten, 2018). Dessa forma, a inclusão progressiva de políticas públicas ao mix permitiu trazer importantes resultados na difusão das novas fontes renováveis

na matriz elétrica nacional, atingindo 36% de toda eletricidade gerada no país em 2018 (IEA, 2020c).

Em 2018, a matriz de geração elétrica do país alcançou um volume de geração de 664 TWh. Desse total, o carvão foi responsável por 37.5%, seguido pela energia eólica (17.3%), gás natural (13.2%), nuclear (11.8%), bioenergia e resíduos (waste) (9.1%), solar 7.4%, hidro (2.8%), petróleo (0.8%) e geotérmica (0.03%) (IEA, 2020c) (ver Figura 2).

Em nível federal, a gestão das políticas de transição está concentrada em várias pastas ministeriais, tendo, entre as principais, o Ministério Federal de Assuntos Econômicos e Energia (BMWi), o Ministério Federal de Ambiente, Conservação Natural e Segurança Nuclear (BMU), o Ministério de Transporte e Infraestrutura Digital (BMVI), o Ministério Federal de Alimentação e Agricultura (BMEL), o Ministério de Educação e Pesquisa (BMNF) e o Ministério Federal de Finanças (BMF) (Kuittinen & Velten, 2018).

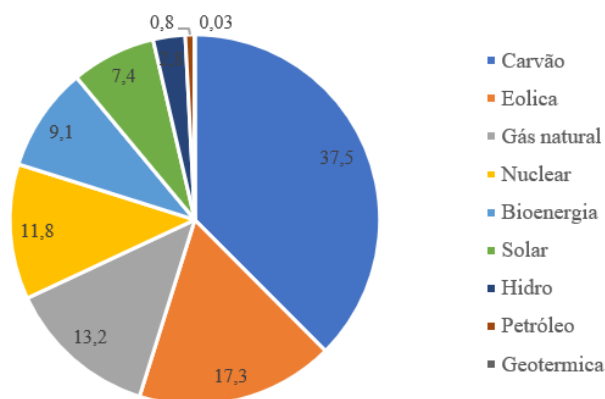


FIGURA 2 – Matriz de geração elétrica alemã em 2018.

FONTE: elaboração própria a partir de dados da IEA, 2020c.

O *policy mix* no setor elétrico na Alemanha está organizando sob o guarda-chuva do *Ener-giewende* (em alemão, transição energética), o plano nacional de longo prazo para impulsionar a transição energética de baixo carbono (Figura 3). A iniciativa está emoldurada em vários documentos de política pública, tais como a *Renewable Energy Act* de 2000, o *Energy Concept* de 2010, as distintas edições do *Energy Research Programm*, executadas desde 1977, o *Climate Action Plan 2050* de 2016, e

outros documentos que contemplam instrumentos de política pública mais específicos.

Como mostra a Figura 3, o mapeamento dos instrumentos que compõem o *policy mix* alemão foi organizado com base no atingimento de três estratégias complementares:

(1) a descarbonização do sistema elétrico a partir da difusão das fontes renováveis, excluindo nuclear;

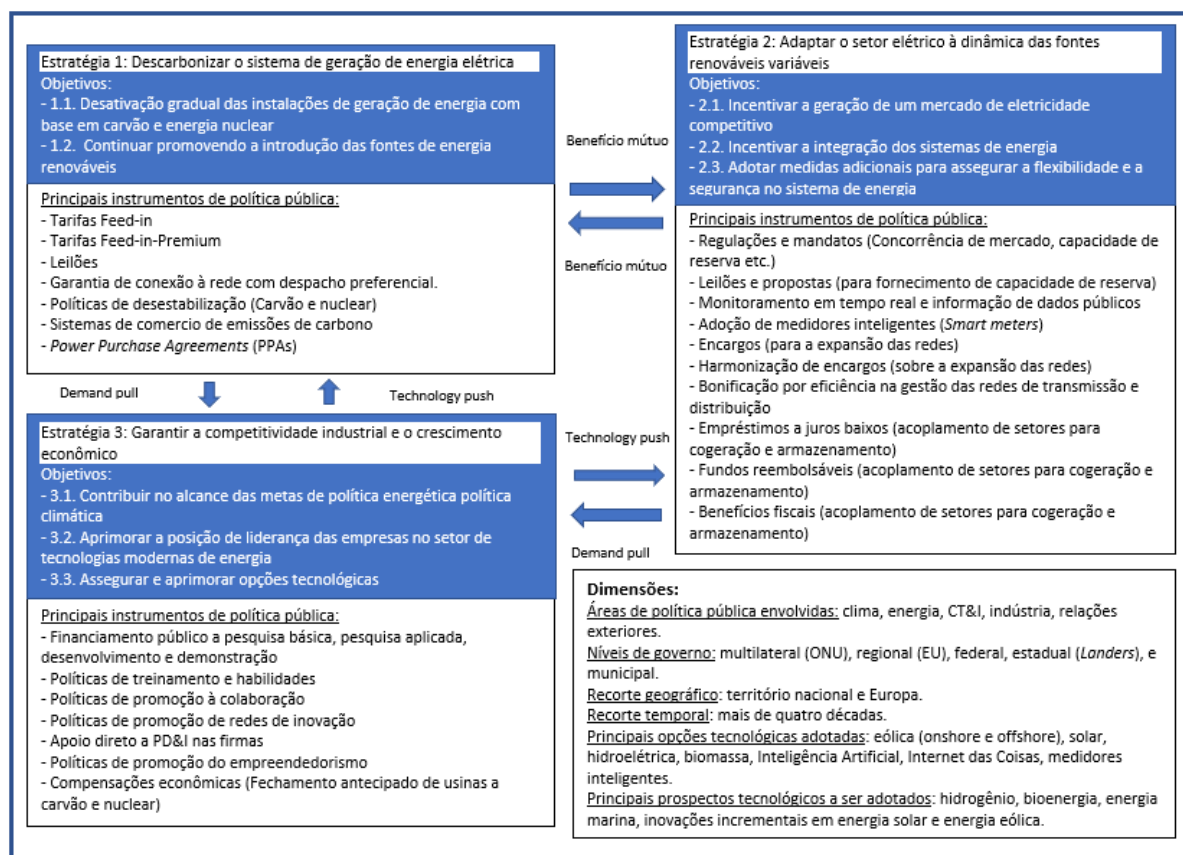


FIGURA 3 – *Policy mix* para conduzir a transição energética de baixo carbono no setor elétrico alemão.

FONTE: elaborado pelos autores.

(2) a adaptação do sistema elétrico à nova dinâmica imposta pelas novas fontes renováveis; e
(3) a garantia da competitividade industrial e do crescimento econômico.

Assim, os planos governamentais esperam que o setor elétrico possa contribuir na redução das emissões de CO₂ em 55% até 2030, quando comparado com níveis de 1990. Com base nessas estratégias, o país espera aumentar a participação das novas fontes renováveis no consumo bruto de eletricidade para 65% até 2030, e para 80% até 2050 (IEA, 2020c).

No âmbito da estratégia 1, o mix de política contempla instrumentos para dar fim a regimes sociotécnicos não desejados na matriz elétrica e instrumentos de promoção das novas fontes renováveis. O primeiro grupo de instrumentos é composto por regulações e mandatos para o desligamento programado das instalações de geração de eletricidade a partir de energia nuclear e carvão em 2022 e 2038 respectivamente (BMU, 2021; Wettengel, 2020).

Para a promoção da expansão da capacidade de geração de eletricidade a partir das novas fontes renováveis, o mix alemão vem estabelecendo regulações e mandatos há mais de três décadas, e que encontraram sua maior expressão na Renewable Energy Act de 2000. No âmbito dessa lei, o Estado inicialmente determinou a garantia de conexão das fontes renováveis à rede de transmissão, e com prioridade no despacho. Também, estabeleceu as tarifas *Feed-in* para incentivar os investimentos na expansão da capacidade de geração elétrica a partir das novas fontes renováveis (eólica e solar, principalmente). Em 2014, a lei foi emendada introduzindo tarifas *Feed-in-premium* para novas instalações de geração com um umbral de preços

mínimo. Em 2017, foi introduzido leilão em substituição do esquema das *Feed-in* visando gerar maior concorrência e adequar as tarifas de eletricidade à realidade do mercado (Alemanha, 2017).

Para adaptar o desenho do mercado de eletricidade à dinâmica das novas fontes renováveis, estratégia 2, o *policy mix*, vem contemplando um conjunto de reformas do arcabouço regulatório e instrumentos de política pública para expor tanto a produtores quanto consumidores num entorno de maior competitividade e flexibilidade na oferta, na demanda e no armazenamento de eletricidade. As políticas governamentais buscam lidar com os seguintes aspectos-chave relacionados com a geração de eletricidade:

- i) a intermitência das novas fontes renováveis
- ii) a utilização de gás natural às termoeletricas;
- iii) o armazenamento hidroelétrico com usinas reversíveis; e,
- iv) no futuro, por meio da expansão da capacidade de geração flexível de biogás e da capacidade de armazenamento de baterias (IEA, 2020c).

Com esse intuito, entre as medidas, o mix de políticas contempla instrumentos para promover a concorrência no mercado de eletricidade na medida das possibilidades, incentivos para promover a integração dos sistemas de energia, a incorporação de medidas e fontes de backup para administrar a intermitência das novas fontes renováveis, entre outras ações (BMW, 2017; Chen *et al.*, 2019; IEA, 2020c).

Em 2016, foi emendada a Renewable Energy Act e foi promulgada a Act on the Further Development of the Energy Market, estipulando que a capacidade de geração de eletricidade mantida seja

aquela demandada pelos consumidores. Igualmente, foram estabelecidas novas regras para a remuneração pelo redespacho de energia, a redução de custos pela expansão da rede de transmissão e distribuição, e a liberdade para os atores de mercado decidirem quais opções de flexibilidade usar (storage, gaspeakers, *demand-side management*) (BMW, 2017).

Visando promover a integração e a flexibilidade no sistema elétrico, a Alemanha tem adotado incentivos por meio de empréstimos a juros baixos e subvenções para o aumento da capacidade de estocagem por meio do sector-coupling dos setores elétrico e aquecimento (IEA, 2020c). Os planos governamentais também buscam o aprimoramento e a expansão das redes de transmissão e distribuição no país e com os outros mercados europeus⁴.

Dessa forma, as ações buscam superar as limitações que impedem a transmissão entre o Norte e o Sul da Alemanha, onerando as tarifas dos consumidores. Assim, busca-se, por um lado, evitar a necessidade de adotar medidas SWAP ou redespacho no Sul para compensar a eletricidade adquirida que não pode chegar a essa parte do país. Por outro lado, busca-se igualmente compensar a redução da geração elétrica no Norte, onde os operadores ordenam aos geradores o desligamento para evitar congestão (IEA, 2020c).

Para isso, em 2016, também foram adotadas tarifas para os consumidores, por meio do qual os custos de investimento podem ser reconhecidos imediatamente nos encargos de rede (e os custos são ajustados anualmente para garantir que os consumidores se beneficiem regularmente de custos

de capital mais baixos) (BMW, 2017). Em 2017, o Estado introduziu medidas para a harmonização das tarifas de forma gradual até 2023, começando em 2019 (BMW, 2021).

Por meio de medidas de promoção do *demand-side management*, e de forma complementar ao marco para o desenvolvimento das smart grids, em 2016, o parlamento aprovou a lei sobre a digitalização do Energiewende, estipulando a instalação de smart-meters por fases (IEA, 2020c; BMW, 2015).

Em 2016, também foi estabelecida a obrigatoriedade de uma capacidade de reserva, a qual está separada do mercado de eletricidade e não afeta a competição nem os preços, para ser utilizada em caso da ocorrência de eventos extraordinários ou imprevistos. Adicionalmente, em 2017, o governo federal estabeleceu o volume de capacidade de reserva em 2 GW. Para a seleção de fornecedores de capacidade de reserva, as centrais elétricas podem fazer lances em leilões organizados pelos operadores dos sistemas de transmissão (BMW, 2021).

Finalmente, a estratégia número 3 foi incorporada no *policy mix* da ênfase nos documentos de política pública que discutem o Energiewende sobre as oportunidades de impulsionar o desenvolvimento industrial e tecnológico da Alemanha e do resto da Europa.

Em nível federal, grande parte dos instrumentos de política de CT&I que estão sendo executados na atualidade são financiados por meio da sétima edição do Energy Research Programm, iniciada em 2018⁵. O mencionado programa define os princípios, prioridades e objetivos ambiciosos no desen-

⁴ Visando superar essas limitações, o governo federal estabeleceu como meta, a construção de 7.700 quilômetros em redes de transmissão, incluindo quatro redes de alta voltagem entre o norte e o sul, e linhas diretas (em inglês, HVDC) (IEA, 2020c).

⁵ De acordo com dados da Agência Internacional de Energia, em 2019 os investimentos públicos em P&D no setor de energia foram da faixa dos USD 1.586 bilhões (IEA, 2021a)

volvimento de tecnologias de energia inovadoras para atingir a transição energética. Esses objetivos são perseguidos por meio da execução de projetos específicos, ou do financiamento de instituições de pesquisa no país e no exterior – principalmente no âmbito da União Europeia. O programa possui fundos do montante de 6.4 bilhões de euros para serem desembolsados entre 2018 e 2022. Os fundos são distribuídos entre o BMWi, o BMEL e o BMBF, e a execução dos projetos são coordenadas com universidades e institutos de ciência e tecnologia – the Helmholtz Association – e empresas (BMW, 2020)⁶.

Entre as opções tecnológicas priorizadas no setor elétrico, contempla-se o financiamento de projetos voltados à busca de inovações incrementais em energia solar e eólica, e a continuação de desenvolvimentos em plantas de geração térmica a biogás. No âmbito de tecnologias para facilitar a integração das novas fontes renováveis, o programa estabeleceu como prioridade tecnologias voltadas ao desenvolvimento de redes, armazenamento de energia, sector coupling e hidrogênio. Áreas de pesquisa transversais aos sistemas de energia, ou mais além do setor energético, também são consideradas, incluindo temas como digitalização, gestão de recursos e CCUS (IEA, 2020c; BMW, 2020).

Entre os instrumentos identificados, encontrou-se o financiamento de pesquisa básica, pesquisa aplicada e projetos de demonstração de soluções tecnológicas e regulatórias das opções priorizadas nos planos governamentais (Alemanha, 2017). Igualmente, identificou-se o financiamento direto de empresas para a execução de projetos de

PD&I com fundos governamentais. O 7th Research Programme, faz uma ênfase no apoio a pequenas e médias empresas, Startups e o empreendedorismo em distintos programas e projetos. De fato, a partir de 2018, passou a ter uma plataforma de expertos nessa temática (Kuittinen & Velten, 2018).

Igualmente, contempla ações para a transferência de tecnologias e sua rápida adoção para fins comerciais por meio de instrumentos orientados à promoção da colaboração entre instituições de C&I e empresas. Outras medidas identificadas foram a implementação de políticas orientadas a promover a interação entre atores. Nesse quesito, a execução de projetos ocorre com grande engajamento da comunidade acadêmica, organizações da indústria e empresas. Com parte de algumas das plataformas criadas, também foram adotadas ações orientadas a fazer prospecção tecnológica e definição de prioridades para o investimento (Energy Research Platform e Energy Research Networks) (Kuittinen & Velten, 2018).

4.2. Japão

No Japão, as orientações da política energética, na atualidade, convivem com as preocupações com a segurança no abastecimento, os esforços para administrar o impacto do acidente nuclear de Fukushima e os crescentes compromissos do governo para avançar numa agenda de transição energética de baixo carbono. Sob a premissa do Safety Always, as diretrizes da política energética japonesa buscam assegurar um fornecimento estável de energia (segurança energética) a preços

⁶ A Alemanha faz parte da iniciativa *Mission Innovation*, uma plataforma de países com o objetivo de dobrar os investimentos públicos em P&D para viabilizar a transição de baixo carbono num prazo de cinco anos, em alinhamento com o setor privado (Kuittinen & Velten, 2018).

baixos (eficiência econômica), enquanto são feitos o máximo de esforços por alcançar sustentabilidade ambiental (METI, 2018).

A matriz elétrica japonesa é composta em 80% por fontes fósseis importadas. Em 2019, a geração total de eletricidade atingiu 992.5TWh. A participação por fontes na geração foi dividida da forma seguinte: carvão (31.9%), gás natural (34.2%), solar (9.4%), hidroelétrica (8.1%), energia nuclear (6.4%), petróleo (4.8%), biomassa (2.2%), bioenergia (2%), eólica (0.7%), geotérmica (0.3%) (IEA,2021b) (Figura 4).

Em nível nacional, a condução das políticas de transição está concentrada, principalmente, no Ministério de Economia, Comércio e Indústria (METI), no Ministério de Ambiente, e no Ministério de Educação, Cultura, Esporte e Ciência e Tecnologia (IEA, 2016).

As metas de descarbonização, e os principais instrumentos de política pública para atingir esse objetivo, foram estabelecidos nos planos estratégicos de energia de 2014 e 2018, na estratégia de longo prazo para atingir as metas do acordo de

Paris de 2019, e a *Green Growth Strategy* de 2020. Em 2014, o governo japonês estabeleceu metas de redução de emissões de gases de efeito estufa que manteve nos demais documentos. Nesse quesito, o país espera atingir uma meta global de redução de emissões de 18% em 2030, quando comparado com 2013, das quais, na atualidade, o setor elétrico contribui com 40% (IRENA, 2021).

A partir da revisão dos planos governamentais, pode-se dizer que *opolicy mix* para conduzir a transição energética foi organizado, pelo menos, sob quatro estratégias:

- (1) promover a expansão da geração de eletricidade a partir de fontes renováveis, incluindo nesta cesta a opção nuclear, posto o baixo nível de emissões;
- (2) promover a redução das emissões na geração de energia a partir de fontes fósseis;
- (3) transitar para a um sistema elétrico mais resiliente;

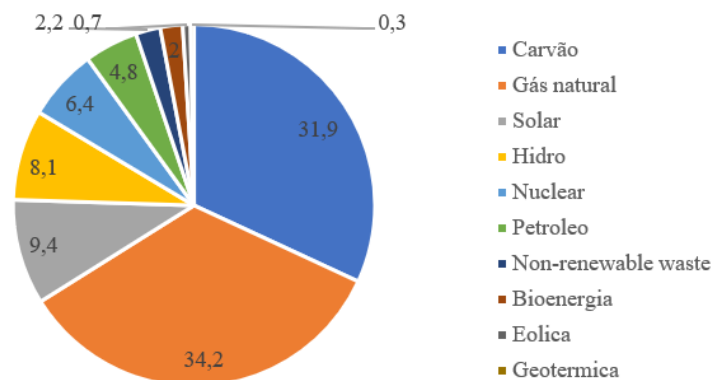


FIGURA 4 – Matriz de geração elétrica japonesa em 2019.

FONTE: elaboração própria a partir de dados da IEA, 2021b.

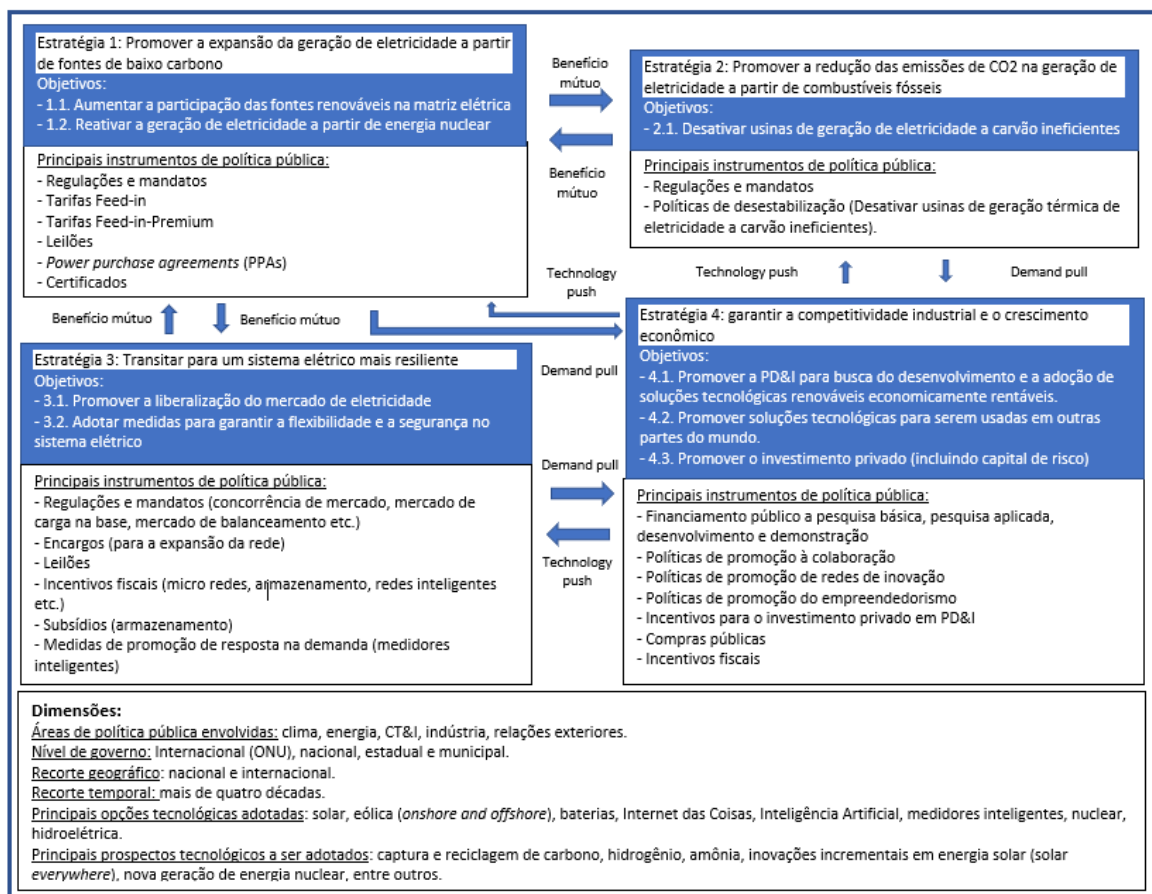


FIGURA 5 – Policy mix para conduzir a transição energética de baixo carbono no setor elétrico japonês.

FONTE: elaboração dos autores.

(4) impulsionar a CT&I para apoiar a transformação energética e o desenvolvimento econômico nacional (Figura 5).

Com relação a estratégia 1, os planos governamentais apontam que, para 2030, a energia nuclear e as novas fontes renováveis tenham uma participação no mix elétrico de entre 20 e 22%, e

22 e 24%, respectivamente. No âmbito da energia nuclear, o governo espera atingir essas metas a partir da reativação de pelo menos 30 das 33 usinas que ainda são operáveis, desligadas logo depois do acidente de Fukushima, para operarem com um fator de capacidade de 80% (IEA, 2021b)⁷.

⁷ Para atingir esse objetivo, as usinas nucleares ainda devem completar a revisão das condições de segurança realizada pela Nuclear Regulation Authority (NRA) (IEA, 2021b).

⁸ O esquema *Feed-in* seria para remunerar a geração de energia solar fotovoltaica, projetos hidrelétricos com capacidade menor a 30 MW, energia eólica, geotérmica, biomassa, e, outras fontes reconhecidas como renováveis pelas autoridades japonesas (IRENA, 2021).

Entre as medidas de promoção da expansão da capacidade de geração a partir de novas fontes renováveis, em 2012, foram introduzidas as tarifas *Feed-in* (METI, 2018; IRENA, 2021)⁸. Em 2017, foi introduzido o mecanismo de leilão para projetos de geração por um volume igual ou superior a 250 KW. A partir de 2020, foi introduzido o esquema das tarifas *Feed-premium* para projetos de longa escala de energia solar, biomassa e eólica offshore, visando a criação de concorrência na formação de preços da energia e a busca de preços mais baixos para os consumidores (IRENA, 2021).

No âmbito da estratégia 2, os planos governamentais contemplam medidas para reduzir as emissões mesmo que prosopetando a continuidade de uma alta participação das fontes de energia fósseis na matriz elétrica nacional⁹. Com esse intuito, o mix de políticas inclui programas de redução voluntária de emissões e incentivos para adoção de tecnologias CCUS (Japão, 2019; IEA, 2021b).

A estratégia 3 contempla um amplo leque de instrumentos de políticas orientados à busca da transformação para um sistema elétrico mais resiliente a desastres ambientais, adaptado à dinâmica das novas fontes renováveis e à redução dos preços da energia. Diferentemente do caso alemão, o sistema elétrico japonês não está interconectado com outros países. A rede de transmissão está dividida em duas regiões, cada uma operando com diferentes frequências. A rede de distribuição elétrica está frag-

mentada em dez regiões, herança da organização do setor através do monopólio que era exercido pelas EPCOs, o que dificulta o balanceamento do sistema e a possibilidade de acomodar grandes volumes de eletricidade a partir das novas fontes renováveis. Em adição ao anterior, grande parte do potencial de aumento na capacidade de geração de eletricidade a partir de fontes renováveis variáveis é distante dos principais centros de consumo (IEA, 2021b).

Visando mudar essas características no sistema, desde a década de 1990, o governo japonês tem adotado reformas no arcabouço regulatório para facilitar a entrada de novos agentes nas atividades de geração, transmissão e distribuição (IEA, 2016)¹⁰. Em 2016, o mercado de comercialização de energia foi totalmente liberalizado. Todos os consumidores de energia, incluindo pequenos negócios e residências, foram habilitados para escolher seu fornecedor de energia (Jensterle & Venjakob, 2019). Em 2019, novas regulações estabeleceram a separação das EPCOs na cadeia da indústria de eletricidade. De acordo com as novas normas, os segmentos de transmissão e distribuição devem ser separados da geração (IEA, 2021b).

Em 2016, a Japanese Electric Power Exchange (JPEX), uma bolsa privada de energia, foi designada como o mercado de atacado no país, com o objetivo de gerar igualdade de condições de acesso entre as EPCOs e novos entrantes, e, em geral, maior concorrência entre os agentes. Adicionalmente, em 2019,

⁹ Devido à limitada base de recursos além das dificuldades geográficas para expandir a geração de energia a partir das novas renováveis, o METI a contempla a manutenção de fontes fósseis na matriz elétrica. De acordo com projeções do ministério, espera-se que 50% da energia elétrica até 2030 continue a ser gerada a carvão e gás natural (Japão, 2019).

¹⁰ As primeiras reformas começaram em 1995, facilitando o ingresso no segmento de geração para os agentes interessados, a través do lançamento de uma estrutura de negócios no varejo, o relaxamento da regulação tarifária e a flexibilização normas de segurança. Em 2000, os consumidores de energia de alta voltagem (acima de 2.000 KW), foram habilitados para escolher seus fornecedores de energia livremente. Nesse ano, as reformas habilitaram a terceiros atores para ter acesso às linhas de distribuição, divididas em dez regionais ao longo do país, e que, naquele então, eram controladas pelas EPCOs (IEA, 2016).

o governo estabeleceu a criação de um mercado de carga na base¹¹. O esquema persegue a combinação de usinas termoeletricas a carvão, hidroelétricas a fio de água, energia nuclear e geotérmicas que se destacam na produção e geração de eletricidade de forma estável e de menor custo. Na decisão, foram estabelecidas as rodadas de licitação para participar nesse mercado, com duração de 12 meses. Assim, o governo japonês busca dar acesso às empresas distribuidoras a preços de eletricidade mais baixos (Genscape, 2019).

Como estratégia de curto prazo para atender à restrição de capacidade de conexão das redes, o governo japonês adotou a versão japonesa de Connect & Manage. A abordagem consiste na integração da máxima quantidade possível de energias renováveis na rede existente, ao mesmo tempo que buscando minimizar o aumento dos preços da eletricidade e reduzindo a necessidade de atualizações da rede¹². Em segundo lugar, a abordagem substitui a orientação de oferecer “conexão firme” às empresas geradoras renováveis, pelo oferecimento de se conectar e vender a quantidade de energia que a rede tenha capacidade de aceitar (Jensterle & Venjakob, 2019)¹³.

Para administrar a intermitência das novas fontes renováveis, o plano estratégico de 2018 estabeleceu o uso flexível de geradores térmicos. O plano também propõe a adoção gradual de tecnologias como cogeração, usinas virtuais (VPPs), V2H / V2G e sistemas estacionários de armazenamento de energia (ESS). De forma complementar, desde 2015, o METI lançou um programa de subsídio para apoiar o processo de instalação de dispositivos de estocagem de energia em instalações de energia solar (Watanabe, 2015)¹⁴.

Em 2018, o METI estabeleceu instrumentos de financiamento de projetos de expansão e aprimoramento das redes de transmissão e distribuição, assim como também a introdução do mecanismo de leilão e de submissão de propostas entre empresas geradoras que estejam geograficamente próximas e para o acesso a linhas de transmissão e distribuição específicas (Watanabe, 2015; Yamazaki & Ikki, 2018)¹⁵. Em 2020, o governo japonês estabeleceu o pagamento de uma sobretaxa distribuída em nível nacional para financiar o desenvolvimento de redes de interconexão regional (METI, 2020).

Visando gerar maior flexibilidade do ponto de vista do demand management, desde 2016, o governo nacional tem promovido a adoção de medidores

¹¹ O gerenciamento das fontes de eletricidade no Japão é organizado da forma seguinte. Hidroeletricidade e energia nuclear fornecem eletricidade na base, enquanto o carvão e o GNL são as principais fontes de energia para o suprimento de carga de médio porte. A energia hidrelétrica, petróleo e armazenamento bombeado responde ao pico de demanda e contribui para o fornecimento consistente e estável de eletricidade (Genscape, 2019).

¹² Para isso, em primeiro lugar, usa um método de aplicação de capacidade de emergência da rede existente pelo princípio n-1, liberando as capacidades de transmissão disponíveis tecnicamente (Jensterle & Venjakob, 2019).

¹³ No Japão, as empresas distribuidoras são guiadas pelo princípio “*first-come, first-served*”, o qual, estabelece prioridade de conexão as empresas geradoras já conectadas à rede e garantindo a elas capacidade de transmissão correspondente à sua máxima capacidade de geração (Jensterle & Venjakob 2019).

¹⁴ A estocagem com baterias, tem sido incorporada no programa de subsídios para instalações *net zero energy house* (ZEH) y nos projetos pilotos de *net zero energy buildings* (ZEB), os quais, são destinados a incentivar a incorporação de tecnologias de armazenamento e poupança de energia a partir de um subsídio fixo de 700.000 ienes para cada residência elegível (Yamazaki & Ikki, 2018).

¹⁵ Essas medidas foram introduzidas no âmbito do *Planon Development of Cross-Regional Grids* de 2020. Através desse plano espera-se que a capacidade de interconexão entre as duas regiões de frequência possa aumentar de 1,2 GW para 2,1 GW até março de 2021 e para 3 GW até março de 2028. Projetos de interconexão também estão em andamento dentro das regiões de frequência (IEA, 2021b).

inteligentes, iniciando com os maiores consumidores industriais e passando para consumidores residenciais. Para 2025, espera-se que cerca de 80 milhões de unidades sejam instaladas (Jensterle & Venjakob, 2019).

Finalmente, a estratégia 4 contempla instrumentos de política pública com a orientação de promover o desenvolvimento tecnológico e industrial do país partir do aproveitamento do contexto de transformação das indústrias de energia^{16,17}. Os esforços estão enquadrados na *The Green Growth Strategy*, a qual tem por objetivo impulsionar um novo ciclo de crescimento económico e sustentabilidade ambiental por meio do apoio ao setor privado na transição para uma sociedade neutra em matéria de emissões de carbono. A estratégia inclui cinco instrumentos de política transversais (support measures) e planos de ação em 14 setores a serem atualizados de forma contínua (METI, 2021).

Entre as opções tecnológicas contempladas na estratégia, encontram-se:

(i) incentivos à inovação incremental em energia solar e eólica;

(ii) redes de energia, por meio da introdução de baterias para a estocagem de eletricidade, a integração dos sistemas elétricos e soluções para o balanceamento da oferta e demanda;

(iii); hidrogênio;

(iv) combustível de amônia;

(v) tecnologias de CCUS;

(vi) energia nuclear de nova geração (METI, 2021).

Entre os instrumentos de política, o plano governamental contempla o financiamento das atividades de pesquisa, desenvolvimento e demonstração de opções tecnológica prospectadas¹⁸. Para isso, o governo japonês contempla fundos de 2 trilhões de ienes até o final da década, e espera incentivar investimentos privados da ordem dos 15 trilhões de ienes no mesmo período (METI, 2021).

O plano se propõe à adoção de incentivos fiscais para estimular investimentos privados de 1.7 trilhão na próxima década. Adicionalmente, contempla orientações sobre políticas de financiamento e o estabelecimento de fundos de longo prazo com juros subsidiados para atrair investimentos sustentáveis. Igualmente, propõe reformas no arcabouço regulatório em vários setores como hidrogênio, eólica offshore e mobilidade. Entre as reformas, a estratégia propõe mudanças na regulação de compras públicas, visando incentivar a demanda por determinados produtos e serviços, e viabilizar sua introdução comercial. Finalmente, contempla-se o aprofundamento da cooperação internacional, no desenvolvimento de projetos de inovação, standardização e desenvolvimento de normas (METI, 2021).

5. *A análise comparativa*

Após o mapeamento dos principais instrumentos de política executados, e a exame das orientações das políticas governamentais para conduzir a transição energética de baixo carbono, é possível fazer a análise comparativa das rotas definidas por

¹⁶ O Japão possui experiência da execução de políticas de CT&I no setor de energia. Entre elas, destaca-se o *Sunshine Project*, o *Moonlight Project*, e o *The New Sunshine Project*, (Japão, 2019).

¹⁷ Desde 2015, o Japão também faz parte da iniciativa *Mission Innovation* (IEA, 2016).

¹⁸ Em 2019, os investimentos públicos atingiram o montante USD 2.88 bilhões, um valor baixo quando comparado com o início da década, em decorrência dos impactos do acidente de Fukushima e a redução do financiamento a pesquisa em energia nuclear (IEA, 2021a).

ambos os países com base nos critérios de análise estabelecidos na seção 2 (Tabelas 3 e 4).

Analisando a evolução da participação dos combustíveis fósseis na matriz elétrica em 2009 e 2019, como aparece na Tabela 3, identificou-se que, no caso alemão, experimentaram uma redução de 5%, enquanto, no caso japonês, registrou um aumento de 10%. A pouca velocidade na redução da participação dos combustíveis fósseis na matriz elétrica alemã pode-se explicar na decisão do país de desativar todas suas usinas nucleares até 2022, levando a compensar parte do desligamento dessa capacidade de geração a partir da utilização de fontes fósseis, inclusive retrasando o descomissionamento das usinas termoeletricas a carvão, prevista até 2038 (IEA, 2020c). No caso do Japão, foi em decorrência da necessidade de compensar a redução da capacidade de geração de eletricidade após o acidente nuclear de Fukushima e o desligamento da totalidade do parque nuclear nacional (IEA, 2021b).

A alta participação dos combustíveis fósseis também permite identificar o escopo do desafio da descarbonização da matriz elétrica. No caso alemão, os planos governamentais estimam aumentar a ge-

ração de eletricidade a partir de fontes renováveis, excluindo nuclear, de 36% em 2018, para 65% da matriz elétrica até 2030, com o qual se qualificaria dentro da categoria de “transição acelerada”, entendendo que o aumento da capacidade de geração a partir dessas fontes deverá ser quase duplicada até o final da década. Entretanto, no caso do Japão, as metas dos planos governamentais podem-se qualificar com “transição gradual”, uma vez que até 2030 elas não contemplam que a matriz elétrica seja dominada por fontes de baixo carbono.

No relacionado com o escopo das políticas governamentais, os documentos oficiais mostram que ambos os países perseguem aproveitar o processo de transição energética de baixo carbono para impulsionar o desenvolvimento econômico nacional por meio da construção de novas capacidades produtivas e tecnológicas. Nesse sentido, as políticas governamentais nos dois países buscam criar condições para que seu parque empresarial tenha maestria no desenvolvimento de tecnologias e produtos relacionados com o novo regime socio-técnico advindo com o processo de transformação energética (Tabela 4).

TABELA 3 – Participação das fontes fósseis nas matrizes elétricas da Alemanha e Japão e metas de descarbonização.

Critérios de análise	Alemanha		Japão	
	2009	2019	2009	2019
Proporção de combustíveis fósseis na matriz elétrica	56,5%	51,5% (2018)	63%	73.1%
Participação da eletricidade gerada a partir de fontes renováveis	18,5%	36% (2018)	10%	20,5% (2019)
Participação da eletricidade produzida com base em energia nuclear	25%	12% (2018)	27%	6.4% (2019)
Metas de geração de eletricidade a partir de fontes renováveis até 2030		65%		22-24%
Metas de geração de eletricidade a partir de energia nuclear até 2030		0%		20-22%
Escopo dos planos governamentais do ponto de vista das metas de descarbonização	Acelerada		Gradual	

FONTE: elaborado pelos autores.

TABELA 4 – Orientações das políticas governamentais para conduzir a transição energética de baixo carbono na Alemanha e no Japão.

Crítérios de análise	Alemanha	Japão
Escopo dos planos governamentais do ponto de vista dos objetivos de transformação econômica	Transição Acelerada + Desenvolvimento de Capacidade Produtiva + Desenvolvimento de Capacidade Tecnológica	Transição Gradual + Desenvolvimento de Capacidade Produtiva + Desenvolvimento de Capacidade Tecnológica
Principais opções tecnológicas adotadas	Eólica onshore, eólica offshore, solar fotovoltaica, bioenergia, hidro.	Solar fotovoltaica, eólica onshore, geotérmica, nuclear, hidro.
Principais instrumentos de política pública para promover a introdução de energias renováveis	Tarifas Feed-in, garantia de conexão à rede, tarifas Feed-premium, leilões.	Tarifas Feed-in, tarifas Feed-premium, leilões.
Principais instrumentos de política adotados para adaptar o sistema elétrico à dinâmica das fontes renováveis variáveis	Regulações e mandatos (concorrência de mercado, capacidade de reserva), leilões, encargos, empréstimos (sector coupling), reduções fiscais, medidas demand-side response.	Regulações e mandatos (concorrência de mercado, mercado de carga na base, capacidade de balanceamento), encargos, leilões, incentivos fiscais, subsídios, medidas demand-side response.
Principais opções tecnológicas adotadas para adaptar o sistema elétrico à dinâmica das fontes renováveis	Tecnologias de cogeração, medidores inteligentes, baterias, IoT, IA, gás natural, carvão, biogás.	Medidores inteligentes, IoT, IA baterias, tecnologias de cogeração, gás natural.
Opções tecnológica prospectadas para serem introduzidas comercialmente	Energia solar e eólica, hidrogênio, baterias, energia oceânica, energia nuclear, tecnologias de carbono, tecnologias digitais e da informação.	Energia solar e eólica, hidrogênio, amônia, CCUS, baterias, nova geração de energia nuclear, tecnologias digitais e da informação.
Principais instrumentos de promoção do desenvolvimento industrial e de CT&I	Financiamento público a pesquisa básica, pesquisa aplicada, desenvolvimento e demonstração, políticas para promover a colaboração, políticas de promoção de redes de interação, políticas de promoção do empreendedorismo, prospecção tecnológica, empréstimos.	Financiamento público à pesquisa básica, pesquisa aplicada, desenvolvimento e demonstração, políticas de apoio à colaboração, políticas de promoção de redes de interação, políticas de promoção do empreendedorismo, incentivos ao investimento privado, compras públicas, incentivos fiscais.

FONTE: elaborado pelos autores.

No relativo à promoção da geração de eletricidade a partir das novas fontes renováveis, pode-se observar que, apesar da diferença no tempo em que foram implantadas, ambos países adotaram orientações e instrumentos de política similares. Numa primeira etapa, os dois países adotaram instrumentos de política orientados a fazer economicamente viável a introdução dessas fontes – tarifas *Feed-in* e a obrigatoriedade de conexão dessas fontes na rede.

Posteriormente, em ambos os casos, as orientações das políticas governamentais continuaram

buscando o aumento da capacidade instalada de geração a partir de fontes renováveis variáveis, contudo introduzindo instrumentos voltados ao atingimento de maior eficiência de custos a serem transmitidos aos consumidores finais. Para isso, ambos casos transitaram para a introdução de outros instrumentos, tais como as tarifas *Feed-premium* e mecanismos de leilão. Isso foi incentivado pela necessidade de reduzir os elevados custos das tarifas de eletricidade – os dois possuem tarifas de eletricidade entre mais altas nos países da OCED –, e pelo

impacto de inovações tecnológicas incrementais na redução dos custos produção de equipamentos e de geração a partir de fontes renováveis durante a última década (IEA, 2021b; IRENA, 2019).

Sobre as opções tecnológicas adotadas pelos países, existem diferenças importantes. A Alemanha optou por promoção das fontes variáveis e desativar todas as usinas nucleares até 2021, enquanto o Japão decidiu continuar a manter essa última fonte dentro do mix de opções de baixo carbono para conduzir a transição energética. Os casos dos países também apresentam diferenças no ritmo da difusão das opções tecnológicas adotadas. Apesar de serem as mesmas, a difusão da energia eólica avançou de forma mais acelerada do que a energia solar, que também apresentou crescimento, mas não na mesma velocidade. No caso japonês, a opção tecnológica que apresentou notável crescimento foi a energia solar. No caso da energia eólica, o país não apresentou resultados substanciais¹⁹.

5. Conclusões

Ao longo deste trabalho, buscou-se identificar o processo de revisão das políticas energéticas nacionais, decorrentes da busca de resultados que logrem uma transformação da matriz energética a partir da redução de combustíveis fósseis. Nesse sentido, o papel do Estado neste processo de revisão é crucial. A partir do arcabouço conceitual de *policy mix*, fica evidenciada a necessidade de articular e coordenar, de forma diferente do passado, uma série de novos instrumentos de política pública. Assim,

foi possível destacar que, em termos genéricos, o desenho do *policy mix* nasce a partir do interesse em atingir objetivos gerais com base em instrumentos de política pública concretos que vão se incorporando no mix para coexistir com outros previamente adotados. A busca pela consecução de objetivos gerais é o resultado da interação, do alinhamento e agregação de interesses entre os atores políticos no arranjo político institucional do Estado, e sua colocação como prioridade na agenda governamental.

Esse arcabouço conceitual tem sido de grande valia para os estudos de transições de regimes socio-técnicos e exame dos pacotes de políticas públicas. No caso em tela neste trabalho, e, em particular, no âmbito das revisões das políticas governamentais da Alemanha e Japão para adaptar os sistemas elétricos à dinâmica das fontes renováveis variáveis, foram encontradas semelhanças e diferenças. No caso alemão, está diretamente relacionado com a necessidade de integrar as fontes renováveis variáveis ao sistema, enquanto, no caso japonês, a integração das fontes renováveis está inserida dentro de uma visão mais abrangente de segurança, que busca reduzir as vulnerabilidades do país diante dos riscos de desastres ambientais.

Entre os elementos em comum, as políticas governamentais em ambos os países compartilham a orientação de transitar para a liberalização dos sistemas de energia, e a busca de que os mecanismos de determinação de preços respondam a sinais de mercado. Entre as soluções para garantir a segurança no abastecimento e a transição para sistemas mais flexíveis, os países também apresentam semelhanças nas alternativas adotadas. Ambos

¹⁹ Existem várias razões que explicam a velocidade na difusão da energia solar no Japão e a eólica na Alemanha, que não foram aprofundados no trabalho. Eles guardam relação com questões como as condições geográficas e as políticas públicas para promover a construção de capacidades produtivas e tecnológicas desde a segunda metade do século XX. Para mais detalhes, ver Wieczorek (2019).

coincidem na necessidade de aprimorar e expandir as redes de transmissão e distribuição de eletricidade, assim como o aprimoramento da integração entre regiões para permitir melhores condições de balanceamento. Para lidar com a intermitência das fontes variáveis, os países estão promovendo a instalação de sistemas de cogeração e armazenamento de energia.

No âmbito das opções tecnológicas consideradas, os países também apresentam semelhanças. Ambos contemplam a adoção de gás natural como fonte de backup para lidar com a intermitência das fontes renováveis. Igualmente, os planos governamentais estabeleceram a adoção de tecnologias de cogeração e armazenamento por meio de baterias para lidar com a intermitência, assim como a introdução de tecnologias digitais para melhorar a capacidade de gerenciamento do sistema elétrico e como parte das medidas *demand-side management*.

Em termos de políticas de promoção do desenvolvimento industrial e de CT&I, os planos governamentais mostram uma orientação de incremento dos esforços em matéria de política pública para complementar as políticas de promoção das fontes de baixo carbono e de adaptação dos sistemas de energia à nova dinâmica dessas fontes de energia. Eles também apontam a colocar as empresas locais na fronteira tecnológica e, como países, continuar a manter sua posição de economias exportadoras de produtos e serviços de alta tecnologia.

Em ambos os casos, pode-se observar que os incentivos para o desenvolvimento tecnológico vão mais além dos instrumentos de política pública diretamente voltados à promoção de atividades de P&D e demonstração. Nos dois mix de políticas, pode-se observar que as outras estratégias também se encaixariam como incentivos para a demanda de

tecnologias específicas e para a geração de inovações incrementais visando a redução dos custos de geração, o aprimoramento das redes de transmissão e distribuição, e a eficiência das opções tecnológicas para lidar com a intermitência das fontes variáveis.

Entre os instrumentos adotados, o mapeamento mostrou um destaque para o financiamento público às atividades de pesquisa básica, pesquisa aplicada, desenvolvimento e demonstração (Tabela 2). Em ambos os casos, os planos governamentais mostram um interesse pela aceleração dos tempos condizentes à introdução comercial de novos produtos e serviços. De forma complementar, os documentos oficiais mostram um amplo leque de instrumentos de política pública, muitos deles voltados a temas específicos. Entre os instrumentos mais destacados, encontraram-se aqueles voltados a promover a colaboração entre atores, a criação de redes de interação, e instrumentos voltados à promoção do empreendedorismo na comunidade científica.

Contudo, entre as diferenças, o caso do mix de políticas japonês mostra um escopo de intervenção estatal maior do que caso alemão. Além do financiamento para a expansão de capacidade produtiva e a adoção de opções tecnológicas, instrumentos que estão presentes em ambos os países, o *Green Growth Strategy* japonês contempla instrumentos bem mais agressivos em termos da intervenção do Estado, tais como o explícito no uso do poder de compra do Estado.

Finalmente, com relação às opções tecnológicas, ambos os países coincidem na necessidade de continuar incentivando a geração de inovações incrementais nas fontes renováveis variáveis. Outro ponto em comum é a continuação dos incentivos para o desenvolvimento de tecnologias de hidro-

gênio. Os países também mostram semelhanças com relação à busca de soluções tecnológicas em matéria de redes de transmissão, sistemas de estocagem de energia a baterias, sistemas de cogeração e tecnológicas digitais para melhorar a capacidade de operação do sistema e ações do tipo *demand-side management*. Igualmente, ambos os países apontaram a intenção de desenvolver capacidade tecnológica em matéria de CCUS.

Referências

Alemanha. *Renewable Energy Sources Act, de julho de 2017*. Berlim, 2017. Disponível em: <https://www.bmwk.de/Redaktion/EN/Downloads/renewable-energy-sources-act-2017.pdf?__blob=publicationFile&v=1>. Acesso em: dez. 2020.

BMU – Federal Ministry of Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety. *Nuclear Safety / Constitution and Laws*, 2021. Disponível em: <https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Nukleare_Sicherheit/12_punkte_atomausstieg_en_bf.pdf>. Acesso em: mar 2021.

BMWi – Federal Ministry of Economic Affairs and Energy. *An electricity market for Germany's energy transition*, 2015. Disponível em: <https://www.bmwk.de/Redaktion/EN/Publikationen/whitepaper-electricity-market.pdf?__blob=publicationFile&v=1>. Acesso em: dez. 2020.

BMWi – Federal Ministry of Economic Affairs and Energy. *Electricity 2030: Long-term trends – tasks for the coming years*, 2017. Disponível em: <https://www.german-energy-solutions.de/GES/Redaktion/EN/Publications/bmwk/electricity-2030-long-term-trends.pdf?__blob=publicationFile&v=1>. Acesso em: mai. 2021.

BMWi – Federal Ministry of Economic Affairs and Energy. *2020 Federal Report on Energy Research*, 2020 Disponível em: <<https://www.bmwk.de/Redaktion/EN/Publikationen/Energie/federal-government-report-on-energy-research-2020.html>>. Acesso em: dez. 2020

BMWi – Ministério Federal de Assuntos Econômicos e Energia. Regulation of grid charges. 2021. Disponível em: <<https://www.bmwk.de/Redaktion/EN/Artikel/Energy/competition-energy-sector-4.html>>. Acesso em: fev 2021.

BP – British Petroleum. Statistical Review of World Energy 2020. Disponível em: <<https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2020-full-report.pdf>>. Acesso em: fev. 2021.

Braathen, N. Instrument mixes for environmental policy: how many stones should be used to kill a bird? *International Review of Environmental and Resource Economics*, 1(2), 85-235, 2007. doi: 10.1561/101.00000005

Bulgacov, S. Estudos comparativo e de caso de organizações de estratégias. *Organizações & Sociedade*, 5(11), 53-76, 1998. Disponível em: <<https://periodicos.ufba.br/index.php/revistaoes/article/view/10375>>. Acesso em: ago. 2019.

Carbone, M. Mission impossible: the european union and policy coherence for development. *Journal of European Integration*, 30, 323-342, 2008. doi: 10.1080/07036330802144992

Chen, C.; Xue, B.; Cai, G.; Heiko, T.; Stückrad, S. Comparing the energy transitions in Germany and China: synergies and recommendations. *Energy Reports*, 5, 1249-1260, 2019. doi: 10.1016/j.egy.2019.08.087

Daszkiewicz, K. Policy and regulation of energy transition. In: Hafner, M.; Tagliapietra, S. (Eds.). The geopolitics of the global energy transition. *Lecture Notes in Energy*, 2020, p. 203-226. doi: 10.1007/978-3-030-39066-2

Del Rio, P. Interactions between climate and energy policies: the case of Spain. *Climate Policy*, 9, 119-138, 2009. doi: 10.3763/cpol.2007.0424

Dezin, N.; Lincoln, Y. *O planejamento da pesquisa qualitativa: teorias e abordagens*. Porto Alegre: Artmed, 2. ed., 2006. Disponível em: <https://bds.unb.br/handle/123456789/863>

Edler J.; Fagerberg, J. Innovation policy: what, why, and how. *Oxford Review of Economic Policy*, 33(1), 2-23, 2017. doi: 10.1093/oxrep/grx001

Fisher, C.; Preonas, L. Combining policies for renewable energy: is the whole less than the sum of its parts? *International Review of Environmental and Resource Economics*,

4, 51-92, 2010. doi: 10.2139/ssrn.1569634

Genscape. *Who benefits from the Japan baseload market?* Disponível em: <<https://www.genscape.com/blog/who-benefits-japan-baseload-market>>. Acesso em: mar. 2021.

Givoni, M.; Macmillen, J.; Banister, D.; Feitelson, E. From policy measures to policy packages. *Transport Reviews*, 33(1), 1-20, 2013. doi: 10.1080/01441647.2012.744779.

Goldthau, A.; Eicke, L.; Weko, S. The global energy transition and the global south. In: Hafner, M.; Tagliapietra, S. (Eds.). *The geopolitics of the global energy transition. Lecture Notes in Energy*, 2020, p. 319-340. doi: 10.1007/978-3-030-39066-2

Howlett, M.; Rayner, J. Design principles for policy mixes: cohesion and coherence in 'new governance arrangements'. *Policy and Society*, 26(4), 1-18, 2007. doi: 10.1016/S1449-4035(07)70118-2

IEA – International Energy Agency. *Japan energy policies review*, 2016. Disponível em: <<https://www.iea.org/reports/energy-policies-of-iea-countries-japan-2016-review>>. Acesso em: mar. 2021.

IEA – International Energy Agency. *Technology Innovation to Accelerate Energy Transition*, 2019. Dezembro de 2019. Disponível em: <<https://www.iea.org/reports/technology-innovation-to-accelerate-energy-transitions>>. Acesso em: mar. 2021.

IEA – International Energy Agency. *Global energy review 2019*. 2020a. Disponível em: <<https://www.iea.org/reports/global-energy-review-2019>>. Acesso me: mar. 2021.

IEA – International Energy Agency. *Energy technology perspectives 2020*. 2020b. Disponível em: <<https://www.iea.org/reports/energy-technology-perspectives-2020>>. Acesso em: mar. 2021.

IEA – International Energy Agency. *Germany energy policy review 2020: country report*. 2020c. Disponível em: <<https://www.iea.org/reports/germany-2020>>. Acesso em: mar. 2021.

IEA – International Energy Agency. *Energy technology RD&D budgets: overview*. 2021a. Disponível em: <[https://www.iea.org/reports/energy-technology-rdd-budgets-over-](https://www.iea.org/reports/energy-technology-rdd-budgets-overview)

[view](https://www.iea.org/reports/energy-technology-rdd-budgets-overview)>. Acesso em: mar. 2021.

IEA – International Energy Agency. *Japan energy policy review*. 2021b. Disponível em: <<https://www.iea.org/reports/japan-2021>>. Acesso em: mar. 2021.

IRENA – The International Renewable Energy Agency. *A new world: the geopolitics of the energy transformation*. 2019. Disponível em: <<https://www.irena.org/publications/2019/Jan/A-New-World-The-Geopolitics-of-the-Energy-Transformation>>. Acesso em: mar. 2021.

IRENA – The International Renewable Energy Agency. *Renewable energy auctions in Japan: context, design and results*. 2021. Disponível em: <<https://www.irena.org/publications/2021/Jan/Renewable-energy-auctions-in-Japan>>. Acesso em: mar. 2021.

Japão. *The long-term strategy under the Paris agreement*. 2019. Disponível em: <https://unfccc.int/sites/default/files/resource/Japan_LTS2021.pdf>. Acesso em: mar. 2021.

Jensterle, M.; Venjakob, M. *Smart power grids and integration of renewables in Japan*. Berlin: Adelphi, 2019. Disponível em: <https://epub.wupperinst.org/frontdoor/deliver/index/docId/7425/file/7425_Smart_Power_Grids.pdf>. Acesso em: mar. 2021.

Kern, F.; Howlett, M. Implementing transition management as policy reforms: a case study of the Dutch energy sector. *Policy Sci*, 42(4), 391-408, 2009. doi: 10.1007/s11077-009-9099-x

Kern, F.; Rogge, C.; Howlett, M. Policy mixes for sustainability transitions: new approaches and insights through bridging innovation and policy studies. *Research Policy*, 48(10), 2019. doi: 10.1016/j.respol.2019.103832

Kivimaa, P.; Kern, F. Creative destruction or mere niche support? Innovation policy mixes for sustainability transitions. *Research Policy*, 45, 205-217, 2016. doi: 10.1016/j.respol.2015.09.008

Kuittinen, H.; Velte, D. Case study report: Energiewende. European commission. *Mission-oriented R&I policies: in-depth case studies*, 2018. Disponível em: <<https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/5e774d-98-2351-11e8-ac73-01aa75ed71a1/language-en>>. Acesso em: jan. 2021.

-
- Lehmann, P. Justifying a policy mix for pollution control: a review of economic literature. *The Journal of Economic Surveys*, 26, 71-97, 2012. doi: 10.1111/j.1467-6419.2010.00628
- Li, L.; Taihagh, A. An in-depth analysis of the evolution of the policy mix for the sustainable energy transition in China from 1981 to 2020. *Applied Energy*, 263, 114611, 2020. doi: 10.1016/j.apenergy.2020.114611
- METI – Ministry of Economy, Trade and Industry. *Strategic Energy Plan*. 2018. Disponível em: <https://www.enecho.meti.go.jp/en/category/others/basic_plan/>. Acesso em: fev. 2021.
- METI – Ministry of Economy, Trade and Industry. *Cabinet decision on the bill for the act of partial revision of the electricity business act and other acts for establishing resilient and sustainable electricity supply systems*. 2020. Disponível em: <https://www.meti.go.jp/english/press/2022/0301_004.html>. Acesso em: fev. 2021.
- METI – Ministry of Economy, Trade and Industry. *Overview of Japan's green growth strategy through achieving carbon neutrality in 2050*. 2021. Disponível em: <<https://www.mofa.go.jp/files/100153688.pdf>>. Acesso em: fev. 2021.
- Moreira, D. A. *Administração da produção e operações*. São Paulo: Thomson Pioneira, 1 ed., 2004.
- Mori, C.; Batalha, M.; Alfranca, O. Capacidade tecnológica: proposição de índice e aplicação a empresas do complexo agroindustrial do trigo. *Production*, 24, 2014. doi: 10.1590/S0103-65132013005000086
- OECD – The Organisation for Economic Co-operation and Development. *Environment at a glance indicators*. 2021. Disponível em: <<https://www.oecd.org/environment/environment-at-a-glance/>>. Acesso em: mar. 2021.
- Philibert, C. *Interactions of policies for renewable energy and climate*. International Energy Agency, Working Paper, 2011. Disponível em: <<https://www.iea.org/reports/interactions-of-policies-for-renewable-energy-and-climate>>. Acesso em: mar. 2021.
- Rogge, K.; Reichardt, K. Policy mixes for sustainability transitions: an extended concept and framework for analysis. *Research Policy*, 45, 1620-1635, 2016. doi: 10.1016/j.respol.2016.04.004
- Rogge, K.; Johnstone, P. Exploring the role of phase-out policies for low-carbon energy transitions: the case of the German energiewende. *Energy Research & Social Science*, 33, 128-137, 2017. doi: 10.1016/j.erss.2017.10.004
- Rogge, K.; Pfluger, B.; Geels, F. *Transformative policy mixes in socio-technical scenarios: the case of the low-carbon transition of the German electricity system (2010-2050)*. Fraunhofer ISI, Karlsruhe, Working Paper Sustainability and Innovation, No. S11, 2017. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10419/167650>>. Acesso em: jan. 2021.
- Watanabe, C. *Japan to Support Energy Saving, Storage-Battery Installations*. Bloomberg. Janeiro de 2015. Disponível em: <<https://www.bloomberg.com/news/articles/2015-01-09/japan-to-support-energy-saving-storage-battery-installations>>. Acesso em: jan. 2021.
- WEC – World Energy Council. *Designing for Disruptions: a new era for energy*. London, United Kingdom, 2019. Disponível em: <<https://www.worldenergy.org/publications/entry/designing-for-disruptions-a-new-era-for-energy>>. Acesso em: jan. 2021.