

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE ECONOMIA
MONOGRAFIA DE BACHARELADO

**ANÁLISE DA POLÍTICA ENERGÉTICA NA
ALEMANHA DO SÉCULO XIX AO XXI**

LÉO METELLO CASTRO
matrícula nº: 113276823

ORIENTADOR: Prof. Nivalde José de Castro

CO-ORIENTADOR: Francesco Gianelloni

MARÇO 2018

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE ECONOMIA
MONOGRAFIA DE BACHARELADO

**ANÁLISE DA POLÍTICA ENERGÉTICA NA
ALEMANHA DO SÉCULO XIX AO XXI**

LÉO METELLO CASTRO
matrícula nº: 113276823

ORIENTADOR: Prof. Nivalde José de Castro

CO-ORIENTADOR: Francesco Gianelloni

MARÇO 2018

As opiniões expressas neste trabalho são de exclusiva responsabilidade do(a) autor(a)

AGRADECIMENTOS

O desenvolvimento e a conclusão deste estudo foram possíveis devido ao apoio incondicional de pessoas que estiveram sempre ao meu lado, me incentivando e me motivando a superar todos os desafios. Assim, agradeço imensamente aos meus orientadores Prof. Nivalde José de Castro e Prof. Francesco Gianelloni, aos meus pais, e à minha namorada por todo apoio durante esse trajeto.

A todos estes, meus sinceros agradecimentos.

RESUMO

O presente trabalho visa analisar as medidas políticas implantadas na Alemanha em relação à transição energética para fontes renováveis desde 1990 e os seus respectivos impactos. Para isso, foi realizada uma extensa pesquisa bibliográfica sobre as principais medidas realizadas e seus reflexos em termos de custos, matriz energética e poluição. O estudo indica que o modelo alemão tem se mostrado eficiente na transformação deste mercado, as fontes renováveis efetivamente têm substituído às fontes nucleares, sem com isso prejudicar a economia ou a sociedade alemã. Porém, também mostra a existência de muitos desafios para que se alcancem as metas almejadas, como a questão da emissão de gases de efeito estufa.

Sumário

1. Introdução.....	8
2. Análise Histórica do Setor Energético	12
2.1 Perspectiva Geral.	12
2.2 A Era do Petróleo.....	15
2.3 Pós Segunda Guerra Mundial	17
2.4 Resistências à Energia Nuclear.....	19
3. Análise da Política Energética.....	22
3.1 A Transição Alemã	23
3.1.1 Energiewend.....	26
3.1.2 Grid Feed-In Law	31
3.1.3 Renewable Energy Sources Act	33
4. Resultados	45
4.1 Custo ao Consumidor.....	45
4.2 Matriz Energética.....	49
4.3 Emissão de Gases Poluentes	51
4.4 Quadro Geral.....	52
5. Conclusão	55
6. Bibliografia.....	57

Lista de Ilustrações

Gráfico 1: Consumo Mundial de Energia (1820-2000).....	12
Gráfico 2: Consumo Mundial Per Capita de Energia (1820-2000).....	13
Gráfico 3: Evolução da Matriz Energética Mundial.....	14
Gráfico 4: Consumo Energético na Alemanha (1950-1990).....	16
Gráfico 5: Demanda Energética % VS Variação Populacional %	17
Gráfico 6: Pesquisa de Aprovação da Saída da Alemanha da Energia Nuclear (2015).	19
Gráfico 7: Capacidade Elétrica Instalada na Alemanha (Gigawatts)	20
Gráfico 8: Percentual de Combustíveis Tradicionais Importados pela Alemanha (2014)	24
Gráfico 9: Emissão de CO2 por Tipo de Combustível (1973-2011).....	25
Gráfico 10: Custo de Produção Fotovoltaica na Alemanha e nos Estados Unidos	37
Gráfico 11: Custo Global Médio de Produção Fotovoltaica	40
Gráfico 12: Geração Anual por Fonte de Energia Renovável na Alemanha.....	43
Gráfico 13: Evolução das Tarifas no Modelo Feed-in (2000-2018).	44
Gráfico 14: Custo de Energia na Alemanha (centavos/kWh).....	45
Gráfico 15: Evolução do Custo de Energia Alemão.....	46
Gráfico 16: Custo Unitário de Energia por Valor Gerado Industrialmente.....	48
Gráfico 17: Produção Energética Alemã (1990-2017).....	49
Gráfico 18: Consumo Energético Alemão (1990-2017).....	50
Gráfico 19: Quadro Geral Alemão (1990-2016).	53

Lista de Tabelas

Tabela 1: Metas Traçadas a partir de 2011	28
Tabela 2: Regras dos Leilões por Fonte Energética.	41
Tabela 3: Resultados dos Leilões Fotovoltaicos.	42
Tabela 4: Variação na Capacidade de Geração Energética em Gigawatts	47
Tabela 5: Variação na Emissão de Gases Poluentes.....	51

1. Introdução

A consciência das mudanças climáticas como um problema para a humanidade e as ações para enfrentá-la são fenômenos relativamente recentes. A importância da atmosfera na manutenção da temperatura na superfície da terra, o papel na absorção de dióxido de carbono e metano da radiação solar e o potencial de aumento da temperatura global como resultado das atividades industriais que liberam dióxido de carbono foram identificados em 1827, 1859 e 1896, respectivamente, na França, Grã-Bretanha e Suécia. No entanto, foi apenas no final da década de 1970 que a Organização Meteorológica Mundial (OMM) começou a expressar preocupação de que as atividades humanas - notadamente a emissão de dióxido de carbono - pudessem levar a um aquecimento significativo da atmosfera (SOAS, 2014).

Esse quadro levou em 1972 a ser realizada em Estocolmo a Conferência Científica das Nações Unidas, também conhecida como Primeira Cúpula da Terra, em que se estabeleceram os princípios para a preservação e melhoria do meio ambiente e um plano de ação contendo recomendações para as organizações internacionais. Uma das medidas recomendadas realizadas foi relativa à identificação e controle na emissão de poluentes, levantando a questão das mudanças climáticas pela primeira vez e alertando os governos para que estejam conscientes de atividades poluentes e de seu impacto sobre o meio ambiente (UNCHRONICLE, 2007).

Nos próximos 20 anos, como parte dos esforços para implementar as decisões de 1972, a preocupação com a atmosfera e o clima global ganhou lentamente atenção e ação internacional. Isso levou à negociação e adoção em 1985 da Convenção de Viena para a Proteção da Camada de Ozônio e à conclusão de um protocolo que visava reduzir as emissões de enxofre em 30%. Entretanto, as questões apenas ganharam mais força quando evidências palpáveis de mudanças climáticas começaram a surgir no fenômeno das chuvas ácidas na Europa e na América do Norte (UNCHRONICLE, 2007).

Esse quadro levou em 1997 a elaboração do Protocolo de Kyoto em que se afirma que conseguir um futuro de energia sustentável é o grande desafio do século XXI. Os padrões atuais de extração, produção e uso de recursos energéticos se mostram prejudiciais para o bem-estar de longo prazo da humanidade. Para Sven Teske (2013), os custos socioambientais decorrentes dessa postura incluem a emissão de gases do efeito estufa provenientes dos combustíveis fósseis, o risco de desastres nucleares ou o alagamento de gigantescas extensões de terras para a construção de hidrelétricas.

Essa questão ainda é agravada pelo fato de cerca de 1,1 bilhões de pessoas ainda não terem acesso à energia elétrica no mundo em 2016, segundo relatório da Agência Internacional de Energia. Segundo o levantamento, 1,2 bilhões de pessoas conseguiram acesso desde 2000, sendo 870 milhões apenas na Ásia. Porém, apesar do significativo avanço, o número de indivíduos nessa situação aumentou ao longo desse período, dado o aumento da população mundial. Logo, a tendência é que a demanda energética mundial se mantenha aumentando de forma acelerada.

A estrutura energética se destaca como uma base comum de sustento do crescimento econômico e do sucesso de políticas nacionais. A energia é responsável por suprir a necessidade dos diversos setores da economia, sendo por isso essencial para uma manutenção de um ritmo de crescimento econômico sustentável.

Por muitas décadas, o setor energético foi dominado pelos combustíveis fósseis. Essa fonte sempre se destacou devido a seu baixo custo e alta disponibilidade. Com isso, se montou toda uma estrutura energética mundial pautada em fontes como petróleo e o carvão mineral (BICALHO & QUEIROZ, 2012).

Os combustíveis fósseis desempenham um papel fundamental na garantia do suprimento de energia necessário ao desenvolvimento econômico e ao bem-estar social; graças a sua abundante disponibilidade que permite a sua utilização em elevada escala, resultando em um relativamente baixo custo.

Todavia, essas fontes não possuem apenas benefícios, existem alguns problemas que comprometem a supremacia desses combustíveis. Um deles é a emissão de Gases do Efeito Estufa que no limite podem até mesmo levar a um comprometimento da manutenção de vida no planeta.

Estudos de meio ambiente sugerem que os combustíveis fósseis constituem a principal causa da mudança climática, em função do aumento da temperatura gerado pela concentração dos gases de efeito estufa na atmosfera; em particular do CO₂ emitido pela queima desses combustíveis (BICALHO & QUEIROZ, 2012).

A mudança de postura alemã foi motivada principalmente por três fatores: a alta dependência de importação de gás natural russo, o acidente na usina nuclear de Fukushima em 2010 e o alto nível de dióxido de carbono emitido pelo país. A questão da independência energética do país e a tentativa de preservar o meio ambiente já eram pontos visados desde o início do processo em 1990, porém foi o acidente de Fukushima em 2010 que acelerou o processo segundo a Agência Internacional de Energia (2013).

Por esse motivo, desde 1990 a Alemanha começou a realizar uma mudança considerável em sua estrutura energética. Esse movimento foi realizado como forma de combater a poluição e aumentar a segurança energética. A expectativa de uma demanda crescente por energia elétrica puxando uma alta dos preços, a alta dependência de energia importada e o fato de 80% dos gases de Efeito Estufa serem gerados pelo consumo de energia são as razões que motivam uma radical mudança de médio em longo prazo. O objetivo é de atingir uma segurança energética, controle do custo e atingir as metas estabelecidas pela política de proteção do meio ambiente. (MORRIS & PEHNT, 2016)

De acordo com um estudo conduzido pela International Energy Agency (IEA), a Alemanha atingiu um sucesso significativo quanto ao combate às emissões de gases de efeito estufa. Segundo o relatório de monitoramento emitido pelo governo alemão em 2016, entre 1990 e 2015, foi observada uma diminuição de 27,2% na emissão de gás carbônico proveniente da utilização de combustíveis fósseis, saindo de 949,7 milhões de toneladas de

dióxido de carbono em 1990 para 691,4 milhões de toneladas em 2015, demonstrando a relevância e eficácia das medidas adotadas (BWE, 2015).

O ponto negativo desse processo foi uma alta de quase 50% no custo de energia entre 2006 e 2017 segundo o BDEW (2017). Essa alta foi principalmente puxada pelas taxas impostas pelo *Renewable Energy Sources Act* que aumentaram de €0,88 c/kWh para €6,88 c/kWh no período, à medida que a participação das energias renováveis se expandiu no país e o plano passou a ganhar maior relevância.

Logo, a Alemanha vem participando de um processo de grande relevância e que gerou diversos impactos sociais, econômicos e ambientais. Apesar do processo teoricamente apenas se completar em 2050, os resultados já são visíveis. Por esse motivo, o objetivo deste trabalho é analisar as medidas implantadas no país desde 1990 e os seus respectivos impactos. Para isso, serão destacadas as principais medidas realizadas no âmbito político e seus reflexos em termos de custos, matriz energética e poluição, ressaltando os seus principais impactos e deficiências.

Com esse intuito, o estudo se iniciará com uma análise histórica geral do setor energético no âmbito mundial, focando no caso alemão. Esse capítulo irá explicar como se desenvolveu a estrutura energética do país dado o contexto histórico, visando com isso destacar as principais características desse setor e como estas se encaixam no plano de transição energética.

No capítulo seguinte, será analisado as políticas energéticas implementadas e como elas evoluíram para o modelo atual. Com isso, pretende-se entender o processo realizado, como eles resultaram no quadro atual e quais as perspectivas futuras.

Por último, será analisados os resultados desse processo e como eles se encontram em relação às metas originalmente traçadas. Com isso, será possível fechar um quadro geral a cerca do processo, focando nos seus impactos sobre a economia, meio ambiente e produção energética.

2. Análise Histórica do Setor Energético

2.1 Perspectiva Geral.

O mundo passou por diversas transformações entre o final do século XIX e o início do século XXI. Todo esse processo não só mudou o próprio ser humano e a sociedade, mas também gerou impactos profundos na estrutura e desenvolvimento do setor energético mundial. No Gráfico 1, fica perceptível a rapidez e dinamicidade desse processo. O volume de exajoules de energia consumidos anualmente aumentou exponencialmente ao longo do período, principalmente no período entre 1950 e 2000.

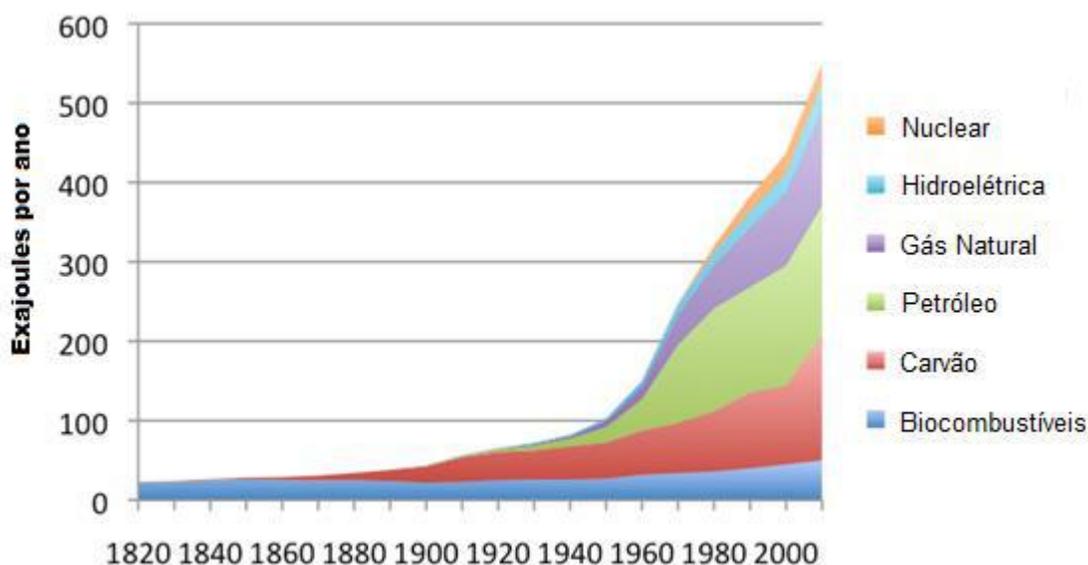


Gráfico 1: Consumo Mundial de Energia (1820-2000)

Fonte: The Oil Drum, 2013.

Analisando esse processo via consumo per capita de energia, conforme o Gráfico 2 fica perceptível que o crescimento no consumo não ocorreu de forma contínua e exponencial como aparenta no Gráfico 1. Na realidade, ocorreram diversos eventos de grande relevância ao longo do século XIX e XX e que serviram como gatilhos para esses ciclos de alta.

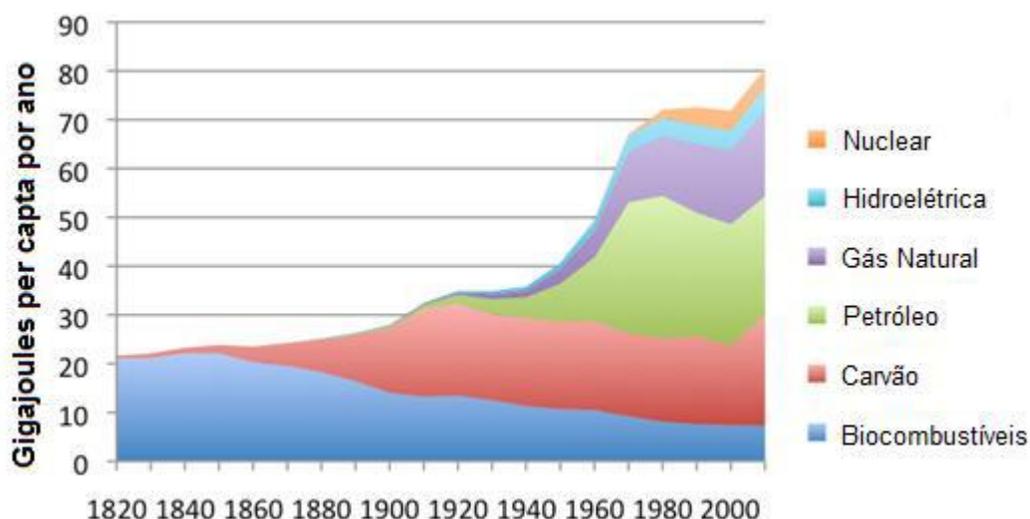


Gráfico 2: Consumo Mundial Per Capita de Energia (1820-2000)

Fonte: The Oil Drum, 2013.

Dentre esses eventos, destacam-se as revoluções industriais, o desenvolvimento do setor petrolífero e as guerras mundiais. Esses eventos modificaram profundamente a estrutura social e econômica mundial, explicando em grande parte a atual organização do sistema energético.

Nas revoluções industriais dos séculos XVIII e XIX ocorreu a ampliação da substituição da energia humana e animal pela inanimada, com eficiência multiplicada; a aceleração da troca da capacidade humana por instrumentos mecânicos; e a descoberta ou melhoria de métodos de obtenção e elaboração de matérias primas. (DATHEIN; RICARDO 2003)

As invenções da Revolução Industrial impulsionaram a busca por fontes de energia mais abundantes e eficientes. À medida que as invenções mecânicas sofisticadas foram feitas o setor industrial e de transporte aumentaram substancialmente as suas demandas energéticas. A necessidade de grandes quantidades de energia acessível, confiável e transportável incentivou a exploração de novas fontes de energia. Esse quadro acabou por fomentar o desenvolvimento de equipamentos para minar ou perfurar os já visíveis depósitos de carvão e petróleo (Carnegie Mellon University, 2003).

Analisando a evolução da estrutura energética mundial por séculos, conforme o Gráfico 3, pode-se ver claramente como a fonte primária energética foi se moldando as diversas mudanças econômicas e sociais pelas quais o mundo passou. O carvão se destaca como fonte principal energética a partir da revolução industrial, só perdendo seu posto quase um século após. Tal preponderância inicial, segundo artigo publicado pela Mitsubishi (2010), se deve à visão da época de que o carvão seria uma fonte inesgotável de energia, além de ser uma fonte de fácil exploração devido a sua proximidade da superfície e que pode ser utilizada em sua forma natural.

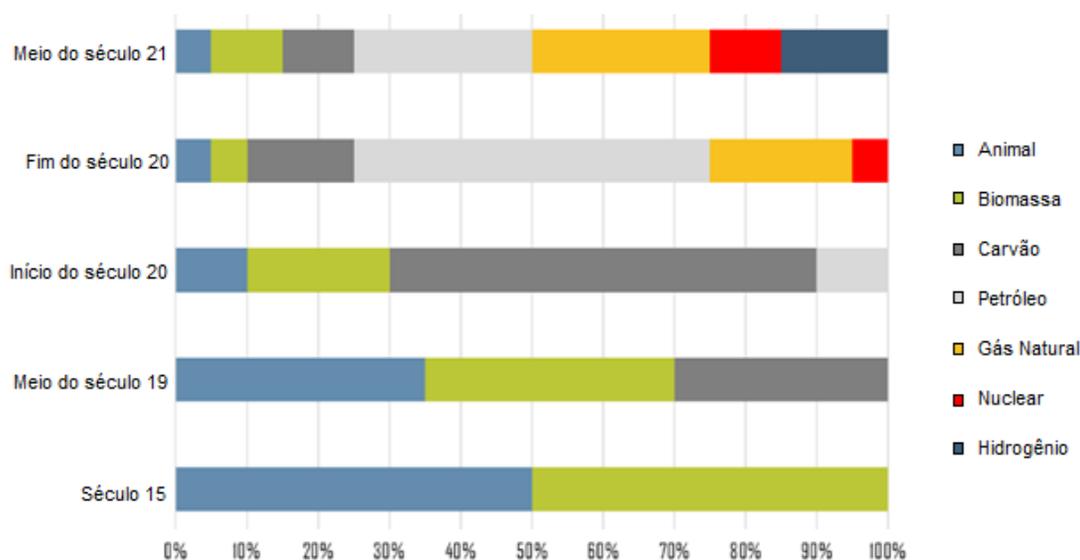


Gráfico 3: Evolução da Matriz Energética Mundial

Fonte: The Geography of Transport System, 2017.

Na Alemanha, o carvão foi a primeira grande fonte de energia do país. A primeira mina foi mineirada a mais de 900 anos atrás, porém ganhou força apenas no século 19 com a industrialização. Esse período transformou as regiões mineiras de Ruhr Valley e Saarland em pontos estratégicos do país, chegando a operar mais de 300 minas nas regiões. Além disso, foi essencial no “milagre alemão” ocorrido pós-primeira guerra mundial. (DW, 2007)

No período, o carvão tinha um papel muito importante, servindo de fonte de aquecimento e servindo de combustível para a indústria e para o exercito, especialmente para

a marinha. Esse quadro levou o país a investir e a criar uma forte dependência do setor (STRANGES, ANTHONY 2001)

2.2 A Era do Petróleo

No final do século XVIII, surgiu uma nova e revolucionária fonte de energia: o petróleo. Na década de 1850 James Young, químico escocês, desenvolveu as bases para o refino do petróleo. Em 1859 já havia extração de petróleo a 210 metros de profundidade nos EUA. De outra parte, surgiram os motores a combustão interna. Em 1860 o engenheiro francês Lenoir patenteou o motor a gasolina, tendo surgido também motores a gás. Em 1876 N. Otto desenvolveu o motor há quatro tempos, e em 1885 Daimler e Benz criaram o automóvel, tendo sido o primeiro carro popular construído em 1894. Estes motores também foram utilizados em barcos nesta época (CIPOLLA, 1974).

Com isso, o domínio do carvão foi perdido, ocorrendo o advento da indústria petrolífera que progressivamente começou a dominar o mercado energético mundial. A indústria do petróleo surgiu de modo modesto na metade do século XIX, inicialmente apenas a querosene era utilizado para a iluminação e aquecimento. Porém, com o desenvolvimento do sistema de perfuração de poços, os Estados Unidos conseguiu conduzir o setor a um novo patamar. Essa fonte de energética se mostrou muito mais versátil e eficiente que o carvão, passando a ser utilizado como combustível para automóveis, barcos e aviões, como fonte de energia elétrica e para o aquecimento. (MITSUBISHI, 2010)

Na Alemanha, pode-se ver um processo semelhante ao ocorrido mundialmente. O carvão passou de cerca de 80% da produção energética do país em 1950 para próximo de 25% em 1990. Porém, no Gráfico 4, onde o consumo energético da Alemanha ao longo de quatro décadas é analisado em termos de milhões de toneladas de carvão, é perceptível que apesar do petróleo ter tornado a matriz primária do país, corresponde a apenas 40% da produção, outras fontes como o gás natural e a energia nuclear se mostram significativas.

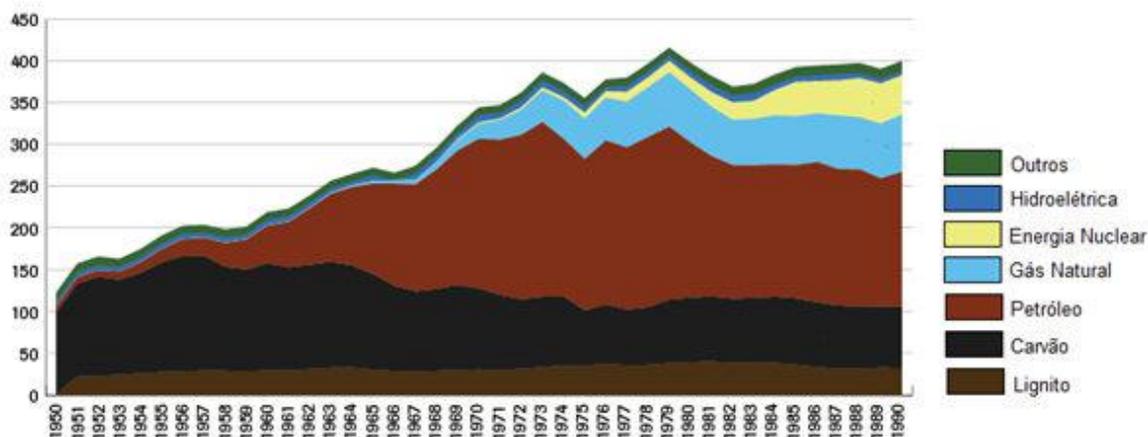


Gráfico 4: Consumo Energético na Alemanha (1950-1990)

Fonte: Agora Energiebilanzen e.V, 2015.

O uso do petróleo apresenta inúmeras vantagens sobre o carvão, como o fato de que produz duas vezes mais trabalho por unidade de peso e ocupa a metade do espaço. Isto, no caso de navios, por exemplo, permite economia de espaço e mão-de-obra, resultando em maior capacidade de carga. Além disto, o petróleo permite alimentação mecânica e limpa, com controle automático. O custo do carvão ainda era menor, mas o petróleo barateou rapidamente com o uso de novas técnicas de refino e de transporte e com descobertas de novos poços (Landes, 1969a). Em 1859 a produção foi de 2 mil barris e em 1874 já haviam chegado a 11 milhões de barris (Hobsbawm, 1977, p. 73). Dessa forma, a substituição do carvão pelo petróleo ocorreu primeiramente nas marinhas, enquanto nas ferrovias e na indústria ocorreu mais lentamente. (DATHEIN; RICARDO 2003)

O petróleo também ganhou muito espaço no mercado mundial devido à popularização dos motores movidos a combustão interna. Inicialmente, os carros foram vendidos em larga escala apenas nos Estados Unidos e no Canadá, porém após segunda guerra mundial ganharam maior espaço na Europa e no Japão. Além disso, a substituição progressiva dos navios movidos a carvão para o petróleo e o desenvolvimento do setor aeronáutico também ajudaram a consolidar o seu papel de grande relevância em relação ao setor de transportes (SMIL, VACLAV 2004).

No caso alemão, o fato de que o país nunca seria um grande produtor de petróleo levou o governo a buscar medidas alternativas. A solução encontrada foi a transformação do carvão em um líquido semelhante ao petróleo, denominado “ersatz”. Esse processo era muito caro, porém foi amplamente utilizado durante a segunda guerra mundial devido às restrições na importação do país. Com isso, o setor se desenvolveu muito e apenas não continuou sendo utilizado após o término da guerra, pois foi proibido pelos países aliados entre 1945 e 1951. (Stranges, Anthony 2001)

2.3 Pós Segunda Guerra Mundial

O período pós-segunda guerra mundial foi de grande relevância para o mundo e para a Alemanha, pois foi onde ocorreu o descolamento mais significativo entre o aumento na demanda energética mundial e o crescimento populacional. Esse movimento é perceptível no Gráfico 5. Essa aceleração é apenas freada no período entre 1970 e 2000, onde os choques do petróleo e a recessão que se derivou deste geraram impactos negativos significativos no consumo e no crescimento da população mundial.

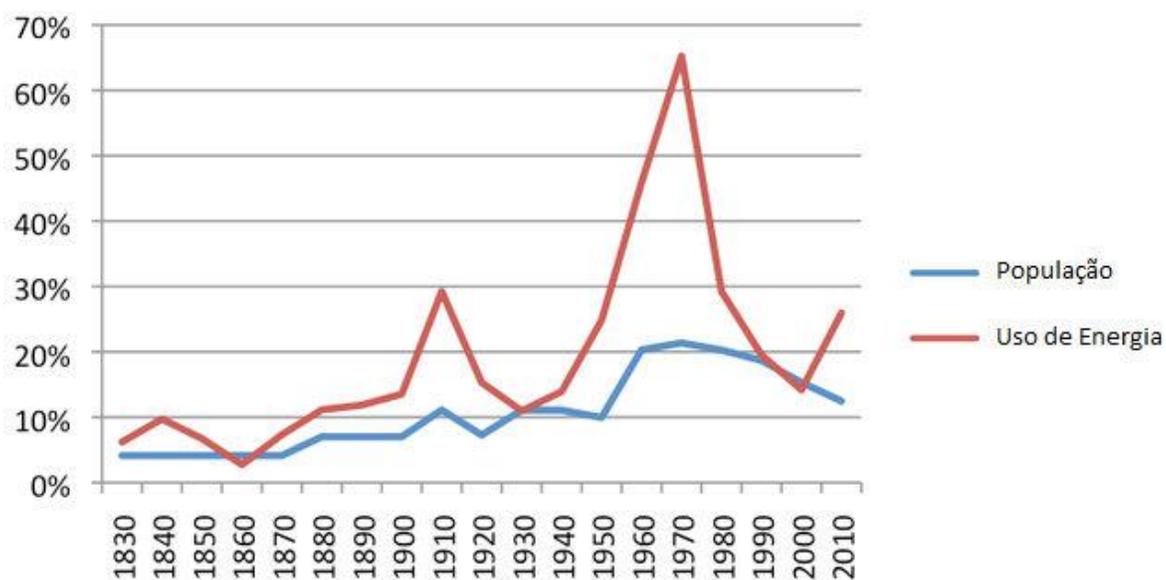


Gráfico 5: Demanda Energética % VS Variação Populacional %

Fonte: The Oil Drum, 2013.

Segundo Tverberg (2012), o aumento substancial no consumo energético no período se deu primordialmente por cinco principais razões:

- O processo de reconstrução da Europa e o Japão.
- A necessidade de novos empregos para os soldados americanos, evitando com isso um retorno à depressão que antecederia a guerra.
- O surgimento de uma indústria petrolífera nos Estados Unidos, utilizada pelo governo como uma forma de gerar empregos e receita via impostos.
- Significativos projetos de desenvolvimento da infraestrutura elétrica mundial no período, sendo um resultado do aprimoramento das técnicas de geração e transmissão.
- A política de crédito utilizada pelos Estados Unidos como forma de impulsionar o consumo de bens por parte das empresas e pessoas físicas e que impulsionou a economia do país no período.

A guerra ainda foi de grande relevância para o desenvolvimento do setor nuclear em relação à geração de energia. Nos anos que sucederam a guerra, mais de 200 usinas nucleares foram instaladas no mundo, se mostrando uma solução para a produção com um baixo custo em países sem uma relevante reserva de recursos naturais. Esse quadro incentivou ainda a popularização de novas tecnologias como o aquecimento elétrico residencial, dado que fomentou um barateamento da energia (UCS, 2000).

Esse desenvolvimento do setor nuclear foi particularmente interessante para a Alemanha, dado o seu quadro de significativa dependência de importações de combustíveis fósseis. Esta questão ainda foi piorada pelo fato de que o país produzia muito carvão, porém a demanda mundial era cada vez menor e as importações de petróleo e gás cada vez maiores, gerando um desequilíbrio em sua balança comercial. Uma forma de melhorar esse quadro foi através do investimento na produção de energia nuclear. Com isso, o país teve uma experiência de rápida expansão do setor, iniciando-se em 1960 e já em plena capacidade em 1970. (Sao, Justin 2017)

2.4 Resistências à Energia Nuclear

O uso de energia nuclear sempre foi um assunto muito polêmico no país. Desde 1970, quando as usinas entraram em plena capacidade, diversos protestos se fizeram presentes. O acidente de Chernobyl em 1986 ainda expandiu esse sentimento de medo quanto a essa tecnologia, aumentando a oposição em todo o país. Esse quadro levou o governo a decidir em 1989 que nenhuma nova planta seria construída. Ao longo dos anos seguintes, as restrições foram expandidas e o tema de fim das usinas nucleares se tornou algo recorrente. (Appun, Kerstine 2015)

A oposição à energia nuclear acabou culminando na decisão histórica em 30 de março de 2011 de abandonar completamente tal fonte de energia até 2022. Tal decisão em muito foi impulsionada pelo acidente de Fukushima: “A catástrofe no Japão mobilizou os alemães em massa: em março, mês do acidente, 250 mil cidadãos foram às ruas, exigindo a renúncia à energia termonuclear, o mais breve possível” (Mohr, Heike 2011). Não havia mais contexto político para a manutenção das usinas e isso acabou culminando em tal decisão. No Gráfico 6, vemos como a grande maioria dos alemães apoiou tal decisão.

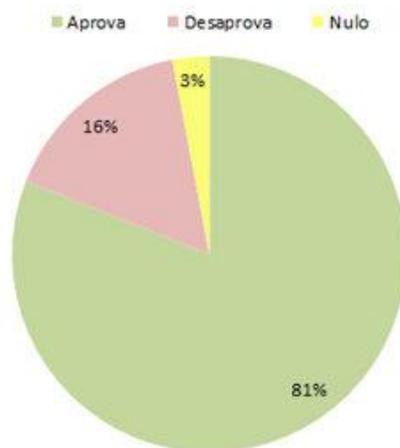


Gráfico 6: Pesquisa de Aprovação da Saída da Alemanha da Energia Nuclear (2015).

Fonte: Bild am Sonntag / Emnid, 2015.

A solução encontrada para uma modificação radical na matriz energética do país foi o Energiewende, um plano de substituição das fontes tradicionais de energia por energias

sustentáveis como a solar e a eólica. No Gráfico 7 é perceptível esse movimento. “Além do abandono termonuclear, o Bundestag aprovou, em junho de 2011, um pacote de leis esboçando o caminho da virada energética. Como já estava estipulado, nos próximos dez anos deverá dobrar a participação das energias renováveis no total da eletricidade produzida no país” (Mohr, Heike 2011).

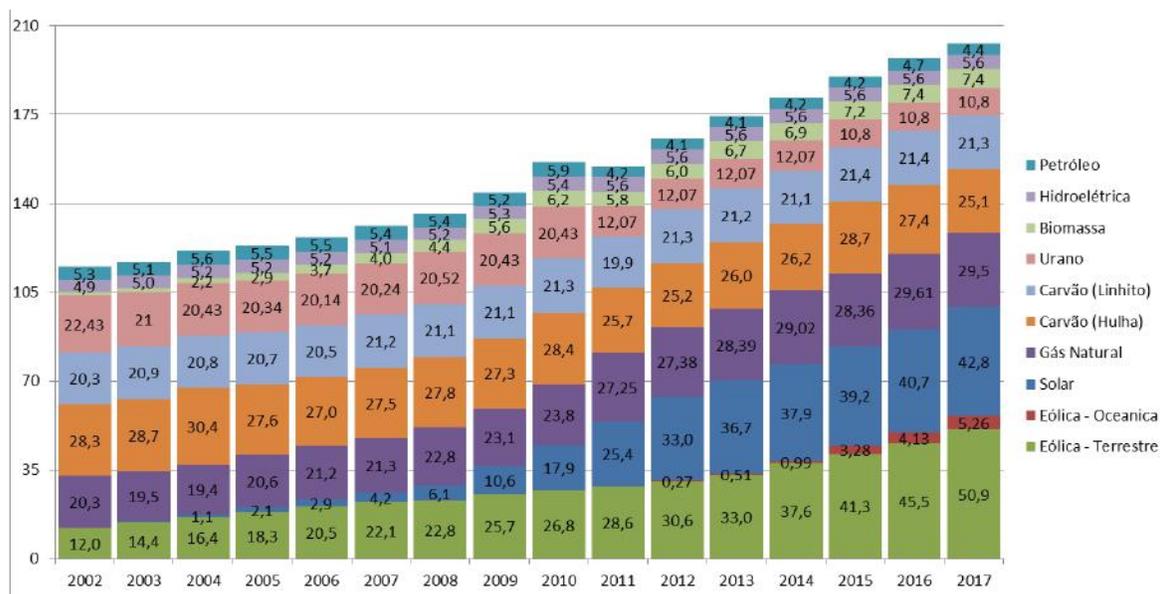


Gráfico 7: Capacidade Elétrica Instalada na Alemanha (Gigawatts)

Fonte: Fraunhofer ISE, 2018.

A história da Energiewend abrange mais de trinta e cinco anos. Enquanto os esforços da Alemanha para eliminar a energia nuclear em reação ao desastre nuclear de Fukushima atraíram a atenção internacional, as origens da transformação estão enraizadas na infraestrutura de energia do país. Primeiro, a falta de recursos naturais e a dependência das importações de energia fizeram dos combustíveis fósseis uma escolha de energia inadequada em relação à segurança energética e a balança comercial. Em segundo lugar, a crescente conscientização sobre os impactos das mudanças climáticas alteraram as prioridades políticas e estimularam mudanças legislativas a nível nacional, incluindo a introdução das primeiras leis para promover a produção de energia renovável. Em terceiro lugar, o movimento

ambiental e o colapso nuclear da usina de Chernobyl levaram a uma oposição pública maciça à energia nuclear. Com isso, o acidente na usina de Fukushima apenas acelerou o processo (JURCA, ANNA 2014).

Logo, a trajetória do setor energético mundial se desenvolveu de um modo relativamente negativo para a Alemanha, dado a escassez de recursos naturais mais eficientes como o petróleo e o gás natural. Esse quadro levou o país a buscar formas alternativas de diminuir a sua dependência de fontes externas e com isso aumentar o seu nível de segurança energética. A solução inicial foi a energia nuclear, porém dado a forte resistência popular ao seu uso, o *Energiewende* acabou se tornando a melhor alternativa. Por tanto, por mais que tenha sido uma aposta radical feita pelo país, acabou sendo um caminho natural.

3. Análise da Política Energética

A política energética engloba diferentes conceitos, que vão desde a promoção da sustentabilidade, a segurança energética e até as pressões internas e externas. Dada as diferentes dimensões que essa política adquire as ações a serem elaboradas devem levar em conta os termos econômicos e políticos, além da questão da segurança, principal alicerce da política energética (BAUMANN, 2008).

Um dos principais objetos de estudo na política energética é o trade-off existente entre a segurança energética, sustentabilidade e custo. Essa questão envolve um esforço em nível internacional a fim de se destacam a mitigação dos problemas ambientais e manter um o nível ótimo de abastecimento energético, sem com isso comprometer o seu custo ao consumidor final e as indústrias. Essa questão ganhou ainda mais destaque recentemente devido aos esforços mundiais em mitigar a emissão de gases de efeito estufa, sem com isso comprometer a segurança energética.

Este tipo de política é de significativa complexidade e relevância, pois não afeta apenas a produção e o consumo energético, mas é também uma peça crucial no desenvolvimento econômico e social dos países. No caso da Alemanha especificamente, ele possui um papel central no processo de transição, dado que é um movimento inovador e de significativas proporções, tornando ainda mais complexo prever os seus impactos sociais e econômicos. (GOLDTHAU, 2013).

Essa política tem um papel importante de conciliar um *trade-off* entre três quesitos: segurança energética; preservação do meio ambiente; controle de custos. Esses objetivos são altamente conflitantes entre si, cabendo aos administradores públicos trabalhar em um modo de buscar um ponto de equilíbrio satisfatório.

É desse antagonismo presente nos distintos papéis desempenhados pelos combustíveis fósseis nas questões ambiental e energética que nasce, em um primeiro momento, o conflito entre os objetivos - mitigação da mudança climática e garantia da segurança energética - e, por conseguinte, entre a política ambiental e a energética (BICALHO & QUEIROZ, 2012).

A segurança energética é um importante determinante das políticas nacionais de energia em muitos países e uma fonte potente de tensões geopolíticas correntes, além de um fator de vulnerabilidade externa. No entanto, os limites ambientais tendem a superar a restrição da oferta e surgir como um desafio fundamental associado à dependência exacerbada de combustíveis fósseis (InterAcademy Council, 2007).

Nesse contexto, a eficiência energética aparece como a solução mais eficiente, dado que é uma das poucas iniciativas que melhora todos em simultâneo. Nessa linha, se destaca a Alemanha que vem aparecendo muito no cenário internacional devido a sua inovadora gestão do fornecimento energético de forma bem conciliada com o controle dos problemas ambientais.

Na teoria, a eficiência energética se apresenta como uma ótima alternativa de enfrentamento do trade-off entre segurança, meio ambiente e custo de produção. Todavia, é necessário compreendermos que sua implementação deve ser questionada em dois fatores. Primeiramente, é importante saber se a redução do consumo de combustíveis fósseis afeta a emissão de gases do efeito estufa em um grau que compense o investimento na eficiência energética. Por outro lado, é necessário o estudo dos custos gerados pela implementação de novas tecnologias (BICALHO & QUEIROZ, 2012).

3.1 A Transição Alemã

A Alemanha se destaca por ser uma das principais potências mundiais, contando com um elevado consumo energético. Com isso, o processo inovador que vem ocorrendo no país ganha ainda mais destaque, sendo um processo complexo, mas que vem sendo conduzido com um aparente êxito.

Um dos pontos que levou a essa mudança da matriz energética alemã foi a diminuição da dependência de fontes externas de energia, o volume importado de combustíveis fósseis é muito alto no país. É perceptível no Gráfico 8 este quadro, todas as fontes são quase em sua totalidade importados, sendo o gás natural em sua maior parte provinda da Rússia. Logo, havia um risco significativo de segurança energética.

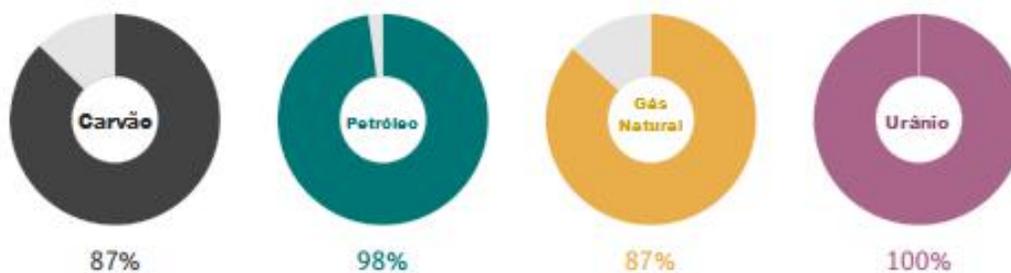


Gráfico 8: Percentual de Combustíveis Tradicionais Importados pela Alemanha (2014)

Fonte: Morris e Pehnt, 2016.

Conforme Morris e Pehnt (2016), o conflito da Rússia com a Ucrânia acentuou a importância de garantir uma maior segurança energética. Em 2014, um estudo conduzido pela Fraunhofer IWES chegou à conclusão de que o desenvolvimento de fontes de energia renovável poderia substituir todo o gás importado da Rússia até 2030.

Outro ponto que motivou essa postura foi a questão ambiental. O consumo de combustíveis fósseis é um dos principais emissores de dióxido de carbono, uma das principais causas para o Efeito Estufa. Esse combate já é realizado com seriedade pelo governo desde a década de 90, fato que é perceptível no Gráfico 9.

Essa postura da Alemanha foi clara na COP21 (United Nations Climate Change Conference) realizada em 2015. O país afirmou possuir uma meta de manter o aquecimento global abaixo de 2 graus Celsius. Para isso, convidou os países a realizarem um esforço de descarbonização da economia mundial e de um corte na emissão de gases de efeito estufa em mais de 70% até 2050, tendo 2010 como referência (EPRS, 2015).

Baseado em um grande corpo de cientistas ao redor do mundo, o Painel Internacional de Mudanças Climáticas (IPCC), cujo papel é de reportar consensos científicos internacionais, tem afirmado com firmeza que uma continuidade dos impactos desenfreados sobre o meio ambiente pode trazer resultados catastróficos (MORRIS & PEHNT, 2016).

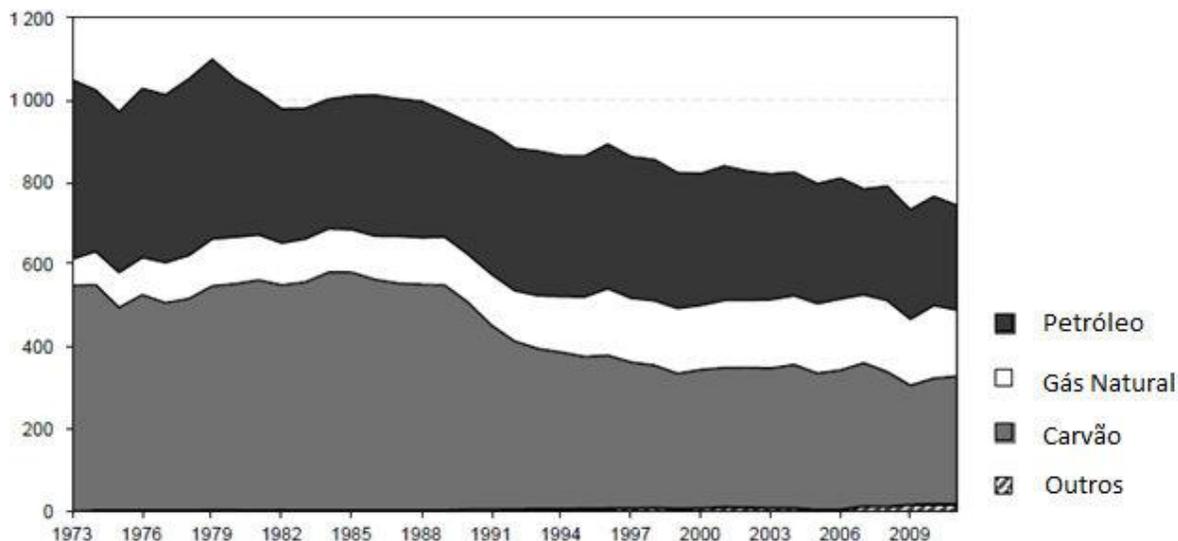


Gráfico 9: Emissão de CO2 por Tipo de Combustível (1973-2011)

Fonte: IEA, 2013.

Uma pesquisa conduzida em 2015 concluiu que 55% dos alemães consideram os problemas climáticos algo muito sério, um número muito maior do que os 27% que consideravam a crise econômica como a principal preocupação. Além disso, 79% dos entrevistados acreditavam que uma maior eficiência energética e um combate às mudanças climáticas poderiam ser boas para um crescimento econômico e para a criação de empregos. Por último, a pesquisa descobriu que apenas 10% se dizem céticos quanto aos problemas ambientais. Logo, as medidas tomadas pelo governo alemão tem se mostrado com razoável popularidade (MORRIS & PEHNT, 2016).

Por último, o acidente de Fukushima, em 2010 no Japão, foi um fator decisivo de aceleração do processo. Em 2011, todo o plano energético foi revisto e foi decidido uma retirada ainda mais ágil das usinas nucleares do país. Tendo em vista essa revisão, o governo tomou medidas com o intuito de botar em prática esse novo movimento, criando metas de longo prazo para a política energética e climática do país (IEA, 2013).

3.1.1 *Energiewend*

Para muitos, a transição de energia na Alemanha começou com a decisão de eliminar a energia nuclear em 2011, após o acidente na usina nuclear em Fukushima, no Japão. Mas o *Energiewende* antecipa essa emblemática decisão do governo, um longo processo profundamente enraizado na história e na sociedade alemãs levou a políticas que desencadearam nesse forte aumento nas fontes de energia renováveis e agora estão no centro de uma mudança para uma economia de baixo carbono (Hockenos; Paul, 2015).

O *Energiewende* se trata de uma política integrada que abrange todos os mais diversos setores da economia. É impulsionado por quatro objetivos principais: combater as mudanças climáticas (através da redução das emissões de CO₂), eliminar a energia nuclear, melhorar a segurança energética (através da redução das importações de combustíveis fósseis) e garantir competitividade e crescimento (através de políticas industriais visando desenvolvimento tecnológico, industrial e de emprego) (Agora, 2015).

Segundo Wettegel (2017), pode-se definir o *Energiewend* como um processo cujos ideais se iniciaram em 1973 e evoluíram ao longo das décadas, desencadeando em significativos impactos na mentalidade da sociedade alemã. Para o autor, a linha do tempo desse processo pode ser definida da seguinte forma:

- 1973/1975: Início do movimento antinuclear alemão, com manifestações e bloqueios contrários a construção da usina nuclear de Wyhl.
- 1979/1980: O partido *Die Grünen* é criado na Alemanha com uma ideologia de fim da energia nuclear e um futuro baseado nas energias renováveis.
- 1983: O *Die Grünen* consegue eleger políticos pela primeira vez.
- 1986: O acidente de Chernobyl consolida a resistência alemã a energia nuclear.

- 1990: Por razões econômicas e de segurança, duas usinas nucleares são desligadas com a reunificação da Alemanha. Além disso, são adotadas as primeiras metas de redução de gás carbônico entre 25% e 30% até 2005.
- 1991: Início das políticas de tarifas *feed-in* para energias renováveis.
- 1997: A Alemanha assina o Protocolo de Kyoto, concordando em realizar cortes significativos na emissão de gás carbônico.
- 2000: O *Renewable Energy Sources Act* é assinado, estipulando tarifas fixas no modelo *feed-in* e prioridade na utilização de energias renováveis. O governo decide adotar um plano de total desativação das usinas nucleares até 2022.
- 2007: A União Europeia cria um plano de até 2020 atingir 20% de utilização de energia renovável, um corte de 20% nos gases responsáveis pelo efeito estufa e um ganho de 20% de eficiência energética.
- 2010: O governo cancela a decisão de desativar as usinas nucleares e estabelece metas de diminuição da poluição e aumento do uso de energias renováveis para 2020 e 2050.
- 2011: O desastre de Fukushima faz com que o governo adote um novo plano de desativação das usinas nucleares até 2022.
- 2014: O governo diminui as tarifas utilizadas no modelo *feed-in*, introduz sistemas de leilão para capacidade fotovoltaica e apresenta um plano para atingir as metas traçadas para 2020.
- 2015: O plano está progredindo na velocidade desejada, um relatório aponta que a meta de reduções da emissão de gases até 2020 está em “sério perigo”.

- 2016: O governo federal assina um “Plano de Ação Climática”, um quadro básico para descarbonizando a economia até 2050 através de metas graduais. Inclui corredores alvo de redução nas emissões de gases de efeito estufa em setores econômicos individuais.
- 2017: Substituição do modelo de tarifas *feed-in* para um sistema de leilões para todas as energias renováveis.

O ano de 2011 foi marcante, pois o plano foi modificado substancialmente pelo governo, iniciando-se um processo muito mais ágil e eficaz do que outrora. No contexto do acidente nuclear de Fukushima em março de 2011, o papel atribuído à energia nuclear no conceito de energia foi reavaliado e as sete maiores usinas nucleares, incluindo a de Krümmel, foram fechadas permanentemente. Além disso, foi decidido eliminar a operação das nove usinas nucleares restantes até 2022. Em 6 de junho de 2011, o Governo Federal adotou o pacote de energia que complementa as medidas do plano energético anterior e acelera sua implementação (Clean Energy Wire, 2011).

Tabela 1: Metas Traçadas a partir de 2011

Metas EEG 2011	2011	2020	2030	2040	2050
Emissão de Gases de Efeito Estufa					
Meta em relação à 1990	-26,40%	-40%	-55%	-70%	-80% a -95%
Eficiência					
Consumo de Energia Primária (em relação à 2008)	-6%	-20%	-	-	-50%
Demanda de Energia Elétrica (em relação à 2008)	-2,10%	-10%	-	-	-25%
Uso de Aquecedores Residenciais	-	-20%	-	-	-
Demanda Energética para Transportes (em relação à 2005)	-0,50%	-10%	-	-	-40%
Energias Renováveis					
Participação no Consumo de Eletricidade	20,30%	>35%	>50%	>65%	>80%
Participação no Consumo Total de Energia	12,10%	18%	30%	45%	60%

Fonte: Carbon Brief, 2014.

Uma mudança estrutural de tamanhas proporções exigiu ao país tomar medidas a fim de adaptar toda a rede de geração e transmissão a essa nova matriz energética sem com isso comprometer o abastecimento da população.

“O medo de apagões foi grande,... mas a chanceler Merkel foi incisiva: ‘A porcentagem de energias renováveis deixou de ser um nicho para tornar-se o pilar de nossa distribuição energética’, disse na ocasião. O que mais a preocupava era o aumento dos custos com a energia elétrica. A solução foi dividir a diferença entre os elevados subsídios para a energia limpa e os preços cobrado pelos atacadistas entre as operadoras de rede e os consumidores.” (FLAUGER; STRATMANN, 2015)

Essas mudanças se deram pelo fato das energias renováveis passarem de 70% da rede em dias favoráveis para apenas 5% em dias fechados e com pouco vento. Essa oscilação dificulta ainda mais o trabalho de evitar apagões. Além disso, é necessário se construir novas redes dado que as usinas nucleares foram primordialmente desativadas no sul, onde a demanda energética é muito grande, porém os parques eólicos se desenvolveram principalmente na costa norte (GESEL, 2015).

Essa significativa oscilação na geração das fontes eólicas e fotovoltaicas se dá pela sua dependência de questões meteorológicas, não sendo assim algo controlável. Esse nível de incerteza exige um modelo de previsões meteorológicas razoavelmente preciso e um sistema de geração auxiliar de fontes tradicionais que possam ser controlado de modo a evitar que os períodos de baixa produção resultem em apagões. Esse sistema de previsões tem evoluído nos últimos anos, facilitando esse controle da produção, porém ainda conta com dificuldades, principalmente na produção fotovoltaica, onde fatores como neve e névoa afetam o nível de produção e na eólica devido à complexidade de se prever as correntes de vento (IEA, 2014).

Por esse motivo, a meta é construir nos próximos dez anos cerca de 4 mil quilômetros de novas linhas de alta tensão. O plano custa cerca de 20 milhões de euros e prevê a distribuição a novas regiões via três grandes rotas, a maior percorrerá cerca de 800 km e cruzará o país de norte a sul. O planejamento e construção dessas redes serão feitos em quase uma década (GESEL, 2015).

Segundo Gillis (2014), essa imprevisibilidade da energia renovável em terra firme explica o interesse pelo vento em alto-mar. As brisas constantes no mar do Norte e no mar Báltico garantem que as turbinas por lá produzam bem mais energia do que turbinas em terra. Porém, atualmente essas fazendas oneram em bilhões os custos para consumidores que já arcam com painéis solares, turbinas eólicas no continente, usinas de biogás e na transição para energia renovável.

Em 2014, o governo alemão anunciou mudanças na política energética, afirmando ser o início de uma grande revisão de alguns princípios básicos da Lei das Energias Renováveis e que essas mudanças se adequam melhor as necessidades das redes elétricas e do mercado de eletricidade. As reformas também abrem caminho para realizar uma transição do modelo de *Feed-in* para um sistema de competição via leilões (Clean Energy Wire, 2014).

Conforme o site Clean Energy Wire ressalta, as principais mudanças do novo plano foram:

- As tarifas por quilowatt-hora continuariam fixas pelos três anos seguintes, porém passariam para um modelo de “contrato por diferença”. Nesse novo esquema, ao invés do governo pagar diretamente as produtoras, estas teriam agora que vender diretamente ao mercado a sua energia, cabendo ao governo apenas pagar um prêmio correspondente à diferença entre o preço vendido e a remuneração prevista em lei.
- Mudança de um sistema de pagamento fixo *Feed-in* para um sistema de leilão tradicional até 2017.
- Criação de metas anuais para a capacidade instalada de fontes alternativas. Foram criados corredores de crescimento, isto é a tarifa paga pelo governo passa a variar de acordo com o volume de novas capacidades instaladas. A partir do momento em que a meta é atingida, o pagamento passa a ser reduzido.
- Aumento da rigidez na cobrança da sobretaxa gerada pela mudança na matriz energética. O plano de 2012 havia instaurado que residências ou empresas que produzissem a própria energia receberiam descontos ou até isenção dessas taxas,

além de isentar indústrias definidas como intensivas em eletricidade, sendo um modo de garantir a sua competitividade. Em 2014, os parâmetros para receber isenções ou descontos se tornaram mais restritivos, sendo um modo de diminuir o desconto sem com isso comprometer a política de proteção às indústrias intensivas em energia.

Esse processo de evolução do plano vem ocorrendo ao longo dos últimos e continua até os dias atuais. Essas adequações são de grande relevância para a sua adequação a realidade do país e da economia e devem seguir ocorrendo à medida que o governo consegue mensurar os impactos que estão sendo gerados pelo plano.

3.1.2 *Grid Feed-In Law*

O *Grid Feed-In Law* foi um plano estabelecido em 1991 na Alemanha e que é considerado de vital relevância para o desenvolvimento do setor de energias renováveis no país ao longo da década. O plano estabeleceu as bases pelas quais o setor se desenvolve até os dias atuais, tendo sido inclusive utilizada como inspiração para diversas leis estabelecidas mundialmente. O plano tinha apenas cinco seções e cobria apenas duas páginas, estabelecendo as bases do modelo de *feed-in* de tarifas (LANG; MATTHIAS, 2014).

O modelo de *Feed-in Tariffs* (FITs) é o nome de uma medida política usada para acelerar a implantação de tecnologias de energia renovável no setor elétrico. De acordo com uma política de FIT, as empresas de serviços públicos pagam aos produtores de energia renovável uma taxa garantida por unidade de eletricidade em um acordo de longo prazo que garante acesso prioritário à rede elétrica. A taxa paga ao produtor é fixada em um montante que fornece uma taxa de retorno razoável aos produtores durante todo o período da contrato. Essa certeza se mostrou vital, pois permite aos desenvolvedores garantir o financiamento com mais facilidade e ajuda a expandir rapidamente o mercado de energia renovável. Por sua vez, as empresas de energia renovável conseguem economias de escala, permitindo que o custo de produção de energia renovável caia ao longo do tempo (Environmental and Energy Study Institute – 2010).

Essa foi uma das principais políticas utilizadas pelo governo alemão para promover os investimentos em energias renováveis. Essa estratégia é interessante, pois estabelece um tarifa fixa e de longo prazo, dando maior segurança aos investidores, porém ao mesmo tempo gerando um incentivo para o corte de custos dado que este resulta em uma maior margem.

O *Grid Feed-In Law* garantiu o acesso à rede para a eletricidade gerada a partir de fontes de energia renováveis. Além disso, obrigou os serviços públicos que operam a rede pública a pagar preços acima do mercado para a eletricidade fornecida por essas fontes. Este custo não oneraria o orçamento público, uma vez que seria exclusivamente financiado pelos fornecedores de eletricidade e seus clientes. Estes prêmios seriam calculados anualmente como uma porcentagem das receitas específicas médias para toda a eletricidade vendida através da rede elétrica pública no ano anterior, ou seja, o preço médio da eletricidade para todos os clientes. Desta forma, a remuneração seria reavaliada anualmente (IEA, 2013).

As usinas de energia eólica e as usinas de energia solar receberam a maior remuneração com 90% das receitas médias específicas, seguidas por pequenas usinas de energia hidrelétrica, biomassa e biogás com menos de 500 kW com 75%, (a remuneração subiu para 80% alguns anos depois). As centrais elétricas de hidroenergia, biomassa e biogás maiores que 500 kW, mas menores que 5 MW, receberam 65% das receitas médias específicas (IEA, 2013).

Os preços ou tarifas de preços superiores ao mercado acabaram diminuindo após 1996. Isso ocorreu devido a uma queda nos preços da eletricidade devido à eliminação progressiva da taxa de carbono e mais tarde devido à liberalização dos mercados de energia. Assim, uma parte significativa das instalações de geração baseadas em fontes de energia renováveis que existiam no momento da introdução da lei acabaram não conseguindo se manter em operação (IEA, 2013).

Outro problema do plano foi que as empresas públicas localizadas próximas a regiões com intensa produção de energia renovável acabaram tendo o seu orçamento muito afetado pela obrigação de adquirir uma parte expressiva de seu consumo energético com um prêmio ao mercado. Por esse motivo, o plano foi modificado em 1998, passando a estabelecer que os

fornecedores regionais de eletricidade só tivessem que comprar uma parcela máxima de 5% da eletricidade de energia renovável de seu fornecimento total de eletricidade. O mesmo limite aplicado aos fornecedores preliminares, levando a um limite total de 10%. Com isso, se limitou o impacto sobre as empresas públicas e sobre os clientes finais, porém se criou uma barreira ao desenvolvimento do setor (IEA, 2013).

Logo, o plano se tornou ineficiente quanto a seu objetivo de fomentar as fontes de energia renováveis. Por esse motivo, foi substituído em 2000 pelo *Renewable Energy Sources Act*, um plano com um objetivo similar, porém com uma estrutura mais robusta.

3.1.3 Renewable Energy Sources Act

O *Renewable Energy Sources Act* foi um plano introduzido em 2000 pelo governo alemão em substituição ao *Grid Feed-In Law* anteriormente vigente. Este plano estabeleceu um alto nível de segurança de investimento no setor de energia renovável. O foco era a proteção climática através do fomento a energia sustentável, garantindo ainda uma maior segurança energética sem com isso onerar demasiadamente os consumidores (BMELV, 2012).

Em 2000, quando a nova Lei de Energias Renováveis (EEG, na sigla em alemão) foi implementada e a mudança energética, iniciada, a participação não chegava a 7%. Ao assegurar subsídios aos investidores em energia eólica e solar, a EEG fez os projetos nessas áreas se multiplicarem, atraindo tanto empresas geradoras quanto milhares de domicílios que instalaram o sistema de geração fotovoltaica (GESEL, 2015).

Em relação ao *Grid Feed-In Law*, uma das principais mudanças desse novo plano foi à modificação da obrigação de comprar toda a energia renovável disponível das empresas públicas para os operadores da rede elétrica. Além disso, o prêmio pago aos produtores também foi modificado, passando de uma tarifa fixa para uma tarifa variável estabelecida para cada tipo de produção com base no custo de geração atual e fixa por vinte anos, com exceção da energia eólica (IEA, 2014).

O sistema de *feed-in* garante um preço fixo e demanda para as empresas geradoras de energias alternativas, gerando um incentivo para que elas busquem otimizar o lucro e o volume de energia gerados. O sistema força esse movimento, pois ao diminuir as tarifas garantidas, faz com que produtores menos eficientes percam espaço no setor (MORRIS CRAIG, 2017).

As metas originais do plano foram atingir 35% da geração energética via fontes renováveis até 2020, entre 40% e 45% até 2025, entre 55% e 60% até 2035 e 80% até 2050 (LSE, 2000).

Segundo Lang Matthias, os principais pontos estabelecidos no Renewable Energy Sources Act são:

- Tarifas diferenciadas, a cima do mercado, de longo prazo e regularmente ajustadas no modelo *feed-in* para fontes energéticas renováveis operantes.
- Prioridade para as fontes energéticas contempladas no modelo *feed-in*.
- Reajuste do sistema de custos de transmissão energética para os consumidores através de um sistema sofisticado denominado EEG.
- Estabelecimento de metas, corredores de crescimento, especiais leis incentivando a autogeração de energia e criação de um amplo sistema de suporte ao mercado.

Para a energia eólica em especial, foi estabelecido um esquema diferenciado. Uma alta remuneração seria paga por uma quantidade fixa de energia pré-estabelecida. Após isso, a tarifa iria para um valor mais baixo, se mantendo neste por 20 anos. Este valor diminuiria, em termos reais, naturalmente devido à inflação, forçando as plantas a se tornarem mais eficientes. Em 2002, esse plano foi ajustado, passando a prever anualmente uma queda gradual nas tarifas pagas a todas as plantas de energia renovável de modo a forçar um ganho ainda maior de eficiência. Esse fator seria de 5% para as energias fotovoltaicas, 1,5% para as energias eólicas e 1% para as usinas que utilizavam biomassa (IEA, 2014).

O plano passou por cinco importantes mudanças no ao longo dos anos (2004, 2009, 2012, 2014 e 2017). Tais revisões são essenciais em um modelo *feed-in*, pois permitem ao governo avaliar a eficácia das tarifas adotadas e com isso buscar sempre um nível de

eficiência máximo que fomente o setor, porém que simultaneamente também force ganhos graduais de eficiência (Morris; Craig, 2017).

A Agência Internacional de Energia (2016), organização internacional que atua como orientadora política de assuntos energéticos mundialmente realizou um estudo a cerca das principais mudanças realizadas em cada uma das revisões. Essa evolução pode ser resumida da seguinte maneira:

A primeira alteração relevante ao plano ocorreu em agosto de 2004 com o objetivo de garantir uma participação das energias renováveis de pelo menos 12,5% até 2010 e 20% até 2020. A modificação ainda previa um desenvolvimento mais acelerado das tecnologias utilizadas nas energias renováveis a fim de reduzir custos.

Quanto às regras específicas do plano, se estabelece uma obrigação às empresas transmissoras para a compra e transmissão de toda a energia renovável disponível. Além disso, se estabelece que os operadores da rede devam cobrir os custos de conexão e de melhorias da rede, sendo autorizado a repassar esses custos nas tarifas cobradas.

O sistema de tarifas é para a energia eólica também passa por algumas adaptações. Diferenciam-se as taxas pagas pela energia produzida nas as plantas terrestres e oceânicas, garantindo-as por um período de cinco anos para as primeiras e 12 anos para a segunda. Este período ainda poderia ser estendido dependendo do nível de produção atingido e da complexidade das instalações no caso de plantas instaladas *offshore*. Estas adaptações foram um modo de viabilizar projetos mais complexos e incentivar a evolução tecnológica.

Nessa primeira fase entre 2000 e 2009, a Alemanha estava focada em gerar uma escala suficientemente rentável para a geração de fontes alternativas de energia. Com um custo de produção muito superior as fontes tradicionais, o governo tentou focar em prover transparência, longevidade e uma maior confiança aos investidores. Durante esse período, a tarifa se manteve razoavelmente estável e os ajustes ocorreram apenas de modo pontual e de forma regular (FULTON; CAPALINO, 2012).

Em 2009, o plano foi novamente revisto. A principal mudança realizada foi à revisão geral das taxas implementadas pelo modelo *feed-in* de modo a adaptar as necessidades dos setores. O plano melhorou substancialmente as condições para o setor de energia eólica, sendo

um modo de incentivar o seu desenvolvimento e refletir o aumento no custo de produção das turbinas devido ao aumento no preço de matérias primas como o cobre e o aço.

As fazendas eólicas terrestres obtiveram um aumento de quase 15% na tarifa paga por quilowatts-hora para os primeiros 5 anos de operação, passando de 0,0803 euros para 0,092 euros. Após esse período, a tarifa iria para 0,0502 euros, caindo 1% ao ano a partir de então, ao invés de 2% ao ano como previsto anteriormente. Para as plantas eólicas no oceano, se estabeleceu uma tarifa de 15 centavos por quilowatts até 2015 e 13 centavos após isso, diminuindo 5% ao ano após.

Além disso, o plano passou a prever um bônus de substituição das turbinas com mais de 10 anos por novas turbinas de duas a cinco vezes mais potentes que as originais. O bônus constitui em um aumento de 0,5 centavos por quilowatts na tarifa fixada pelo plano. Desse modo, se esperava aumentar a capacidade e produtividade das plantas já ativas.

Importantes mudanças também foram adotadas como modo de tornar os setores de produção de energia a partir de biogases, hidro energia, biomassa e de geotermia. Todos obtiveram tarifas mais atraentes e bônus para melhoria e manutenção da capacidade. O setor hidroelétrico, por exemplo, obteve diversos incentivos para a abertura e modernização das instalações.

A energia fotovoltaica, por sua vez, foi a única fonte que teve as tarifas diminuídas nesse plano. Essa medida pode ser atribuída ao expressivo barateamento de sua produção no período entre 2007 e 2009. O custo de produção diminuiu cerca de 20%, atingindo patamares significativamente inferiores ao de outros países. No Gráfico 10, é perceptível a disparidade em relação aos Estados Unidos.

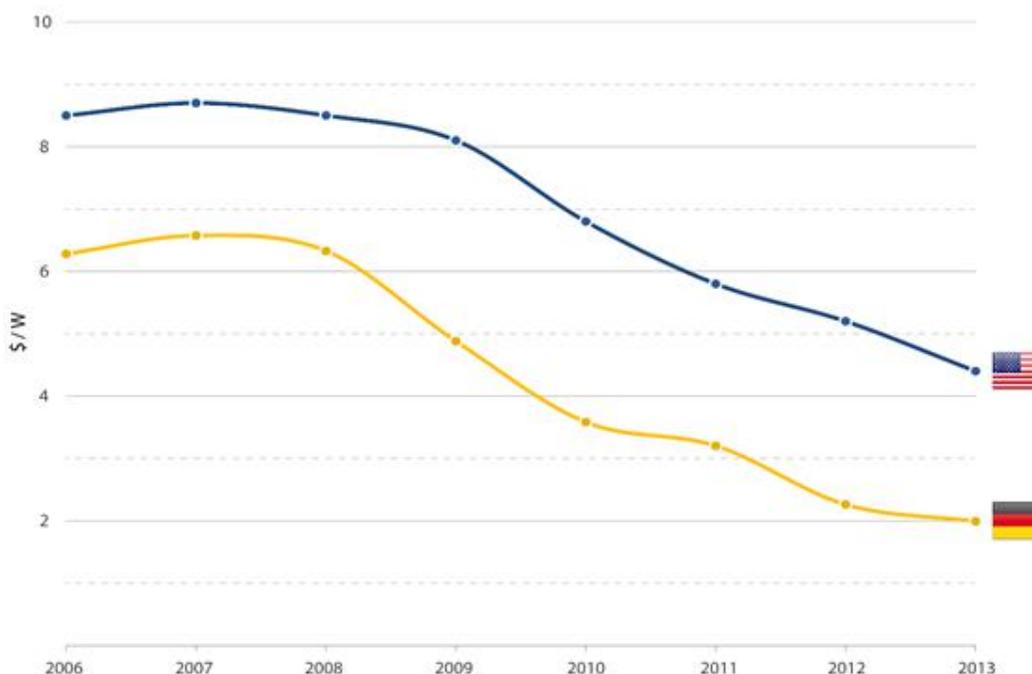


Gráfico 10: Custo de Produção Fotovoltaica na Alemanha e nos Estados Unidos

Fonte: Energy Transition, 2015.

Durante essa segunda fase, entre 2009 e 2011, ocorreu um rápido declínio do custo da energia solar, permitindo ao governo atuar mais ativamente sobre as tarifas estabelecidas com o objetivo de controlar o volume de produtores beneficiados pelo plano (FULTON; CAPALINO, 2012).

Em 2012, o plano foi novamente revisto. Estabeleceram-se novas metas para a participação de energias renováveis na matriz energética alemã. Os objetivos passaram a ser de 35% em 2020, 50% em 2030, 65% em 2040 e 80% em 2050. Os princípios do plano, porém se mantiveram inalterados.

A estrutura tarifária do *feed-in* para a energia eólica terrestre permanece praticamente inalterada. A tarifa inicial de EUR 8.93 / kilowatt-hora (kWh) será diminuída anualmente para as novas instalações em 1,5%, em oposição a um por cento no EEG 2009. Em vez de limitar o pagamento do bônus do serviço do sistema, fixado em EUR 0,48 / kWh até o final de 2013, será pago até o final de 2014 para os novos e até o final de 2015 para as instalações existentes.

O bônus de substituição das antigas turbinas de EUR 0,5 / kWh se torna restrito a turbinas eólicas que foram colocadas em operação antes do ano de 2002.

Para as usinas eólicas instaladas no mar, a tarifa inicial continua a mesma. A tarifa para turbinas novas é estendida de 2015 para 2018, porém passará a diminuir 7% ao ano, ao invés de 5% após esse período. Outro modo de incentivar o investimento em parques eólicos *offshore*, foi a introdução de um modelo tarifário *feed-in* opcional, que oferece uma tarifa inicial de EUR 0,19 / kWh garantido por oito anos ao invés de EUR 0,15 / kWh por doze anos.

No setor fotovoltaico, o modelo estabelecido em 2009 é mantido. Para limitar o aumento dos pagamentos realizados, uma alteração referente a instalações foi acordada no final de junho de 2012. Os principais componentes desta alteração foram um limite de 52 gigawatt de energia fotovoltaica reembolsada de acordo pela tarifa *feed-in*, uma diminuição extra das tarifas, uma modificação do regime de redução das tarifas em 1% mensal (correspondente a uma taxa de cerca de 10% aa), a introdução de uma nova categoria para instalações de residenciais e a limitação do poder total de uma instalação para 10 megawatt.

As tarifas das instalações de biomassa diminuem de 10% a 15%, em média, em comparação com o EEG 2009. As instalações de biogás passam a ser remuneradas apenas se cumprirem o requisito básicos de pelo menos 60% do calor ser produzido utilizando menos de 40% de outras fontes de energia. Além disso, a eletricidade a partir de biogás pode não se basear em mais de 60% de milho e grãos.

A estrutura tarifária é simplificada e harmonizada, com quatro categorias orientadas para a capacidade. A remuneração adicional é paga de acordo com o tipo de biomassa utilizada como combustível (de EUR 0,025 a 0,08 / kWh). Além disso, se cria uma tarifa especial para as plantas de fermentação de biomassa residual. Um bônus de EUR 0,01 a 0,03 / kWh é pago para processamento e alimentação do biometano.

Durante essa fase iniciada em 2012, a queda contínua no custo de geração de energia solar, eólica e de biomassa aumentou a competitividade do setor frente a fontes tradicionais de

energia. Com isso, o governo pode reduzir alguns incentivos, reduzindo a tarifa paga, um limite de 90% da produção fotovoltaica para o programa e limite de capacidade de produção (FULTON; CAPALINO, 2012).

A emenda de 2014 entrou em vigor em 1º de agosto de 2014. O objetivo da é continuar a implantação constante de energia renovável na Alemanha de uma forma financeiramente eficiente. Para isso, se deseja promover uma maior integração destas fontes com o mercado.

Como forma de aproximar mais o setor de energia renovável ao mercado, os produtores passam a ser obrigados a comercializar a energia produzida de forma independente no mercado ou através de um revendedor. Essa venda poderia contar com um prêmio ao produtor em relação ao valor de mercado. Esse pagamento consiste na tarifa estatutária fixa da respectiva usina de energia renovável menos o valor de mercado mensal específico da tecnologia e seria paga pelo governo apenas nos casos de venda direta.

O sistema de cobrança de tarifas do plano também é sofreu modificações. Em contraste com o EEG 2012, segundo o qual os geradores de energia para consumo próprio não pagavam as taxas do plano, todos os geradores de energia passam a ser cobrados.

As medidas adotadas nesse período obtiveram resultados perceptíveis. Conforme o Gráfico 11, uma queda de dois terços nos custos de produção no período. Esse impacto ainda foi mais relevante pelo fato do período entre 2014 e 2015 ter sido de significativo desenvolvimento do setor fotovoltaico. (MORRIS CRAIG, 2017).

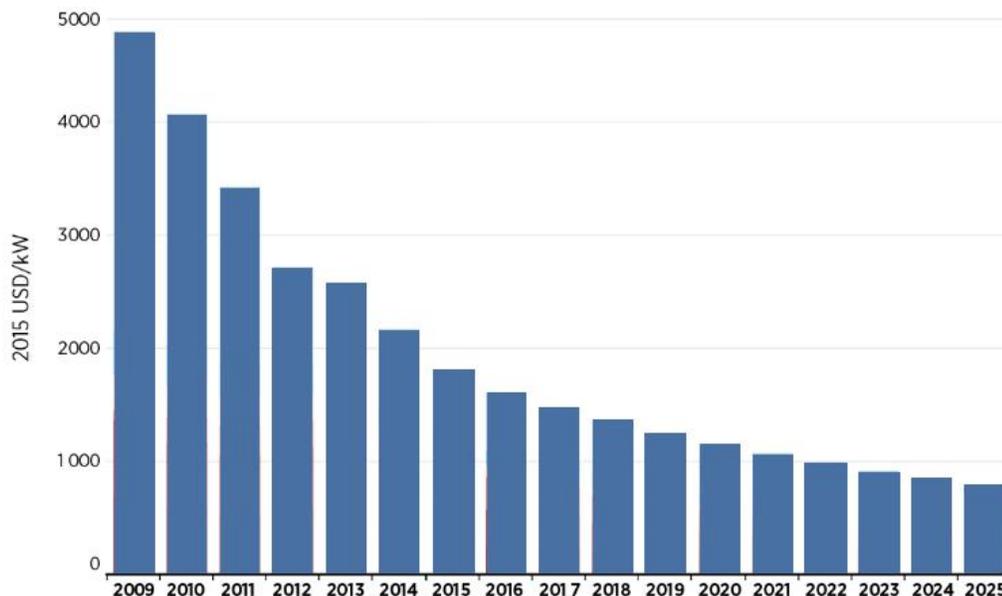


Gráfico 11: Custo Global Médio de Produção Fotovoltaica

Fonte: Irena, 2016.

Em 2017, reforma introduz procedimentos de licitação pública para projetos de produção energia de grande porte nos setores de energia eólica, solar e biomassa, sendo um esforço do país para mudar de um sistema *feed-in* para um mecanismo de busca de preços orientado para o mercado. Com isso, os projetos não serão mais elegíveis para a remuneração pautal estatutária, mas terão que licitá-lo em leilão público organizado e monitorado pela Agência Federal da Rede (*Bundesnetzagentur*). Os projetos bem-sucedidos receberão contratos por duração de 20 anos para a venda da eletricidade produzida pelo preço que eles oferecem durante o processo de leilão.

A Alemanha pretende aumentar a sua quota de renováveis para 40% -45% até 2025, para 55% -60% até 2035 e atingir um mínimo de 80% até 2050, conforme estabelecido no EEG 2014. O EEG 2017 replica esses alvos. A alteração estipula os corredores de capacidade para a implantação da tecnologia, a fim de controlar os volumes de capacidade encomendados a cada ano, da mesma forma realizada no EEG 2014.

Os leilões possuirão regras específicas dependendo da tecnologia em pauta, porém possuem uma estrutura básica similar. As regras gerais são: leilões de capacidade total

instalada e divididos de 3 a 4 *rounds* por ano conduzidos pelo governo; Apenas os preços ofertados serão levados em consideração; As propostas serão aceitas, começando com a menor até que a quantidade de capacidade que está sendo leiloada seja alcançada. O montante do financiamento corresponderá à oferta individual realizada (MASSIG, BEATRIX 2017).

Tabela 2: Regras dos Leilões por Fonte Energética.

Tecnologia	Volume dos Leilões	Regras dos Leilões
Eólica Terrestre	2.8 GW por ano até 2019;	Primeiro leilão em maio de 2017;
	2.9 GW por ano a partir de 2020;	3 a 4 leilões por ano;
		Preço máximo de 0,07 euros por kWh;
		Inscrição até 3 semanas antes do início do leilão;
Eólica Marítima	Total de 15 GW em 2030;	Primeiros leilões em 2017/18 para projetos já existentes;
	3.1 GW no período entre 2015 e 2025;	Os leilões para novos projetos em 2021 deverão ser entregues até 2026;
	4.2 GW no período entre 2026 e 2030;	Preço máximo de 0,12 euros por kWh nos leilões em 2017 e 2018;
		Preço máximo após 2018 determinado pelo lance mais baixo do leilão;
Photovoltáica	0.6 GW por ano a partir de 2017;	Primeiro leilão em fevereiro de 2017;
		3 leilões por ano;
		Preço máximo de 0,0891 euros por kWh;
		Unidades de espaço aberto até 10 MW; outros tipos de projetos até 750 kW;
Biomassa	150 Mw no período entre 2017 e 2019;	Primeiro leilão em setembro de 2017;
	200 MW no período entre 2020 e 2022;	1 leilão por ano;
		Preço máximo de 0,1488 euros por kWh com 1% de queda anual a partir de 2018;
		Capacidade mínima de 150 kW para participar dos leilões;
		Inscrição até 3 semanas antes do início do leilão;

Fonte: IEA, 2016

Segundo a ministra alemã Beatrix Massig, a troca de um sistema de tarifas fixas fixadas pelo governo para um sistema de leilões foi uma forma de aumentar a competitividade

do setor. Para ela, essa mudança irá ajudar a alcançar reduções nos custos de produção e será um incentivo para as inovações no setor (BWE, 2017).

Para a ministra, os leilões realizados no setor fotovoltaico desde 2015 mostram a eficácia desse sistema. Baseado na Tabela 3, ela afirma que o modelo foi altamente eficaz, pois gerou uma intensificação da competitividade no setor, um volume de lances significativamente superior à oferta, uma queda de 28% nas taxas pagas em menos de dois anos, uma alta taxa de implementação, mesmo para as pequenas plantas (BWE, 2017).

Tabela 3: Resultados dos Leilões Fotovoltaicos.

Leilões	15/04/2015	01/08/2015	01/12/2015	01/04/2016	01/08/2016	01/12/2016	01/02/2017
Volume Ofertado	150 MW	150 MW	200 MW	125 MW	125 MW	160 MW	200 MW
Lances (Volume)	715 MW	558 MW	562 MW	539 MW	311 MW	432 MW	488 MW
Lances Ganhos (Volume)	25 (157 WM)	33 (159 WM)	43 (204 WM)	21 (128 WM)	22 (118 WM)	27 (163 WM)	38 (200 WM)
Taxa de Referência ct/kWh	9,17	8,49	8,00	7,41	7,25	6,90	6,58
Taxa de Realização (% da capacidade)	66%	58%	16%	19%	-	-	-

Fonte: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, 2017

Porém, para Hans-Josef Fell (2017), presidente do *Energy Watch Group*, o modelo de leilões traz alguns riscos e potenciais malefícios, dentre os quais destaca:

- Os leilões reduzem massivamente as taxas de expansão das energias renováveis e, portanto, comprometem desnecessariamente a proteção do clima.
- No modelo de leilões, o volume de expansão e o design do concurso são determinados exclusivamente pelo estado, impedindo as forças do mercado livre de acelerar o crescimento da energia renovável e novas inovações.
- As propostas reduzem a diversidade de atores; Os investidores privados, as cooperativas de energia e as PME, em particular, são praticamente impedidos de fazer ofertas, dado os altos requisitos de aplicação.

- As ofertas ajudam a consolidar o poder de mercado das grandes corporações e as empresas estabelecidas da indústria de energia, diminuindo assim a concorrência.
- As propostas diminuem o apoio público ao desenvolvimento de energia renovável, excluindo as comunidades locais do investimento e planejamento de projetos.
- Quando as propostas substituem as tarifas de *feed-in* para investimentos cívicos descentralizados, os volumes de investimento afundam porque uma grande quantidade de investimentos descentralizados e pequenos são eliminados.
- Em geral, as propostas retardam a redução de custos das tecnologias de energia renovável: de acordo com a curva de aprendizado, os custos de investimento específicos diminuem apenas com novos aumentos de volume de mercado.

Essa estratégia adotada pelo governo possibilitou um desenvolvimento rápido do setor sem comprometer com isso a busca dos investidores por uma maior eficiência de custos. No Gráfico 12, é perceptível a o impacto dessa política, tendo inicialmente impactado principalmente a geração eólica e de biomassas e a posteriormente atingindo muito a geração solar devido à queda significativa dos custos.

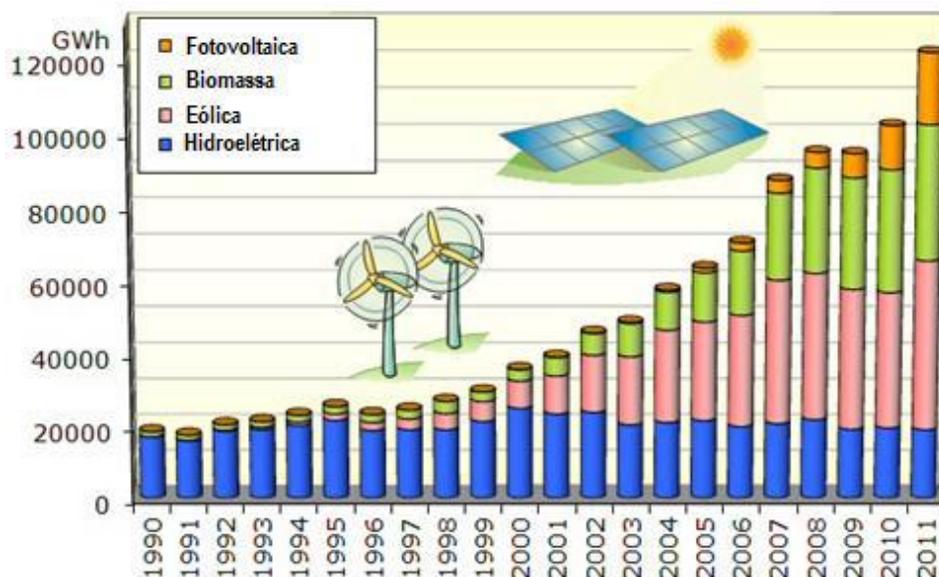


Gráfico 12: Geração Anual por Fonte de Energia Renovável na Alemanha.

Fonte: Clean Technica, 2012.

Essa alta expressiva na geração ainda foi acompanhada por uma baixa progressiva das tarifas garantidas aos produtores, sendo assim uma forma de forçar um corte nos custos de produção através do ganho de eficiência. No Gráfico 13 é perceptível esse movimento, cada mudança no plano levou a uma diminuição nas tarifas garantidas. As atualizações dos últimos anos foram particularmente radicais, demonstrando um ganho significativo de eficiência no setor recentemente devido a sua migração para o sistema de leilões.

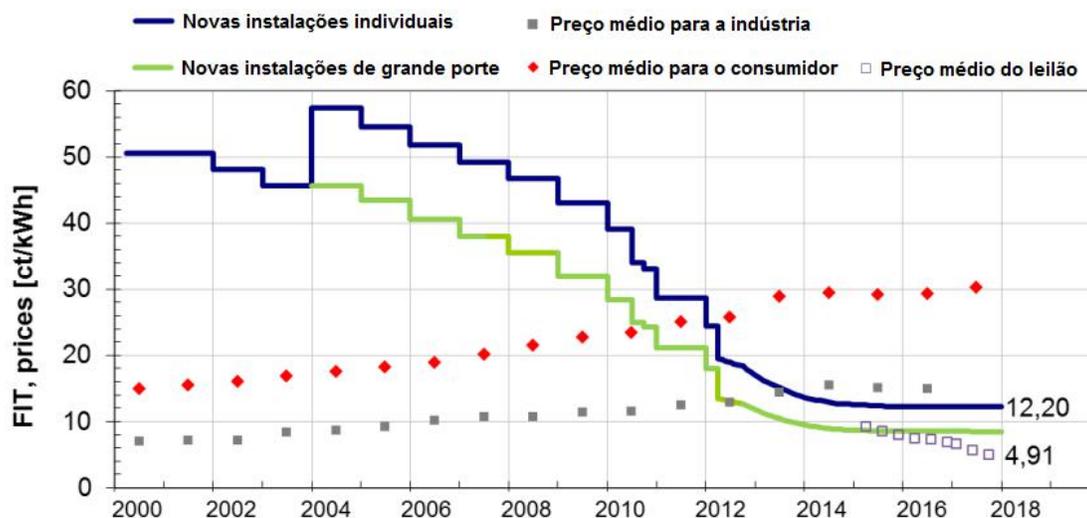


Gráfico 13: Evolução das Tarifas no Modelo Feed-in (2000-2018).

Fonte: Windmonitor Fraunhofer, 2017.

Logo, o modelo implementado pelo governo alemão seguiu uma trajetória constante de mudanças e evoluções e que deve se manter nos próximos anos. Apesar das polêmicas, o plano tem mostrado significativa eficácia em relação às metas, levando as fontes renováveis de apenas 10% da produção energética do país em 2005 para 30% em 2015, tornando-as as principais fontes energéticas do país. Esse aumento de 307% na produção aparenta ser apenas o começo de um longo processo pelo qual o país vem percorrendo (MASSIG; BEATRIX, 2017).

4. Resultados

4.1 Custo ao Consumidor

Um dos impactos do processo de transição alemão que mais gerou críticas foi a questão do seu custo aos consumidores e seu impactos quanto a competitividade das indústrias do país. No Gráfico 14, pode-se observar um aumento de cerca de 110% no custo por quilowatts de energia desde que o plano efetivamente foi iniciado em 2000. Nesse mesmo período, o custo dessa política sobre o preço final passou de apenas 1% para 24% em 2017.

Parte dessa alta nos custos se deve ao fato de que uma grande parte das usinas convencionais perdeu substancial parte de sua demanda, porém precisam ser sustentadas para compensar a intermitência da energia eólica e solar, já que o armazenamento de eletricidade renovável é muito volátil e por isso não é rentável. Além disso, a eletricidade produzida pelas instalações de energia eólica no norte e leste da Alemanha deve ser transportada para as regiões mais industrializado no oeste e sul o país, encarecendo o processo (ANDOR, MARK 2017).

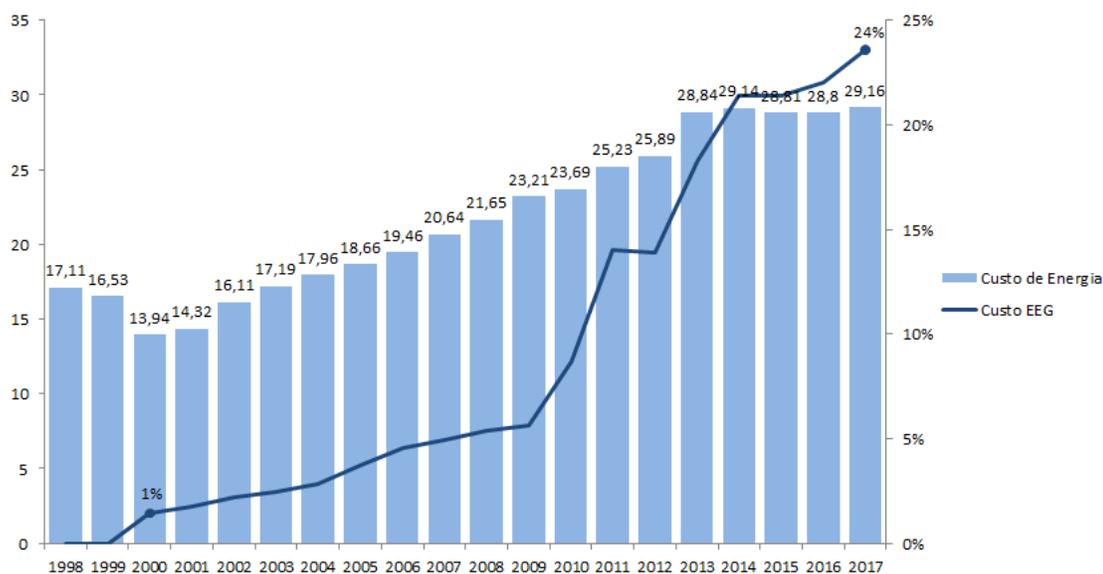


Gráfico 14: Custo de Energia na Alemanha (centavos/kWh).

Fonte: BDEW, 2017.

O Gráfico 15 indica, porém que esse processo de altas nos preços se deu principalmente entre 2002 e 2013, apresentando uma estabilidade significativa nos anos seguintes. Essa melhora em muito se deve a diminuição gradual das tarifas pagas as usinas geradoras de energias renováveis, conforme o visto do Gráfico 13 e ao ganho de eficiência ao longo do processo, levando, por exemplo, a um custo de produção de energia fotovoltaica consideravelmente inferior ao de outros países como os Estados Unidos, conforme o Gráfico 15.

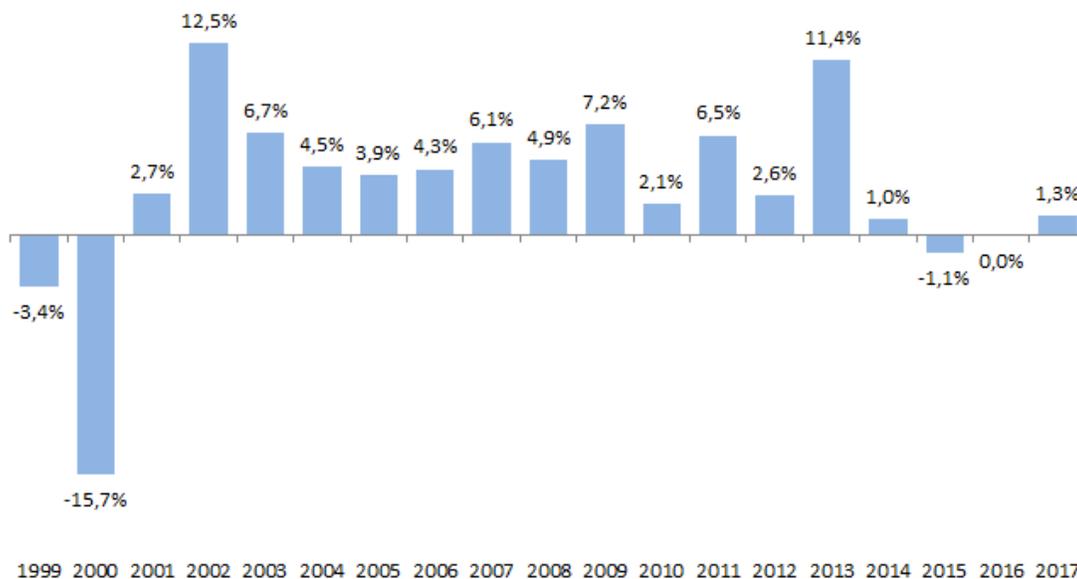


Gráfico 15: Evolução do Custo de Energia Alemão.

Fonte: BDEW, 2017.

O aumento desta sobretaxa é particularmente verificado entre 2009 e 2014, um período que coincide com a grande expansão das capacidades fotovoltaicas no país. Na Tabela 4 é perceptível o crescente aumento da capacidade no período, sendo com isso responsável pela quase duplicação dos subsídios médios por kWh. Essa fonte energética, embora compreendam cerca de 6% da produção anual de eletricidade da Alemanha, responde por cerca de 40% do total dos custos líquidos do processo, de longe a maior participação de custos entre todas as tecnologias alternativas (ANDOR, MARK 2017).

Tabela 4: Variação na Capacidade de Geração Energética em Gigawatts

Ano	Hidro	Eólica (Continente)	Eólica (Oceano)	Solar	Biomassa	Capacidade Renovável	Capacidade Convencional
2000	4.83	6.10	–	0.11	0.70	11.75	109.9
2001	4.83	8.74	–	0.18	0.83	14.57	107.9
2002	4.94	11.98	–	0.30	1.03	18.24	106.5
2003	4.95	14.59	–	0.44	1.43	21.41	105.6
2004	5.19	16.61	–	1,11	1.69	24.59	106.0
2005	5.21	18.38	–	2.06	2.35	27.99	107.0
2006	5.19	20.57	–	2.90	3.01	31.67	107.6
2007	5.14	22.18	–	4.17	3.50	34.99	110.2
2008	5.16	23.82	–	6.12	3.92	39.02	110.4
2009	5.34	25.63	0.06	10.57	4.55	46.14	111.4
2010	5.41	27.01	0.17	17.94	5.09	55.61	111.6
2011	5.63	28.86	0.20	25.43	5.77	65.87	103.2
2012	5.61	31.00	0.31	33.03	6.18	76.10	102.1
2013	5.59	33.76	0.51	36.34	6.52	82.71	103.9
2014	5.61	38.16	1.04	38.24	6.87	89.91	104.3
2015	5.58	40.99	2.79	39.70	8.86	97.92	104.1

Fonte: ANDOR, MARK 2017.

Esse período de alta significativa nos preços gerou questionamentos acerca dos impactos frente a competitividade internacional do país. Apesar de ter se tornado um dos países com o maior custo nominal de energia no mundo, o Gráfico 16 indica que o país ainda se encontra em uma posição confortável internacionalmente quando avaliamos em termos de custo energético para produzir um produto no país em relação ao percentual de valor agregado gerado industrialmente. Isso em parte pode ser justificado por uma maior eficiência das fábricas alemãs, pois assim como ocorre nos Estados Unidos, o alto custo de energia acaba se tornando um incentivo ao corte de desperdícios (MORRIS; CRAIG, 2015).

Outro ponto que inibiu uma deterioração em relação à competitividade internacional foram as isenções e deduções concedidas as indústrias mais intensivas em energia elétrica. Enquanto o consumidor final pagam impostos de em média de €20.5/MWh, as indústrias podem receber uma isenção de até 90%. Somado a isso, as outras sobretaxas relativas ao EEG

também são deduzias para alguns setores da indústria, gerando um quadro em que o consumidor final paga cerca de €89.00/MWh em impostos e taxas, enquanto as indústrias pagam em média €4.00/MWh (MATTHES; FELIX, 2017).

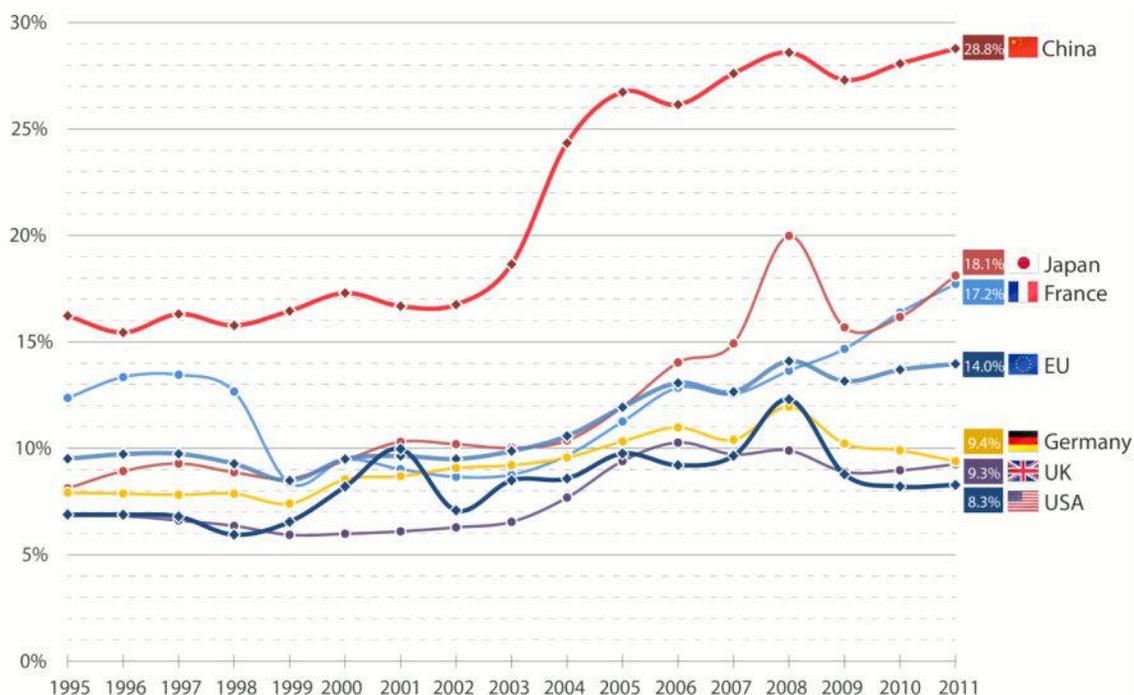


Gráfico 16: Custo Unitário de Energia por Valor Gerado Industrialmente.

Fonte: WIOD, 2015.

Contrariamente à primeira impressão, a experiência da Alemanha com a Energiewende não aponta que a transição energética em um país industrializado deva necessariamente ser um processo caro e que coloca um pesado encargo financeiro sobre os consumidores de modo a prejudicar a competitividade do país. Na verdade, a conclusão é o oposto, pelo menos na Alemanha, o processo de transição não apresenta um custo muito alto. Embora este resultado, é claro, não possa ser traduzido para outros países como tal, ele deve ser considerado algo encorajador para os governos que anseiam metas similares (UNNERSTALL; THOMAS, 2017).

4.2 Matriz Energética

Em relação à matriz energética alemã, os impactos já são perceptíveis. No Gráfico 17, nota-se que as energias renováveis passaram de cerca de 7% da produção em 2000 para mais de 30% em 2017. No sentido oposto, a energia nuclear recuou de cerca de 30% para cerca de 10%. Logo, nesse campo, o plano tem mostrado razoável eficácia, efetivamente realizando uma transição de largas escalas na economia até o momento e se encontra próximo de seu primeiro objetivo de alcançar 35% da produção via fontes energéticas até 2020.

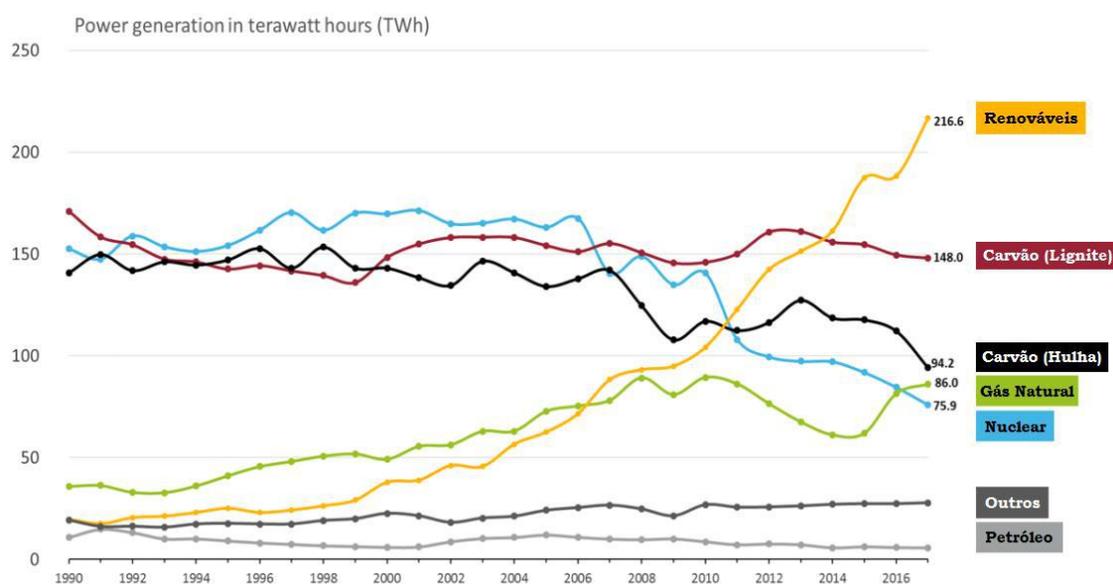


Gráfico 17: Produção Energética Alemã (1990-2017).

Fonte: AG Energiebilanzen, 2017.

Porém, no Gráfico 18 é perceptível que as fontes fósseis mantiveram razoavelmente estáveis a sua participação no mercado alemão, apesar do aumento da participação das fontes renováveis. Na visão de Jan Kowalzig, o problema foi que o plano focou muito na substituição das fontes nucleares e por isso não surtiu tantos efeitos em fontes mais poluentes como o petróleo e o carvão. Logo, para se atingir as metas se deveria iniciar um novo plano focado em uma substituição substancial de fontes fósseis (WEHRMANN; BENJAMIN, 2017).

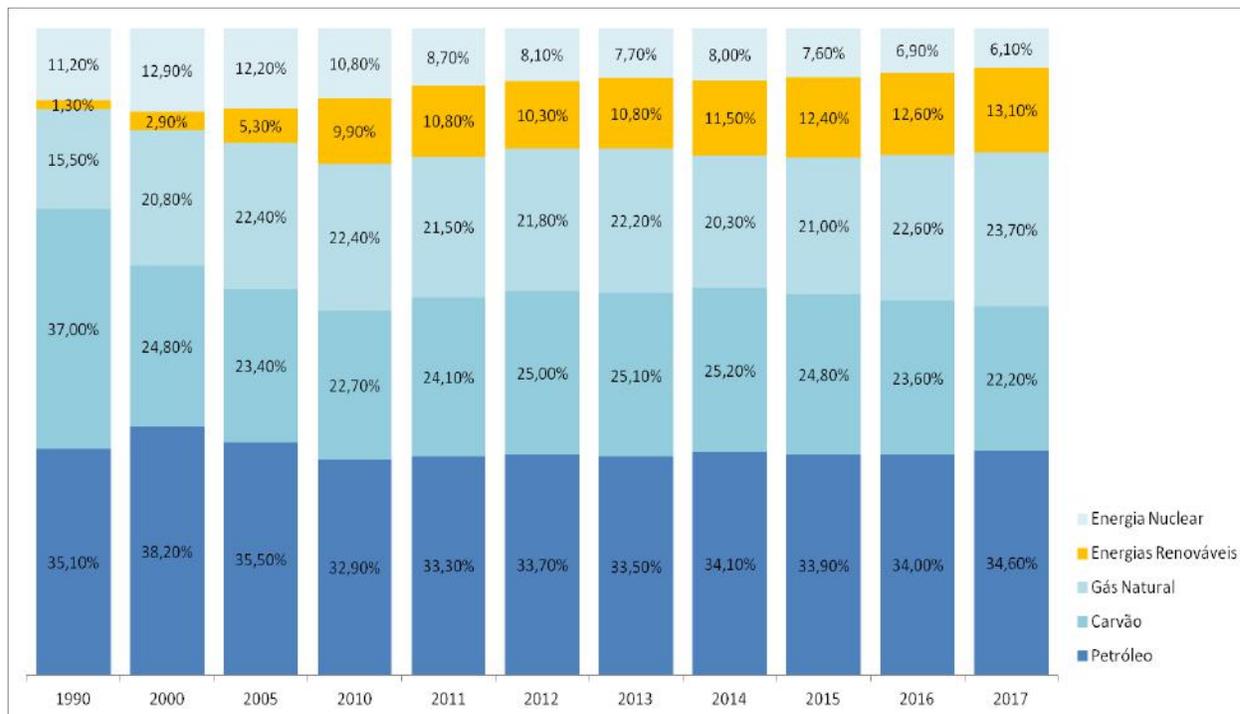


Gráfico 18: Consumo Energético Alemão (1990-2017).

Fonte: AG Energiebilanzen, 2017.

Segundo a consultoria McKinsey (2017), a principal dificuldade do país nesse processo de transição se deve a alta dependência da estrutura energética ao carvão e ao aumento de sua relevância com a saída da energia nuclear. Essa deficiência fez com o que a empresa enquadrasse a Alemanha apenas em 61º do mundo em relação à proteção ambiental e climática.

Logo, apesar do expressivo desenvolvimento do setor de energias renováveis, o plano acabou focando muito em substituir as fontes de energia nuclear, permitindo que as fontes fósseis perpetuassem a sua significativa participação na matriz energética alemã. Esse quadro é negativo, pois mantém a dependência externa do país e impede um combate mais eficaz a poluição gerada no país.

4.3 Emissão de Gases Poluentes

Apesar do aparente sucesso no plano Alemão, o ritmo de corte na redução da emissão de gases de efeito estufa ainda parece aquém do esperado, dado o objetivo de reduzir 40% da emissão até 2020. Na Tabela 4, é perceptível que o ritmo de queda foi mais lento do que o esperado. Por esse motivo, o ministro de meio ambiente alemão estimou que será alcançado apenas 32% de corte até 2020. Segundo ele, este resultado abaixo do esperado é uma significativa derrota para a política ambiental alemã (AMELANG, WEHRMANN & WETTENGEL, 2017).

Segundo a Agencia Federal de Meio Ambiente da Alemanha, esse quadro foi afetado por um aumento da poluição no setor de transporte e pela ocorrência de invernos mais frios nos últimos anos. Esse fraco resultado do setor de transportes é perceptível na Tabela 4, dado que foi o único setor que aumentou a emissão de gases no período. Por esse motivo, consideram que para se buscar as metas do plano seria necessário tomar medidas mais drásticas no setor automotivo, como o banimento de carros movidos à gasolina (WEHRMANN; BENJAMIN, 2017).

Tabela 5: Variação na Emissão de Gases Poluentes

Emissão de Gases Poluentes (Base 1990)	1991	1996	2001	2006	2011	2016	Meta 2020	Estimativa Gov.	Meta 2030
Agricultura	-10%	-15%	-16%	-21%	-19%	-16%			-31%/-34%
Indústria - Outros	-4%	-1%	-24%	-22%	-36%	-37%			-49%/-51%
Domiciliar	1%	9%	-8%	-14%	-31%	-33%			-61%/-62%
Manufatura e Construção	-12%	-27%	-34%	-36%	-33%	-32%			-66%/-67%
Transporte	2%	9%	12%	-4%	-5%	1%			-40%/-42%
Indústrias Intensivas em Energia	-3%	-12%	-13%	-11%	-17%	-22%			-49%/-51%
Total	-4%	-6%	-15%	-20%	-26%	-28%	-40%	-32%	-55%/-56%

Fonte: Clean Energy Wire, 2017.

Outra razão para esse quadro é o fato de que o aumento expressivo na produção de energias renováveis terem gerado uma queda no preço de mercado da energia elétrica, retirando do mercado de fontes fósseis mais caras como o gás natural, porém abrindo mercado para fontes mais poluentes e mais baratas como o carvão. Logo, a resposta do mercado a esse

excesso de demanda acaba favorecendo fontes mais poluentes dentre as energias não renováveis, anulando parte do efeito gerado pelas energias renováveis, conforme visto na seção 4.2 (PEGELS; ANNA, 2017).

Logo, nesse quesito o plano não tem se mostrado suficientemente eficaz e segundo especialistas no assunto, o único meio de se conseguir um corte mais radical no nível de poluição seria se fechando as usinas mais poluentes de carvão. Apesar do quadro negativo, a chanceler Angela Merkel (2017) se comprometeu e encontrar maneiras para cumprir as metas originalmente determinadas, porém ainda é incerto quais medidas serão tomadas (AMELANG, WEHRMANN & WETTENGEL, 2017).

4.4 Quadro Geral

Analisando o plano em linhas gerais, os seus impactos do plano sobre a economia, o consumo e o nível de poluição do país mostram razoável consistência. No Gráfico 19, é realizada uma análise a cerca da evolução dessas três variáveis desde 1990 até os dias atuais. Neste, pode-se notar que apesar de um crescimento de 46,6% da economia no período, o consumo energético da economia diminuiu cerca de 10% e a emissão de gases de efeito estufa em cerca de 30%. Logo, o plano além de não aparentar ter gerado impactos negativos sobre a economia, permitiu que o relativamente acelerado crescimento da economia ocorresse de forma mais sustentável em termos de impactos sobre o meio ambiente.

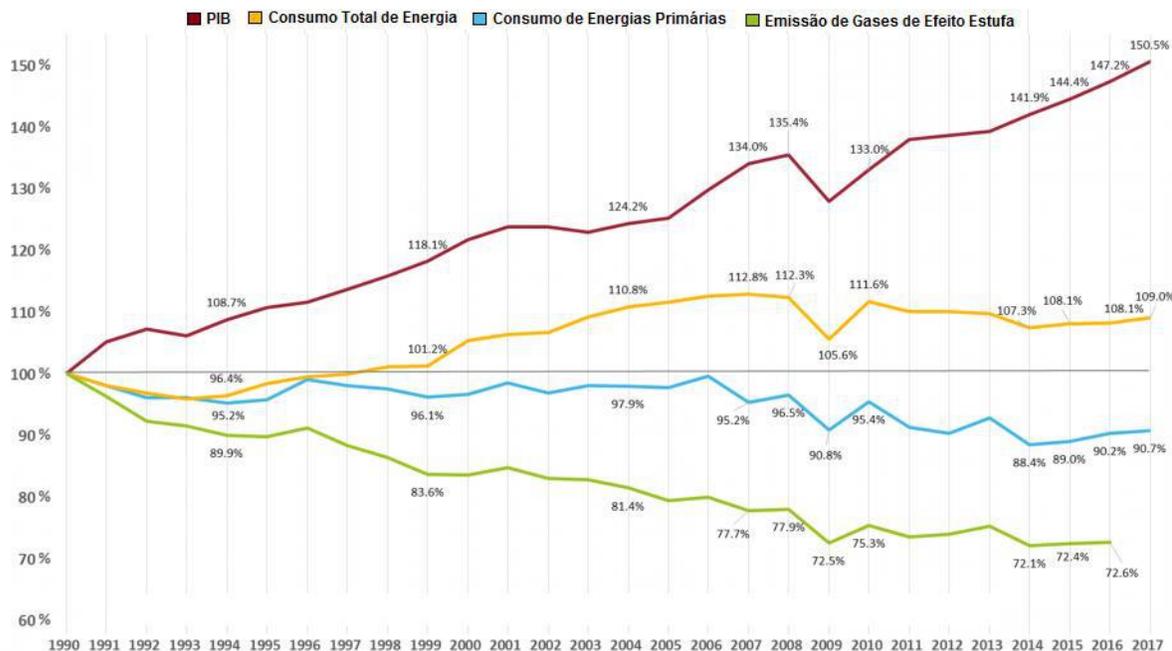


Gráfico 19: Quadro Geral Alemão (1990-2016).

Fonte: AG Energiebilanzen, 2017.

Com o intuito de realizar uma análise mais completa do plano, a consultoria McKinsey (2017) realiza semestralmente uma análise sobre o processo, criando um Índice de Transição de Energia a cerca de três dimensões: proteção ambiental, segurança de abastecimento e eficiência econômica. Para isso, um total de 14 indicadores são analisados de acordo com a probabilidade de alcançarem os objetivos planejados até 2020.

A conclusão do estudo foi de que apenas 5 dos 14 números-chave foram classificados como "realistas" em termos de alcançar seus objetivos: nas áreas de eletricidade de energias renováveis, empregos em indústrias de uso intensivo de energia, empregos em energias renováveis, margens de reserva garantidas e quedas de energia. A realização do objetivo é "pouco realista" para oito indicadores: emissões de CO₂, energia primária e consumo de eletricidade, custos para intervenções de rede, preços de eletricidade domésticos e industriais, impostos EEG e expansão de redes de transporte (MCKINSEY&COMPANY, 2017).

Apesar dos problemas nesse processo, uma pesquisa do *Institute of Advanced Sustainability* (2017) mostrou que o plano ainda conta com significativo apoio popular. Segundo o estudo, 89% da população acha o plano positivo, sendo que apenas 3% se mostram estritamente contrários ao processo. Porém, há certa divergência quanto a quem deveria arcar por isso. Apenas 15% da população concordam com o modelo de repasse para os consumidores finais, sendo que 60% consideram que o correto seria se cobrar das companhias mais poluentes e 21% que deveria sair dos cofres públicos (SETTON & MATUSCHKE 2017).

Logo, apesar de um quadro geral positivo e dos seus impactos sobre a economia e sociedade, ainda há muitos pontos a serem melhorados no plano a fim de se atingir as metas proposta. É necessário se focar mais em quesitos como a emissão de gases de poluentes e em uma redução no consumo energético do país a fim de se tornar uma economia mais sustentável e com isso conseguir atingir as ambiciosas metas propostas. Além disso, é essencial que haja um controle maior dos custos ao consumidor a fim de não permitir um novo ciclo de aumentos como ocorrido no início do processo.

5. Conclusão

A Alemanha se destaca mundialmente em seu processo de utilização de fontes renováveis de geração de energia. Dado a rapidez e intensidade dessa substituição às fontes tradicionais, diversas barreiras acabaram surgindo e foram devidamente combatidas pelo governo, que se manteve focado na criação de modos de financiamento e inclusão dessas fontes no mercado energético nacional. Esse modelo, tem se mostrado eficiente na transformação deste mercado, outrora dominado por fontes convencionais, como o gás natural e o petróleo, sem com isso prejudicar a economia ou a sociedade alemã.

O aparente sucesso do *Energiewende* serviu como inspiração para criação de políticas semelhantes em diversos países. A praticidade e eficiência do modelo *feed-in* fez com que este passasse a ser amplamente utilizado mundialmente. Segundo Julieta Schallenberg-Rodriguez, nos últimos anos diversos países migraram para esse tipo de política, o tornando um modelo amplamente difundido de incentivo à energia renovável. Logo, muitos países seguiram a Alemanha no sentido de realizar incentivos cada vez maiores para a utilização de fontes não poluentes (Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2017).

Ao longo desse processo iniciado em 1991, diversas modificações foram realizadas de modo a adaptar o plano aos contextos internos e externos nos quais o país se encontrava. Essas reformulações já ocorreram cinco vezes ao longo das duas últimas décadas, contudo ainda mais devem ocorrer nos próximos anos dado o pioneirismo e caráter evolutivo do processo. Essa postura é de grande importância dado que é um processo que afeta significativamente diversos setores da economia.

Uma das medidas mais recentes nesse sentido foi à transição do plano para um modelo de leilões. Esse movimento foi um modo de aproximar mais o setor de energias renováveis ao mercado. Segundo a ministra Breatrix Massig, essa é uma forma de retirar das mãos do governo o sistema e permitir que as forças de mercado atuem, promovendo assim uma maior eficiência e menor custo (BWE, 2017).

Este movimento é relevante visto que a Alemanha possui uma posição importante na economia mundial e que a transição para as fontes renováveis detêm papel-chave na estratégia de longo prazo da economia. Logo, é importante conseguir fazer com que a inclusão destas fontes não gere impactos negativos na base econômica e social do país. Além disso, é de grande relevância um foco maior no combate a emissão de gases poluentes e no controle de custos ao consumidor a fim de atingir todos os objetivos propostos e manter o apoio popular ao plano.

Logo, a Alemanha se encontra em um longo processo de transição e que apesar do sucesso aparente, ainda enfrentará diversos desafios até que alcance efetivamente o que almeja. Por esse motivo, é primordial que o governo mantenha a sua postura e motivação, servindo de exemplo para que diversos outros países consigam percorrer o mesmo caminho e com isso possamos migrar gradualmente para um mundo mais autossustentável.

6. Bibliografia

AG ENERGIEBILANZEN. **Energieverbrauch steigt 2017 leicht an.** 2017. Disponível em: <<https://www.ag-energiebilanzen.de/>>. Acesso em: 15 jan. 2018.

AG ENERGIEBILANZEN. **Auswertungstabellen.** 2017. Disponível em: <<https://www.ag-energiebilanzen.de/10-0-Auswertungstabellen.html>>. Acesso em: 10 fev. 2018.

AG ENERGIEBILANZEN. "Evaluation Tables of the Energy Balance for Germany." Ag Energiebilanzen (2017).

AMANDA MARTON. Arch Daily. **Alemanha bate recorde em geração de energia renovável.** 2016. Disponível em: <<http://www.archdaily.com.br/br/791680/alemanha-bate-recorde-em-geracao-de-energia-renovavel>>. Acesso em: 19 maio 2017.

AMELANG SOREN, WEHRMANN BENJAMIN AND WETTENGEL JULIAN. Clean Energy Wire. **Germany's energy use and emissions likely to rise yet again in 2017.** 2017. Disponível em: <<https://www.cleanenergywire.org/news/germanys-energy-use-and-emissions-likely-rise-yet-again-2017>>. Acesso em: 13 nov. 2017.

ANDOR, MARK, MANUEL FRONDEL, AND COLIN VANCE. "Germany's Energiewende: A Tale of Increasing Costs and Decreasing Willingness-To-Pay." (2017).

ANDREWS, JOHN AND JELLY, NICK. "Energy Science: Principles, technologies and impacts." Oxford (2017).

APPUNN KERSTINE. Clean Energy Wire. **The History Behind Germany's Nuclear Phase-Out.** 2018. Disponível em: <<https://www.cleanenergywire.org/factsheets/history-behind-germanys-nuclear-phase-out>>. Acesso em: 14 março 2018.

ASHTON, THOMAS SOUTHCLIFFE. "The industrial revolution 1760-1830." OUP Catalogue (1997).

BARRETI, B. "A transição energética na Alemanha: possibilidades e limites para a utilização de fontes renováveis", UFRJ, Rio de Janeiro (2015).

BAUMANN, FLORIAN. "Energy Security as multidimensional concept." (2008): 16.

BUNDESMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT UND ENERGIE (BWE). "Die Energie der Zukunft". BWE (2015).

BICALHO AND QUEIROZ. "Segurança Energética e Mudança Climática: Estruturando o Debate Energético." Centro de Excelência em Economia da Energia: Rio de Janeiro (2012).

BMW, B. M. U. "The Federal government's energy concept of 2010 and the transformation of the energy system of 2011." Federal Ministry of Economics and Technology and Federal Ministry for the Environment, Berlin (2011).

BNETZA BUNDESNETZAGENTUR, Bundeskartellamt. "Monitoringbericht 2015." (2016).

BRUNO CALIXTO. *Época. A aposta da Alemanha na energia nuclear*. 2017. Disponível em: <http://epoca.globo.com/ciencia-e-meio-ambiente/blog-do-planeta/noticia/2017/06/aposta-da-alemanha-em-energia-solar.html>. Acesso em: 12 out. 2017.

CARBON BRIEF. *The Energiewende: An introductory look at Germany's energy transformation*. 2013. Disponível em: <https://www.carbonbrief.org/the-energiewende-an-introductory-look-at-germanys-energy-transformation>. Acesso em: 15 jul. 2017.

CARNEGIE MELLON UNIVERSITY. *History of the Energy System*. 2003. Disponível em: <http://environ.andrew.cmu.edu/m3/s3/01history.shtml>. Acesso em: 15 mar. 2018.

CENTRAL INTELLIGENCE AGENCY. *The World Factbook*. 2015. Disponível em: <https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/>. Acesso em 15 dez. 2017.

CORNFELD, JOSH AND WERNER, CAROLINA. "Feed-in Tariffs.". Environmental and Energy Study Institute (2010).

CRAIG MORRIS. Energy Transition: The Global Energiewende. **Solar twice as expensive in US as in Germany.** 2015. Disponível em: <<https://energytransition.org/2015/05/solar-twice-as-expensive-in-us-as-in-germany/>>. Acesso em: 11 maio 2017.

CRAIG MORRIS. Reneweconomy. **Energy prices are not making Germany uncompetitive.** 2015. Disponível em: <<http://reneweconomy.com.au/energy-prices-not-making-germany-uncompetitive-71790/>>. Acesso em: 08 fev. 2018.

DW. **Catástrofe de Fukushima selou fim da energia nuclear na Alemanha.** 2011. Disponível em: <<http://www.dw.com/pt-br/cat%C3%A1strofe-de-fukushima-selou-fim-da-energia-nuclear-na-alemanha/a-15626283>>. Acesso em 15 jun. 2017.

DW. **Germany's nuclear phase-out explained.** 2017. <<http://www.dw.com/en/germanys-nuclear-phase-out-explained/a-39171204>>. Acessado em 17 ago. 2017.

DW. **The Rise and Fall of Germany's Coal Mining Industry.** 2007. Disponível em: <<http://www.dw.com/en/the-rise-and-fall-of-germanys-coal-mining-industry/a-2331545>>. Acesso em 10 jun. 2017.

ELLEN THALMAN. Clean Energy Wire. **What German households pay for power.** 2017. Disponível em: <<https://www.cleanenergywire.org/factsheets/what-german-households-pay-power>>. Acesso em: 20 jan. 2018.

ENERGIEWENDE, AGORA. "Understanding the Energiewende." FAQ on the Ongoing Transition of the German Power System. Agora Energiewende, Berlin (2015).

ERBACH, GREGOR. "EU position for COP 21 climate change conference." European Parliament Research Service (2015).

FELL, HANS-JOSEF. "The shift from feed-in-tariffs to tenders is hindering the transformation of the global energy supply to renewable energies." (2017).

FLAUGER, JÜRGEN AND STRATMANN, KLAUS. "Alemanha é modelo de mudança energética." Valor Econômico, São Paulo (2015).

FRAUNHOFER ISE. **Net Installed Generation Capacity in Germany**. 2018. Disponível em: <https://www.energy-charts.de/power_inst.htm>. Acesso em: 25 jan. 2018.

FULTON, MARK, REID CAPALINO, AND JOSEF AUER. "The German feed-in tariff: recent policy changes." Deutsche Bank Group (2012).

GAIL TVERBERG. Our Finite World. **World Energy Consumption Since 1820 in Charts**. 2012. Disponível em: <<https://ourfiniteworld.com/2012/03/12/world-energy-consumption-since-1820-in-charts/>>. Acesso em: 20 jun. 2017.

GAIL TVERBERG. The Oil Drum. **Why Maltus Got His Forecast Wrong**. 2013. Disponível em: <<http://www.theoil Drum.com/node/9718/>>. Acesso em: 20 jul. 2017.

GERMESHUSEN, ROBERT AND LOSCHEL, ANDREAS. "Energiestückkosten und Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Industrie. Ein internationaler und sektoraler Vergleich." World Input-Output Database (2015).

GOLDEMBERG, JOSÉ, AND STEVEN, CHUA. "Um futuro com energia sustentável: iluminando o caminho." FAPESP, Inter Academy Council (2010).

GOLDTHAU, ANDREAS. "The Handbook of Global Energy Policy." Wiley-Blackwell (2013).

HAKE, JÜRGEN-FRIEDRICH, WOLFGANG FISCHER, SANDRA VENGHAUS, AND CHRISTOPH WECKENBROCK. "The German Energiewende—history and status quo." *Energy* 92 (2015): 532-546.

HOCKENOS, PAUL. Clean Energy Wire. **The history of the Energiewende**. 2015. Disponível em: <<https://www.cleanenergywire.org/dossiers/history-energiewende>>. Acesso em 07 nov. 2017.

INDEX MUNDI. **Natural Gas – imports (cubic meters)**. 2015. Disponível em: <<https://www.indexmundi.com/g/g.aspx?v=139&c=gm&l=en>>. Acesso em 20 ago. 2017.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. "The power of transformation: Wind, sun and the economics of flexible power systems." IEA (2014).

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. "Energy Access Outlook 2017." IEA (2017).

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. "Energy Policies of IEA Countries: Germany." IEA (2013).

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. "Oil & Gas Security. Emergency Response of IEA Countries: Germany." IEA (2012).

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **2004 Amendment of the Renewable Energy Sources Act (EEG 2004)**. 2016. Disponível em: <<https://www.iea.org/policiesandmeasures/pams/germany/name-22369-en.php>>. Acesso em: 03 dez. 2017.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **2009 Amendment of the Renewable Energy Sources Act (EEG 2009)**. 2016. Disponível em: <<https://www.iea.org/policiesandmeasures/pams/germany/name-24289-en.php>>. Acesso em: 03 dez. 2017.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **2012 Amendment of the Renewable Energy Sources Act (EEG 2012)**. 2016. Disponível em: <<https://www.iea.org/policiesandmeasures/pams/germany/name-145053-en.php>>. Acesso em: 03 dez. 2017.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **2014 Amendment of the Renewable Energy Sources Act (EEG 2014)**. 2016. Disponível em: <<https://www.iea.org/policiesandmeasures/pams/germany/name-145053-en.php>>. Acesso em: 05 dez. 2017.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **2017 Amendment of the Renewable Energy Sources Act (EEG 2017)**. 2016. Disponível em: <<https://www.iea.org/policiesandmeasures/pams/germany/name-158567-en.php>>. Acesso em: 03 dez. 2017.

JULIAN WETTENGEL. Clean Energy Wire. **A (very) brief timeline of Germany's Energiewende**. 2017. Disponível em: <<https://www.cleanenergywire.org/factsheets/very-brief-timeline-germanys-energiewende>>. Acesso em: 07 nov. 2017.

JUSTIN GILLIS. Gazeta do Povo. **Sol e vento alteram a equação energética na Alemanha**. 2014. Disponível em: <<http://www.gazetadopovo.com.br/mundo/new-york-times/sol-e-vento-alteram-a-equacao-energetica-na-alemanha-edymbgdpki9ylw8ltez7n2qd72>>. Acesso em: 01 dez. 2017.

KERSTINE APPUNN. Clean Energy Wire. **Comparing old and new: Changes to Germany's Renewable Energy Act**. 2014. Disponível em: <<https://www.cleanenergywire.org/factsheets/comparing-old-and-new-changes-germanys-renewable-energy-act>>. Acesso em: 01 ago. 2017.

KERSTINE APPUNN. Clean Energy Wire. **The history behind Germany's nuclear phase-out**. 2017. Disponível em: <<https://www.cleanenergywire.org/factsheets/history-behind-germanys-nuclear-phase-out>>. Acesso em: 02 out. 2017.

J CHERNI, B DALEY, A DORWARD, S GUENDEL, J MACARTNEY AND V NELSON. SOAS University of London. **Climate Change and Development: A brief history of climate change policy**. 2014. https://www.soas.ac.uk/cedep-demos/000_P524_CCD_K3736-Demo/unit1/page_14.htm>. Acesso em: 19 mar. 2018.

JURCA, ANNA MILENA. "The Energiewende: Germany's Transition to an Economy Fueled by Renewables." *Geo. Int'l Env'tl. L. Rev.* 27 (2014): 141.

LANG, MATTHIAS AND LANG, ANNETTE. "Overview Renewable Energy Sources Act." *German Energy Blog* (2017).

MASSIG, BEATRIX. "2017 German Renewable Energy Law (EEg 2017) and cross-border renewable energy tenders." *Bundesministerium für Wirtschaft und Energie* (2017).

MATTHES, FELIX. "The current electricity costs of energy-intensive industries in Germany." *European Free Alliance* (2017).

McKinsey&Company. "Energiewende: Aktuell nur fünf von 14 Zielindikatoren auf Kurs". *McKinsey&Company* (2017).

Mitsubishi Heavy Industries. **History of Fossil Fuel Usage since the Industrial Revolution**. 2010. Disponível em: <<http://www.mhi.com/discover/earth/issue/history/history.html>>. Acesso em: 05 abr. 2017.

MORRIS, CRAIG, AND MARTIN PEHNT. "Energy Transition: The German Energiewende." *Heinrich Böll Stiftung* (2012).

Morris, Craig. "The state of auctions in Germany." *The German Energiewende Book* (2017).

NEUER STROMEXPORT. *Agora Energiewende*. **Primary energy consumption in West Germany in 1950-1990 in million tonnes of hard coal equivalent**. 2015. Disponível em:

<<http://www.agora-energiawende.de/de/presse/agoranews/news-detail/news/1-neuer-rekord-beim-stromexport/News/detail/>>. Acesso em: 20 nov. 2017.

OLEJARNIK, PAWEŁ. "World Energy Outlook 2013." International Energy Agency: France (2013).

PABLO-ROMERO, MARÍA DEL P., ANTONIO SÁNCHEZ-BRAZA, JESÚS SALVADOR-PONCE, AND NATALIA SÁNCHEZ-LABRADOR. "An overview of feed-in tariffs, premiums and tenders to promote electricity from biogas in the EU-28." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 73 (2017): 1366-1379.

PEGELS, ANNA. "Germany: The energy transition as a green industrial development agenda." *Green Industrial Policy* (2017).

PUNDA, LUKA, TOMISLAV CAPUDER, HRVOJE PANDŽIĆ, AND MARKO DELIMAR. "Integration of renewable energy sources in southeast Europe: A review of incentive mechanisms and feasibility of investments." *Renewable and Sustainable Energy*.

REVEL, DANIÈLE. "Energy Policies of IEA Countries: Germany 2013." International Energy Agency (2013).

RODRIGUE, JEAN-PAUL. *The Geography of Transport System. Transport and Energy*. 2017. Disponível em: <https://transportgeography.org/?page_id=5717>. Acesso em: 30 jun. 2017.

SCHALLENBERG-RODRIGUEZ, JULIETA. "Renewable electricity support systems: Are feed-in systems taking the lead?." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 76 (2017): 1422-1439.

SETTON, DANIELA AND MATUSCHKE, IRA. Institute for Advanced sustainability Studies (IASS). **Social Sustainability Barometer for the Energiewende Shows Broad**

Support along with Doubts about Implementation. 2017. Disponível em: <<https://www.iass-potsdam.de/en/news/social-sustainability-barometer-energiewende-shows-broad-support-along-doubts-about>>. Acesso em: 20 mar. 2018.

SMIL, VACLAV. "World history and energy." *Encyclopedia of energy* 6 (2004): 549-561.

TESKE, Sven. "[R] evolução energética: a caminho do desenvolvimento limpo." (2013).

Unnerstall, Thomas. "How expensive is an energy transition? A lesson from the German Energiewende." *Energy, Sustainability and Society* 7, no. 1 (2017): 38.

UNCHRONICLE. **From Stockholm to Kyoto: A Brief History of Climate Change.** 2007. Disponível em: <<https://unchronicle.un.org/article/stockholm-kyoto-brief-history-climate-change>>. Acesso em: 19 mar. 2018.

WEHRMANN, BENJAMIN. "Germany heads for "spectacular" 2020 climate target miss – study." *Clean Energy Wire*, 2017.

WIRTH, HARRY AND SCHNEIDER, KARIN. "Recent facts about photovoltaics in Germany." Report from Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems, Germany (2015).

WRIGLEY TONY. VOX. **Opening Pandora's box: A new look at the industrial revolution.** 2011. Disponível em: <<https://voxeu.org/article/industrial-revolution-energy-revolution>>. Acesso em: 15 mar. 2018.

ZACHARY SHAHAN. Clean Technica. **How Renewable Electricity Generation in Germany Has Changed (Chart & Statistics).** 2012. Disponível em: <<https://cleantechnica.com/2012/04/06/how-renewable-electricity-generation-in-germany-has-changed-chart-statistics/>>. Acesso em: 01 set. 2017.