

RENATA RANGEL DE FRANÇA LEÃO CAVALCANTI

POLÍTICAS PÚBLICAS DE INCENTIVO À ENERGIA RENOVÁVEL: UM ESTUDO
COMPARATIVO ENTRE BRASIL, ALEMANHA E REINO UNIDO

Trabalho de Formatura apresentado à
Escola Politécnica da Universidade de São
Paulo para obtenção do Diploma de
Engenheira de Produção.

São Paulo

2016

RENATA RANGEL DE FRANÇA LEÃO CAVALCANTI

POLÍTICAS PÚBLICAS DE INCENTIVO À ENERGIA RENOVÁVEL: UM ESTUDO
COMPARATIVO ENTRE BRASIL, ALEMANHA E REINO UNIDO

Trabalho de Formatura apresentado à
Escola Politécnica da Universidade de São
Paulo para obtenção do Diploma de
Engenheira de Produção.

Orientador: Prof. Dr. Erik Eduardo Rego

São Paulo

2016

Catálogo-na-publicação

Cavalcanti, Renata

Políticas Públicas de Incentivo à Energia Renovável: um Estudo Comparativo entre Brasil, Alemanha e Reino Unido / R. Cavalcanti -- São Paulo, 2016.

103 p.

Trabalho de Formatura - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Produção.

1.Políticas públicas 2.Energia renovável 3.Análise comparativa 4.Indicadores de Desempenho I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Produção II.t.

Para a minha família, que sempre me apoiou

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a todos que de alguma forma me ajudaram e participaram deste ciclo que se encerra.

Primeiramente, agradeço imensamente ao Professor Erik Eduardo Rego, pela grande orientação durante esse ano e conhecimentos compartilhados. Agradeço também a todos outros professores que contribuíram para a minha formação.

À toda minha família, em especial aos meus pais, que sempre me apoiaram em todas as minhas decisões e me deram as condições para que eu chegasse onde estou. Sem eles, nada disso seria possível. Ao Pedro, por todo o carinho e apoio nos momentos difíceis.

A todos os meus amigos durante esses anos de POLI, em especial aos do CAEP e de Darmstadt, que tornaram esses anos tão divertidos e proporcionaram momentos inesquecíveis.

Ao CAEP, pela família que criamos, e pelos maiores aprendizados que levo da faculdade. Em especial, agradeço à Cris e ao Osni, por todo o carinho e atenção durante esses anos.

"The mind that opens to a new idea never returns to its original size"

(Albert Einstein)

RESUMO

O crescimento da necessidade de diversificação das matrizes energéticas aumentou a importância da energia renovável na atualidade. Nesse contexto, diversas políticas públicas surgiram para incentivar o desenvolvimento dessas tecnologias. Em 2015, 164 países adotavam alguma forma de incentivo à energia renovável. Assim, este trabalho tem como objetivo analisar e comparar os resultados de diferentes políticas implementadas atualmente. Para atingir este objetivo, foram selecionados três casos de implementação dessas políticas, no Brasil, Alemanha e Reino Unido para avaliação. A partir da definição de certos indicadores de desempenho, foi possível avaliar as principais diferenças nos resultados obtidos em cada caso. Como resultado, o trabalho conclui quais instrumentos são mais adequados para certos objetivos. Além disso, atenção especial é dada ao caso brasileiro, por meio da discussão das práticas adotadas atualmente e da comparação com os estudos de casos internacionais.

Palavras-chave: Políticas públicas, Energia renovável, Análise comparativa, Indicadores de desempenho

ABSTRACT

The need to diversify energy matrixes led to an increase in the importance of renewable energy technologies. As a result, many public policies to develop renewable energy started to arise. In 2015, 164 countries adopted some kind of incentive to foster the development of renewable energy technologies. This work aims at analyzing and comparing the results achieved from different public policies to promote renewable energy. To achieve this goal, three real cases of these policies were selected for the analysis, in Brazil, Germany and the United Kingdom. The evaluation of the different results achieved with the policies was possible with the use of performance indicators. This study concludes which policy is most adequate to achieve each goal. Furthermore, the Brazilian case is discussed in detail with a comparison with the policies adopted in other countries.

Key words: Public policies, Renewable energy, Comparative Analysis, Performance indicators

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - O processo de obtenção de energia.....	20
Figura 2 – Matriz elétrica brasileira - Geração por fonte	21
Figura 3 - Matriz elétrica energética mundial	22
Figura 4 - Taxa de crescimento anual da capacidade de energia renovável e produção de biocombustíveis.....	22
Figura 5 - Custo nivelado de energia para tecnologias tradicionais	25
Figura 6 - Custos nivelados de energia para energias renováveis	25
Figura 7 - Evolução da adoção de políticas públicas entre 2004-2014	28
Figura 8 - Países com políticas de energia renovável.....	29
Figura 9 - Incentivos políticos de acordo com a maturidade da tecnologia	30
Figura 10 - Funcionamento do esquema de tarifas de alimentação.....	31
Figura 11 - Custo marginal para tarifas de alimentação	32
Figura 12 – Funcionamento de cotas com certificados verde	35
Figura 13 - Custo marginal para cotas e certificados verdes.....	36
Figura 14 - Funcionamento de compra e venda de certificados verdes.....	37
Figura 15 - Custo marginal para leilões.....	38
Figura 16 – Metodologia do trabalho	43
Figura 17 - Resultados da primeira fase do PROINFA	48
Figura 18 - Preço médio praticado nos leilões por fonte de energia	51
Figura 19 - O setor elétrico brasileiro.....	54
Figura 20 - Funcionamento da política de cotas no Reino Unido	61
Figura 21 - Evolução do preço de energia no Brasil entre 1995-2015.....	67
Figura 22 - Evolução da participação de fontes alternativas na produção de energia no Brasil entre 1990 – 2014	68
Figura 23 - Preços praticados durante o PROINFA e leilões	69
Figura 24 - Evolução da capacidade de geração de energia eólica no Brasil entre 2006 – 2015	70
Figura 25 - Evolução da capacidade de geração solar no Brasil entre 2006 – 2015	70
Figura 26 - Leilões de energia fotovoltaica	71
Figura 27 - Emissão de CO ₂ na queima de combustíveis no Brasil entre 1990-2013.....	72
Figura 28 - Emissões de CO ₂ para eletricidade e calor (MtCO ₂)	72
Figura 29 - Evolução do consumo e da produção de energia elétrica no Brasil (GWh)	73

Figura 30 - Evolução da capacidade dos reservatórios hídricos	74
Figura 31 - Evolução da participação de fontes renováveis na produção de energia elétrica no Brasil entre 1992 – 2014	74
Figura 32 - Evolução do preço de energia elétrica na Alemanha entre 1991-2014.....	75
Figura 33 - Evolução da capacidade de geração de energia renovável na Alemanha entre 1991 – 2014.....	79
Figura 34 - Parcela de fontes alternativas na produção de energia na Alemanha.....	80
Figura 35 - Emissão de CO ₂ na queima de combustíveis na Alemanha entre 1990-2013.....	80
Figura 36 - Emissões de CO ₂ para eletricidade e calor na Alemanha.....	81
Figura 37 - Evolução da participação de fontes renováveis na produção de energia elétrica na Alemanha entre 1990 – 2015	82
Figura 38 - Evolução da importação e consumo de energia elétrica na Alemanha entre 1990- 2014.....	83
Figura 39 - Parcela da eletricidade produzida proveniente de indústrias nucleares na Alemanha	84
Figura 40 - Capacidade nuclear descomissionada na Alemanha	84
Figura 41 - Evolução do preço de energia elétrica no Reino Unido entre 1991-2014.....	85
Figura 42 - Evolução da capacidade de geração de energia renovável no Reino Unido entre 1991 – 2014.....	86
Figura 43 - Evolução da participação de fontes alternativas na produção de energia primária no Reino Unido entre 1990 – 2014	87
Figura 44 - Emissão de CO ₂ na queima de combustíveis no Reino Unido entre 1990-2013 ..	88
Figura 45 - Emissões de CO ₂ para eletricidade e calor no Reino Unido	88
Figura 46 - Evolução da participação de fontes renováveis na produção de energia elétrica no Reino Unido	89
Figura 47 - Evolução da importação e consumo de energia elétrica no Reino Unido entre 1990-2014	90
Figura 48 - Evolução da capacidade solar global instalada e dos preços das placas solares ...	93
Figura 49 - Evolução dos custos nivelados de fontes renováveis	94

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Modelos de remuneração das tarifas <i>feed-in</i>	33
Tabela 2 - Escolha de países para o estudo de casos	44
Tabela 3 - Mudanças no setor elétrico brasileiro.....	53
Tabela 4 - Remuneração para os diferentes tipos de tecnologia na Alemanha	57
Tabela 5 - Preços praticados nos leilões no Reino Unido, em pence/KWh	59
Tabela 6 - Status dos projetos da NFFO em 1991	59
Tabela 7 - Performance da política de cotas no Reino Unido	62
Tabela 8 - Composição da matriz energética da Alemanha em 2015	76
Tabela 9 - Custos nivelados de energia na Alemanha	77
Tabela 10 - Custo médio ponderado de geração de energia elétrica na Alemanha	78
Tabela 11 – Preços médios praticados nos leilões no Reino Unido	87

LISTA DE ABREVIACÕES

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CCEE	Câmara de Comercialização de Energia Elétrica
CMSE	Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico
CO₂	Dióxido de Carbono
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
FIT	<i>Feed-in Tariff</i>
LCOE	<i>Levelized Cost of Energy</i>
MME	Ministério de Minas e Energia
NFFO	<i>Non-Fossil Fuel Obligation</i>
OECD	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico
OFGEM	<i>Office for Gas and Electricity Markets</i>
ONS	Operador Nacional do Sistema Elétrico
PROINFA	Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica
RO	<i>Renewables Obligation</i>
SIN	Sistema Interligado Nacional
VAT	<i>Value Added Tax</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	Contexto e relevância	15
1.2	Objetivos.....	16
1.3	Motivação do trabalho	16
1.4	Estrutura do trabalho	16
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
2.1	O processo de obtenção da energia	19
2.2	A energia na atualidade	20
2.3	Barreiras para a energia renovável	23
2.4	Políticas Públicas	26
2.4.1	Tarifas de alimentação.....	31
2.4.2	Cotas e certificados verdes	34
2.4.3	Leilões	38
2.4.4	Mecanismo de compensação	39
2.4.5	Incentivos fiscais	40
3	METODOLOGIA.....	43
3.1	Revisão da literatura	43
3.2	Estudo de casos	43
3.3	Proposta de indicadores	44
3.4	Análise de resultados.....	45
3.5	Discussão	45
4	AS EXPERIÊNCIAS DE BRASIL, REINO UNIDO E ALEMANHA	47
4.1	Brasil.....	47
4.1.1	PROINFA no Brasil	47
4.1.2	Leilões	49
4.1.3	Mecanismo de compensação	51
4.1.4	O setor elétrico brasileiro	52
4.2	Alemanha.....	55
4.3	Reino Unido.....	58
4.3.1	NFFO	58
4.3.2	Obrigação de renováveis	60

5	INDICADORES DE DESEMPENHO	65
5.1	Apresentação dos Indicadores	65
5.1.1	Aspecto Econômico	65
5.1.2	Aspecto Ambiental.....	66
5.2	Análise dos Indicadores	67
5.2.1	Brasil	67
5.2.2	Alemanha	75
5.2.3	Reino Unido	85
6	DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	91
6.1	Comparação entre as políticas	91
6.2	O caso brasileiro.....	95
7	CONCLUSÃO	97
8	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	99

1 INTRODUÇÃO

Este capítulo apresenta a contextualização e relevância do trabalho, assim como os objetivos propostos e a estruturação dos seus capítulos.

1.1 Contexto e relevância

A questão energética tem ganhado cada vez mais importância. Com o aumento das disputas por recursos naturais e a escassez de recursos fósseis, as fontes renováveis de energia surgem como opção para a diversificação das matrizes energéticas e a redução da dependência dos combustíveis fósseis.

A energia renovável pode ajudar a solucionar diversos desafios enfrentados hoje pelos sistemas energéticos, por exemplo, contribuindo para a mitigação das mudanças climáticas, incentivando o desenvolvimento tecnológico, criando mercado e gerando empregos, aumentando a segurança energética de um país por meio da diversificação da sua matriz energética e da prevenção de conflitos por recursos naturais e melhorando a saúde pública por meio da redução da poluição do ar (IEA; OECD, 2008). A conscientização da importância das fontes renováveis para solucionar esses problemas vem crescendo mundialmente (FOLEY et al., 2015).

No entanto, nem todas as fontes de energia renováveis se encontram em um estágio suficiente de maturidade para competirem com os combustíveis fósseis. Para isso, diversas políticas públicas são adotadas de modo a incentivar o crescimento de fontes renováveis. Apesar dos objetivos das políticas energéticas variarem em cada país, um objetivo permanece comum para todas: a importância da energia renovável para a mitigação das mudanças climáticas (REN21; ISEP; ICLEI, 2011).

Em 2015, 164 países haviam definido metas para energia renovável. A adoção de mecanismos para o incentivo à energia renovável teve um crescimento muito expressivo na última década: em 2004, cerca de 5% dos países de baixa renda e 65% dos países de alta renda adotavam algum tipo dessas políticas; em 2015, esses números cresceram para 62% e 82%, respectivamente (FOLEY et al., 2015). Dessa forma, cria-se um ciclo de redução de custos para essas fontes, por meio do suporte das políticas públicas e do desenvolvimento tecnológico (IRENA, 2015).

Nesse contexto, surge a pergunta de pesquisa deste Trabalho de Formatura: qual a melhor política pública para incentivar a expansão da energia renovável não competitiva?

A hipótese deste trabalho é de que dentre várias ferramentas que o Governo tem para incentivar o desenvolvimento de um setor da indústria, neste caso de geração renovável não tradicional, há práticas internacionais já testadas e consolidadas.

Neste contexto surgem os objetivos deste trabalho.

1.2 Objetivos

O principal objetivo do trabalho é analisar e comparar diferentes políticas públicas de incentivo à energia renovável, adotadas no Brasil, Alemanha e Reino Unido. Atenção especial será dada ao caso brasileiro, com discussões sobre a situação atual de políticas voltadas à expansão de fontes renováveis, finalizando com críticas e sugestões a esse modelo.

1.3 Motivação do trabalho

Cada política pública adotada nos países em estudo obteve diferentes resultados. Dessa forma, a análise comparativa poderá ajudar a identificar as melhores práticas internacionais. No Brasil, as fontes alternativas de energia, em particular eólica e fotovoltaica, ainda não são expressivas na matriz elétrica, com menos de 10% da capacidade instalada (ANEEL, 2016). Assim, para atender ao desafio de aumentar a participação destas fontes, estudar casos de sucesso do exterior permite propor aperfeiçoamentos para as práticas adotadas no Brasil.

1.4 Estrutura do trabalho

Este trabalho está estruturado em cinco capítulos. Após a introdução, o primeiro capítulo apresenta a revisão bibliográfica dos principais pontos relevantes para a execução do trabalho. Será apresentado o contexto atual da energia renovável no Brasil e no mundo, bem como as principais barreiras para o seu desenvolvimento e integração no mercado. Em seguida, serão apresentadas em detalhes diversas políticas públicas.

O segundo capítulo apresenta a metodologia para a realização do trabalho, incluindo a definição dos países para o estudo comparativo e os indicadores utilizados na análise.

No terceiro capítulo são apresentados os estudos de caso dos três países selecionados, com base na literatura apresentada no primeiro capítulo. Serão analisadas as regras adotadas por cada um

dos países, assim como as principais dificuldades encontradas na implementação das diferentes políticas.

O quarto capítulo define os indicadores que serão utilizados para a avaliação dessas políticas. A seguir, são apresentados e analisados os dados coletados para cada um dos países, de modo a identificar os benefícios obtidos com a implementação de cada política.

O quinto capítulo discute os resultados obtidos tendo em vista as informações coletadas na revisão de literatura. A segunda seção traz uma discussão especial para o caso brasileiro.

O sexto capítulo apresenta as principais conclusões do trabalho, além de propor alguns tópicos para futuros trabalhos no assunto.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Esse capítulo é dedicado ao estudo dos principais temas relevantes para o desenvolvimento deste trabalho. Primeiramente, será feita breve introdução às principais formas de energia e ao papel da energia renovável no contexto atual.

Em seguida, serão apresentadas algumas vantagens da adoção de políticas públicas para a promoção de energia renovável. Finalmente, as principais políticas públicas serão introduzidas detalhadamente.

2.1 O processo de obtenção da energia

A energia pode ser classificada de duas maneiras: em relação ao tipo de energia ou ao processo de conversão. Dentre os tipos de energia se encontram mecânica, térmica, química, luminosa ou nuclear. Já em relação aos processos de conversão, a energia pode ser classificada em primária, final ou útil (PANOS, 2013).

A energia primária é obtida através de recursos naturais por meio de processos de extração e é classificada em: não-renovável, nuclear e renovável. Após um processo de conversão da energia primária, é obtida a forma final de energia, como por exemplo, gasolina, eletricidade ou gás. A conversão final da energia primária gera a energia útil para o homem, como movimento, luz, calor. A Figura 1 representa esses processos.

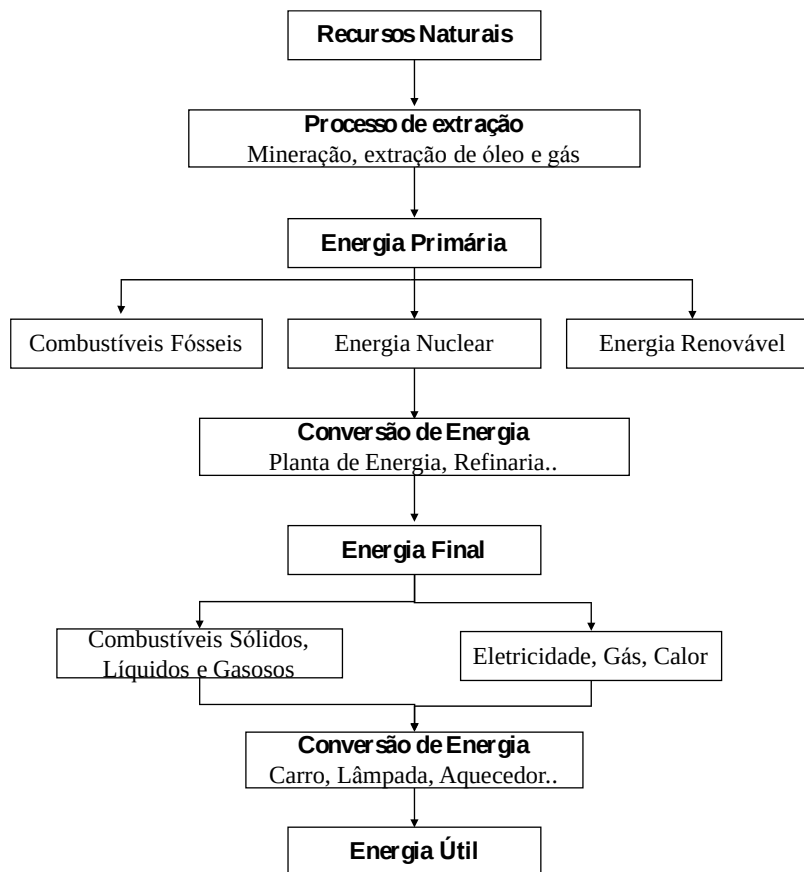


Figura 1 - O processo de obtenção de energia

Fonte: adaptado de Panos (2013)

Atualmente, a questão energética tem ganhado cada vez mais importância. Tanto a escassez dos combustíveis fósseis quanto a conscientização em relação ao meio ambiente geraram a necessidade de os países diversificarem sua matriz energética. Nesse contexto, fontes renováveis alternativas de energia ganharam grande atenção para o foco de investimento.

2.2 A energia na atualidade

O aumento da contribuição da energia renovável nas matrizes energéticas é um grande objetivo atualmente. Energia renovável se refere a diversos tipos de energia disponíveis na natureza e que não se esgotam, por exemplo, solar, eólica, biomassa, hídrica e geotermal (EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY, 2001). Geralmente, somente as pequenas usinas hidrelétricas

(com capacidade entre 10 e 20MW¹) são consideradas fontes renováveis alternativas, devido ao impacto ambiental gerado pelas grandes hidrelétricas (TUPY; ZAHN, 2009).

A matriz elétrica brasileira é considerada uma das mais limpas do mundo, dado que uma grande parcela da oferta provém de fontes renováveis. A Figura 2 apresenta a composição da matriz elétrica brasileira do ano de 2015.

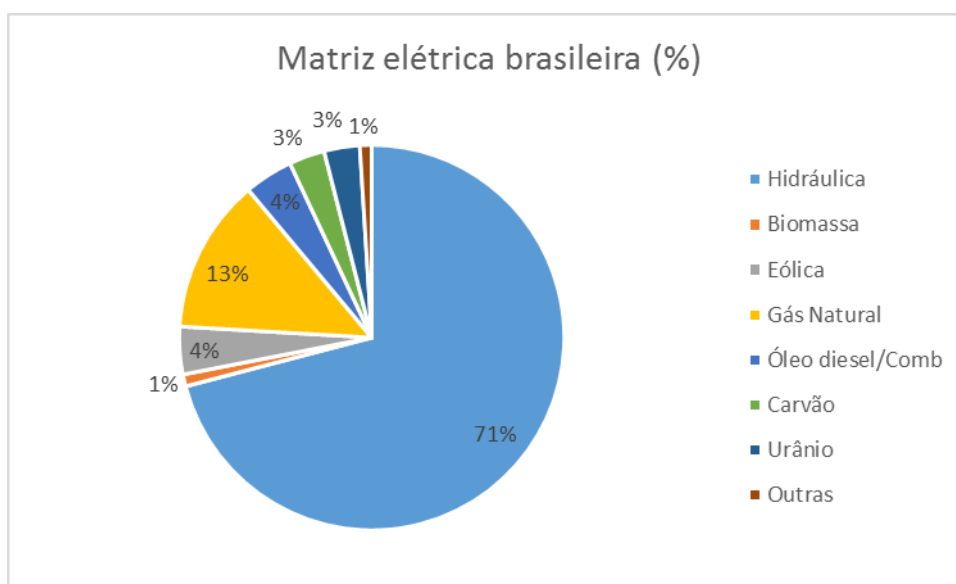


Figura 2 – Matriz elétrica brasileira - Geração por fonte

Fonte: adaptado de ANEEL (2015)

A matriz elétrica mundial possui menor contribuição da energia renovável para a geração de energia em relação à produção total de energia. As fontes renováveis representam somente 23,6% da produção de eletricidade total mundial. A Figura 3 ilustra a matriz energética mundial do ano de 2014.

¹ No Brasil, empreendimentos hidrelétricos com potência inferior a 30.000 kW, com área total de reservatório igual ou inferior a 3,0 km², são considerados como aproveitamentos com características de pequenas centrais hidrelétricas (Resolução Normativa ANEEL n. 367, de 2 de junho de 2009).

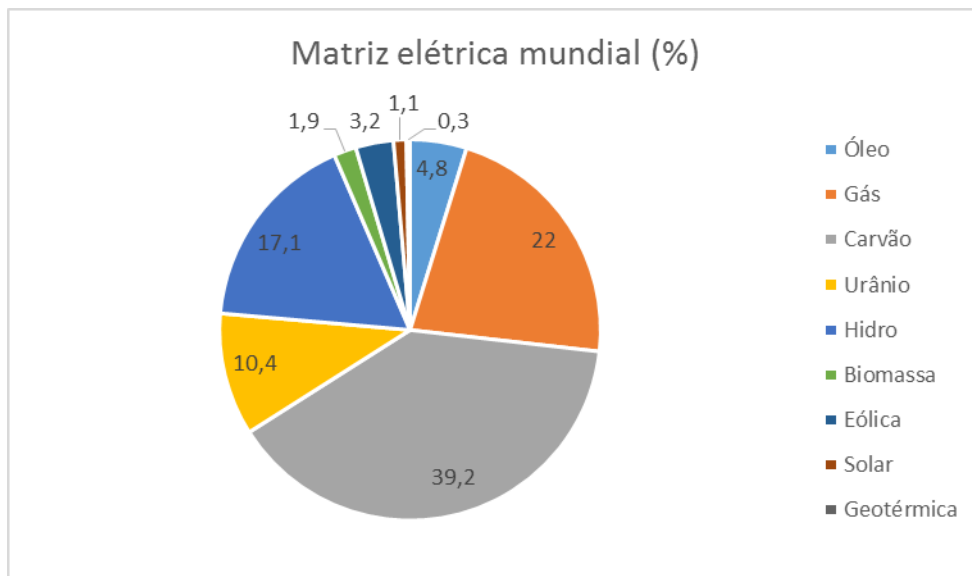


Figura 3 - Matriz elétrica energética mundial

Fonte: elaboração própria com base nos dados disponíveis em MME (2015)

No entanto, a produção de energia por fontes de energia renovável tem crescido muito nos últimos tempos. A Figura 4 apresenta a taxa de crescimento mundial das principais fontes renováveis entre 2009 e 2014, e no ano de 2014.

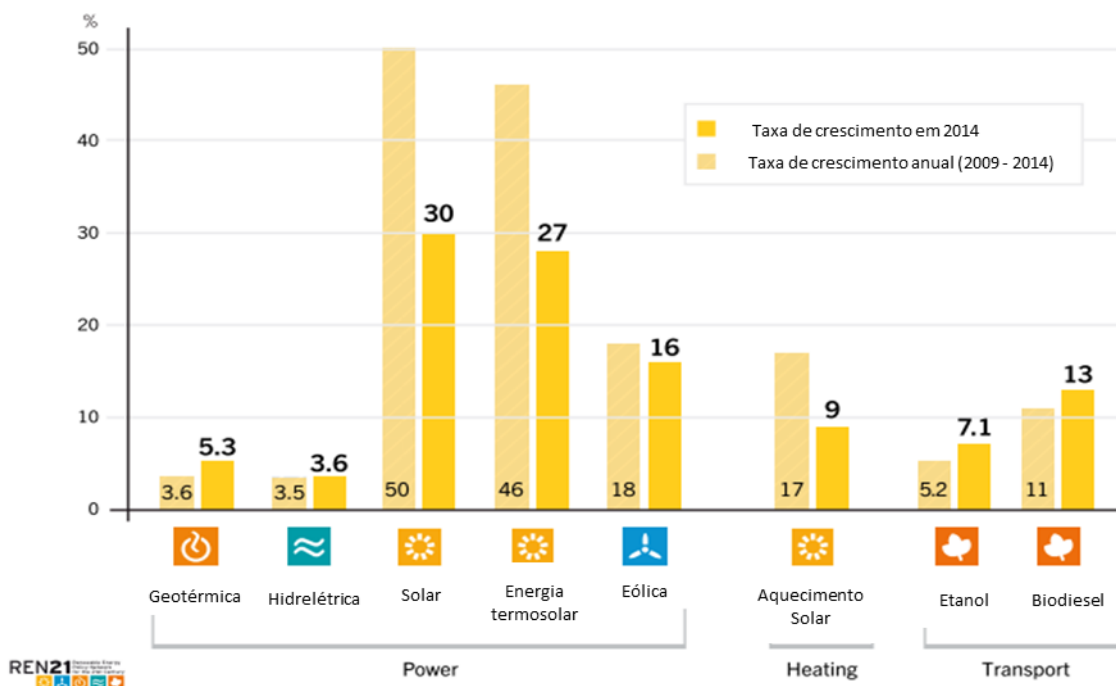


Figura 4 - Taxa de crescimento anual da capacidade de energia renovável e produção de biocombustíveis

Fonte: adaptado de FOLEY et al. (2015)

2.3 Barreiras para a energia renovável

A necessidade de suporte público para fontes de energia renovável decorre da existência de certas barreiras que dificultam desenvolvimento mais acelerado. Essas barreiras colocam as fontes de energia renovável em certa desvantagem em relação a outras tecnologias (BECK; MARTINOT, 2004).

Existem na literatura algumas classificações para as barreiras enfrentadas por essas tecnologias. Painuly (2001) classifica essas barreiras de uma forma geral em sete categorias, seguida de alguns exemplos. Vale ressaltar que alguns pontos mencionados pelo autor refletem uma visão diferente da atual, devido ao ano de publicação do artigo.

- Falhas e imperfeições do mercado: alto controle do setor de energia, restrição ao acesso às tecnologias, necessidade de alto investimento.
- Distorção do mercado: taxas para energias renováveis, incentivos às tecnologias não renováveis.
- Econômico-financeiras: viabilidade, altas taxas de retorno, falta de acesso a crédito, falta de instituições de apoio a energia renovável.
- Institucional: falta de instituições ou mecanismos para disseminar informações.
- Técnicas: falta de padronização e certificação, empreendimentos.
- Sociais, comportamentais e culturais: falta de aceitação do consumidor,
- Outras: políticas governamentais incertas, ambientais, falta de infraestrutura.

Beck e Martinot (2004) propõem classificação em três categorias, com exemplos de barreiras para cada uma delas:

- Custos e preço: subsídios para combustíveis fósseis, alto custo de capital inicial, dificuldade de avaliar o preço futuro de combustíveis, políticas de precificação desfavoráveis, custos de transação, e dificuldade de avaliação das externalidades do uso de combustíveis fósseis.
- Legal e regulatório: falta de mecanismos legais para produtores de energia independentes, restrições para a construção de novas plantas, dificuldade de acesso às linhas de transmissão, conexão com as concessionárias e exigência de seguro de responsabilidade civil.
- Performance de mercado: falta de acesso a crédito, incertezas em relação à

tecnologia e riscos, falta de habilidades técnicas e comerciais.

Abdmouleh, Alammari e Gastli (2015) classificam os fatores que afetam a implementação da energia renovável em cinco aspectos:

- Financiamento: pode ser fornecido de forma pública ou privada, por meio de bancos ou outros tipos de fundos.
- Fiscal: como a energia renovável possui um custo de geração maior do que os combustíveis fósseis, isso a torna menos competitiva. Ações no sentido de incentivos fiscais para a energia renovável ou impostos sobre os combustíveis fósseis podem ser implementadas.
- Legislativo: uma legislação que crie um mercado para a compra de energia renovável e também facilite o acesso à rede de distribuição.
- Político: o ambiente político deve oferecer suporte à implementação do mercado de energia renovável.
- Tecnológico e ambiental: fatores como o suporte em pesquisa e desenvolvimento em todos os estágios são importantes, bem como um suporte ambiental para garantir o desenvolvimento das tecnologias renováveis.

Além disso, uma grande barreira para a adoção de certas tecnologias renováveis advém da característica intermitente e sazonal da sua geração, dependente de fatores naturais e de custoso controle humano. Deste modo, produtores de energia que conseguem oferecer energia de modo contínuo são muitas vezes privilegiados no acesso à rede de distribuição (EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY, 2001).

As Figura 5 e 6 ilustram a diferença entre o custo nivelado de energia (LCOE)² de fontes renováveis e não renováveis a diferentes taxas de desconto (3%, 7% e 10%). Nota-se que as fontes de energia renováveis possuem custos muito maiores que as demais, reforçando a necessidade de incentivos para a sua adoção.

² No inglês: *Levelized Cost of Energy*. Custo nivelado de energia é uma ferramenta que permite a comparação de custos por unidade de diferentes tecnologias ao longo da vida econômica (HENRIQUE; SANTANA, 2016).

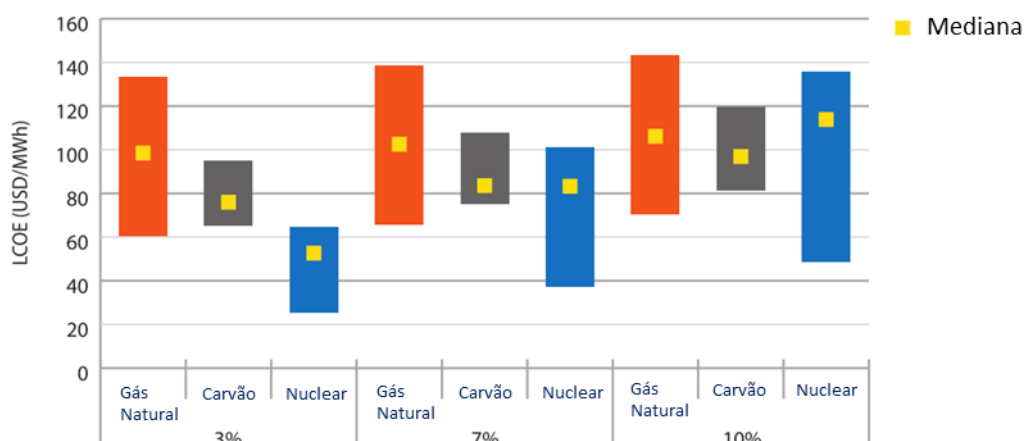


Figura 5 - Custo nivelado de energia para tecnologias tradicionais

Fonte: adaptado de International Energy Agency e Nuclear Energy Agency (2015)

A Figura 5 apresenta a faixa de variação e a mediana do custo nivelado de gás natural, carvão e nuclear, a diferentes taxas de desconto. Nota-se que, por exemplo, para 3% de taxa de desconto, as medianas de custos variam entre 50 e 100 USD/MWh.

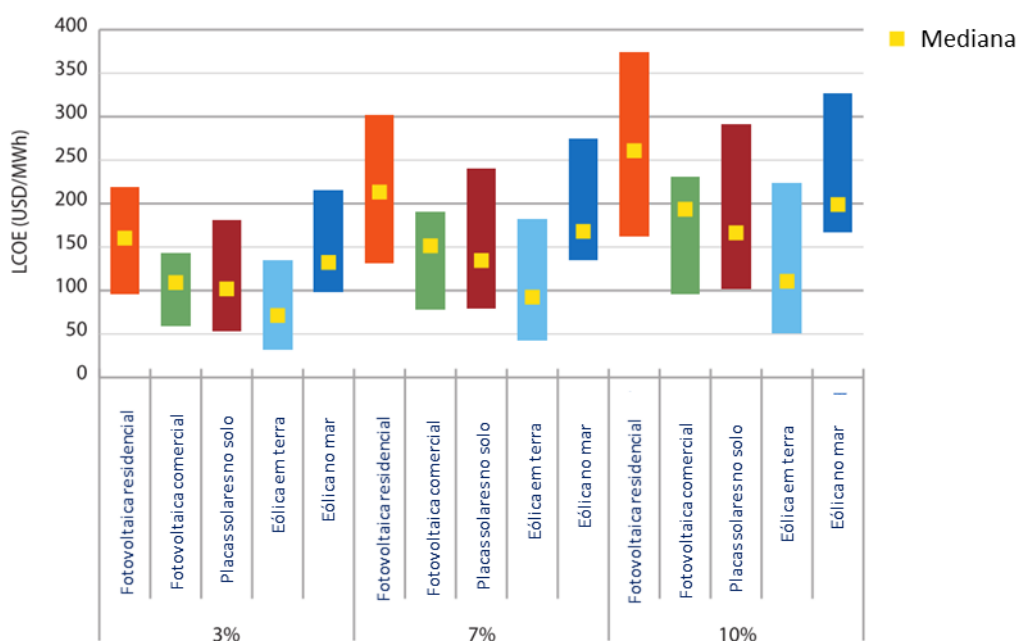


Figura 6 - Custos nivelados de energia para energias renováveis

Fonte: adaptado de International Energy Agency e Nuclear Energy Agency (2015)

A comparação da Figura 6 com a anterior permite perceber a diferença existente entre os custos de energia renovável e não renovável. Para todos os custos de capital analisados, os custos

nivelados de energia renovável são superiores aos custos de geração tradicional, reforçando a necessidade de incentivo para as energias renováveis.

2.4 Políticas Públicas

De modo geral, pode-se dizer que há três formas de oferecer suporte às fontes de energia renováveis: diretamente (criação de políticas de incentivo), indiretamente (medidas para diminuir o uso de energias convencionais) e por meio da criação de uma estrutura legal e regulatória favorável (TUPY; ZAHN, 2009). De acordo com Verbruggen (2012), esse suporte “consiste em uma ajuda financeira ou de qualquer outro tipo que beneficiários qualificados podem obter por produzir energia renovável”.³ Além disso, deve-se definir algumas características desse suporte:

- O que deve receber suporte? (Diferenciação entre tecnologias, capacidade das plantas, etc.).
- Quem deve realizar as decisões sobre o suporte? (Quais instituições irão tomar as decisões e ajudar no oferecimento desse suporte).
- Quais são os potenciais beneficiários desse suporte?
- Quem irá arcar com as contas do suporte? (Orçamento público, consumidores de energia, etc.).

As políticas públicas para a promoção de energias renováveis são um dos principais meios para superar as barreiras que elas possuem. A adoção dessas políticas visa a redução de uma ou mais barreiras que impedem o seu desenvolvimento (BECK; MARTINOT, 2004). As fontes de energia renovável têm recebido grande suporte de autoridades públicas devido às vantagens ambientais que possui em comparação com fontes de energia convencionais (MENANTEAU; FINON; LAMY, 2010).

A implementação dessas políticas pelos países possui diversos objetivos, como a mitigação das alterações climáticas, a redução da dependência de combustíveis fósseis, a criação de oportunidades econômicas e o estabelecimento de sistemas energéticos mais flexíveis (FOLEY et al., 2015). O objetivo dessas políticas não é oferecer um suporte contínuo para as energias

³ No original: “*consists of financial or other help that specifically qualified beneficiaries can obtain for providing renewable power*”

renováveis, mas sim um incentivo inicial até que a energia renovável seja capaz de competir com as fontes convencionais (TUPY; ZAHN, 2009).

A maneira mais fácil de garantir uma competição justa entre as diversas formas de energia seria a correção das imperfeições do mercado por meio da implementação de uma taxa ambiental. No entanto, isso não leva ao desenvolvimento tecnológico e a consequente redução de custos (MENANTEAU; FINON; LAMY, 2010).

Há duas justificativas para a adoção destes incentivos: corrigir as externalidades negativas do uso de combustíveis fósseis e estimular uma mudança tecnológica. Como qualquer outra tecnologia emergente, a energia renovável enfrenta dificuldades para competir com tecnologias já estabelecidas no mercado. Apesar do grande progresso alcançado no desenvolvimento de certas tecnologias energias renováveis, muitas se encontram em um nível econômico imaturo. Isso dificulta a competição com outras formas de energia, que já se beneficiaram de economias de escala e de aprendizagem (MENANTEAU; FINON; LAMY, 2010). Um exemplo disso são os combustíveis fósseis, que já possuem um nível de maturidade suficiente, possuindo uma escala de produção favorável e custos de produção muito competitivos.

Uma economia de escala ocorre quando o custo total médio de produção decresce com o aumento do volume (MANKIW, 2009). Já uma economia de aprendizagem advém de vantagens de custos obtidas por meio do acúmulo de experiência em um período de tempo, chamado de *learning-by-doing* (BESANKO; BRAEUTIGAM, 2011). Assim, por meio desses incentivos, as energias renováveis devem superar as barreiras que sofrem, atingindo uma escala suficiente e um nível de experiência adequado, e possuir custos competitivos em relação as energias já consolidadas no mercado.

A adoção dessas políticas pelos países cresceu significativamente ao longo dos últimos dez anos. Esse crescimento é ainda mais expressivo nos países em desenvolvimento, com menores rendas. Em 2004, menos de 5% dos países de menores rendas adotavam políticas para o desenvolvimento de energias renováveis; em 2014, esse número atingiu 62%. A Figura 7 ilustra a evolução da percentagem de países com políticas públicas em cada grupo nos últimos dez anos.

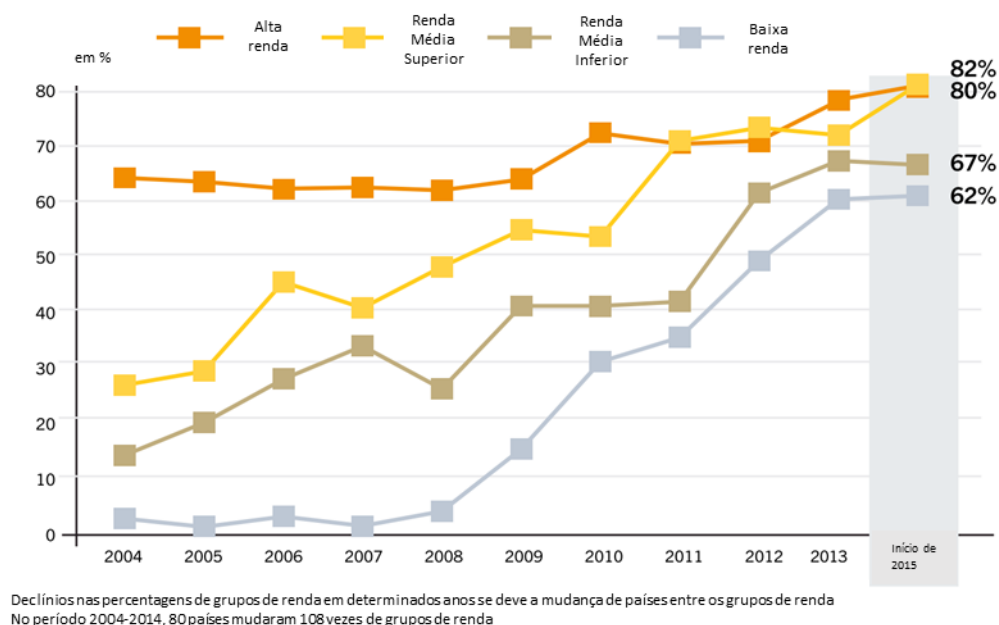


Figura 7 - Evolução da adoção de políticas públicas entre 2004-2014

Fonte: adaptado de FOLEY et al. (2015)

Naturalmente, o desenvolvimento de tecnologias de energia renovável não atinge o mesmo resultado em todos os países. Reiche e Bechberger (2004) analisam alguns fatores que influenciam o desenvolvimento da energia renovável e os agrupam em 5 diferentes categorias:

- Geografia: quantidade de chuvas e distribuição ao longo do ano, intensidade de ventos, falta de recursos fósseis, falta de programa de energia nuclear.
- Ambiente econômico: nível dos preços de gás e óleo, subsídios para os combustíveis fósseis, internalização de externalidades.
- Políticas de incentivo: definição de metas, responsabilidade administrativa, regulamentação favorável para a implementação dessas políticas.
- Tecnologia: capacidade da rede de distribuição, estado de tecnologia das diferentes energias renováveis.
- Ambiente cognitivo: consciência popular, burocracia para construções de plantas.

A Figura 8 ilustra a evolução do número de países que adotavam alguns dos principais instrumentos de promoção de energia renovável entre 2011 e 2015. Nota-se a predominância das tarifas de alimentação (FIT⁴) em relação aos outros instrumentos em todos os anos.

⁴ No inglês: *feed-in tariff*

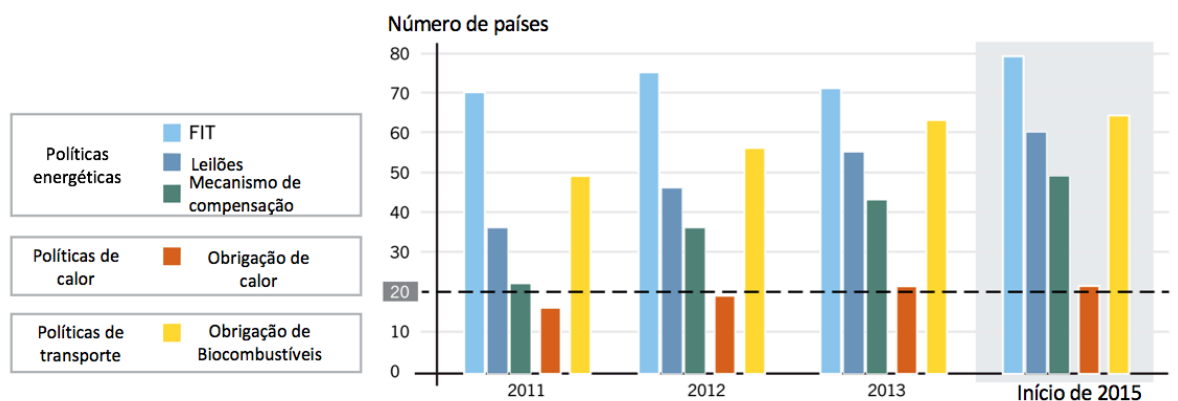


Figura 8 - Países com políticas de energia renovável

Fonte: adaptado de FOLEY et al. (2015)

Menanteau, Finon e Lamy (2010) classificam as políticas em duas abordagens distintas: baseadas no preço ou na quantidade. As políticas baseadas no preço determinam que as concessionárias devem comprar energia renovável a determinadas tarifas de alimentação. Já as políticas baseadas na quantidade fixam uma meta a ser atingida e organizam leilões ou cotas para as concessionárias.

Não há um modelo de suporte para o desenvolvimento de energias renováveis que pode ser aplicado de maneira geral. A escolha dos mecanismos a serem aplicados depende de certos fatores, como o estado atual das tecnologias, o capital disponível para o financiamento, as metas propostas e a viabilidade de um determinado *mix* de tecnologias (ABDMOULEH; ALAMMARI; GASTLI, 2015).

De acordo com IEA e OECD (2008), os governos devem aplicar as políticas de acordo com o nível de maturidade e desenvolvimento de cada uma das tecnologias. Para aquelas ainda longe de serem economicamente competitivas, há a necessidade de incentivos estáveis e que garantam um menor risco, como as tarifas de alimentação ou leilões. Dependendo do nível do mercado, a diferenciação em relação à tecnologia pode ser necessária. Esses mecanismos devem ser adaptados até que as tecnologias consigam atingir um mercado em massa. Dessa forma, a partir do momento em que uma fonte renovável atinge um estágio de desenvolvimento adequado, os incentivos podem ser retirados gradualmente. Nesse nível, as energias renováveis estarão aptas a competir com as tecnologias convencionais. A Figura 9 ilustra essa relação.

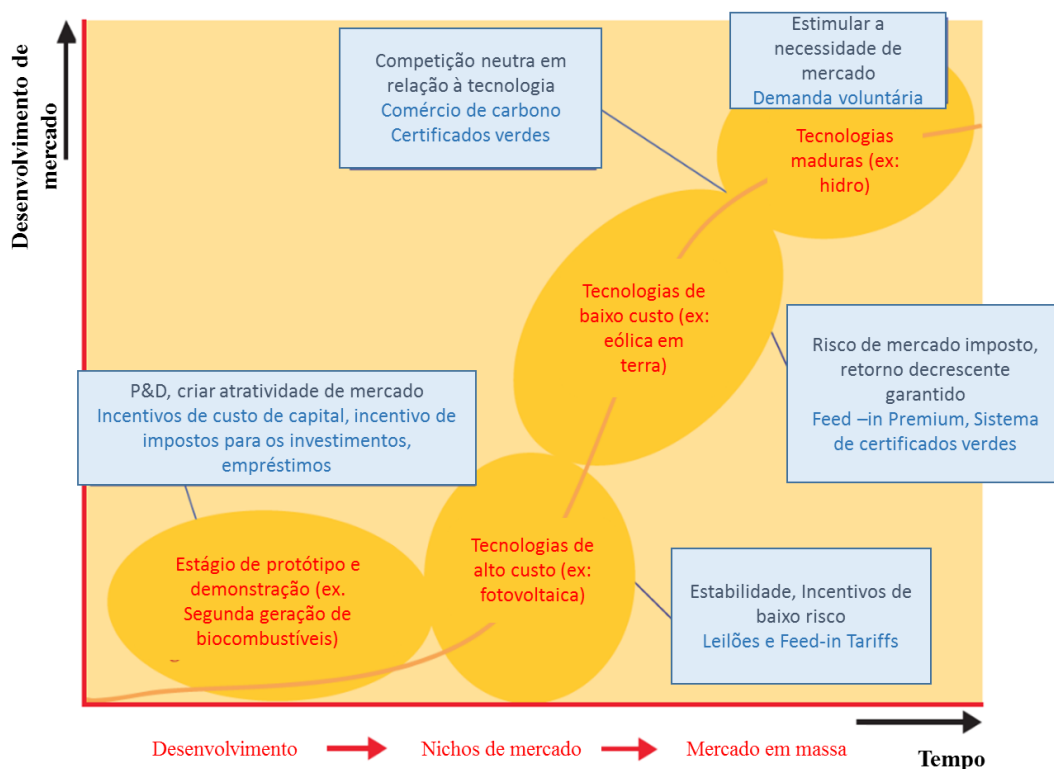


Figura 9 - Incentivos políticos de acordo com a maturidade da tecnologia

Fonte: adaptado de IEA e OECD (2008)

Uma política pública deve refletir conter princípios fundamentais (IEA; OECD, 2008):

- A remoção das barreiras econômicas para as fontes de energia renovável.
- A estruturação de um *framework* estável e transparente para atrair investimentos.
- A introdução de incentivos provisórios e decrescentes ao longo do tempo, com o objetivo de aumentar a competitividade de mercado das novas tecnologias.
- A instauração de incentivos diferentes para cada política, dependendo do seu nível de maturidade.
- A penetração de energia renovável em larga escala no mercado, garantindo a eficiência de custos e a confiabilidade do sistema.

As principais políticas públicas adotadas para a promoção de energia renovável serão explicadas em detalhe a seguir. Vale ressaltar que essas políticas na maioria das vezes não são aplicadas unicamente: muitas vezes elementos de diferentes políticas são combinados para formar uma estratégia para um país.

2.4.1 Tarifas de alimentação

As tarifas de alimentação determinam que as concessionárias tenham a obrigação de comprar energia de produtores de energia renovável a uma tarifa determinada pelo governo e garantida durante um período de tempo (geralmente 15 anos). Essas tarifas são definidas como o preço por kWh que as concessionárias devem pagar pela energia renovável alimentada na rede de distribuição (ACKERMANN; ANDERSSON; SÖDER, 2001; MENANTEAU; FINON; LAMY, 2010).

Esse incentivo pode ter duas abordagens diferentes. Na primeira delas, não há uma diferenciação da tarifa em relação à tecnologia, ignorando os custos de geração e deixando os investidores escolherem em qual tecnologia investir. Na segunda abordagem, há tarifas diferenciadas para cada tipo de tecnologia (HENRIQUE; SANTANA, 2016).

A Figura 10 apresenta o funcionamento geral do esquema das tarifas *feed-in*. Concessionárias são obrigadas a conectar os produtores independentes de energia renovável à rede de distribuição. Esses produtores recebem pagamento das concessionárias pela energia renovável fornecida a rede de distribuição, que são fixados pelo governo em forma de tarifas *feed-in* (TUPY; ZAHN, 2009).

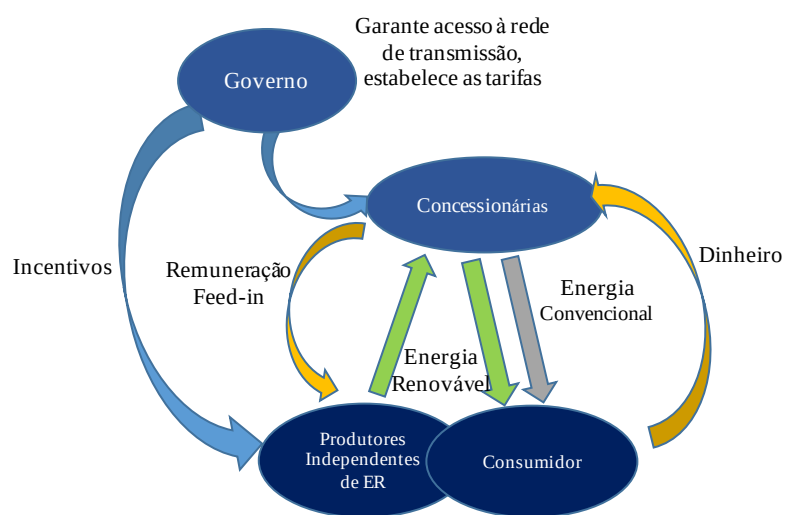


Figura 10 - Funcionamento do esquema de tarifas de alimentação

Fonte: adaptado de CONGRESS, OFFICE (2009)

Essas tarifas garantem a receita para a nova tecnologia, reduzindo assim o risco para o produtor. Isso faz com que elas sejam muito eficazes na fase inicial de desenvolvimento de uma tecnologia (ACKERMANN; ANDERSSON; SÖDER, 2001).

Esse incentivo possui abordagem baseada no preço. Os produtores irão aumentar a quantidade gerada até que o custo marginal se iguale a tarifa do subsídio. O excedente do produtor será diferente entre as plantas, sendo que os produtores com menores custos terão vantagem sobre os outros (MENANTEAU; FINON; LAMY, 2010). A Figura 11 ilustra essa situação.

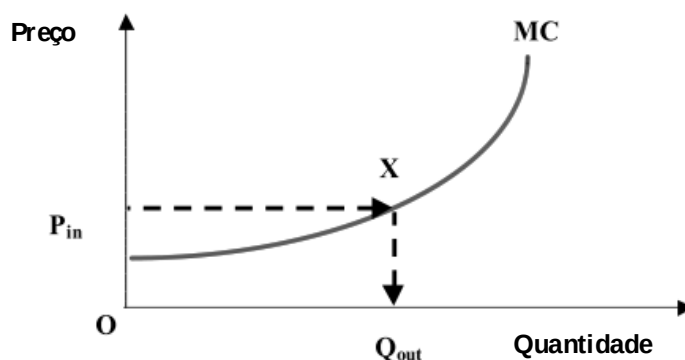


Figura 11 - Custo marginal para tarifas de alimentação

Fonte: adaptado de Menanteau et al. (2010)

A curva da Figura 11 representa o custo marginal de geração de energia (MC). Os produtores irão aumentar a quantidade produzida até que o seu custo marginal se iguale à tarifa oferecida na política, representada por P_{in} . A quantidade de energia produzida nesse ponto é, portanto, determinada pelo preço praticado, e está representada na figura por Q_{out} .

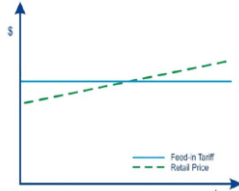
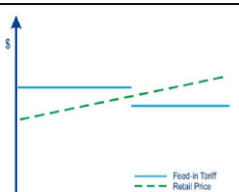
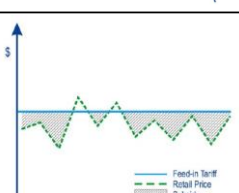
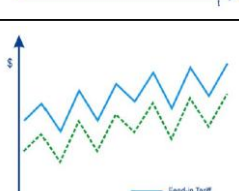
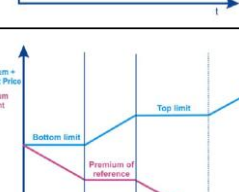
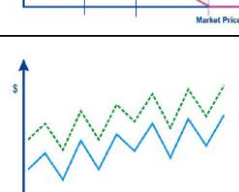
Duas metodologias podem ser aplicadas para definir o retorno recebido pelos produtores de energia renovável. A primeira é baseada no custo nivelado de energia elétrica somado a um retorno pré-determinado. A segunda é baseada no valor da geração para a concessionária ou para a sociedade. A abordagem baseada no valor possui certa complexidade, e pode levar a pagamentos insuficientes ou muito acima dos custos de geração (CORY et al., 2009).

A estrutura de remuneração das tarifas *feed-in* pode ser planejada de diversas maneiras, levando em conta certos fatores. Couture e Gagnon (2010) apresentam sete modelos diferentes para a remuneração dessas tarifas, sumarizados na

Tabela 1. Os primeiros quatro modelos são considerados independentes em relação ao preço de mercado, enquanto nos últimos três a remuneração oferecida depende do preço do mercado. As ilustrações representam a evolução dos preços (eixo vertical) ao longo do tempo (eixo horizontal). A linha contínua azul representa as tarifas *feed-in* oferecidas e a linha tracejada, os

preços de mercado.

Tabela 1 - Modelos de remuneração das tarifas *feed-in*

	Modelo	Descrição	Ilustração
1	Preço fixo para FIT	O preço é fixado e independente de outras variáveis, como inflação, preço de combustíveis fósseis, etc.	
2	Preço fixo com ajuste de inflação	O preço é fixo, mas ajustado periodicamente de acordo com a variação da inflação	
3	"Front-end loaded"	Pagamentos mais altos são oferecidos no começo do projeto, e vão diminuindo de acordo com o tempo	
4	Diferença entre o preço de mercado e FIT	O subsídio é a diferença entre o preço do mercado e a tarifa FIT	
5	Prêmio fixo	Um prêmio constante é oferecido acima do preço de mercado	
6	Prêmio variável	O prêmio é ajustado conforme o valor de mercado, até que ele atinja o valor 0	
7	Porcentagem do preço de varejo	O prêmio é definido como uma porcentagem fixa do valor de mercado, pelo qual a energia renovável será comprada	

Fonte: elaboração própria com base em Couture e Gagnon (2010)

O modelo de preço fixo, ao ter o valor fixado independentemente de variáveis como a inflação, terá o seu valor real decrescente para o consumidor ao longo do tempo (FELL, 2009 apud COUTURE; GAGNON, 2010). Deste modo, o modelo de preço fixo com ajuste da inflação proporciona uma maior segurança ao investidor em relação a mudanças na economia.

Ainda de acordo com Couture e Gagnon (2010), uma das principais vantagens do modelo *front-end loaded* é que o produtor se beneficia de altas receitas quando elas são mais necessárias, ou seja, no início do projeto. Já em remuneração baseada na diferença entre o preço de mercado e a tarifa *feed-in*, a remuneração total possui um valor fixo, mas o subsídio é variável.

No modelo de remuneração com prêmio fixo, que é fixado acima do preço de mercado, há chances de que o pagamento oferecido seja excessivamente alto ou baixo (KLEIN et al, 2008 apud COUTURE; GAGNON, 2010). Já o modelo de prêmio variável é projetado para evitar lucros extremamente altos no caso do aumento no preço do mercado e a fuga de investimentos no caso de uma queda nos preços, ao fixar valores máximo e mínimo para o prêmio (GONZALEZ, 2008 apud COUTURE; GAGNON, 2010). O último dos modelos, que proporciona o pagamento de prêmio totalmente dependente do preço de mercado, cria grande risco para os produtores, pois a sua receita dependerá de fatores fora de seu controle.

Deste modo, nota-se que cada uma das estruturas de remuneração das tarifas de alimentação possui diferentes objetivos e consequências, tanto para os produtores beneficiados quanto para os investidores.

2.4.2 Cotas e certificados verdes

Em um mecanismo de cotas e certificados verdes, o governo introduz a meta a ser atingida para a quantidade de energia renovável que as concessionárias devem vender na sua rede de distribuição. Os produtores de energia renovável recebem certificados pela quantidade de energia produzida e enviada à rede. Essa abordagem é diferente das tarifas de alimentação, que possui um preço pré-determinado para a energia gerada (ACKERMANN; ANDERSSON; SÖDER, 2001; HENRIQUE; SANTANA, 2016).

De acordo com Abdmouleh et al. (2015), existem três razões para o aumento da popularidade desse incentivo:

- Há grande incentivo para os produtores reduzirem seus custos, por meio da competição de custos entre os diversos participantes do mercado.
- Existência da possibilidade da conexão com metas ambientais estabelecidas pelo governo.
- O budget governamental não executa o financiamento do custo extra de energia renovável e na seleção de propostas vencedoras.

O funcionamento desse incentivo é mais complicado que o das as tarifas de alimentação. No sistema de cotas, o governo fixa a meta para aumentar a geração de energia por fontes renováveis, que deve ser atingida pelas concessionárias. Os produtores recebem certificados verdes comerciáveis pela energia renovável produzida, que terão um valor dependente da sua oferta e demanda no mercado de certificados. Desta forma, para atingir a meta imposta, as concessionárias podem produzir a própria energia ou comprá-la de produtores de energia renovável (TUPY; ZAHN, 2009). A Figura 12 representa o funcionamento básico desse esquema.

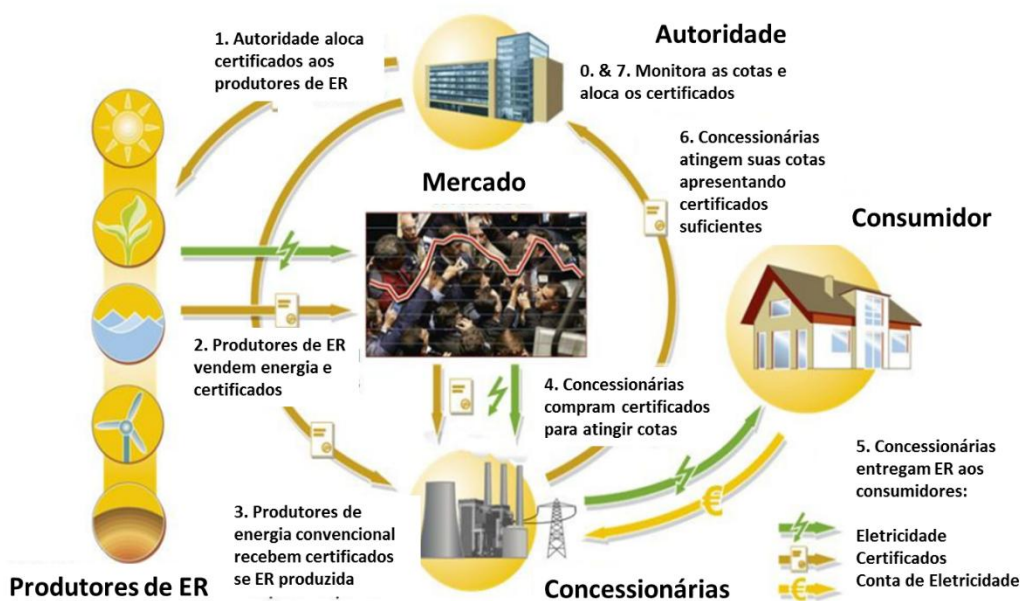


Figura 12 – Funcionamento de cotas com certificados verde

Fonte: adaptado de CONGRESS, OFFICE (2009)

A autoridade do sistema é responsável por monitorar o atingimento das cotas e alocar os certificados aos produtores de energia renovável. Esses produtores vendem energia e certificados no mercado. As concessionárias, por sua vez, devem comprar os certificados para

atingir as cotas e provar para autoridade por meio da apresentação dos certificados. Elas também são responsáveis por vender energia renovável aos consumidores.

Como a meta definida pelo governo deve ser atingida pelo país todo, os produtores com menores custos marginais estarão aptos a produzir uma quantidade maior de energia. Dessa forma, esse mecanismo permite que as cotas sejam alocadas de forma eficiente. A Figura 13 exemplifica essa situação: um produtor que tenha um custo marginal mais elevado pode cumprir as suas obrigações comprando a energia excedente de um produtor com custo marginal mais baixo. Deste modo, o objetivo pode ser atingido minimizando o custo total de geração de energia (MENANTEAU; FINON; LAMY, 2010).

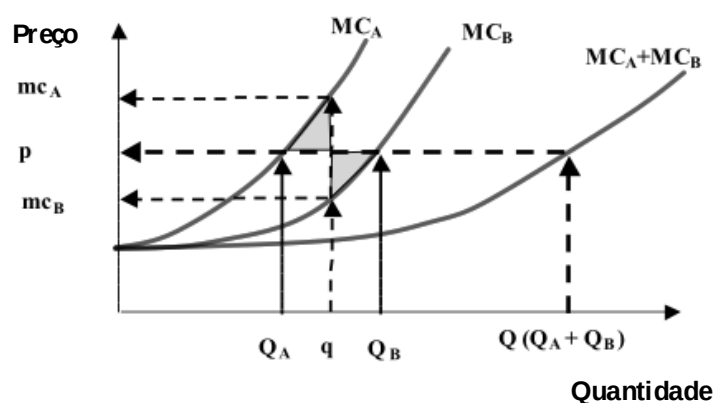


Figura 13 - Custo marginal para cotas e certificados verdes

Fonte: adaptado de Menanteau et al. (2010)

As curvas MC_A e MC_B representam o custo marginal de geração de energia de produtores A e B, respectivamente. Como o produtor A possui um custo maior do que o produtor B, para atingir o objetivo proposto q , ele poderá optar por produzir somente Q_A e comprar o restante por meio de certificados verdes do produtor B, que possui um menor custo de produção. Dessa forma, o custo total para se atingir o objetivo proposto, representado pela curva $MC_A + MC_B$, é minimizado.

As cotas (também chamadas de RPS – *Renewable Portfolio Standard*) são consideradas o mecanismo de incentivo de menor custo para o governo, e também propiciam queda nos custos de tecnologia. No entanto, vale ressaltar a falta de flexibilidade desse mecanismo no que diz respeito à alteração de metas no curto prazo. Além disso, o incentivo pode desfavorecer as

tecnologias de alto custo: será mais vantajoso comprar certificados do que produzir a energia por meio dessa tecnologia (ABDMOULEH; ALAMMARI; GASTLI, 2015).

As políticas de cotas também podem ser planejadas como um todo ou especificamente para cada tipo de energia. No caso de uma política de cotas neutra em relação à tecnologia, a meta é fixada de modo geral e a tecnologia mais vantajosa será escolhida naturalmente pelo mercado. Já no caso de cotas para uma tecnologia específica, o governo irá determinar qual tecnologia deverá ser desenvolvida (HENRIQUE; SANTANA, 2016).

Em relação aos certificados verdes, diversos fatores podem ocasionar a sua demanda, como a vontade dos consumidores em ajudar a produção de energia renovável ou o desejo do governo em aumentar a meta de geração para os produtores de energia renovável. Um mercado para esses certificados deve surgir, e o preço será regido pela oferta e demanda (EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY, 2001). O mercado de certificados verdes faz com que o cumprimento da obrigação não esteja mais vinculado ao consumo de energia renovável, ou seja, há separação entre o mercado físico e o mercado de certificados. Esse mercado é considerado como um serviço dos benefícios do uso de energia renovável (RINGEL, 2003 apud RINGEL, 2006).

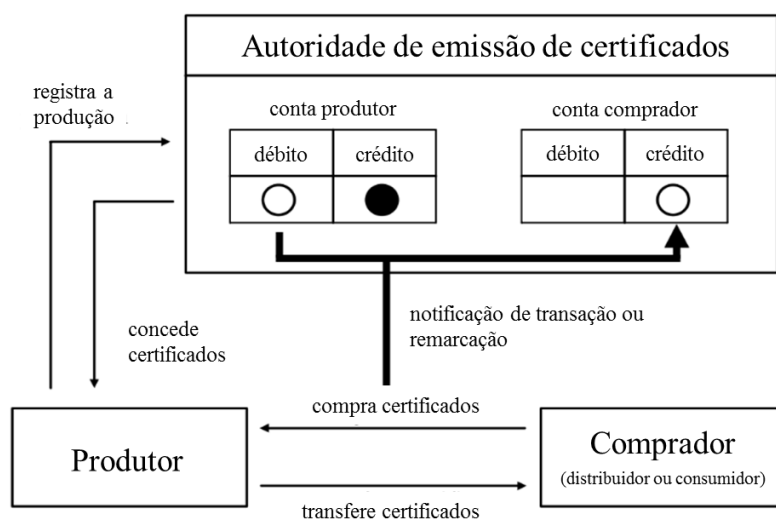


Figura 14 - Funcionamento de compra e venda de certificados verdes

Fonte: adaptado de Ringel (2006)

A Figura 14 ilustra o funcionamento de compra e venda de certificados verdes, que é controlada por uma autoridade, responsável pela contabilidade de compra e venda. Os produtores ganham certificados de acordo com a quantidade produzida, e os vendem para os consumidores ou

distribuidores de energia. Segundo Ringel (2006), a separação do mercado de energia renovável e de certificados verdes gera grande flexibilidade a essa política, devido à possibilidade do produtor satisfazer as suas obrigações de produção por meio da compra de certificados verdes.

2.4.3 Leilões

Nesse tipo de incentivo, o governo determina a quantidade que deverá ser contratada a partir de energia renovável, e organiza leilões entre produtores e compradores. Os produtores podem submeter uma proposta para uma determinada tarifa de alimentação ou para uma quantidade de subsídio pré-determinada. O melhor projeto será escolhido para ser subsidiado por determinado período de tempo (ACKERMANN; ANDERSSON; SÖDER, 2001).

Assim como as tarifas de alimentação e o mecanismo de cotas, os leilões também podem ser projetados especificamente para um tipo de fonte. No caso de leilão sem restrições para o tipo de fonte, alguns projetos podem não ser contratados, devido ao alto custo nivelado de energia de certa tecnologia em relação às demais (HENRIQUE; SANTANA, 2016).

Na competição entre os produtores, será analisada a proposta de preço por quantidade de energia gerada e os produtores serão ranqueados em ordem crescente de preço. O preço será definido pelo último projeto que possibilita atingir a quantidade de energia estabelecida pelo governo. Deste modo, cada produtor receberá um subsídio diferente, dependente da sua proposta inicial (MENANTEAU; FINON; LAMY, 2010). A Figura 15 demonstra a relação preço-quantidade para essa política de leilões.

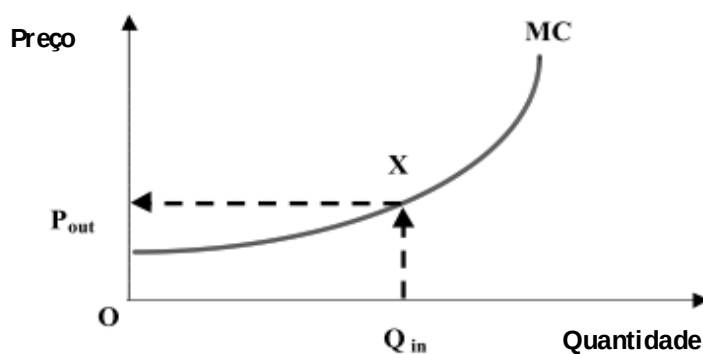


Figura 15 - Custo marginal para leilões

Fonte: adaptado de Menanteau et al. (2010)

A curva MC representa o custo marginal de geração de energia. No caso dos leilões, certa quantidade será estabelecida Q_{in} , de modo que o custo P_{out} será o custo do último projeto que possibilita atingir essa meta.

O custo da diferença entre o preço de mercado da energia e o valor da energia renovável será arcado pelo governo ou pelo consumidor final. Se o mercado e os leilões funcionarem de forma eficiente, essa diferença tende ser a menor possível, dado a competitividade entre os produtores (VERBRUGGEN; LAUBER, 2012).

O incentivo através de leilões é muito eficaz na redução de custos, pois a realiza por meio do preço de mercado. Há o risco, no entanto, de propostas de preços muito baixos e inviáveis, que afaste investidores (ABDMOULEH; ALAMMARI; GASTLI, 2015).

2.4.4 Mecanismo de compensação⁵

O mecanismo de compensação é utilizado pelas companhias de energia elétrica para pequenos produtores de energia, como micro geração fotovoltaica e eólica, por meio do qual apenas o consumo líquido será cobrado na conta de energia elétrica. Deste modo, os produtores podem utilizar a rede de distribuição como forma de armazenar o excesso de energia produzida que não foi consumido em um período de cobrança e consumir essa energia em outro período. Para essa forma de incentivo, a geração e o consumo de energia devem estar situados no mesmo local (ACKERMANN; ANDERSSON; SÖDER, 2001).

O mecanismo de compensação faz com que as concessionárias paguem aos produtores o mesmo valor por energia gerada que é pago pelos produtores por energia consumida. Quando um produtor disponibiliza o excesso de energia na rede de distribuição, as concessionárias devem pagar ao produtor o custo que elas teriam de arcar ao adquirir essa energia (STOUTENBOROUGH, 2008).

De acordo com Idaho State Legislature (2002, S1368:§8-61-801) *apud* STOUTENBOROUGH (2008), o mecanismo de compensação é frequentemente adotado por “incentivar o investimento privado em fontes de energia renováveis, estimular o crescimento econômico do estado, incentivar independência e segurança em relação à energia e aumentar a diversificação contínua

⁵ No inglês: *net metering*

dos recursos energéticos do estado”⁶.

É possível implementar essa política de duas formas: utilizando-se medidor de consumo de eletricidade capaz de rodar para trás, ou por meio de dois medidores, sendo um apenas para o registro do consumo e outro para o registro da geração. Neste caso, o excesso de energia será obtido pela subtração entre os dois valores (WAN; GREEN, 1998).

Essa política não possui vantagens somente para os consumidores, mas também para as concessionárias. Ao incentivar a geração distribuída de energia, as concessionárias otimizam e diminuem as perdas nas redes de transmissão, além de minimizar o custo da administração de pequenos consumidores (WAN; GREEN, 1998).

De acordo com Stoutenborough (2008), existem diversas diferenças entre o mecanismo de compensação e as outras políticas. Primeiramente, o mecanismo de compensação não possui prazo, ou seja, é projetado para longos períodos. Em segundo lugar, o custo dessa política é repassado para as concessionárias, e não para o governo. De acordo com Wan e Green (1998), outra vantagem desse incentivo em relação aos demais é a falta de necessidade de regulamentação por parte do governo após a sua implementação.

Nos Estados Unidos, há algumas particularidades na regulamentação do mecanismo de compensação, que são criadas em cada estado. Ela pode ser diferenciada em relação à tecnologia, à capacidade de geração do produtor, ao tipo de consumidor e ao excedente de energia gerado (ACKERMANN; ANDERSSON; SÖDER, 2001).

2.4.5 Incentivos fiscais

Por meio de incentivos fiscais, os produtores de energia renovável recebem descontos no pagamento de taxas ou podem ser até isentos do pagamento. Essas taxas podem incidir tanto sobre o custo de capital quanto sobre o preço da energia (TUPY; ZAHN, 2009).

Cansino et al. (2010) dividem os incentivos em 3 categorias:

⁶ No original: “*encourages public investment in renewable energy resources, stimulates the economic growth of this state, encourages energy independence and enhances the continued diversification of this state’s energy resources*”

- Taxas diretas: nessa categoria se enquadram o imposto de renda, imposto sobre a pessoa jurídica e imposto sobre os bens.
- Taxas indiretas: impostos relativos a produtos da energia e eletricidade, como o VAT (*Value Added Tax*) na Europa e *Excise Duty*⁷.
- Imposto de Pigou⁸ e outras taxas: são impostos implementados para diminuir o consumo de combustíveis fósseis.

Os incentivos fiscais são oferecidos para superar as barreiras fiscais que as energias renováveis encontram. As medidas tomadas através desse tipo de incentivo tornam o investimento em projetos de energia renovável mais atrativos para os investidores (ABDMOULEH; ALAMMARI; GASTLI, 2015).

⁷ *Excise Duty* é uma taxa cobrada indiretamente na venda ou uso de produtos específicos.

⁸ Imposto de Pigou é uma taxa cobrada para neutralizar as externalidades negativas geradas por certa atividade (VARIAN, 2010).

3 METODOLOGIA

Neste capítulo, será apresentada a metodologia utilizada para a realização deste trabalho. O trabalho foi dividido em quatro etapas, que estão representadas a seguir.

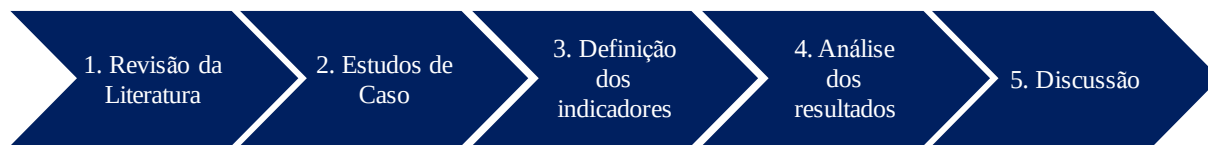


Figura 16 – Metodologia do trabalho

Fonte: elaboração própria

3.1 Revisão da literatura

Na revisão de literatura, foram estudados os temas mais importantes para o desenvolvimento do trabalho.

A teoria das principais políticas públicas foi estudada a fundo, de acordo com diversos artigos e publicações relacionadas ao tema. Além disso, foi realizada discussão do papel da energia renovável na atualidade, além das barreiras para o seu desenvolvimento.

A revisão da literatura permitiu o levantamento das três principais políticas utilizadas mundialmente: tarifas de alimentação, leilões e o mecanismo de compensação. A partir disso, foi possível também definir o foco do trabalho, ou seja, a avaliação dos diferentes modelos de políticas adotados para o incentivo à energia renovável.

3.2 Estudo de casos

A partir do levantamento realizado na literatura, foi possível selecionar três casos de implementação das diferentes políticas para o incentivo de energia renovável. A Tabela 2 apresenta os países escolhidos e as políticas públicas adotadas.

Tabela 2 - Escolha de países para o estudo de casos

País	Políticas Adotadas
Alemanha	Tarifas feed-in
Brasil	Tarifas feed-in, leilões e mecanismo de compensação
Reino Unido	Leilões e cotas com certificados verdes

Fonte: elaboração própria

O critério para a escolha dos países, além da abrangência das principais políticas identificadas como relevantes anteriormente, foi a importância do país no cenário das políticas públicas. No caso, a política de tarifas *feed-in* da Alemanha foi utilizada como modelo por diversos outros países posteriormente, assim como a política de leilões no Reino Unido.

O objetivo dessa etapa não foi a análise dos resultados obtidos, mas sim a comparação do modelo adotado por cada um dos países na prática, em comparação com a teoria das diferentes políticas públicas explicada anteriormente. Dessa forma, buscou-se analisar as diferentes regulamentações, funcionamentos e dificuldades encontradas por cada um deles.

3.3 Proposta de indicadores

Nessa etapa, foram definidos os indicadores que seriam utilizados para medir a eficiência das políticas energéticas. Para a definição, buscou-se contemplar diferentes aspectos das políticas adotadas, a fim de possibilitar avaliação mais completa dos resultados obtidos com as políticas em cada país.

Foram definidos os seguintes indicadores para coleta de dados e análise:

- Evolução do preço para o consumidor final (industrial e residencial).
- Aumento da capacidade instalada.
- Aumento da participação das fontes alternativas na geração de energia elétrica no país.
- Aumento da produção de energia renovável na matriz energética do país.
- Redução da emissão de CO₂ para eletricidade e calor.
- Redução da importação de energia (para a Alemanha e Reino Unido).

3.4 Análise de resultados

Essa etapa contemplou a coleta dos dados necessários para a avaliação dos indicadores propostos. Para isso foi definido um período base para a coleta dos dados, em todos os casos a partir de 1990. A coleta dos dados foi realizada em diversas bases disponíveis na internet, como da biblioteca dos países da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OECD).

Após a coleta dos dados, foram elaborados gráficos para a avaliação da evolução histórica de cada um dos indicadores. Com isso, buscou-se avaliar o resultado de cada política ao longo do tempo.

3.5 Discussão

A discussão foi dividida em duas etapas. Na primeira etapa, foi realizada discussão comparativa entre os resultados obtidos na análise. Dessa forma, buscou-se confrontar os fatores de sucesso de cada caso, a fim de se identificar as melhores práticas para cada objetivo proposto.

A segunda etapa foi dedicada à análise especial do caso brasileiro. Primeiramente, o setor elétrico brasileiro foi apresentado, permitindo assim melhor análise das políticas aplicadas. A seguir, discutiu-se a possibilidade de aplicação de modelos da Alemanha e do Reino Unido para o Brasil.

4 AS EXPERIÊNCIAS DE BRASIL, REINO UNIDO E ALEMANHA

Neste capítulo serão apresentados três estudos de caso de políticas públicas adotadas para a promoção de energia renovável, sendo eles no Brasil, Alemanha e Reino Unido. O objetivo foi contemplar diferentes abordagens dessas políticas, analisando como cada tipo de política encontrado anteriormente na revisão bibliográfica foi aplicado na prática pelos diferentes países. Deste modo, foram selecionados três países com diferentes políticas públicas, para possibilitar posterior análise de indicadores mais representativa e completa. A partir dos resultados encontrados na aplicação das três políticas, busca-se encontrar as melhores práticas no setor de incentivo à energia renovável.

4.1 Brasil

O Brasil já adotou (e vem adotando) três diferentes tipos de políticas para o incentivo de geração de energia renovável: tarifas de alimentação (no âmbito do PROINFA), leilões por tecnologia e o Sistema de Compensação de Energia, que serão apresentados a seguir.

4.1.1 PROINFA no Brasil

O PROINFA (Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de energia elétrica) é um programa implementado pelo governo brasileiro em 2002 para incentivar o aumento da produção de energia elétrica a partir de fontes alternativas. O programa foi responsável pela implementação de 119 projetos até o final de 2011 (ELETROBRÁS, 2016).

O PROINFA foi projetado com o objetivo de aumentar a geração de energia renovável de produtores autônomos independentes não controlados por concessionárias a partir de três fontes: eólica, biomassa da cana-de-açúcar e pequenas centrais hidrelétricas (DUTRA; SZKLO, 2008).

O programa foi implementado pela lei Nº 10.438 em 2002 e planejado em duas fases. A primeira delas se baseou na utilização de tarifas de alimentação para subsidiar a produção de energias renováveis. Os projetos contratados têm contrato de compra e venda de energia por 20 anos junto à Eletrobrás, a tarifas fixadas pelo Ministério de Minas e Energia. Nessa primeira

fase, o objetivo foi a instalação de 3.300MW divididos igualmente entre os três tipos de tecnologia, ou seja, 1.100MW para cada uma das fontes mencionadas (DUTRA; SZKLO, 2008; RUIZ; RODRI; BERMANN, 2007).

De acordo com Lima (2007), o PROINFA também tinha outros objetivos:

- Instalação de pequenos centros de geração de energia em áreas isoladas para satisfazer necessidades básicas.
- Aumento da renda e criação de novos empregos em zonas rurais.
- Estimulação de novas energias renováveis oferecimento de treinamento para que as comunidades pudessem operar e manter os novos centros.
- Aumentar o fornecimento de energias renováveis a partir de fontes renováveis.

A Figura 17 mostra os resultados da primeira fase do PROINFA, comparando a capacidade de geração planejada com a contratada para cada tipo de tecnologia definido pelo programa. Nota-se que a primeira fase programa foi bem-sucedida no que diz respeito ao aumento da capacidade de energia gerada tanto por pequenas hidrelétricas quanto eólica. No entanto, a primeira fase do programa não atingiu as metas propostas para a geração por biomassa, tendo apenas 685 MW.

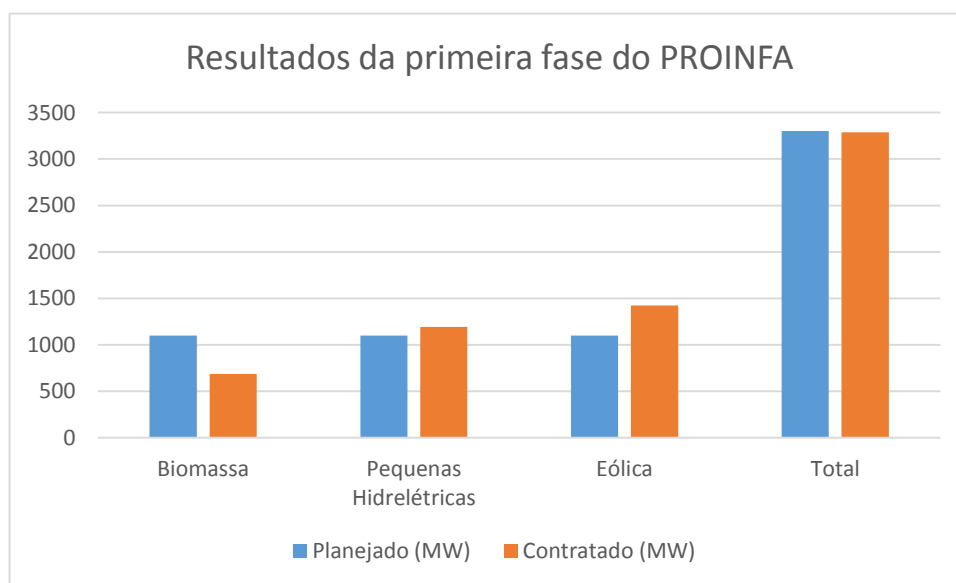


Figura 17 - Resultados da primeira fase do PROINFA

Fonte: elaboração própria com base nos dados disponíveis em Dutra e Szklo (2008)

De acordo com (DUTRA; SZKLO, 2008), uma das razões para a baixa capacidade instalada de geração por biomassa é o fato da baixa tarifa aplicada para essa tecnologia, não atraindo os

investimentos necessários. Além disso, a produção de energia por biomassa confrontava com a proposta do governo de aumentar a frota de carros movidos a etanol no Brasil, devido ao custo de oportunidade do investimento em bagaço de cana para a geração de energia (Polito, 2005 apud DUTRA; SZKLO, 2008).

Segundo Lima (2007), a primeira fase do PROINFA sofreu diversas dificuldades. Além da baixa participação da biomassa conforme explanado anteriormente, a construção dos projetos selecionados das demais fontes também sofreu atrasos. Inicialmente, elas estavam previstas para a entrada em operação comercial plena até o final de 2006, e tiveram de ser adiadas para 2011. Uma das razões para esse atraso foi a dificuldade de se obter financiamento junto ao BNDES. Além disso, o programa obrigava mínimo de 60% de nacionalização das turbinas eólicas, sendo que o país contava com apenas com um fabricante, criando um mercado monopolístico, que também contribuiu para o atraso na realização dos projetos.

A segunda fase do programa teria como objetivo a produção a partir de fontes alternativas de energias renováveis de 10% da energia elétrica consumida no país até o ano 2022 (RUIZ; RODRI; BERMANN, 2007). Entretanto, o PROINFA encerrou-se na primeira fase.

4.1.2 Leilões

Em 2004, foi criado o Novo Modelo do Setor Elétrico Brasileiro, cuja contratação de energia elétrica pelas distribuidoras para atendimento dos consumidores cativos (residencial e pequenos comercial e industrial) é baseada em leilões, regulados e promovidos pelas autarquias federais, nos quais os projetos com menores tarifas serão contratados para o benefício do consumidor, cujo objetivo principal é a busca da modicidade tarifária. De acordo com as diretrizes definidas pelo Ministério de Minas e Energia (MME) a cada leilão, a contratação pode ser segmentada por tecnologia de geração, ou seja, reservando parte da demanda das distribuidoras para ser suprida por fontes renováveis.

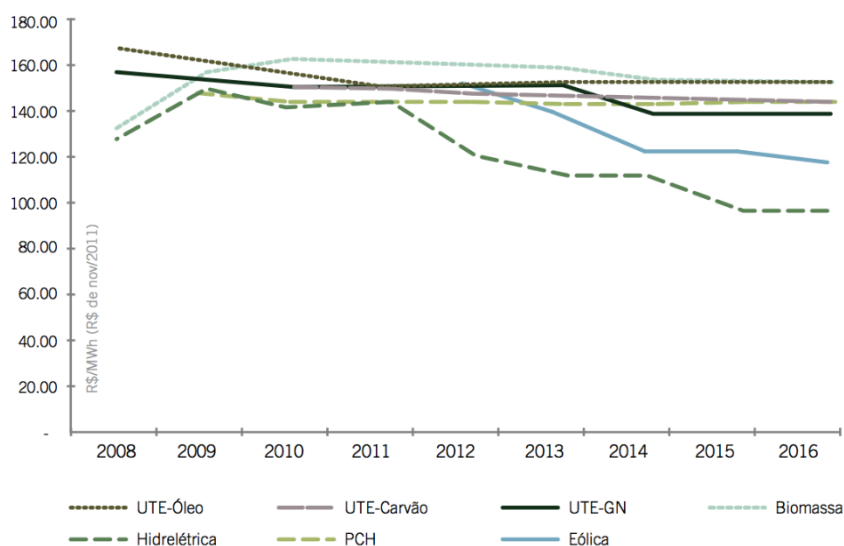
Em 2012 foi regulamentado o leilão de fontes alternativas, com o Decreto no 6.048, visando aumentar o mercado no ambiente regulado e obter um crescimento da participação de fontes renováveis na matriz energética brasileira. Entretanto, antes mesmo da formalização de leilão específico para as fontes eólica, biomassa e PCH (Pequenas Centrais Hidrelétricas), essas fontes já participavam dos leilões de comercialização desde 2008, em alguns casos competindo com

fontes tradicionais e em outros com produtos específicos. Os leilões são organizados pela CCEE (Câmara de Comercialização de Energia Elétrica).

Há alguns tipos de leilões atualmente no Brasil (CCEE, 2016a):

- Leilão de Fontes Alternativas: para a promoção de energia eólica, biomassa e pequenas centrais hidrelétricas.
- Leilão Estruturante: para empreendimentos com prioridade de licitação, estratégicos e de interesse público.
- Leilão de Energia de Reserva: para garantir a segurança do Sistema Interligado Nacional (SIN).
- Leilão de Energia Nova: para expandir a capacidade de geração no Brasil, visando a contratação de novos projetos.
- Leilão de Energia Existente: para contratação de energia de usinas já existentes.
- Leilão de Ajuste: para adequar as previsões anteriores com o comportamento do mercado.

De acordo com o Instituto Acende Brasil (2012), os leilões de energia têm promovido a entrada de diversos empreendedores no setor de energia, além de promover a redução de custos, por meio da competitividade. Além disso, há seleção entre os empreendedores, tanto em relação aos custos, quanto aos serviços. Até o outubro de 2016, foram contratados mais de 36,4 GW médios (94 GW de potência), em 23 leilões de energia nova, 10 leilões de energia de reserva e 3 leilões de fontes alternativas. Do total de energia contratada, 61,8% é proveniente de fontes renováveis, na seguinte proporção 35,4% hidrelétrica, 18,2% eólica, 6,3% biomassa e apenas 1,9% de solar fotovoltaica. A Figura 18 mostra a evolução do preço médios praticados nos leilões, de acordo com a tecnologia. Nota-se que houve uma redução nos preços oferecidos ao longo do tempo.



Fonte: Aneel e CCEE. Elaboração: Instituto Acende Brasil.

Figura 18 - Preço médio praticado nos leilões por fonte de energia

Fonte: Instituto Acende Brasil (2012)

Contudo, o Instituto Acende Brasil (2012) lista alguns pontos de melhorias para os leilões, dentre eles:

- Manter a regularidade dos leilões.
- Assegurar a entrada sincronizada de empreendimentos de geração e transmissão.
- Assegurar o cumprimento dos contratos dos leilões.
- Evitar que os preços máximos definidos nos leilões sejam muito agressivos.

4.1.3 Mecanismo de compensação

Em 2012, a ANEEL aprovou a criação do Sistema de Compensação de Energia, com o objetivo de incentivar a micro e mini geração distribuída. A geração distribuída é definida como a geração de energia elétrica perto de unidades consumidoras. Alguns benefícios podem ser proporcionados com essa adoção: diminuição do impacto ambiental, diversificação da matriz energética e possibilidade da postergação de investimentos em expansão do sistema de distribuição e transmissão.

De acordo com a ANEEL, o tipo de geração considerado pelo sistema consiste na produção de energia elétrica a partir de fontes renováveis, como eólica, hídrica, solar, biomassa e cogeração qualificada. A micro geração é definida como projetos de até 100kW e a mini geração é definida como 100kW até 1 MW(ANEEL, 2012).

O Sistema de Compensação de Energia permite que a unidade produtora injete no sistema de distribuição o excedente de energia produzida, e esse crédito poderá ser utilizado em prazo de até 36 meses (expandido para 60 meses em 2015), cujas informações estarão disponíveis na fatura. Órgãos públicos e empresas com filiais podem reduzir o consumo em uma filial pela produção na outra.

Como a regulamentação de 2012 não surtiu os efeitos desejados pela Agência, em 2015 foi publicado aperfeiçoamento da norma por meio da Resolução Normativa 687, na qual a ANEEL estabeleceu novas possibilidades de uso para os créditos acumulados (PRÁTIL, 2016):

- Geração compartilhada: cooperativa ou consórcio de consumidores dentro de uma mesma área, composta por pessoa física ou jurídica.
- Autoconsumo remoto: quando o local consumidor é diferente do local de geração de energia.
- Empreendimento com múltiplas unidades consumidoras: funciona como uma espécie de condomínio, onde as unidades consumidoras devem estar situadas na mesma propriedade ou em propriedades adjacentes.

Além disso, com a publicação da nova resolução, foram redefinidos os valores de potência instalada para micro e mini geração distribuída. O prazo para a utilização de créditos obtidos também aumentou de 36 meses para 60 meses (ANEEL, 2016a).

O produtor de energia distribuída será responsável por arcar com os custos de instalação dos equipamentos. Deste modo, ele deve realizar a avaliação de diversos fatores, como os benefícios do projeto, a tecnologia a ser utilizada e a capacidade a ser instalada e as tarifas que serão aplicadas à central geradora. Os custos de manutenção após a adaptação recaem sobre a distribuidora (ANEEL, 2012).

4.1.4 O setor elétrico brasileiro

O modelo do setor elétrico brasileiro desde a década de 90 teve como base a liberalização, depois de longo período de controle estatal, o qual entre outras medidas, determinou a divisão das companhias entre geradoras, transmissoras e distribuidoras. A transmissão e distribuição de energia continuam regulamentadas em função de características de monopólio natural, porém

a geração é competitiva (ANEEL, 2016b). O atual modelo foi planejado baseado em alguns objetivos: segurança no suprimento de energia, modicidade tarifária e promoção da inserção social.

A Tabela 3 apresenta as principais mudanças ocorridas no setor elétrico brasileiro nas últimas décadas.

Tabela 3 - Mudanças no setor elétrico brasileiro

Modelo Antigo (até 1995)	Modelo de Livre Mercado (1995 a 2003)	Novo Modelo (2004)
Financiamento através de recursos públicos	Financiamento através de recursos públicos e privados	Financiamento através de recursos públicos e privados
Empresas verticalizadas	Empresas divididas por atividade: geração, transmissão, distribuição e comercialização	Empresas divididas por atividade: geração, transmissão, distribuição, comercialização, importação e exportação.
Empresas predominantemente Estatais	Abertura e ênfase na privatização das Empresas	Convivência entre Empresas Estatais e Privadas
Monopólios - Competição inexistente	Competição na geração e comercialização	Competição na geração e comercialização
Consumidores Cativos	Consumidores Livres e Cativos	Consumidores Livres e Cativos
Tarifas reguladas em todos os segmentos	Preços livremente negociados na geração e comercialização	No ambiente livre: Preços livremente negociados na geração e comercialização. No ambiente regulado: leilão e licitação pela menor tarifa
Mercado Regulado	Mercado Livre	Convivência entre Mercados Livre e Regulado
Planejamento Determinativo - Grupo Coordenador do Planejamento dos Sistemas Elétricos (GCPS)	Planejamento Indicativo pelo Conselho Nacional de Política Energética (CNPE)	Planejamento pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE)
Contratação: 100% do Mercado	Contratação : 85% do mercado (até agosto/2003) e 95% mercado (até dez./2004)	Contratação: 100% do mercado + reserva
Sobras/déficits do balanço energético rateados entre compradores	Sobras/déficits do balanço energético liquidados no MAE	Sobras/déficits do balanço energético liquidados na CCEE. Mecanismo de Compensação de Sobras e Déficits (MCSD) para as Distribuidoras.

Fonte: (CCEE, 2016b)

O modelo antigo do setor elétrico, vigente até 1995, era caracterizado por empresas verticalizadas e monopólios, além do mercado regulamentado. Além disso, o financiamento era realizado por meio de recursos públicos. O modelo de livre mercado e o novo modelo dividiram as empresas por atividades, criando a competição no segmento de geração e comercialização e o financiamento por meio de recursos públicos e privados. Hoje, o novo modelo prevê a contratação de 100% do mercado e reserva, além da convivência entre empresas públicas e privadas no setor.

Segundo a ABRADDEE (Associação Brasileira dos Distribuidores de Energia Elétrica), a atividade de geração é responsável pela produção de energia elétrica e pela injeção da

eletricidade produzida na rede de transmissão e distribuição. A transmissão é caracterizada pelo transporte de grandes quantidades de energia a partir das fontes geradores, atualmente feita por 77 concessionárias no país. Já a atividade de distribuição recebe a energia do sistema de transmissão e a distribui para pequenos e médios consumidores, onde participam 63 concessionárias no país (ABRADEE, 2016).

Com o último ajuste no modelo do setor na década de 2000, dois ambientes de contratação passaram a existir: o Ambiente de Contratação Regulada (ACR) e o Ambiente de Contratação Livre (ACL). O ACR é utilizado exclusivamente por geradoras e distribuidoras, enquanto que no ACL podem participar geradoras, comercializadoras, importadores, exportadores e consumidores livres. No ACR a principal forma de contratar grandes quantidades de energia passou a ser o sistema de leilões de comercialização (ANEEL, 2016b).

O novo modelo do setor elétrico brasileiro, estabeleceu a seguinte estrutura, com a criação de novas instituições e funções:

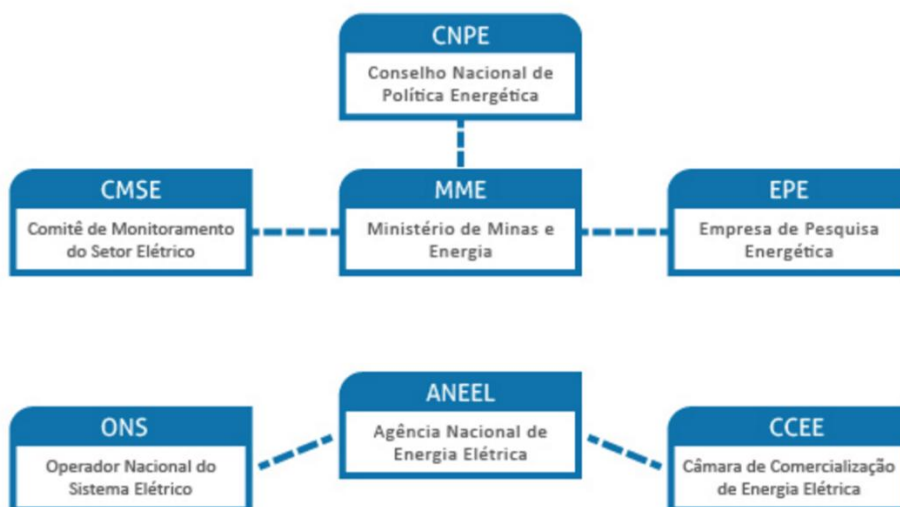


Figura 19 - O setor elétrico brasileiro

Fonte: (CCEE, 2016b)

- ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica: atua como uma entidade reguladora de todos os agentes que operam no SIN (Sistema Interligado Nacional). Tem a obrigação de regular e fiscalizar a geração, transmissão e distribuição de energia elétrica.

- ONS – Operador Nacional do Sistema Elétrico: é responsável por controlar e coordenar a operação das plantas de geração e administrar as redes de transmissão de energia elétrica no país. Deve garantir a confiabilidade do sistema elétrico brasileiro.
- CCEE – Câmara de Comercialização de Energia Elétrica: é responsável por viabilizar as atividades de compra e venda de energia.
- MME – Ministério de Minas e Energia: é responsável por conduzir, formular e implementar as políticas energéticas do país. Além disso também deve realizar o planejamento do setor energético nacional.
- CMSE – Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico: tem como principal objetivo o acompanhamento a garantia da segurança elétrica por todo o país.
- EPE – Empresa de Pesquisa Energética: é vinculada ao Ministério de Minas e Energia, com a principal responsabilidade de realizar estudos e pesquisas para o planejamento do setor elétrico.
- CPNE – Conselho Nacional de Política Energética: é uma instituição interministerial, com o objetivo de garantir o suprimento de energia elétrica para as áreas mais remotas do país.

4.2 Alemanha

A Alemanha adotou política de tarifas de alimentação, que serviu como modelo para diversos outros países posteriormente. A política de tarifas de alimentação foi introduzida em 1991 com a StrEG⁹ e posteriormente substituída pela EEG¹⁰ em 2000, que também sofreu alterações em 2004 e em 2009 (BÜSGEN; DÜRRSCHMIDT, 2009).

Segundo Wüstenhagen e Bilharz (2006), os objetivos do primeiro modelo (StrEG) não estavam claramente definidos, e desejavam apenas a promoção de energias renováveis, com foco nas pequenas hidrelétricas e plantas eólicas. Já o segundo modelo (EEG) tinha como objetivo facilitar o desenvolvimento sustentável de energia, tendo em vista o aquecimento global e a proteção ao meio ambiente, por meio do aumento na porcentagem de energia renovável na matriz energética. A emenda da EEG em 2004 definiu objetivos mais claros para a política:

⁹ No original: *Stromeinspeisungsgesetz*

¹⁰ No original: *Erneuerbare-Energien-Gesetz*

- Reduzir o custo da oferta de energia para a economia nacional por meio da internalização de custos.
- Contribuir para a redução de conflitos geopolíticos pelos recursos fósseis.
- Promover o desenvolvimento das diferentes tecnologias de energia renovável.
- Aumentar a parcela de energia renovável na produção de eletricidade para 12,5% até 2010 e 20% até 2020.

O primeiro modelo, StrEG, foi baseado no preço de mercado somado a pagamento adicional de um prêmio. Na época, as concessionárias eram obrigadas a comprar energia renovável desses produtores e a pagar esse prêmio, calculado como porcentagem sobre o valor de mercado. Esse valor era fixado como a 90% do preço da energia elétrica pago pelos consumidores finais no ano anterior. Deste modo, os produtores estavam sujeitos à variação dos preços no mercado (BUTLER; NEUHOFF, 2008; MITCHELL; BAUKNECHT; CONNOR, 2006).

Com a liberalização do mercado de energia, o preço de mercado da energia diminuiu. Como as tarifas pagas pelo primeiro modelo dependiam do preço do mercado, as tarifas recebidas pelos produtores também sofreram queda. Devido à reclamação dos produtores, o modelo de subsídios foi alterado para tarifas fixas pela EEG. Em ambos os modelos adotados na Alemanha, os custos do subsídio eram arcados pelo consumidor final. No primeiro modelo, as concessionárias tinham de repassar os custos apenas para a área onde atuavam; já no modelo adotado pela EEG, os custos são agora divididos por todos os consumidores no país, ou seja, um consumidor que vive em uma área onde há uma maior produção de energia renovável não é impactado mais fortemente pela política (MITCHELL; BAUKNECHT; CONNOR, 2006).

O sistema de tarifas de alimentação instalado na Alemanha possui três pilares: a obrigação de compra para a concessionária, preços mínimos garantidos e a fixação de custos nacional, a fim de evitar disparidades regionais. Com a introdução do novo modelo, a obrigação de compra, que antes se destinava à concessionária, agora se destina à companhia de transmissão, que também é um monopólio (WÜSTENHAGEN; BILHARZ, 2006).

Segundo Mitchell, Bauknecht e Connor (2006), a lei de EEG determina que as concessionárias conectem os produtores de energia renovável à sua rede, aceitem toda a produção dessas plantas e paguem uma tarifa pré-determinada aos produtores dessa energia. A remuneração decresce com o tempo, mas cada produtor tem direito ao recebimento das tarifas por 20 anos.

De acordo com Büsgen e Dürschmidt (2009), os custos associados com a implantação e operação da política de tarifas de alimentação na Alemanha são superados pelos benefícios trazidos com ela. O aumento da utilização de energia renovável reduz a dependência externa de carvão e gás natural, gerando uma economia de aproximadamente 0,9 bilhões de Euros em 2006. Além disso, a diminuição de emissões de CO₂ pela redução do uso de combustíveis fósseis também reduz os custos da externalidade que seriam gerados com as emissões (BMU, 2007 apud BÜSGEN; DÜRRSCHMIDT, 2009).

A política da Alemanha oferece remuneração fixa que é diferenciada de acordo com alguns fatores, dentre eles (MITCHELL; BAUKNECHT; CONNOR, 2006):

- Tecnologia: a remuneração oferecida para plantas solares, por exemplo, é cerca de sete vezes maior que para plantas geotermiais.
- Data de comissionamento: utilizada para calcular a forma com que o subsídio é diminuído ao longo do tempo.
- Local: as plantas que se situam em melhores locais e consequentemente conseguem produzir uma maior quantidade de energia têm seu subsídio reduzido mais rapidamente do que plantas que estão localizadas em locais menos favorecidos.
- Todo ano, o governo realiza uma revisão nas taxas oferecidas, que depende de desenvolvimentos tecnológicos e de mercado. Essa revisão se aplica somente a novos projetos que ainda não foram beneficiados pela lei.

A Tabela 4 mostra a diferença de remuneração oferecida pela EEG de acordo com os diferentes entre os diferentes tipos de tecnologias e as capacidades instaladas na Alemanha, em ct/KWh.

Tabela 4 - Remuneração para os diferentes tipos de tecnologia na Alemanha

Tipo de Tecnologia	Capacidade	Remuneração (ct/KWh)
Eólica	-	9,1
Solar	<100kW	51,62
Solar	<5MW	48,1
Biomassa	<500kWe	10
Biomassa	entre 500kWe e 5 Mwe	9
Biomassa	entre 5 Mwe e 20MWe	8,5
Hidro aterro e gas de esgoto	<500 kWe	7,67
Hidro aterro e gas de esgoto	entre 500 kWe e 5MWe	6,5
Plantas geotérmicas	<20MWe	8,5
Plantas geotérmicas	>20MWe	7

Fonte: adaptado de Mitchell et al. (2006)

Büsgen e Dürschmidt (2009) enumeram alguns pontos de sucesso da política aplicada na Alemanha, dentre eles, destacam-se:

- A parcela de energia elétrica na Alemanha produzida a partir de fontes renováveis quase dobrou desde a implantação da política.
- Diminuição nas emissões de CO₂.
- Aumento na geração de empregos em setores de energia renovável.

De acordo com Wüstenhagen e Bilharz (2006), alguns fatores facilitaram o sucesso do modelo alemão adotado:

- Um forte governo centralizado e uma cultura política aberta à intervenção estatal.
- Diversos grupos a favor do desenvolvimento da energia renovável.
- Uma grande quantidade de políticos com conhecimento em energia renovável.

4.3 Reino Unido

O Reino Unido já apresentou dois tipos de políticas para energia renovável: leilões e cotas com certificados verdes, que serão explicados a seguir.

4.3.1 NFFO

A política de leilões no Reino Unido, *Non-Fossil Fuel Obligation* (NFFO), surgiu em 1990 com o objetivo de criar mercado para a energia nuclear. A primeira obrigação para energias renováveis ocorreu em 1990, e a partir disso, quatro novas obrigações foram impostas, em 1991, 1994, 1997 e 1998.

A primeira obrigação, em 1990, forneceu contratos para 152 MW de capacidade líquida instalada; a segunda obrigação, em 1991 proporcionou a contratação de 472 MW e a obrigação de 1994 contratou 626,92MW (MITCHELL, 1998).

De acordo com Kettle (1999), os motivos da criação dessa política no Reino Unido foram:

- Motivações ambientais, incluindo a redução de gases que contribuem para o efeito estufa.
- Aumentar a diversidade e a segurança na oferta de energia.

- Encorajar o crescimento de indústrias internacionalmente competitivas.

Segundo Ackermann et al. (2001), durante o primeiro modelo (NFFO1), cada projeto era avaliado separadamente, e os projetos não competiam entre si. Já com a adoção do segundo modelo, a NFFO2, os projetos competiam entre si, ou seja, as diferentes tecnologias. Esses projetos recebiam pagamento por 8 anos. Os modelos NFFO3, NFFO4 e NFFO5 seguiam a mesma lógica, mas os projetos ganhavam os preços ofertados, que eram pagos por um período de 15 anos. Essa política de leilões levou a grande redução de custos, conforme ilustra a Tabela 7, durante a vigência do NFFO5, os preços praticados nos leilões eram menores do que o preço de mercado para energia. No entanto, os leilões ainda continuavam atrativos devido aos contratos oferecidos por 15 anos, fazendo com que os riscos financeiros fossem mais fáceis de calcular.

Tabela 5 - Preços praticados nos leilões no Reino Unido, em pence/KWh

	NFFO3	NFFO4	NFFO5
Grandes usinas eólicas	3,98-5,99	3,11-4,95	2,43-3,1
Pequenas usinas eólicas	-	-	3,40-4,6
Hidrelétricas	4,25-4,85	3,80-4,40	3,85-4,3
Biogás de aterro	3,29-4,00	2,80-3,20	2,59-2,8
Lixo	3,48-4,00	2,66-2,80	2,43-2,4
Biomassa	4,90-5,62	5,49-5,79	-

Fonte: adaptado de Ackermann et al. (2001)

Uma das maiores críticas à política adotada foi a de que os projetos que eram selecionados com menor custo nem sempre significavam que seriam construídos (ABDMOULEH; ALAMMARI; GASTLI, 2015). De fato, a Tabela 6 mostra um exemplo disso, dado que diversos projetos que foram contratados em 1991 não chegaram a ser finalizados.

Tabela 6 - Status dos projetos da NFFO em 1991

Tecnologia	Projetos contratados		Projetos em geração		Projetos parados		Projetos a serem comissionados		Taxa de finalização (%)	
	Unidades	MWh	Unidades	MWh	Unidades	MWh	Unidades	MWh	Unidades	MWh
Eólica	49	84,43	23	47,15	21	25,32	5	10,83	47	56
Hídrica	12	10,86	7	10,05	-	-	5	0,81	58	93
Gas de aterro	28	48,45	26	44,73	2	2,06	-	-	93	92
Combustão de lixo	10	271,48	2	31,5	6	214,38	2	25,6	20	12
Outras combustões	4	30,15	1	12,5	1	8,45	2	9,2	25	41
Gas de esgoto	19	26,86	19	26,86	-	-	-	-	100	100
Total	122	472,23	78	172,79	30	250,2	14	46,34	64	37

Fonte: adaptado de Mitchell (1998)

4.3.2 Obrigação de renováveis

A obrigação de renováveis (RO)¹¹ é uma política de cotas com certificados verdes na Inglaterra e no País de Gales, que entrou em vigor em Abril de 2002, substituindo a NFFO. De acordo com Mitchell et al. (2006), três razões explicam a escolha desse modelo para a substituição da NFFO:

- Um mecanismo baseado no mercado seria mais desejável para desenvolver as tecnologias e manter a competitividade para preços baixos.
- Os produtores de energia renovável seriam mais integrados ao mercado de energia.
- Como a política é independente em relação ao tipo de tecnologia, a energia de menor custo não seria beneficiada.

O mecanismo funciona da seguinte forma: os produtores devem se aplicar para receber aprovação como produtor de energia renovável. O número de certificados por MWh produzido é então determinado, dependendo do tamanho, tecnologia e localização da planta de produção. O produtor possui o dever de transferir seus certificados a uma terceira parte apropriada. Assim que um fornecedor adquirir um certificado, ele pode utilizá-lo para cumprir as suas obrigações (OFGEM, 2015).

Originalmente, os produtores eram obrigados a produzir certa quantidade de energia a partir de fontes renováveis. Essa proporção aumentou anualmente, de 3% em 2002-2003 até 10,4% em 2010-2011. Cada produtor ganhava um certificado verde por MWh de energia renovável gerado. Esses certificados poderiam ser vendidos juntamente com a energia para os distribuidores ou separadamente para corretores. Quando os distribuidores não conseguiam cumprir a sua obrigação, eles deveriam pagar penalidade para um fundo *buyout* administrado pela Ofgem, definida por MWh não cumprido. Dessa forma, o preço estabelecido pela penalidade de não cumprir a meta define limite para o preço da energia renovável: caso os preços estabelecidos sejam muito altos, será mais vantajoso pagar a penalidade e comprar energia de outra forma (WOODMAN; MITCHELL, 2011).

A Figura 20 ilustra o funcionamento dessa política, apresentando o fluxo dos certificados (ROC¹²) entre as concessionárias, geradores, corretores e o órgão regulador de gás e energia

¹¹ No original: *Renewable obligation*

¹² No inglês: *Renewables Obligation Certificate*

(Ofgem¹³). A Ofgem é responsável por emitir os certificados para os geradores de energia, que podem vendê-los para corretores ou para as concessionárias de energia. As concessionárias devem mostrar os certificados para essa autoridade, ou pagar a penalidade *buyout*.

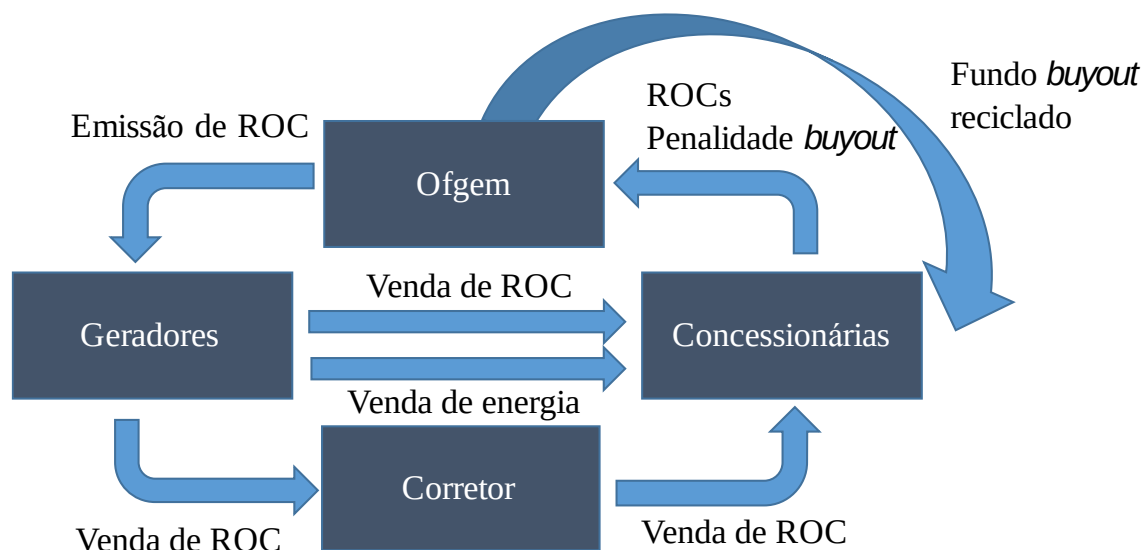


Figura 20 - Funcionamento da política de cotas no Reino Unido

Fonte: adaptado de Woodman e Mitchell (2011)

A Ofgem monitora as atividades e responsável por facilitar o sistema por meio de algumas responsabilidades (MITCHELL; BAUKNECHT; CONNOR, 2006):

- Operar o sistema de certificados para os projetos elegíveis.
- Monitorar a geração e a criação desses certificados (1 Certificado = 1MWh).
- Monitorar a *compliance* dos fornecedores.
- Monitorar a conexão entre os certificados verdes e isenções fiscais (disponíveis para empresas que querem reduzir seus impostos sobre mudanças climáticas).

A Tabela 7 mostra a performance da política de cotas no Reino Unido. Na primeira coluna são apresentadas as metas estipuladas para cada ano, ou seja, a porcentagem da produção de energia que deveria ser alcançada com energia renovável. A segunda coluna mostra a parcela alcançada no ano, e a terceira o percentual da meta realizada. Nota-se que as metas estabelecidas são altas quando comparadas com os resultados obtidos.

¹³ No original: *Office of Gas and Electricity Markets*

Tabela 7 - Performance da política de cotas no Reino Unido

Ano	Meta (%)	Realizada (%)	% da meta realizada
2002		1,8	60
2003	4,3	2,2	51
2004	4,9	3,1	63
2005	5,5	4	73
2006	6,7	4,4	66
2007	7,9	4,8	62
2008	9,1	5,4	59
2009	10,1	6,7	66

Fonte: adaptado de DECC (2010) apud Woodman e Mitchell (2011)

Ainda segundo Mitchell et al. (2006), a política adotada no Reino Unido possui algumas vantagens:

- O sistema atua como uma contabilização para verificar se as metas já foram atingidas.
- Todos os distribuidores de energia são legalmente obrigados a cumprir as suas cotas, seja por meio da compra de energia ou pela compra *buyout*.
- Os negócios são facilitados devido aos certificados comerciáveis.
- Os fornecedores podem repassar os custos para os consumidores, porém existe um limite para isso, devido ao preço de *buyout*.

No entanto, Woodman e Mitchell (2011) citam alguns problemas ocorridos durante a implementação do programa no Reino Unido:

- O planejamento do mecanismo para ser neutro em relação ao tipo de tecnologia fez com que as companhias optassem pelas tecnologias de menor custo, ou seja, eólica e biogás de aterro.
- Os produtores não possuíam nenhuma garantia de contrato com as distribuidoras, o que significou maior risco de financiamento para os novos projetos, e consequentemente maior taxa de retorno.
- Não havia preço definido para os certificados verdes, já que no caso de todos os distribuidores cumprirem com as metas, o valor dos certificados seria zero. A incerteza relacionada ao preço dos certificados verdes fez com que maior taxa de retorno fosse exigida. Esse fato específico mostrava que o programa já estava destinado a falhar: alcançar todas as metas impostas pelas cotas significava diminuir com os subsídios.

- Falta de incentivo para a entrada de pequenos projetos no mercado de energia elétrica, devido aos altos custos de transação envolvidos na participação do programa.

5 INDICADORES DE DESEMPENHO

Nesse capítulo serão detalhados alguns indicadores de desempenho que serão utilizados para medir o benefício das diferentes políticas públicas apresentadas no capítulo anterior em algumas esferas.

A ideia é que os indicadores contemplem dois principais aspectos em que essas políticas públicas podem trazer melhorias: econômica e ambiental. Vale ressaltar que os indicadores podem ser aplicados para qualquer política.

O principal objetivo dos indicadores propostos será a comparação dos resultados das diferentes políticas. Desse modo, busca-se obter uma comparação entre os efeitos gerados em cada país nas duas esferas analisadas.

5.1 Apresentação dos Indicadores

5.1.1 *Aspecto Econômico*

Nesse aspecto, se enquadram os indicadores: oferta de energia proveniente de fontes renováveis não tradicionais (eólica e fotovoltaica), capacidade de geração de energia renovável instalada e o preço da energia para o consumidor final.

Oferta de energia

A quantidade de energia proveniente de fontes renováveis ofertada no período deve aumentar durante a política vigente. Além disso, espera-se que para que a política seja realmente eficaz, esse aumento na oferta de energia possa perdurar depois de sua vigência.

A capacidade de geração instalada é uma medida apropriada para a oferta de energia, de modo que será realizada comparação entre as capacidades instaladas antes e após a implementação da política. A necessidade de utilizar a capacidade instalada e não a energia renovável produzida, advém da dependência de fatores ambientais para a produção de energia renovável. Ou seja, a energia produzida em um período de tempo pode não refletir a real oferta de energia.

Preço para o consumidor final

O preço da energia para o consumidor final é um indicador da eficiência da política aplicada, na medida em que o preço reflete os custos de produção. Para esse indicador, serão considerados os preços históricos para o consumidor final – tanto residências como indústrias. Além disso, para a obtenção de uma comparação real dos preços ao longo do tempo, estes serão corrigidos pela inflação do período¹⁴.

5.1.2 Aspecto Ambiental

No aspecto ambiental se enquadram a geração de gases do efeito estufa e também o aumento da parcela de energia renovável na matriz energética do país.

Geração de gases do efeito estufa

Conforme já citado anteriormente, uma das grandes preocupações ao incentivar a energia renovável é a ambiental. Com o aumento do consumo de energia proveniente de fontes renováveis, espera-se que o consumo de combustíveis fósseis diminua e, conseqüentemente, as emissões de gases do efeito estufa.

Será então comparada a geração de gases do efeito estufa nos períodos analisados, para verificar qual o benefício ambiental que a implantação da política trouxe.

Aumento da parcela de energia renovável na matriz energética

Esse indicador mostra a redução da dependência do país de combustíveis fósseis. Além disso, a capacidade de geração considerada de forma individual não reflete de forma completa o benefício da política. Um exemplo disso é aumento da capacidade de geração com maior aumento proporcional da demanda de energia, o que faz com que a parcela de renováveis na matriz energética não aumente significativamente.

¹⁴ Será utilizado o índice IPCA (Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo) para a correção dos preços no Brasil e o *Consumer Price Index* para os preços na Alemanha e Reino Unido.

5.2 Análise dos Indicadores

A seguir serão apresentadas as análises dos indicadores coletados para cada país. Para cada indicador serão apresentados o histórico e a evolução de seus valores, a fim de se encontrar tendências para os diferentes tipos de políticas estudados e aplicados em cada país.

Além disso, os resultados obtidos serão comparados com posicionamentos sobre os resultados das diferentes políticas levantados anteriormente na literatura, a fim de se consolidar as análises deste capítulo.

5.2.1 Brasil

Para a análise da evolução do preço da energia no Brasil, foi necessária a exclusão dos dados anteriores ao do Plano Real, devido a distorções causadas pela hiperinflação.

A Figura 21 mostra a evolução do preço real (a preços de 2015, ou seja, desconsiderando-se efeito inflacionário) da energia elétrica no Brasil no setor industrial e residencial, por R\$/MWh, entre os anos 1995-2015.

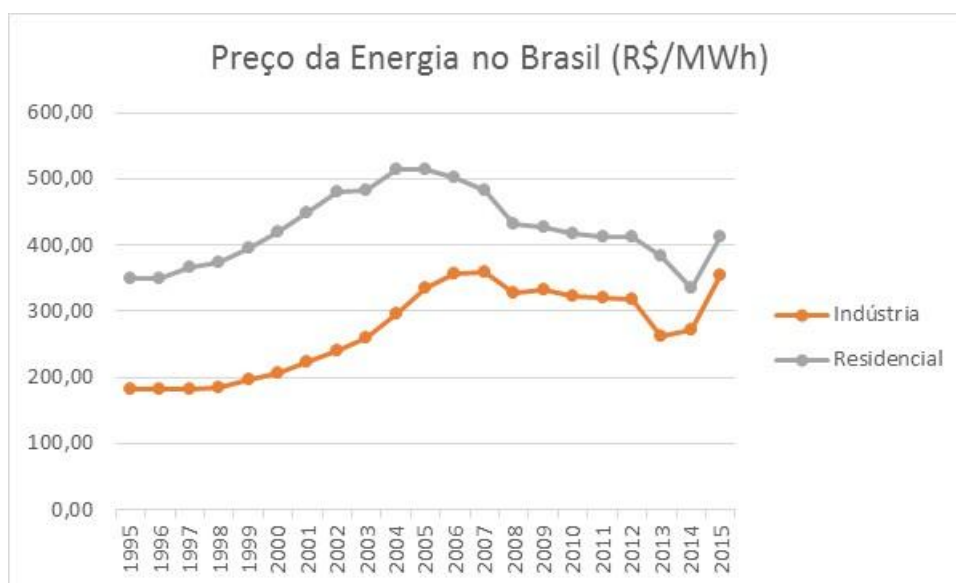


Figura 21 - Evolução do preço de energia no Brasil entre 1995-2015

Fonte: elaboração própria com base nos dados disponíveis em IPEA (2016)

Primeiramente, nota-se que durante a vigência da primeira fase do PROINFA, baseada nas tarifas de alimentação, não houve queda dos preços para ambos os consumidores, mas sim um

aumento percentual de cerca de 97% para a indústria e 44% para o setor residencial. Isso poderia sugerir que a política adotada resultou no aumento de preços para o consumidor. No entanto, os projetos contratados na primeira fase do PROINFA só foram concluídos no ano de 2011, conforme explicado no capítulo 4.1.1. Desta forma, os eventuais resultados dessa política sobre o preço de energia só poderiam ser concluídos após esse período, e ainda assim, o volume contratado (em torno de 3.300 MW) não é suficiente para alterar o custo médio da geração de energia elétrica (oferta atual de aproximadamente 150.000 MW (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2016)).

A partir do ano 2006, observa-se queda nos preços para ambos os setores, além da diminuição da diferença entre os preços para o setor industrial e residencial. Entre os anos de 2004 e 2015 foi observada uma queda de cerca de 8% para o setor industrial e de 35% para o setor residencial. Nesse período, foi implementada a política de leilões no país, o que sugere que essa política seja mais eficaz na redução dos preços da energia para o consumidor final.

Para analisar se a introdução das novas fontes alternativas pelo PROINFA e pelos leilões foi responsável pela variação de preços no período, é necessário avaliar a participação dessas fontes na produção total de energia elétrica.

A Figura 22 mostra a evolução da contribuição de energia eólica e solar na produção de energia elétrica e primária, entre os anos de 1990 e 2014.

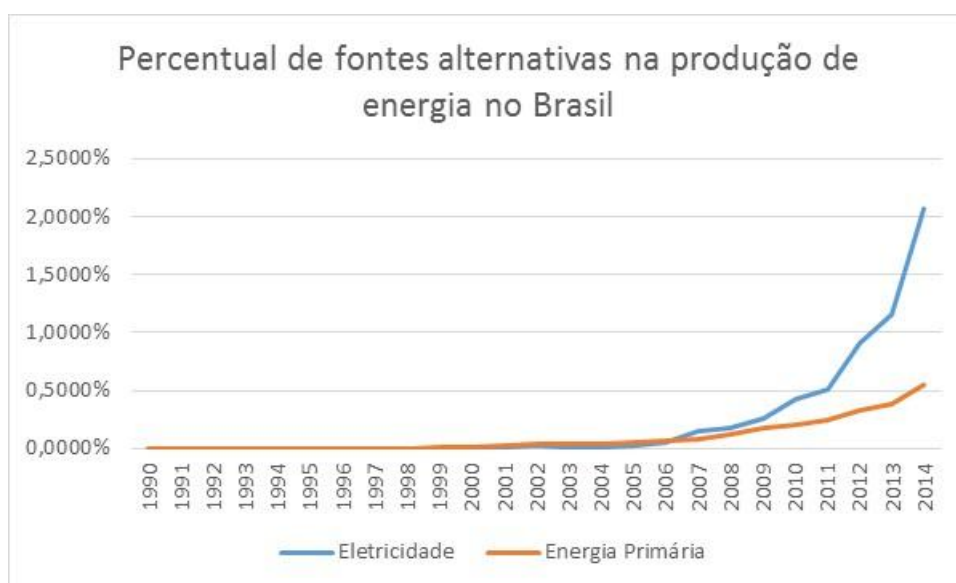


Figura 22 - Evolução da participação de fontes alternativas na produção de energia no Brasil entre 1990 – 2014

Fonte: elaboração própria com base nos dados disponíveis em OECD (2016)

Os dados mostram o crescimento da contribuição de fontes alternativas na produção de energia primária e elétrica no Brasil. Os dados mostram que os percentuais, embora tenham crescido a partir de 2006, ainda não são significativos, apesar do potencial eólico presente no país. Dessa forma, ainda que as fontes de energia renováveis possuam custos de geração maiores que as fontes tradicionais, não se pode atribuir o aumento de preços observado entre os anos de 1995 a 2006 ao aumento da participação das fontes eólica e solar no país.

Apesar de não ser possível chegar a alguma conclusão sobre o impacto dessas políticas no preço final ao consumidor, buscou-se comparar os preços praticados para a energia eólica nos leilões e durante o PROINFA, apresentados na Figura 7.

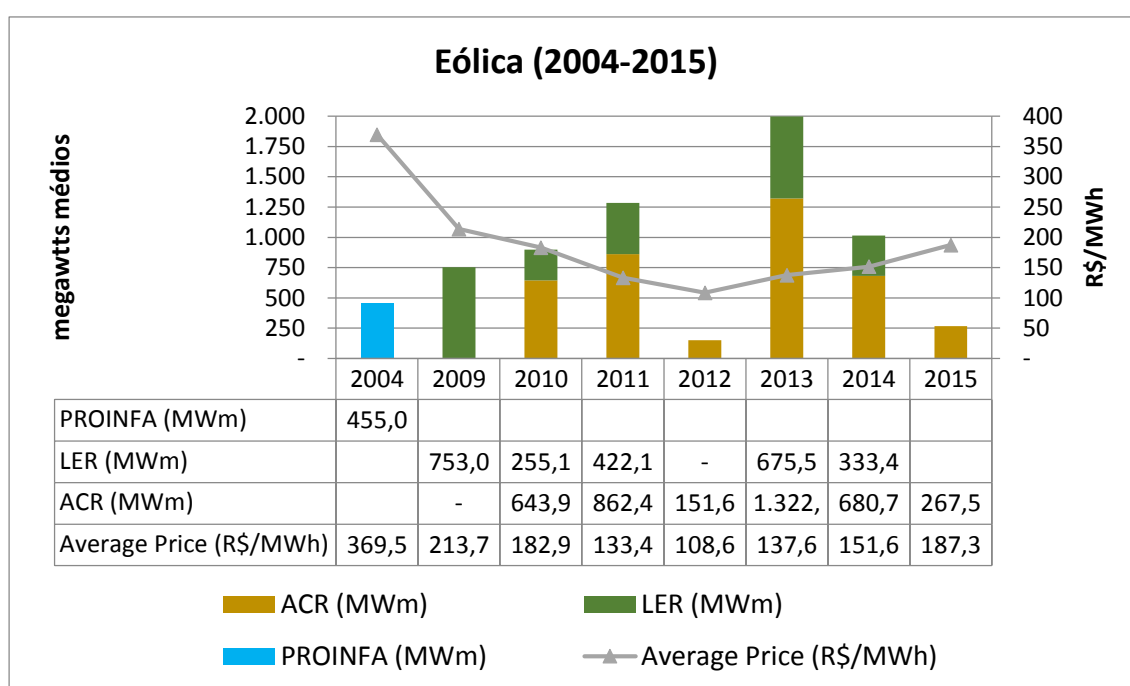


Figura 23 - Preços praticados durante o PROINFA e leilões

Fonte: (CCEE, 2016c)

Nota-se pela figura que os preços praticados pelo PROINFA foram muito superiores do que os preços dos leilões. Além disso, é importante observar que a capacidade contratada pelos leilões é maior que as contratadas durante o PROINFA.

O PROINFA e os leilões foram importantes mecanismos para a introdução dessas fontes no país. As Figura 24 e 25 apresentam a evolução da capacidade instalada de geração de energia elétrica proveniente de energia solar e eólica no Brasil entre os anos de 2006 e 2014.

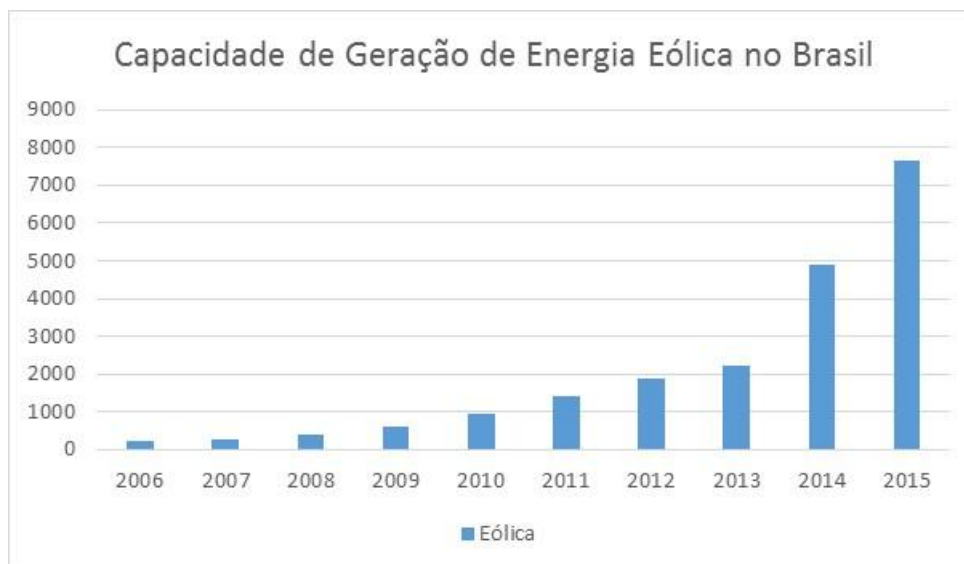


Figura 24 - Evolução da capacidade de geração de energia eólica no Brasil entre 2006 – 2015

Fonte: elaboração própria com base nos dados disponíveis em (EPE, 2015) e (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2016)

Os dados apresentados mostram um grande crescimento da capacidade eólica instalada no Brasil entre 2006 e 2014. Em 2006, haviam 237MW instalados no país; em 2013 a capacidade era de 2202MW e em 2015 de 7633 MW. Nota-se maior crescimento entre os anos de 2013 e 2014, quando a capacidade de geração eólica presente no país dobrou. Durante o PROINFA, ou seja, entre 2006 e 2012, houve um crescimento médio da capacidade instalada de 215 MW por ano. Já durante os leilões, houve um crescimento médio anual de 1998 MW.

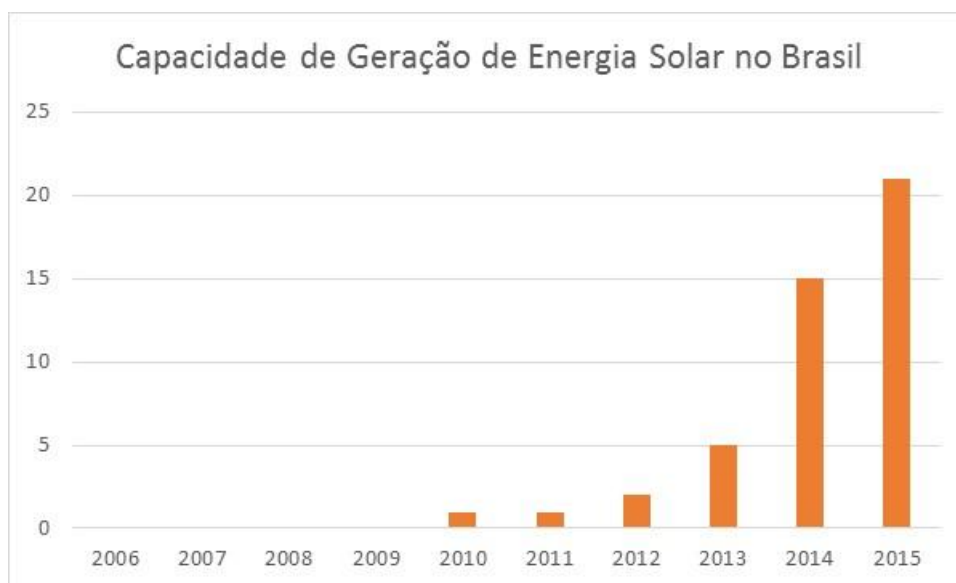


Figura 25 - Evolução da capacidade de geração solar no Brasil entre 2006 – 2015

Fonte: elaboração própria com base nos dados disponíveis em (EPE, 2015) e (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2016)

Em relação à capacidade solar instalada no Brasil, que era inexistente no ano de 2006, foi observado crescimento para 15MW em 2014. De acordo com o Ministério de Minas e Energia (2016), as capacidades instaladas em julho de 2016 eólica e solar no Brasil representaram uma parcela de 6,35% da capacidade total instalada de geração no sistema elétrico brasileiro.

Os leilões de contratação PV preveem a entrada em operação comercial apenas no segundo semestre de 2017, por isso o crescimento ainda modesto da oferta. A Figura 26 mostra o preço de venda e a potência contratada para essa tecnologia.

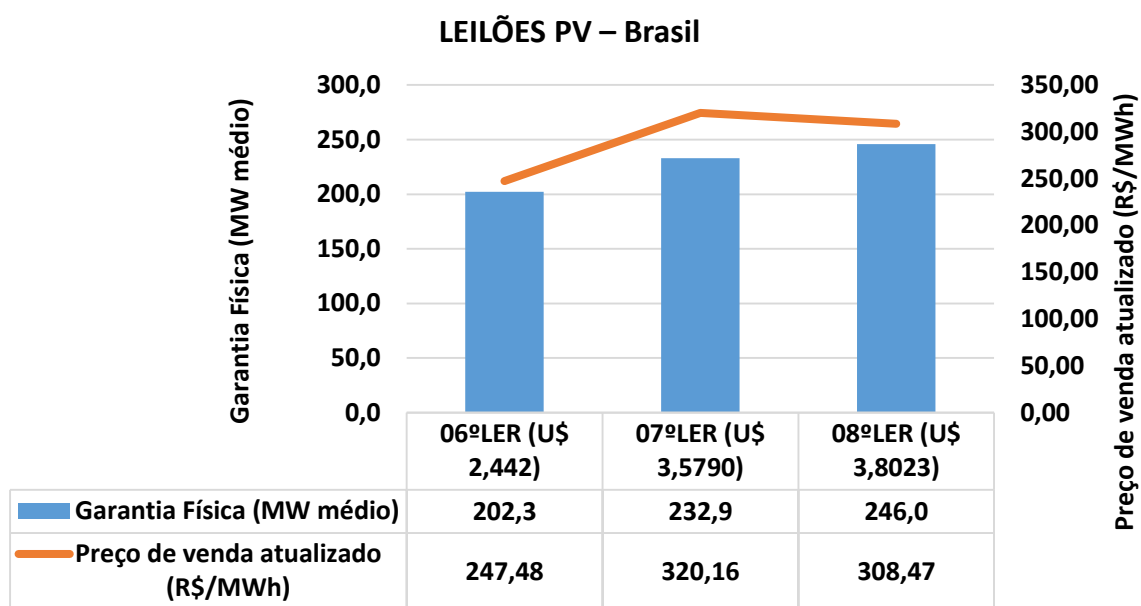


Figura 26 - Leilões de energia fotovoltaica

Fonte: (CCEE, 2016c)

Para avaliar os benefícios ambientais do aumento da utilização dessas fontes, foram coletados os dados de emissão total de CO₂ no Brasil proveniente da queima de combustíveis fósseis e a parcela deste total que é utilizada para eletricidade e calor. A Figura 27 apresenta a evolução desses dados, durante o período de 1990 a 2013.

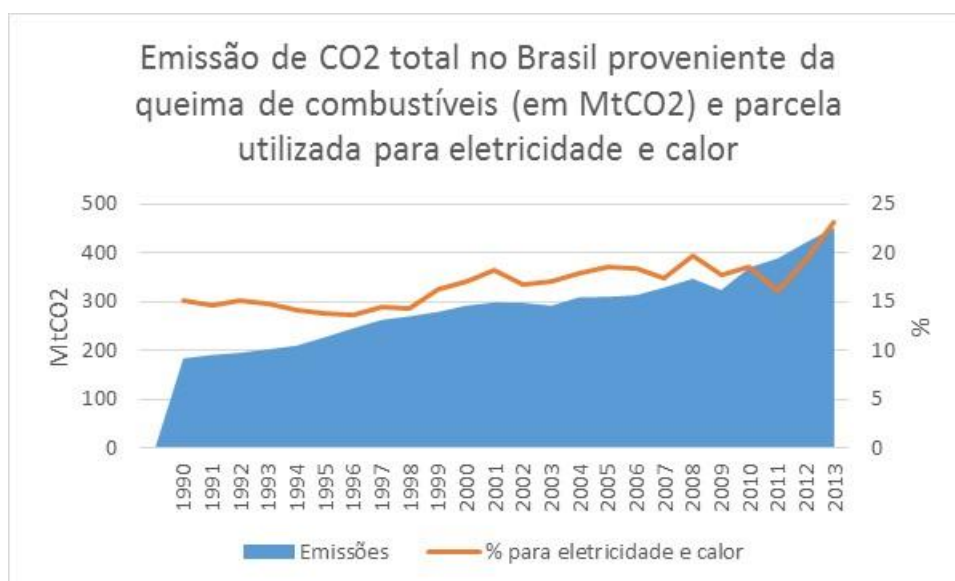


Figura 27 - Emissão de CO₂ na queima de combustíveis no Brasil entre 1990-2013

Fonte: elaboração própria com base nos dados OECD (2016)

Entre 1990 e 2013, houve aumento nas emissões de CO₂ no país, de cerca 245%. Ao mesmo tempo, houve aumento da parcela deste total utilizada para a produção de eletricidade e calor. Deste modo, isso levanta a hipótese de que o aumento da capacidade de energia renovável instalada no Brasil não supriu o aumento da demanda, dado o grande crescimento nas emissões de CO₂. Para melhor avaliação do impacto ambiental, a Figura 28 apresenta a evolução das emissões de CO₂ para eletricidade e calor no Brasil, entre os anos de 1990 e 2013.

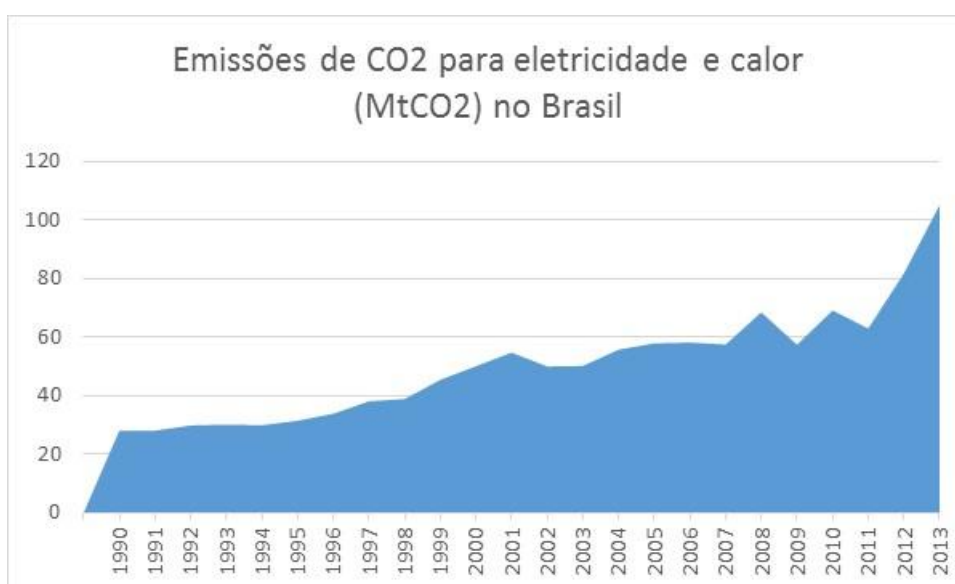


Figura 28 - Emissões de CO₂ para eletricidade e calor (MtCO2)

Fonte: elaboração própria com base nos dados OECD (2016)

As emissões de CO₂ no Brasil para eletricidade e calor no ano de 2013 era cerca de 4 vezes maior que no ano de 1990. Para verificar se de fato houve grande aumento de demanda por energia elétrica maior do que a nova capacidade instalada, foi também analisada a evolução do consumo e da produção de energia elétrica entre o mesmo período. A Figura 29 apresenta esses dados.

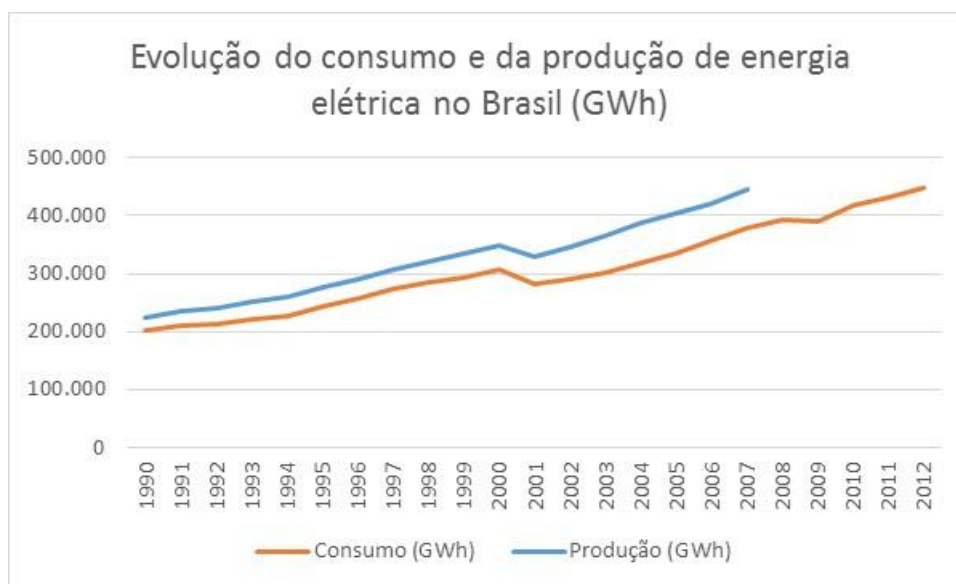


Figura 29 - Evolução do consumo e da produção de energia elétrica no Brasil (GWh)

Fonte: elaboração própria com base nos dados disponíveis em IPEA (2016)

É possível perceber que a produção de energia elétrica dobrou entre os anos de 1990 e 2007. Como a capacidade de geração das fontes alternativas ainda não era expressiva, é possível inferir que esse aumento de produção tenha sido realizado por fontes não renováveis. Dessa forma, não foi possível analisar um benefício ambiental decorrente da introdução das fontes alternativas.

A principal razão para isso foi a queda no nível dos reservatórios no período, que forçou maior despacho de usinas termelétricas, observada na Figura 30.

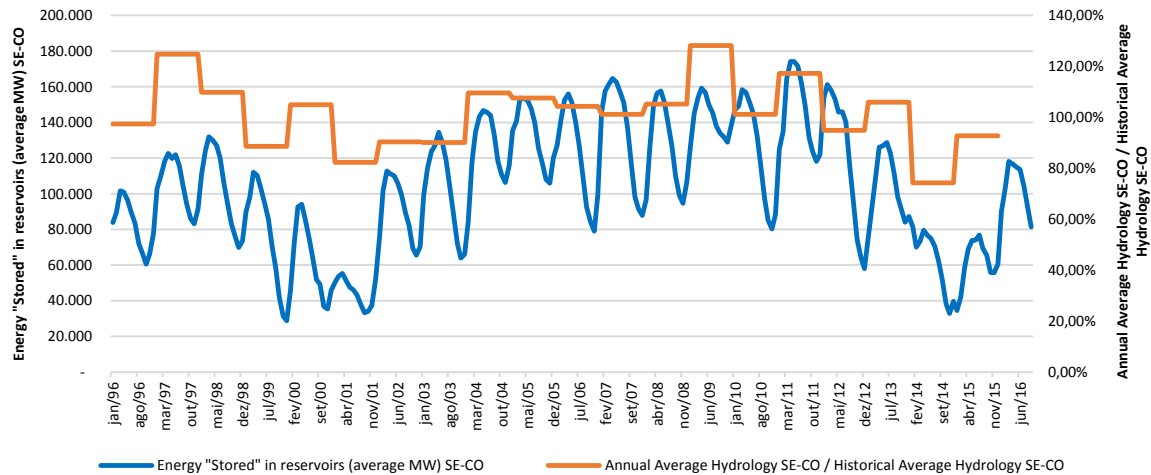


Figura 30 - Evolução da capacidade dos reservatórios hídricos

Fonte: (ONS, 2016)

Finalmente, foi também analisada a composição da matriz energética brasileira no mesmo período. A Figura 31 mostra a evolução da participação de fontes renováveis na produção de energia elétrica no Brasil entre 1992 e 2014.

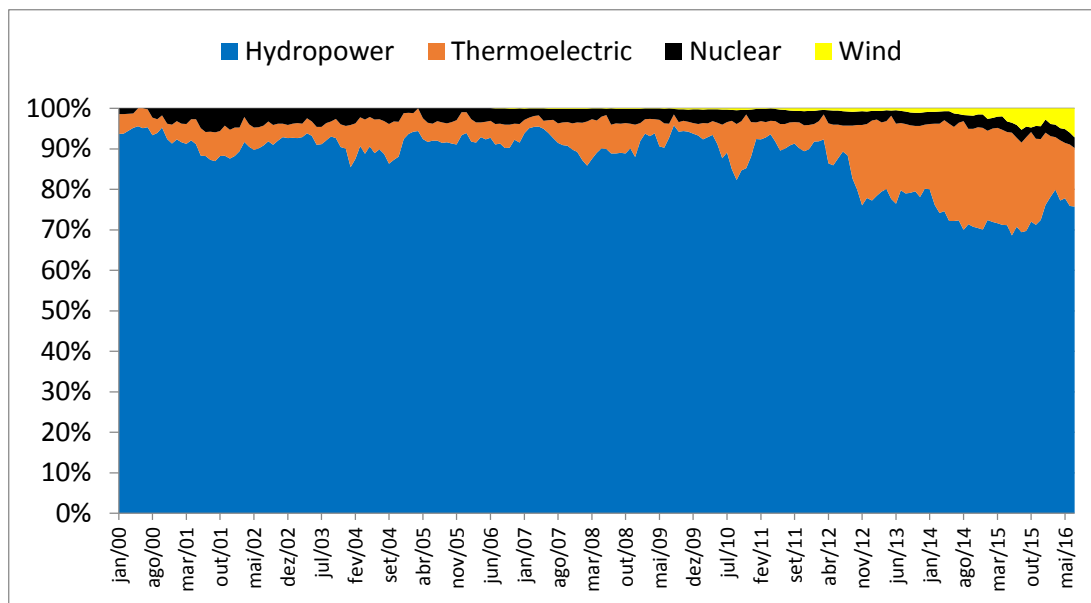


Figura 31 - Evolução da participação de fontes renováveis na produção de energia elétrica no Brasil entre 1992 – 2014

Fonte: (ONS, 2016)

De fato, o Brasil conta com uma matriz energética muito limpa, mas a parcela da participação de energia renovável no Brasil diminuiu. Em 1990, o Brasil possuía 94,5% da energia elétrica produzida proveniente de fontes renováveis. Em 2014, esse número chegou a 73,08%.

Novamente, apesar desse número ainda ser maior quando comparado com o restante do mundo, o aumento da demanda energética não pode ser suprido com as novas plantas instaladas no país. Esse fato é condizente com o aumento das emissões de CO₂ para a geração de energia elétrica. No entanto, observa-se um aumento significativo da participação de energia eólica na produção de energia elétrica, o que mostra que parte da diminuição da oferta das hidrelétricas foi suprida pelas novas fontes, mitigando parte do efeito ambiental que poderia ter sido gerado.

A matriz energética brasileira possui uma grande participação de fontes renováveis, devido ao alto potencial hídrico presente no país. Deste modo, os programas anteriormente mencionados são muito importantes para o desenvolvimento e o estabelecimento das fontes alternativas no país, que ainda não são muito expressivas.

5.2.2 Alemanha

Para verificar os resultados obtidos com a implementação da política de cotas na Alemanha, foi realizada inicialmente análise de preço para o consumidor final. Para isso, foram coletados os dados dos preços no setor industrial e residencial, entre os anos de 1991 e 2014. A Figura 32 ilustra essa evolução.

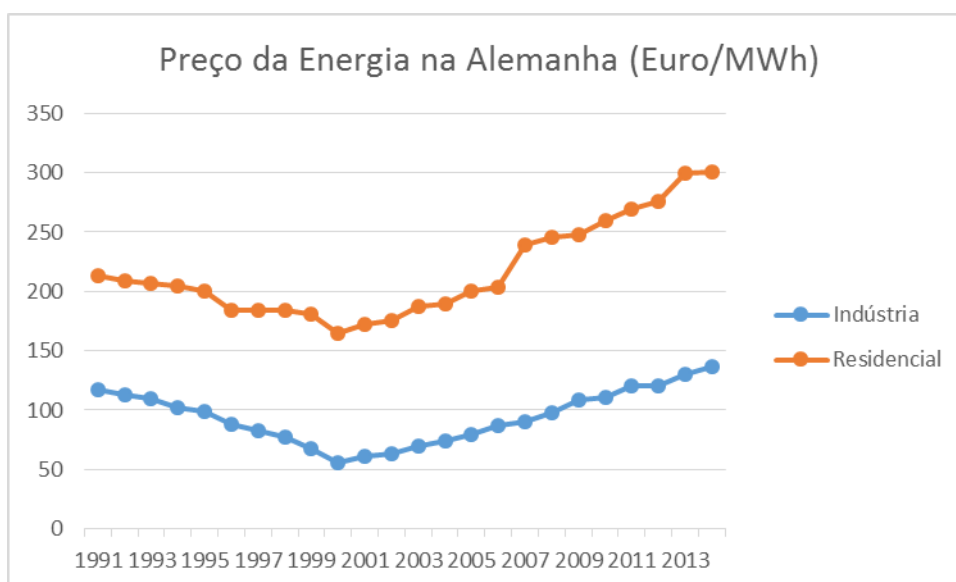


Figura 32 - Evolução do preço de energia elétrica na Alemanha entre 1991-2014

Fonte: elaboração própria com base nos dados OECD (2016)

A Alemanha, assim como o Brasil durante a primeira fase do PROINFA, adotou política de tarifas de alimentação. Do mesmo modo que no caso brasileiro, foi observada aumento nos preços da energia para o consumidor final. No entanto, foi necessário avaliar se o aumento nos preços finais ao consumidor poderia ser atribuído à política adotada.

Para melhor análise do impacto do aumento da utilização de energia eólica e solar nos preços, foi realizada análise comparativa dos custos marginais das diferentes tecnologias. Assim, foram coletados os custos nivelados de geração de cada uma das tecnologias na Alemanha e a participação das fontes na matriz energética do país. A Tabela 8 mostra a participação de cada fonte na produção de energia elétrica.

Tabela 8 - Composição da matriz energética da Alemanha em 2015

Participação (%)	Produto
43,68%	Carvão e derivados
0,88%	Óleo e derivados
9,41%	Gás Natural
14,22%	Nuclear
2,94%	Hidrelétrica
0,02%	Geotérmica
19,91%	Solar/Eólica/Outras
8,94%	Biocombustíveis e Lixo
1	Total

Fonte: elaboração própria com base nos dados OECD (2016)

Para os dados do custo de geração de energia por MWh, foram obtidos a partir do relatório publicado pela International Energy Agency e Nuclear Energy Agency (2015) os custos nivelados de geração para cada uma das tecnologias, considerando-se um custo de capital de 3% ao ano. A Tabela 9 mostra os custos nivelados de energia, em US\$ por MWh.

Tabela 9 - Custos nivelados de energia na Alemanha

Tecnologia	Custo de Capital (USD / MWh)			Custos de O&M (USD/MWh)			Custo de combustíveis, lixo e carbono USD/MWh	Crédito de calor USD/MWh	LCOE(USD/MWh)		
	3%	7%	10%	3%	7%	10%			3%	7%	10%
Gás Natural (ciclo combinado)	6,88	10,95	14,59	7,71	7,71	7,71	83,9	0	98,49	102,56	106,2
Gas Natural (ciclo aberto)	4,37	6,57	8,53	4,39	4,39	4,39	126,15	0	134,91	137,11	139,07
Carvão	9,51	18,03	25,97	9,14	9,14	9,14	48,36	0	67,01	75,53	83,47
Lignite	11,89	22,54	32,46	11,07	11,07	11,07	43,08	0	66,04	76,69	86,61
PV residencial	128,1	190,01	242,81	33,46	33,21	33,06	0	0	161,56	223,23	275,87
PV comercial	92,47	137,16	175,27	24,15	23,98	23,86	0	0	116,62	161,13	199,13
PV em terra	72,96	108,23	138,3	19,06	18,92	18,83	0	0	92,02	127,14	157,13
Eólica em terra	42,49	58,86	72,93	34,67	34,67	34,67	0	0	77,15	93,53	107,6
Eólica no mar	96,97	134,34	166,46	49,33	49,33	49,33	0	0	146,31	183,68	215,8
Pequenas Hidrelétricas	77,68	171,98	265,42	41,1	41,1	41,1	0	0	118,78	213,08	306,51
Grandes Hidrelétricas	47,69	105,76	163,41	17,4	17,4	17,4	0	0	65,08	123,16	180,8
Biogas - digestor	35,27	50,28	62,77	32,93	32,93	32,93	0	-43,2	25	40,01	52,5
Biogas	51,63	80,41	103,38	59,74	59,74	59,74	0	-51,75	59,62	88,4	111,37
Biogas grisu	22,06	31,75	39,75	28,55	28,55	28,55	0	-46,2	4,4	14,09	22,1
Biomassa	81,35	114,93	144,48	41,11	41,11	41,11	106,88	-150,75	78,59	112,16	141,72
Geotérmica	186,64	290,14	392,66	77,58	77,58	77,58	0	-31,36	232,86	336,35	438,88

Fonte: adaptado de International Energy Agency e Nuclear Energy Agency (2015)

Para o cálculo dos custos nivelados de cada uma das tecnologias, foram assumidas algumas premissas:

- O custo de capital utilizado foi de 3% ao ano.
- Para o cálculo do custo de algumas tecnologias, como carvão, fotovoltaica e eólica, que são diferenciadas por tecnologia, conforme indicado na Tabela 9, utilizou-se a média ponderada.
- Como o custo de geração de óleo e derivados não estava disponível, e a geração por essa tecnologia representa um percentual insignificante (0,876%), optou-se por excluir esse dado da base de cálculo.
- Não foram encontrados dados do custo de geração de energia nuclear na Alemanha. Por isso, foi utilizada a média de custos disponibilizados por outros países europeus.

Dessa forma, ponderando o custo médio de geração para cada tecnologia pela participação na matriz energética, foi possível chegar a um custo médio de geração de energia do país, por MWh. A Tabela 10 sumariza a participação de cada tecnologia e seus custos, obtendo-se dessa forma um custo médio final.

Tabela 10 - Custo médio ponderado de geração de energia elétrica na Alemanha

Produto	Participação	USD/MWh
Carvão e derivados	44,06%	66,525
Gás Natural	9,50%	116,7
Nuclear	14,34%	53,2916667
Hidrelétrica	2,97%	91,93
Geotérmica	0,02%	232,86
Solar	10,05%	123,4
Eólica	10,05%	111,73
Biocombustíveis e Lixo	9,02%	42,31
Total	1	78,2497256

Fonte: elaboração própria

Analisando o custo médio total de expansão do sistema, ou seja, 79,25 USD/MWh e o custo de geração de energia solar e eólica, de 123,40 USD/MWh e 111,73 USD/MWh, respectivamente, nota-se que o custo dessas fontes é de fato maior que o custo médio de geração do país. Isso indica que o aumento da geração de energia elétrica solar e eólica resultou em aumento do preço total para o consumidor.

Conclui-se, portanto, a necessidade da aplicação da política de que a política de tarifas *feed-in*, devido à diferença de custos entre as tecnologias. Como consequência, observa-se a elevação dos custos ao consumidor final, decorrente da necessidade de subsídio. Além disso, diversos autores apontam a falta de incentivos à redução de preços com a adoção das tarifas de alimentação, dentre eles, (MENANTEAU; FINON; LAMY, 2010).

De acordo com BMU (2007b) *apud* Büsgen e Dürrschmidt (2009), o aumento de preços observado entre 2002 e 2006 foi em sua maior parte afetado pelos custos de produção, transporte e distribuição. Apenas 13% do aumento observado teria sido afetado pela sobretaxa relacionada à implementação da política de FIT.

Contudo, apesar do aumento de preços, é necessário avaliar os resultados da política implementada em relação à instalação de novas plantas dessas tecnologias. A Figura 33 mostra o aumento da capacidade de geração de energia eólica e fotovoltaica instalada no país durante o mesmo período.

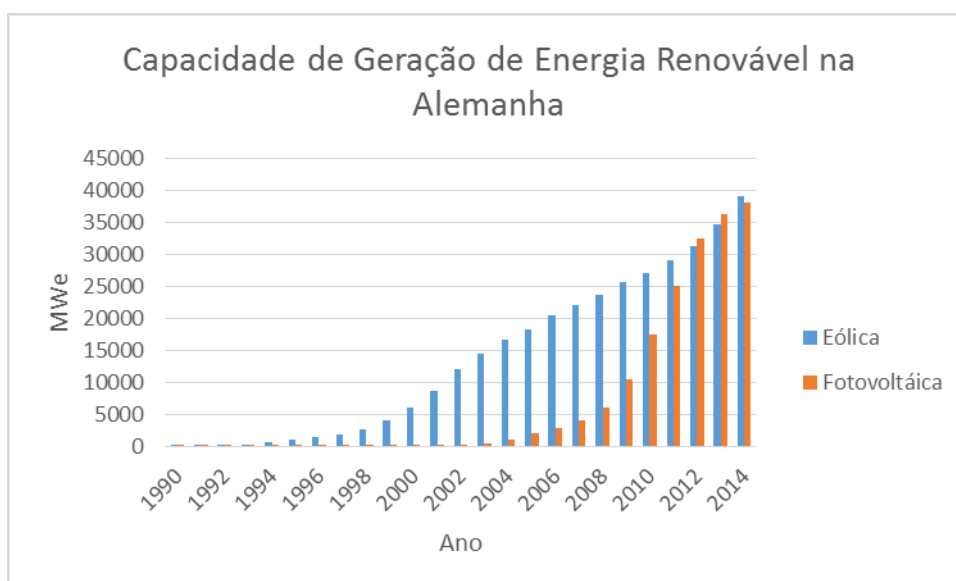


Figura 33 - Evolução da capacidade de geração de energia renovável na Alemanha entre 1991 – 2014

Fonte: elaboração própria com base nos dados disponíveis em OECD (2016)

Analisando a capacidade instalada de geração de energia eólica e fotovoltaica na Alemanha, nota-se crescimento bastante expressivo após a implementação das tarifas de alimentação. Em 1990, o país contava com apenas 48 MW de capacidade eólica, evoluindo para 39.193 MW em 2014 – crescimento de 817% no período. Já em relação à energia fotovoltaica, o país possuía capacidade de 2 MWe instalados em 1990, que aumentou para 38.234 MWe em 2014 – aumento de 19.117% no período.

Esse crescimento acelerado é esperado na política de tarifas de alimentação, já que esse mecanismo garante a receita do produtor por período de tempo determinado, deixando os investimentos em energia renovável mais atrativos. Além disso é importante a nova capacidade instalada continue operando com a redução de subsídios. Conforme já explicado no capítulo 4.2, as tarifas na Alemanha foram planejadas para serem reduzidas ao longo do tempo para o produtor, mostrando que a política de tarifas de alimentação é eficaz no objetivo de aumentar a oferta de energia renovável a longo prazo no país.

Complementando a análise da capacidade instalada, verificou-se a participação dessas fontes na oferta. A Figura 34 ilustra o crescimento da parcela de fontes alternativas utilizada para a produção de energia primária e eletricidade na Alemanha.

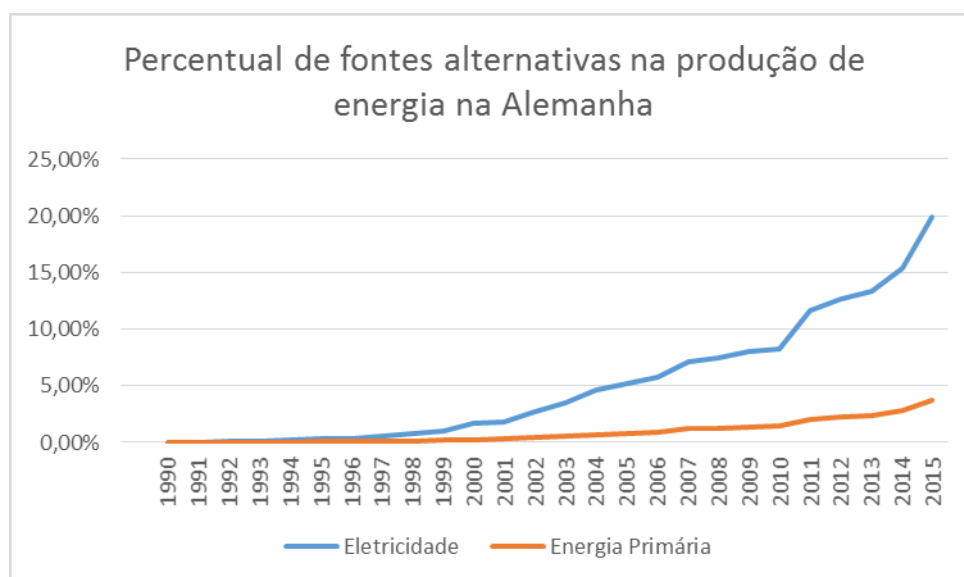


Figura 34 - Parcela de fontes alternativas na produção de energia na Alemanha

Fonte: elaboração própria com base nos dados disponíveis em OECD (2016)

Observa-se que as fontes alternativas na Alemanha ganham cada vez mais importância na produção de eletricidade. Atualmente, cerca de 20% da oferta de eletricidade é proveniente de fontes alternativas, comparado com a parcela de 0,01% em 1990 e 1,645% em 2000. Já em relação à geração de energia primária, a parcela de fontes alternativas atual é de cerca de 4%.

Para analisar o impacto ambiental dessa política, foi analisada a evolução das emissões de CO₂ provenientes da queima de combustíveis fósseis na Alemanha entre os anos de 1990 e 2013, apresentada na Figura 35 .

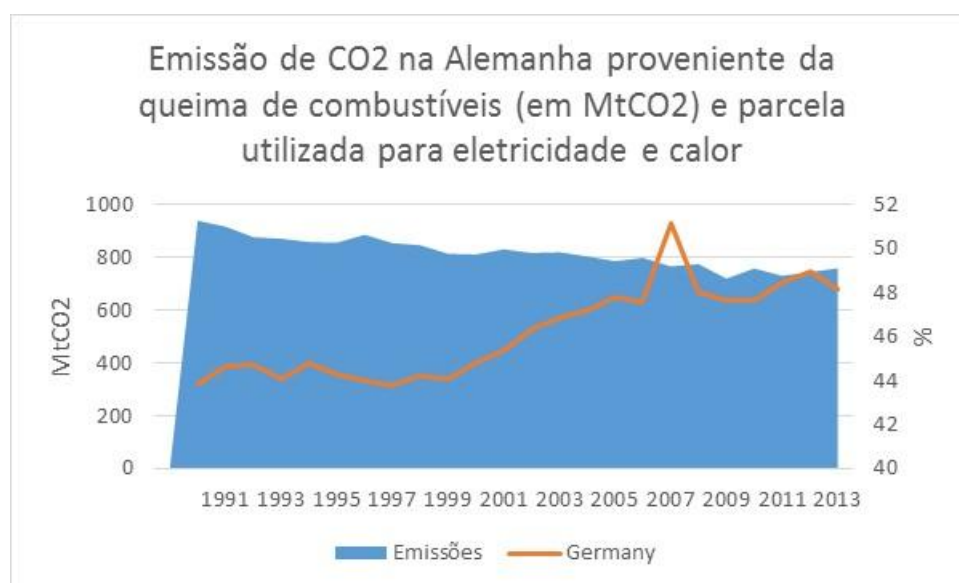


Figura 35 - Emissão de CO₂ na queima de combustíveis na Alemanha entre 1990-2013

Fonte: elaboração própria com base nos dados disponíveis em OECD (2016)

Os dados mostram diminuição de cerca de 20% nas emissões de CO₂ proveniente da queima de combustíveis fósseis no período mencionado. No entanto, o percentual das emissões totais utilizado para eletricidade e calor aumentou consideravelmente. A Figura 36 mostra as emissões para eletricidade e calor no período.

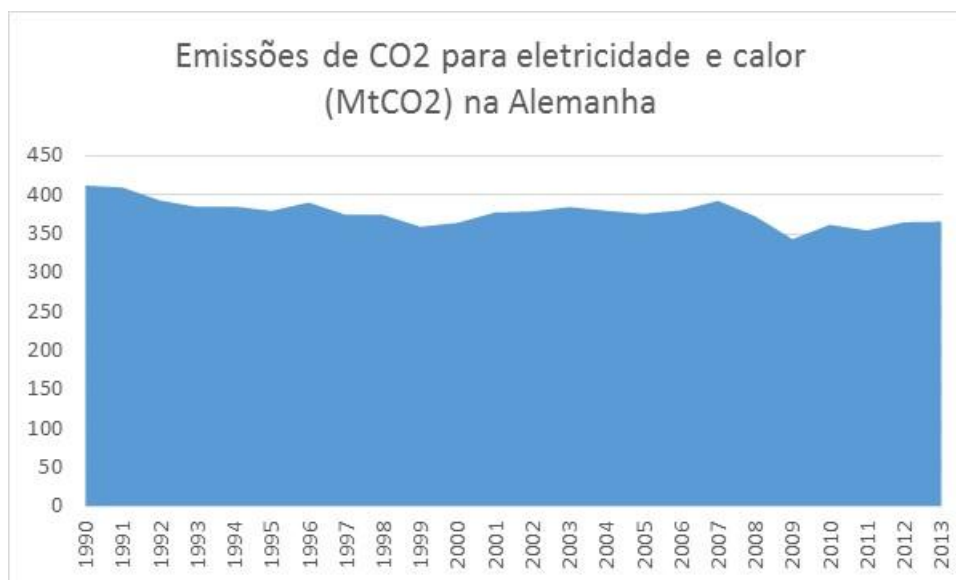


Figura 36 - Emissões de CO₂ para eletricidade e calor na Alemanha

Fonte: elaboração própria com base nos dados disponíveis em OECD (2016)

Observa-se redução nas emissões para eletricidade e calor de cerca de 12% no período. Isso indica que as fontes renováveis podem ter substituído outras fontes convencionais. Assim, para complementar a análise ambiental, foi também analisado o aumento da parcela de fontes renováveis na matriz energética do país, ilustrado na Figura 37.

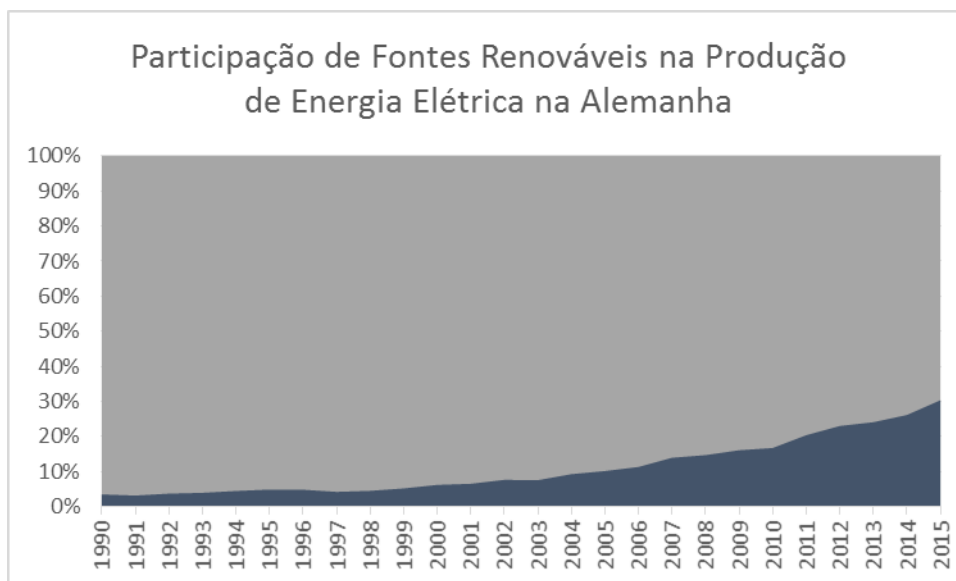


Figura 37 - Evolução da participação de fontes renováveis na produção de energia elétrica na Alemanha entre 1990 – 2015

Fonte: elaboração própria com base nos dados OECD (2016)

A Alemanha, que contava em 1990 com parcela de apenas 3,48% de energia elétrica produzida por fontes renováveis, apresentou em 2015 parcela de 30,36%. Assim, esses dados mostram que a política contribuiu para a instalação de matriz energética mais limpa.

No caso da Alemanha, outro benefício proveniente do aumento da utilização da energia renovável seria a redução da dependência da importação de energia. Como o país não possui recursos naturais em abundância, como o Brasil, grande parte da energia é adquirida de outros países. Deste modo, o desenvolvimento de fontes renováveis, além dos benefícios acima citados, poderia aumentar a segurança energética, pela redução de dependência de importação de eletricidade e gás natural, entre outros energéticos. A Figura 38 mostra a evolução da importação de energia, comparada com o consumo nacional.

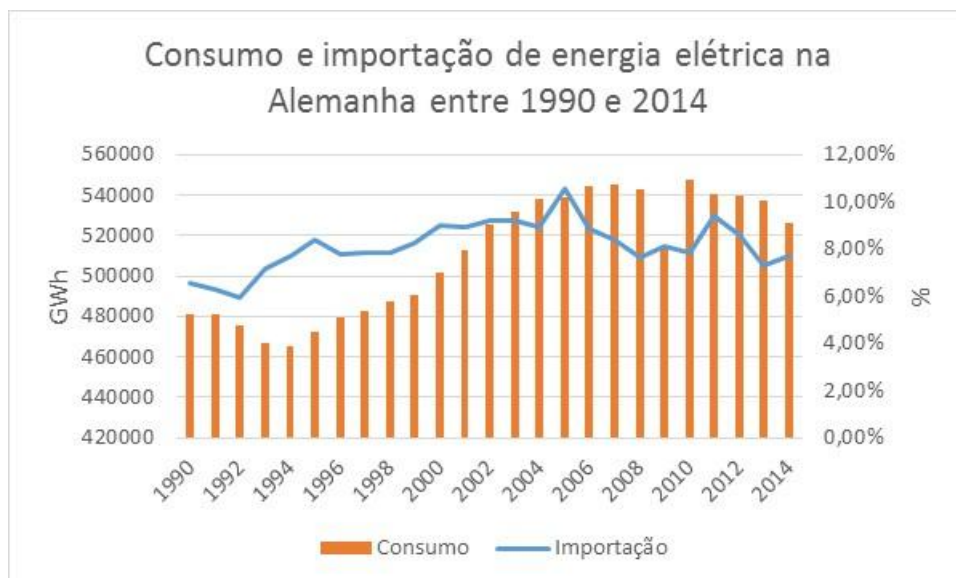


Figura 38 - Evolução da importação e consumo de energia elétrica na Alemanha entre 1990-2014

Fonte: elaboração própria com base nos dados OECD (2016)

Na figura, as colunas laranjas representam o consumo nacional de energia elétrica, em GWh, e a linha azul mostra a evolução da parcela da energia consumida no país importada. Entre os anos de 1990 e 2014, houve aumento na demanda de energia elétrica, sendo que a quantidade importada também aumentou. Isso mostra que a capacidade instalada até o ano de 2004 não foi suficiente para acompanhar o crescimento da demanda. De fato, conforme visto anteriormente, a capacidade instalada de geração fotovoltaica ainda não era expressiva, enquanto que a capacidade eólica instalada era de apenas 16.612 MW.

A figura 31 mostra a tendência de queda da importação de eletricidade desde 2004. De fato, concomitante com aumento na capacidade eólica e fotovoltaica, conforme ilustrado na Figura 33. Desta forma, com a implementação da política de FIT, como externalidade positiva, a Alemanha vem elevando sua independência energética.

Por fim, um outro ponto observado na Alemanha com a entrada das novas fontes de energia foi a diminuição da participação relativa da energia nuclear na matriz, conforme observado na Figura 39.

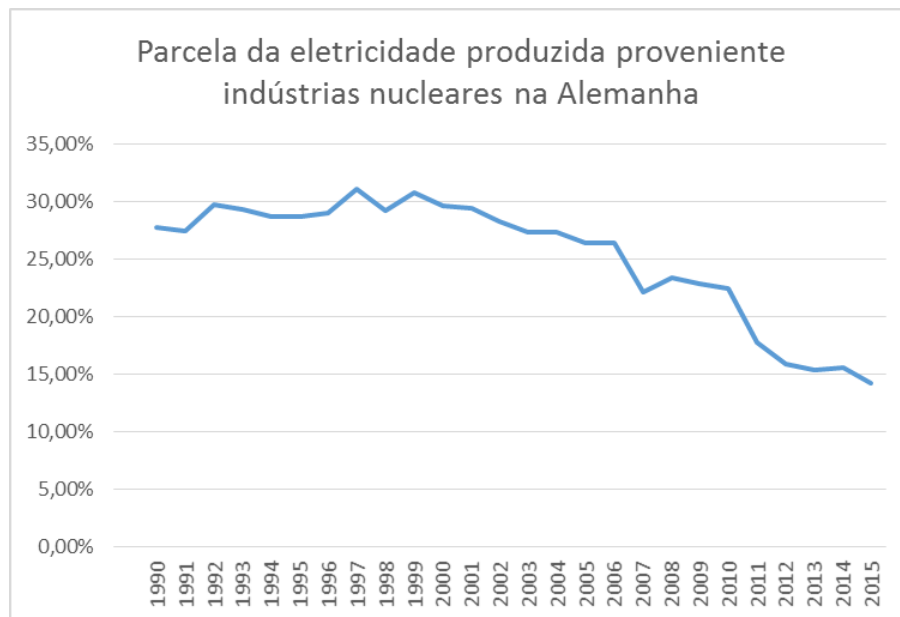


Figura 39 - Parcela da eletricidade produzida proveniente de indústrias nucleares na Alemanha

Fonte: elaboração própria com base nos dados OECD (2016)

Em 1990 a energia nuclear representava 27,84% da oferta total, já em 2015 caiu para 14,21%. De acordo com Wüstenhagen e Bilharz (2006), a queda da aceitação popular da energia nuclear foi fator decisivo para a implementação das políticas de incentivo às fontes renováveis. Deste modo, a substituição de fontes no país foi importante benefício resultante da política implementada.

Por fim, a Figura 40 mostra que 14.156MW de usinas nucleares foram descomissionadas na Alemanha, entre 1990 e 2015, tendo sido substituídas pelas fontes alternativas.

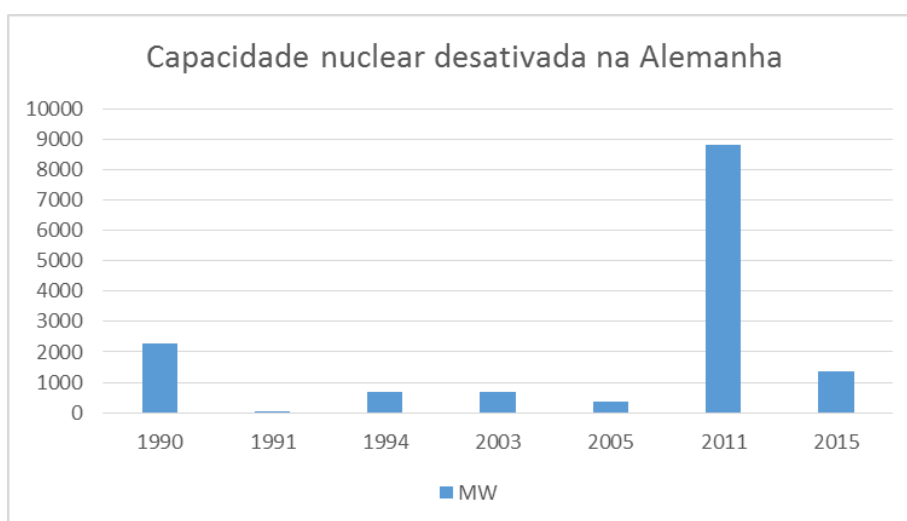


Figura 40 - Capacidade nuclear descomissionada na Alemanha

Fonte: elaboração própria com base nos dados em European Nuclear Society (2015)

5.2.3 Reino Unido

Por fim, foram analisados os resultados das políticas de leilões e cotas implementadas no Reino Unido. Para a avaliação da evolução dos preços no, foram coletados dados entre os anos 1991 e 2014, tanto do setor industrial quanto residencial. A Figura 41 ilustra os dados coletados.

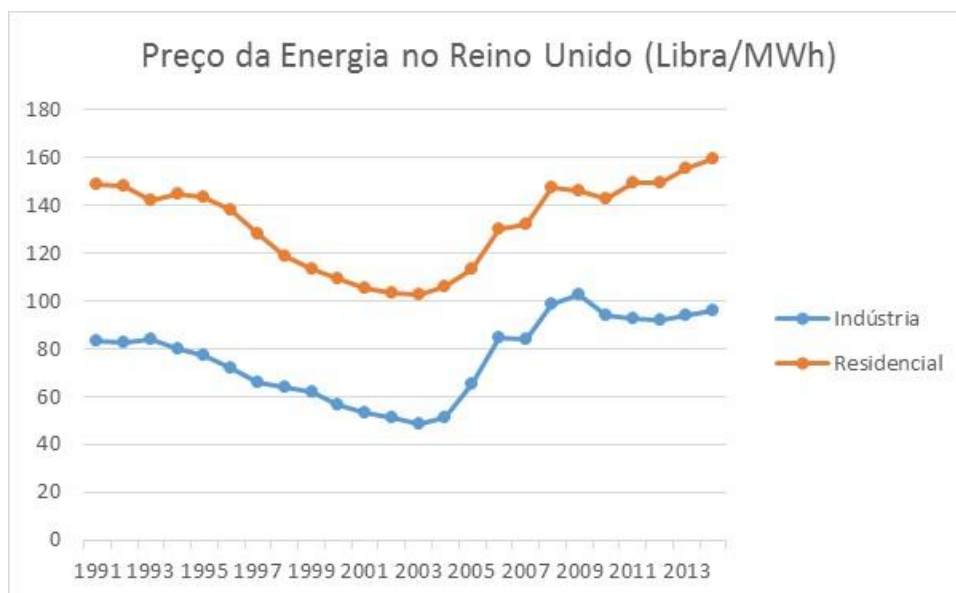


Figura 41 - Evolução do preço de energia elétrica no Reino Unido entre 1991-2014

Fonte: elaboração própria com base nos dados OECD (2016)

Conforme mencionado no Capítulo 4.3, a política de cotas (*Renewables Obligation*) substituiu em 2002 a política de leilões (NFFO) vigente até então no Reino Unido. Observando-se a evolução dos preços no período mencionado, dois fatos se destacam. Primeiramente, entre os anos 1991 e 2002 nota-se que houve uma queda significativa no preço da energia elétrica em ambos os setores, de aproximadamente 38% no setor industrial e 30% no setor residencial. Assim, esse dado levanta a hipótese de que a política de leilões, vigente durante esse período, foi eficaz na redução dos preços da energia. Esse fato decorre da natureza competitiva estabelecida pelos leilões, e é mencionado por diversos autores na literatura, assim como (MENANTEAU; FINON; LAMY, 2010).

Em contrapartida, os preços após a adoção da política de cotas sofreram aumento de 88% para o setor industrial e de 54% para o setor residencial, chegando a patamar superior ao de 1991. Esse comportamento levanta a hipótese de que a política de cotas, apesar de baseada no mercado, pode não ser eficaz na diminuição dos preços da energia, como sugere-se que tenha sido a política de leilões.

Para verificar os efeitos das políticas na evolução dos preços, foi analisada a evolução da capacidade instalada. A Figura 42 mostra a evolução da capacidade de geração de energia eólica e fotovoltaica instalada no Reino Unido entre os anos de 1991 e 2014.

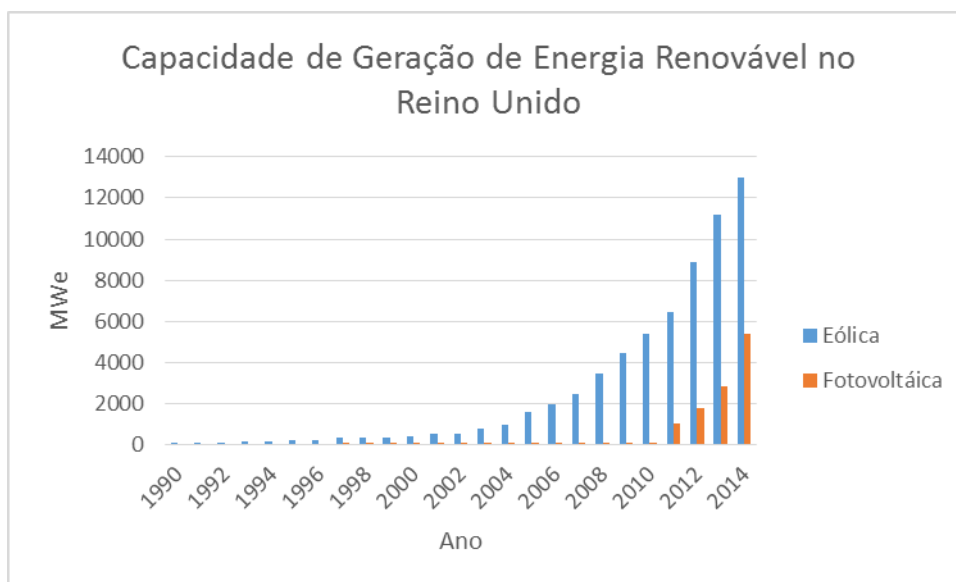


Figura 42 - Evolução da capacidade de geração de energia renovável no Reino Unido entre 1991 – 2014

Fonte: elaboração própria com base nos dados disponíveis em OECD (2016)

A análise da evolução da capacidade de geração de energia eólica e fotovoltaica instalada no Reino Unido entre 1990 e 2014 também mostra fatos interessantes. Em primeiro lugar, no período de vigência da política de leilões, houve crescimento relativamente desacelerado nas capacidades instaladas. A capacidade de geração de energia eólica aumentou de 10MW em 1990 para 534MW em 2002, e a capacidade de geração de energia fotovoltaica aumentou de 0MWe em 1990 para 4 MWe em 2002. Já com a implementação da política de cotas, em 2002, observa-se crescimento bastante expressivo, principalmente da capacidade instalada de energia fotovoltaica, crescendo de 4MWe para 5.377MWe instalados em 2014. Essa diferença pode sugerir que a eficiência da política de cotas em aumentar a capacidade de geração é maior que a política por leilões.

Assim como nos casos anteriores, foi importante analisar o aumento da importância das novas fontes para o Reino Unido. A Figura 43 ilustra o aumento da parcela proveniente de fontes alternativas na produção de energia no Reino Unido, entre o período de 1990 e 2015.

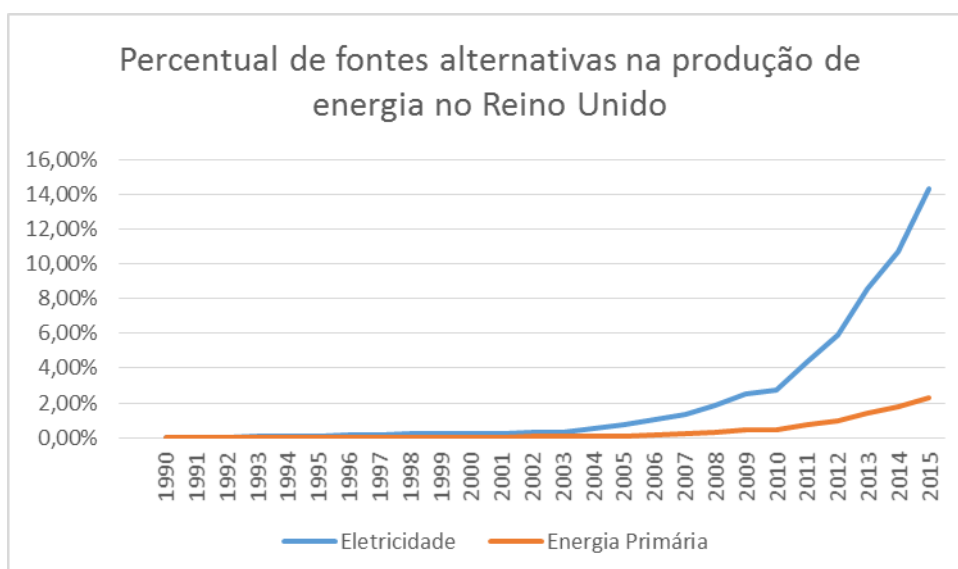


Figura 43 - Evolução da participação de fontes alternativas na produção de energia primária no Reino Unido entre 1990 – 2014

Fonte: elaboração própria com base nos dados disponíveis em OECD (2016)

Nota-se que as fontes alternativas de energia têm ganhado cada vez mais importância no Reino Unido. Atualmente, elas são responsáveis por cerca de 14% da oferta total de energia elétrica em comparação com 0,25% em 2000; e por cerca de 2,32% da oferta total de energia primária. Devido à significativa participação no mercado, as políticas adotadas devem interferir nos preços aplicados aos consumidores finais no país, conforme discussão anterior.

Tabela 11 – Preços médios praticados nos leilões no Reino Unido

	NFFO1	NFFO2	NFFO3	NFFO4	NFFO5
Período de contrato garantido	1990-1998	1991-1998	1994-2009	1997-2012	1998-2013
Capacidade instalada (MW)	145	172	293	156	55
Preço médio (pence/kWh)	6,5	6,6	4,4	3,5	2,7

Fonte: adaptado de (WISER; DESCRIPTION, 2002)

A análise dos preços praticados pelos cinco modelos de leilões realizados no Reino Unido, apresentados na Tabela 11, mostra que os leilões foram de fato eficientes na redução dos preços praticados, já que houve diminuição nos preços oferecidos nos leilões. No entanto, vale ressaltar que outros fatores podem ter contribuído para a redução de preços, como a evolução tecnológica e a redução do custo de capital.

Em relação aos resultados ambientais no Reino Unido, a Figura 44 mostra a evolução das emissões de CO₂ na queima de combustíveis fósseis entre 1990 e 2013, e a parcela utilizada para a produção de eletricidade e calor no mesmo período.

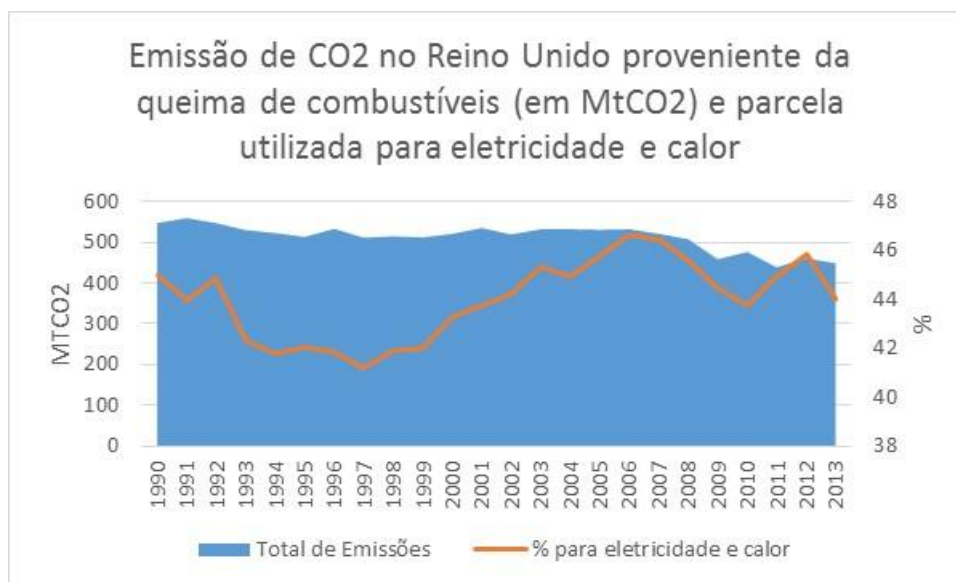


Figura 44 - Emissão de CO₂ na queima de combustíveis no Reino Unido entre 1990-2013

Fonte: elaboração própria com base nos dados disponíveis em OECD (2016)

Nota-se, assim como no caso da Alemanha, queda nas emissões totais de cerca de 18% no período mencionado. No entanto, a parcela utilizada deste total para a produção de eletricidade e calor aumentou. A Figura 45 mostra a evolução da emissão de CO₂ para eletricidade e calor no Reino Unido.

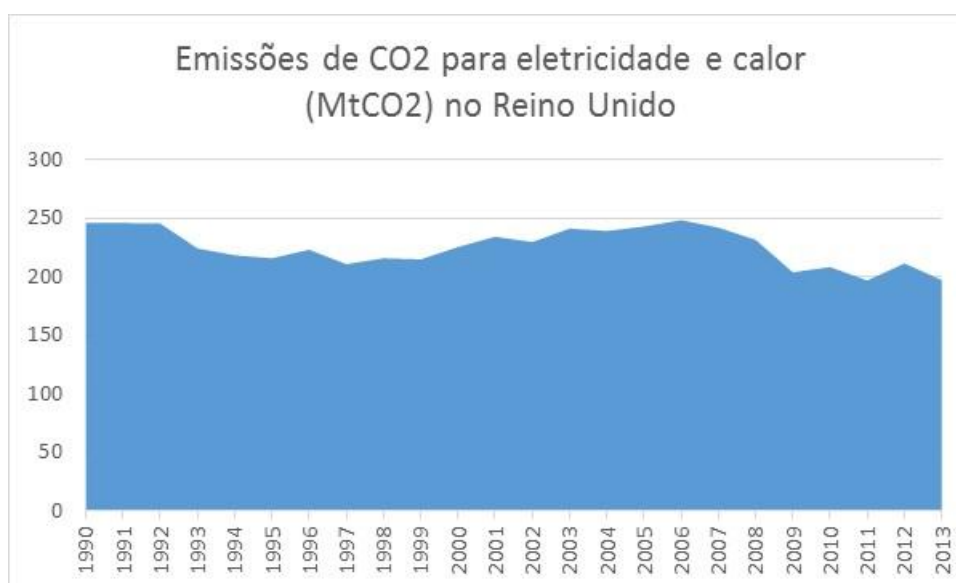


Figura 45 - Emissões de CO₂ para eletricidade e calor no Reino Unido

Fonte: elaboração própria com base nos dados disponíveis em OECD (2016)

Foi observada uma redução de cerca de 20% nas emissões de CO₂ para eletricidade e calor no país. Isso indica que houve uma melhoria da matriz energética do país, por meio da substituição de combustíveis fósseis por fontes renováveis. A Figura 46 ilustra a evolução da participação de fontes renováveis na matriz energética do Reino Unido britânica.

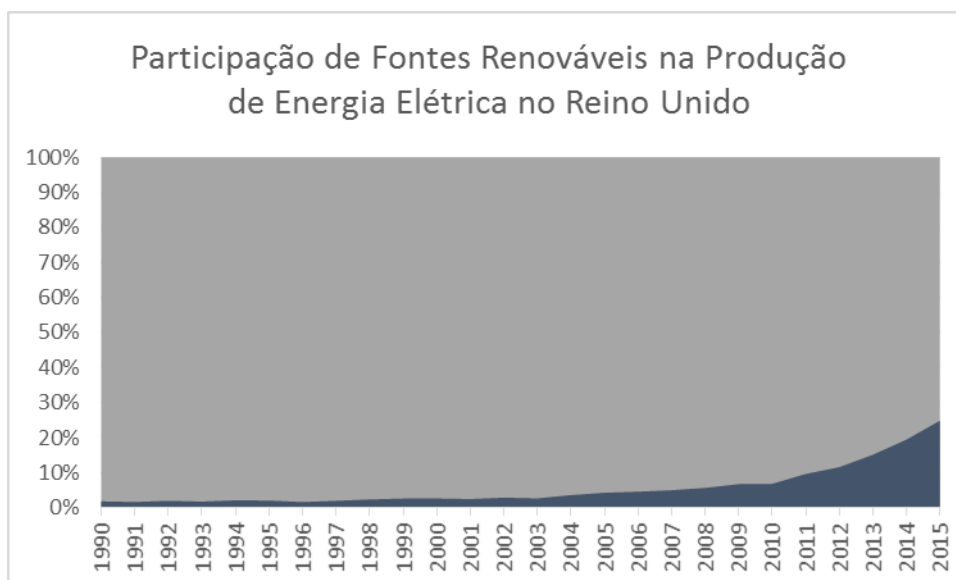


Figura 46 - Evolução da participação de fontes renováveis na produção de energia elétrica no Reino Unido

Fonte: elaboração própria com base nos dados disponíveis em OECD (2016)

A análise dos dados mostra que durante a vigência da política de leilões, houve crescimento da participação de fontes renováveis na produção de energia elétrica de 1,83% para 2,89%, entre 1990 e 2002. Já com a implementação da política de cotas, o crescimento foi de 2,89% para 24,85% em 2015. O resultado condiz com a análise da capacidade instalada apresentada anteriormente.

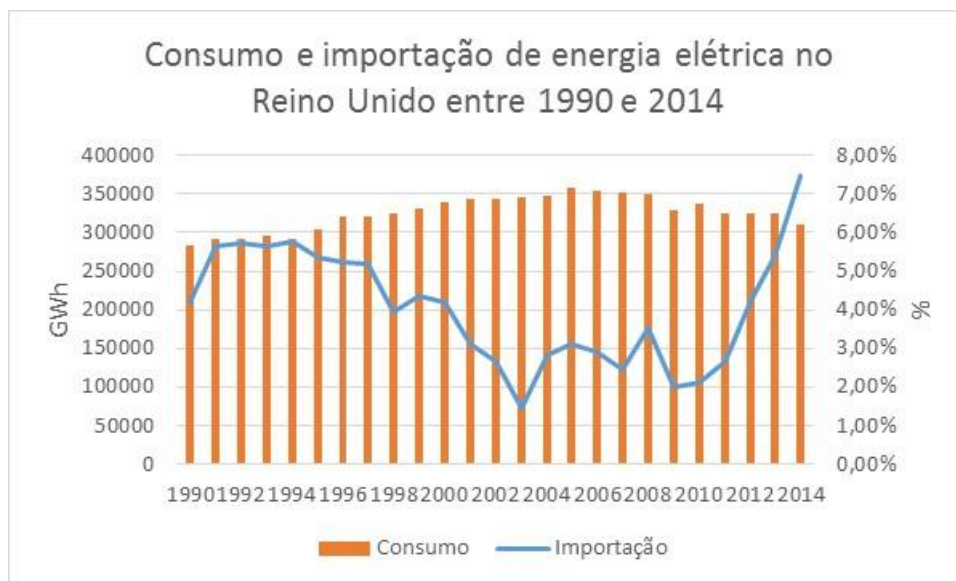


Figura 47 - Evolução da importação e consumo de energia elétrica no Reino Unido entre 1990-2014

Fonte: elaboração própria com base nos dados disponíveis em OECD (2016)

Na Figura 47, observa-se a evolução da importação e do consumo de energia elétrica no Reino Unido entre os anos 1990 e 2014. De 1990 a 2002, houve redução na parcela de energia importada no país, enquanto que após 2002, esse número aumentou. Isso levanta a hipótese de que o crescimento de fontes alternativas na política de cotas não tenha acompanhado o aumento da demanda por energia.

6 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Esse capítulo será dedicado à discussão dos resultados obtidos anteriormente, com destaque para a análise do caso brasileiro.

6.1 Comparação entre as políticas

A análise dos dados coletados permitiu a comparação entre os resultados das diferentes políticas de incentivo à energia renovável não convencional (excluindo a fonte hidrelétrica das renováveis) nos países analisados. Em primeiro lugar, a Alemanha e o Reino Unido, que se encontram em nível de desenvolvimento econômico mais alto que o Brasil, obtiveram resultados mais significativos em relação ao aumento da participação das fontes alternativas em suas matrizes elétricas com a implementação das políticas de FIT, cotas e leilões. Naqueles, essas fontes de energia representam atualmente parcela de 20% e 14%, respectivamente, de geração nas suas matrizes elétricas, o que permitiu melhor avaliação dos resultados obtidos.

Em relação ao incentivo para a redução de preços, os leilões se mostraram o método mais eficiente. No Reino Unido, onde houve a adoção da política de leilões e de cotas, foi observada diminuição dos preços durante a vigência política de leilões e aumento dos preços durante a política de cotas. No caso da Alemanha, pode-se observar aumento nos preços com a implementação da política de tarifas *feed-in*, devido ao fato da entrada de fontes com custos de geração muito mais altos do que as já utilizadas. No entanto, conforme mencionado no Capítulo 5, item 5.2.2, apenas 13% do aumento dos preços se deve à sobretaxa da implementação da política. No caso brasileiro, não foi possível chegar a conclusão do impacto nos preços, já que essas fontes ainda não representam parcela significativa da matriz energética. No entanto, a comparação dos preços praticados no PROINFA (política de tarifas *feed-in*) e nos leilões mostra que os preços praticados durante os leilões são inferiores, levantando a hipótese de redução de preços com a adoção dos leilões.

De fato, a política de leilões estimula a redução de custos por meio da competição entre os projetos, como pode ser observado com a análise da evolução dos preços médios praticados nos leilões da NFFO (Reino Unido) e no Brasil. Menanteau et al. (2010) citam que os leilões são de fato mais eficazes em estimular a redução de custos dos produtores, além de possuírem maior flexibilidade para mudanças nas políticas. Já as políticas *feed-in* podem estimular a redução de

custos quando bem planejadas. Quando a tarifa oferecida para os produtores diminui com o tempo, isso gerará incentivo para os produtores reduzirem seus custos de produção.

Em relação ao aumento da capacidade instalada de fontes alternativas não convencionais, a Alemanha obteve resultados muito significativos, com aumento de 48 MW eólicos instalados em 1990 para 39.193MW em 2014, e de 2MWe fotovoltaico para 38.243MWe em 2014, o que permitiu que 20% da produção de eletricidade no país hoje seja obtida por meio dessas fontes. A Alemanha apresentou taxa composta anual de crescimento¹⁵ de 32% para a fonte eólica, e de 51% para a fotovoltaica durante o período analisado. Já o Reino Unido apresentou durante a política de leilões taxa composta anual de crescimento 39% para a fonte eólica e de 32% para a solar PV; enquanto que, durante a política de cotas, foi observada taxa de crescimento de 31% para a eólica e de 82% para a solar PV. Já no Brasil, a taxa composta anual de crescimento foi de 42% para a eólica e 66% para a solar PV, entre 2006 e 2015. No caso da energia eólica, a comparação da potência contratada no PROINFA e nos leilões sugere que os leilões foram mais eficazes no aumento de capacidade instalada (ABEEÓLICA, 2016).

No entanto, ao analisar o aumento absoluto da capacidade instalada, observa-se que a política alemã obteve melhor resultado que as políticas aplicadas no Brasil e Reino Unido para as fontes eólica e fotovoltaica, com aumento médio de 1.631MW/ano de capacidade eólica e de 1.593 MWe/ano de capacidade fotovoltaica. O Reino Unido, por sua vez, obteve durante a política de leilões crescimento médio de 43MW/ano de eólica e de 0,33MWe/ano de solar, já durante a política de cotas, o aumento médio foi de 1.037,75MW/ano para a fonte eólica e de 447,75 MWe/ano para a solar. Finalmente, o Brasil obteve crescimento médio de 822 MW/ano da capacidade eólica e de 2,33 MWe/ano de solar.

Além disso, em termos de participação das fontes alternativas não convencionais nas matrizes energéticas dos países analisados, a Alemanha apresenta hoje contribuição de 20% da produção de eletricidade, enquanto que no Reino Unido essa parcela é de 14 % e no Brasil apenas 4,2%.

A análise da importância relativa dessas fontes é mais consistente do que análise do aumento da capacidade instalada individualmente, porque mostra uma diversificação das matrizes energéticas e a substituição de fontes. Dessa forma, a política de tarifas *feed-in* adotada na Alemanha mostrou melhor resultado na consolidação dessas novas fontes, devido à maior participação das fontes alternativas não convencionais em sua matriz energética em comparação

¹⁵ Do inglês: *Compound annual growth rate (CAGR)*

com os outros países. De fato, de acordo com Menanteau et al. (2010) as tarifas *feed-in* se mostram, em geral, mais eficientes ao incentivar a entrada de novos produtores no mercado. O principal motivo para isso é o alto retorno oferecido para os investidores por meio de preços relativamente altos. Além disso, os autores sugerem que os preços relativamente baixos obtidos nos leilões devido à competitividade entre os produtores fazem com que a margem se limite devido aos riscos, gerando plantas com capacidades menores.

No entanto, a relação entre quantidade de geração e os custos estão extremamente ligadas, devido às economias de escala. Nesse sentido, esses dois fatores não podem ser analisados de forma separada, ao passo que uma política que incentiva a instalação de grande capacidade de geração, também deve contribuir, a longo prazo, para a redução de custos. Estudo do IRENA (2015) mostrou a evolução da capacidade fotovoltaica global instalada, e do preço dos painéis de Silício – que representam aproximadamente 80% dos painéis fotovoltaicos no mundo – nos últimos anos, representada na Figura 48. Os preços pela capacidade dos módulos caíram de aproximadamente 5 para 0,8 USD/Wp entre 2000 e 2014, enquanto que a capacidade instalada mundial aumentou de aproximadamente 0 para 170 GW no mesmo período.

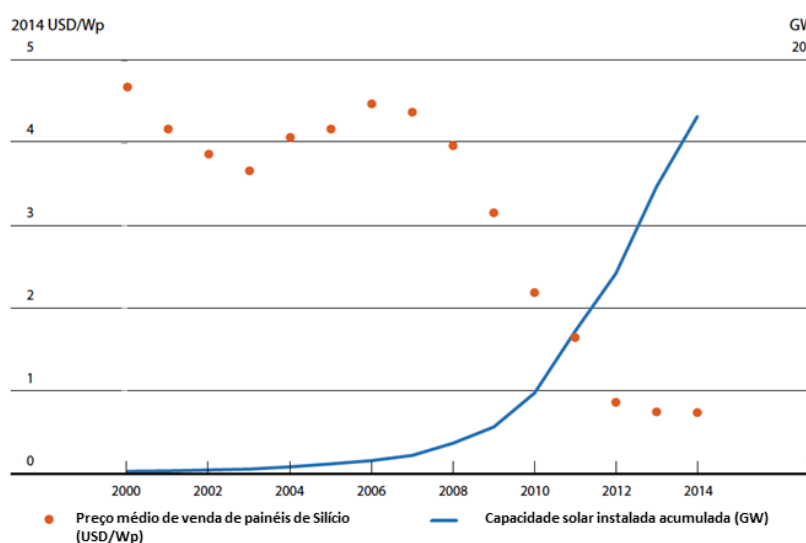


Figura 48 - Evolução da capacidade solar global instalada e dos preços das placas solares

Fonte: adaptado de IRENA (2015)

Em relação aos benefícios ambientais decorrentes das políticas, foi observado maior diminuição nas emissões para eletricidade e calor no Reino Unido do que na Alemanha. No Brasil, houve aumento dessas emissões, provocado pelo aumento de geração termelétrica devido à queda nos níveis dos reservatórios hídricos do país, prejudicando a avaliação da inserção das fontes renováveis não convencionais. Contudo, esses dados devem ser analisados com cautela, já que

englobam também as emissões para a produção de calor. Além disso, é importante ressaltar o crescimento da participação das fontes alternativas, que foi importante para suprir parte dessa deficiência hídrica, mitigando efeitos que poderiam ser ainda mais impactantes para o meio ambiente.

Finalmente, outros benefícios ainda são obtidos com a adoção dessas políticas. Primeiramente, para países que dependem da importação de energia, as fontes alternativas de energia renovável surgem como opção viável para a redução da dependência energética de outros países.

Conforme já mencionado anteriormente, o maior objetivo com a criação dessas políticas públicas é proporcionar situação na qual as fontes renováveis se tornariam competitivas com as fontes convencionais de energia. Para isso, o maior limitante é o custo de geração, que é muito mais alto para as fontes alternativas. Segundo o relatório sobre o custo de geração de energias renováveis, publicado pelo IRENA (2015), diversas tecnologias renováveis hoje já são competitivas em relação às convencionais.

Os custos de instalação de energia eólica em terra, fotovoltaica e solar concentrada diminuem constantemente com a evolução tecnológica e ganhos de escala, contribuindo para a diminuição dos custos de geração. Isso fez com que hoje as tecnologias renováveis estejam competindo com as fontes tradicionais. A Figura 49 mostra a evolução dos custos nivelados de energia e a área que compreende os custos das fontes tradicionais. Observa-se que as fontes mencionadas se beneficiaram de redução de custos e tendem a ser tão competitivas quanto as fontes fósseis.

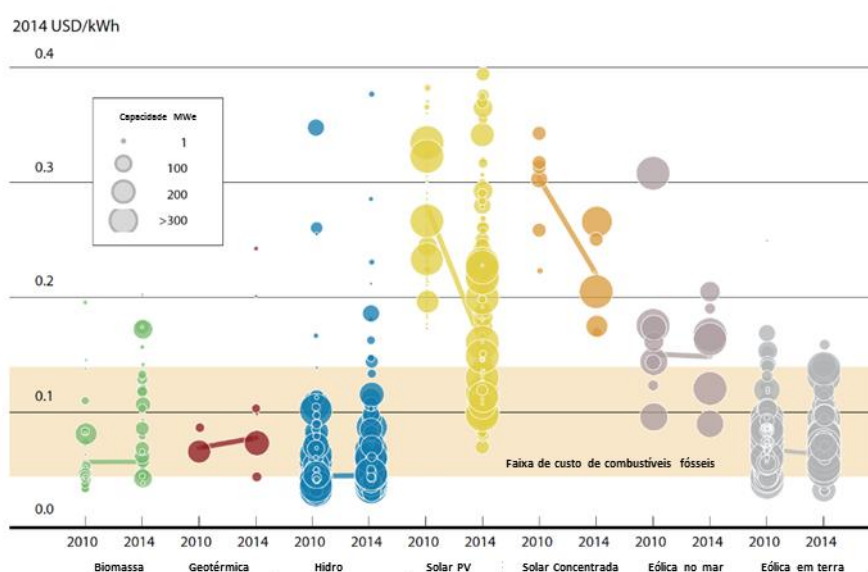


Figura 49 - Evolução dos custos nivelados de fontes renováveis

Fonte: adaptado de IRENA (2015)

Os projetos mais competitivos de energia fotovoltaica, por exemplo, podem ser realizados a 0,08 USD/kWh. Para projetos de biomassa, por exemplo, a faixa de LCOE se situa entre 0,04 e 0,17 USD/kWh. Nota-se também a variação dos custos de acordo com a capacidade dos projetos.

Quando a tecnologia se torna competitiva e pode ser implantada em larga escala, os incentivos podem ser retirados, deixando as fontes competirem livremente (IEA; OECD, 2008). O aumento da competitividade das fontes renováveis faz com que as políticas tenham de mudar de foco: ao invés de políticas específicas para cada tipo de tecnologia, uma visão sistêmica, de modo a permitir transição para um sistema de energia mais sustentável (IRENA, 2015).

6.2 O caso brasileiro

O Brasil é um caso particular em termos eletro-energéticos. Por possuir alto potencial hidrelétrico, o Brasil já possui matriz energética predominantemente limpa, com cerca de 73% da geração de energia elétrica do país proveniente de fontes renováveis de energia. No entanto, as grandes hidrelétricas são muitas vezes criticadas pelo impacto socioambiental que causam.

Conforme visto anteriormente, o Brasil já adotou três tipos de política energética para incentivo de fontes renováveis não convencionais. Primeiramente, o sistema de tarifas *feed-in*, no âmbito do PROINFA, que mesmo com muitas dificuldades, que resultaram em atrasos na implementação dos projetos, cumpriu seu principal objetivo de inserir a fonte eólica, e impulsionar a biomassa e pequenas centrais hidrelétricas.

Ainda assim, este trabalho identificou o modelo de tarifas *feed-in* como o mais adequado para aumento da capacidade instalada. No entanto, essa política é caracterizada por demandar altos custos para o Estado e/ou consumidor final. Deste modo, a possibilidade reaplicação desse modelo no Brasil, na atual conjuntura econômica e fiscal, deve ser analisada com cautela, já que os custos desse modelo devem obrigatoriamente arcados pela sociedade. No entanto, não se descarta analisar a viabilidade de aplicação deste modelo para pequenos projetos (geração distribuída – pequenos consumidores produzindo energia equivalente a que consomem) quando da recuperação econômica do país, incentivando assim a entrada de pequenos geradores no mercado.

A geração distribuída é de grande interesse para o Brasil, que devido às suas dimensões territoriais, tem a região amazônica (hidrelétricas de Jirau Santo Antônio, Belo Monte, Teles Pires) como a nova fronteira de projetos de geração, que demandam elevados investimentos em sistemas de transmissão, além dos impactos socioambientais. Alternativo ao *feed-in* para geração distribuída, o país adotou recentemente sistema de compensação como política energética para incentivo de fontes renováveis não convencionais. Entretanto, como a regulamentação final passou a valer em março de 2016, é ainda prematuro fazer qualquer tipo de avaliação.

A principal forma de contratação de energia elétrica para o mercado cativo é o sistema de leilões. Dado que o modelo do setor elétrico brasileiro foi instituído baseado no princípio da modicidade tarifária, ou seja, busca-se tarifa que represente menor custo para o cidadão, o sistema de leilões mostra-se aderente a este fim. As análises dos outros países mostraram que de fato os leilões são a melhor forma de reduzir os custos por meio da competição entre os produtores.

Neste contexto, a forma encontrada pelo Governo Federal para incentivar a energia renovável não convencional foi a segmentação dos leilões por tecnologia, não promovendo assim a competição direta entre fontes tradicionais – como hidrelétrica e gás natural - com as fontes ainda em fase de consolidação e/ou inserção – como eólica e solar fotovoltaica. Leilões específicos para estas fontes foram organizados, promovendo assim seu desenvolvimento, com competição apenas entre seus pares.

No entanto, não se pode dizer que hoje as fontes alternativas não convencionais de energia representam parcela significativa da matriz energética do país. Há grande importância de se diversificar a matriz energética brasileira, principalmente por meio do aumento da participação dessas fontes na forma distribuída.

Apesar do sistema de leilões satisfazer os objetivos propostos pelo novo modelo do setor elétrico, a combinação com o mecanismo de cotas seria uma boa alternativa para o caso brasileiro, obrigando que consumidores livres – que negociam energia livremente sem participarem dos leilões no mercado regulado – tenham de adquirir parcela de energia proveniente de fontes renováveis não convencionais.

7 CONCLUSÃO

Este trabalho comparou diferentes políticas públicas de incentivo à energia renovável não convencional, e avaliou seus efeitos por meio de aplicação de indicadores em três países: Alemanha, Brasil e Reino Unido.

Primeiramente, foram apresentadas diferentes políticas públicas de incentivo à energia renovável na teoria, identificando-se três políticas de maior significância atualmente: as tarifas *feed-in*, o sistema de cotas e os leilões. A partir dessas análises, alguns indicadores de desempenho foram propostos, de modo a proporcionar análise dos resultados alcançados pelas políticas em diferentes aspectos.

A primeira conclusão do trabalho foi que cada uma das políticas atinge diferentes resultados. Portanto, não se pode concluir que certa política é melhor que outra em todos os aspectos. A política de tarifas *feed-in* se mostrou mais eficaz para o aumento da capacidade instalada, permitindo grande aumento da capacidade instalada das fontes alternativas de energia na Alemanha. Assim como, o sistema de leilões e a política de cotas no Reino Unido atingiram resultados bastante semelhantes no que diz respeito ao aumento da capacidade instalada.

Em relação ao preço para o consumidor final, houve na Alemanha aumento de 13% relacionado à sobretaxa do modelo. Por causa disso, uma das maiores críticas ao modelo das tarifas de alimentação é o seu alto custo de financiamento. Já o sistema de leilões permitiu a redução de custos, como observado no caso do Reino Unido e na análise dos preços praticados nos leilões brasileiros. Além disso, o estudo do caso brasileiro mostrou que os preços praticados nos leilões são inferiores aos do PROINFA (tarifa *feed-in*), sugerindo a redução de preços no novo modelo.

A discussão detalhada do caso brasileiro permitiu identificar que o sistema de leilões condiz com o objetivo de modicidade tarifária do modelo do setor elétrico brasileiro, e tem se mostrado ferramenta eficiente no incentivo às fontes renováveis não distribuídas. Ainda assim, de forma a impulsionar ainda mais as fontes não convencionais, sugere-se a combinação do sistema de cotas (cujos resultados foram muito satisfatórios no Reino Unido) com o sistema de leilões, de modo a obrigar que os consumidores livres, que não participam dos leilões, sejam obrigados a comprar parcela de energia renovável não convencional.

Adicionalmente, a experiência da Alemanha mostra a importância das fontes alternativas, na forma distribuída, na matriz energética do país. A forma de maior sucesso identificada neste trabalho é por meio de tarifas de alimentação, concomitantes com o mecanismo de compensação recém instituído.

Por fim, foram identificadas possíveis análises para futuros trabalhos no assunto. A primeira sugestão seria a avaliação da manutenção dos resultados obtidos com as políticas públicas após a retirada dos incentivos. Em segundo lugar, seria interessante avaliar e quantificar os benefícios sociais das políticas, como a geração de novos empregos. Além disso, outro fator não considerado a fundo neste trabalho e que também deve ser levado em conta no momento da decisão é o custo-benefício de cada um desses incentivos, de modo a quantificar todos os benefícios atingidos e comparar com os diferentes custos incorridos na adoção destes. Outro possível tema de estudo é o papel das políticas para se alcançar sistema de energia sustentável no futuro, ou seja, como elaborar uma política com uma visão sistêmica e não do ponto de vista individual para cada tecnologia.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDMOULEH, Z.; ALAMMARI, R. A. M.; GASTLI, A. Review of policies encouraging renewable energy integration & best practices. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 45, p. 249–262, 2015.

ABEEÓLICA. Boletim de Dados. 2016.

ABRADEE. Visão Geral do Setor. Disponível em: <<http://www.abradee.com.br/setor-eletrico/visao-geral-do-setor>>. Acesso em: 20 out. 2016.

ACKERMANN, T.; ANDERSSON, È.; SÖDER, L. Overview of government and market driven programs for the promotion of renewable power generation. v. 22, p. 197–204, 2001.

ANEEL. ANEEL aprova regras para facilitar a geração de energia nas unidades consumidoras. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/noticias/Output_Noticias.cfm?Identidade=5457&id_area=90>. Acesso em: 6 nov. 2016.

ANEEL. Informações Gerenciais. 2015.

ANEEL. Geração Distribuída. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/informacoes-tecnicas/-/asset_publisher/CegkWaVJWF5E/content/geracao-distribuida-introducao-1/656827?inheritRedirect=false>. Acesso em: 6 nov. 2016a.

ANEEL. Atlas de Energia Elétrica do Brasil. 2016b.

BECK, F.; MARTINOT, E. Renewable Energy Policies and Barriers. *Encyclopedia of Energy*, v. 34, n. 3, p. 365–383, 2004.

BESANKO, D.; BRAEUTIGAM, R. R. Microeconomics. Quarta Ed. ed. [s.l.] John Wiley & Sons, 2011.

BÜSGEN, U.; DÜRRSCHMIDT, W. The expansion of electricity generation from renewable energies in Germany A review based on the Renewable Energy Sources Act Progress Report 2007 and the new German feed-in legislation. v. 37, p. 2536–2545, 2009.

BUTLER, L.; NEUHOFF, K. Comparison of feed-in tariff , quota and auction mechanisms to

support wind power development. v. 33, p. 1854–1867, 2008.

CANSINO, J. M. et al. Tax incentives to promote green electricity: An overview of EU-27 countries. *Energy Policy*, v. 38, n. 10, p. 6000–6008, 2010.

CCEE. Tipos de leilões. Disponível em: <https://www.ccee.org.br/portal/faces/pages_publico/o-que-fazemos/como_ccee_atua/tipos_leiloes_n_logado?_adf.ctrl-state=vkey9y46v_44&_afLoop=622658424013443#%40%3F_afLoop%3D622658424013443%26_adf.ctrl-state%3Dsxbx0qxl9_4>. Acesso em: 22 out. 2016a.

CCEE. Setor Elétrico. Disponível em: <https://www.ccee.org.br/portal/faces/pages_publico/onde-atuamos/setor_eletrico?_adf.ctrl-state=16705rcmim_55&_afLoop=63823415295485>. Acesso em: 22 out. 2016b.

CCEE. Leilões. Disponível em: <http://www.ccee.org.br/portal/faces/oquefazemos_menu_lateral/leiloes?_afLoop=1074851330262875#%40%3F_afLoop%3D1074851330262875%26_adf.ctrl-state%3Deok7tozsl_4>.

CORY, K. et al. Feed-in Tariff Policy : Design , Implementation , and RPS Policy Interactions Feed-in Tariff Policy : Design , Implementation , and RPS Policy Interactions. n. March, 2009.

COUTURE, T.; GAGNON, Y. An analysis of feed-in tariff remuneration models: Implications for renewable energy investment. *Energy Policy*, v. 38, n. 2, p. 955–965, 2010.

DUTRA, R. M.; SZKLO, A. S. Incentive policies for promoting wind power production in Brazil : Scenarios for the Alternative Energy Sources Incentive Program (PROINFA) under the New Brazilian electric power sector regulation. v. 33, p. 65–76, 2008.

ELETROBRÁS. PROINFA. Disponível em: <<http://www.elektrobras.com/elb/ProinfA/data/Pages/LUMISABB61D26PTBRIE.htm>>. Acesso em: 25 set. 2016.

EPE. Balanço energético nacional. 2015.

EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY. Renewable energies: success stories. n. 27, p. 1–96, 2001.

EUROPEAN NUCLEAR SOCIETY. Nuclear power plants in Germany. Disponível em: <<https://www.euronuclear.org/info/encyclopedia/n/nuclear-power-plant-germany.htm>>. Acesso em: 3 nov. 2016.

FOLEY, T. et al. Renewables 2015 global status report. 2015.

HENRIQUE, P.; SANTANA, D. M. Cost-effectiveness as energy policy mechanisms : The paradox of technology-neutral and technology-specific policies in the short and long term. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 58, p. 1216–1222, 2016.

IEA; OECD. Deploying Renewables: Principle for Effective Policies. 2008.

INSTITUTO ACENDE BRASIL. Leilões no Setor Elétrico Brasileiro: Análises e Recomendações. p. 1–52, 2012.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY; NUCLEAR ENERGY AGENCY. Projected Costs of Generating Electricity. p. 16, 2015.

IPEA. IPEADATA. Disponível em: <<http://www.ipeadata.gov.br/>>. Acesso em: 25 set. 2016.

IRENA. RENEWABLE POWER GENERATION COSTS IN 2014. n. January, 2015.

KETTLE, R. Promoting Renewable Energy : Experience with the NFFO. n. September, p. 1999–2001, 1999.

LIMA, P. C. R. Políticas públicas para fontes alternativas e renováveis para geração de energia elétrica. Biblioteca Digital da Câmara dos Deputados, 2007.

MANKIW, N. G. Introdução a Economia. 2009.

MENANTEAU, P.; FINON, D.; LAMY, M. Prices versus quantities : choosing policies for promoting the development of renewable energy. v. 31, n. 2003, p. 799–812, 2010.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Boletim Mensal de Monitoramento do Sistema Elétrico Brasileiro do Sistema Elétrico Brasileiro. 2016.

MITCHELL, C. The renewables NFFO A review. v. 23, n. 12, 1998.

MITCHELL, C.; BAUKNECHT, D.; CONNOR, P. M. Effectiveness through risk reduction : a comparison of the renewable obligation in England and Wales and the feed-in system in

Germany. v. 34, p. 297–305, 2006.

MME. Resenha Energética Brasileira Exercício de 2014. 2015.

OECD. OECD Library. Disponível em: <<http://www.oecd-ilibrary.org/>>. Acesso em: 25 set. 2016.

OFGEM. Renewables Obligation - Guidance for generators. p. 1–68, 2015.

ONS. Geração de Energia. Disponível em: <http://www.ons.com.br/historico/geracao_energia.aspx>.

PAINULY, J. P. Barriers to renewable energy penetration: A framework for analysis. *Renewable Energy*, v. 24, n. 1, p. 73–89, 2001.

PANOS, K. Praxisbuch Energiewirtschaft. *Journal of Chemical Information and Modeling*, v. 53, n. 9, p. 1689–1699, 2013.

PRÁTIL. Entenda o Sistema de Compensação de Energia Elétrica. Disponível em: <<http://www.pratil.com.br/blog/2016/06/entenda-o-sistema-de-compensacao-de-energia-eletrica/>>. Acesso em: 6 nov. 2016.

REN21; ISEP; ICLEI. Global Status Report on Local Renewable Energy Policies. 2011.

RINGEL, M. Fostering the use of renewable energies in the European Union: The race between feed-in tariffs and green certificates. *Renewable Energy*, v. 31, n. 1, p. 1–17, 2006.

RUIZ, B. J.; RODRI, V.; BERMANN, C. Analysis and perspectives of the government programs to promote the renewable electricity generation in Brazil. v. 35, p. 2989–2994, 2007.

STOUTENBOROUGH, J. W. Encouraging Pollution-Free Energy : The Diffusion of State Net Metering Policies n. v. 89, n. 5, 2008.

TUPY, T.; ZAHN, R. The Importance of the Legal and Regulatory Framework for the Development of Renewable Energy. n. September, p. 1–13, 2009.

VARIAN, H. R. *Intermediate Microeconomics*. 2010.

VERBRUGGEN, A.; LAUBER, V. Assessing the performance of renewable electricity support instruments. *Energy Policy*, v. 45, p. 635–644, 2012.

WAN, Y.; GREEN, H. J. Current Experience With Net Metering Programs. Green Power Network, 1998.

WISER, R.; DESCRIPTION, C. The UK NFFO and Ireland AER Competitive Bidding Systems. n. September, 2002.

WOODMAN, B.; MITCHELL, C. Learning from experience? The development of the Renewables Obligation in England and Wales 2002 – 2010. *Energy Policy*, v. 39, n. 7, p. 3914–3921, 2011.

WÜSTENHAGEN, R.; BILHARZ, M. Green energy market development in Germany: effective public policy and emerging customer demand. v. 34, p. 1681–1696, 2006.