

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA – IPEA

**AVALIAÇÃO DE IMPACTO DO LEILÃO ESPECÍFICO
PARA CONTRATAÇÃO DE ENERGIA EÓLICA: UMA
ANÁLISE UTILIZANDO MÉTODO DE CONTROLE
SINTÉTICO.**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

CRISTIANO HAUCK CIVITARESE

BRASÍLIA – DF

2019

CRISTIANO HAUCK CIVITARESE

**AVALIAÇÃO DE IMPACTO DO LEILÃO ESPECÍFICO
PARA CONTRATAÇÃO DE ENERGIA EÓLICA: UMA
ANÁLISE UTILIZANDO MÉTODO DE CONTROLE
SINTÉTICO.**

Dissertação apresentada ao Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Políticas Públicas e Desenvolvimento, área de concentração em Economia, para a obtenção do título de Mestre.

Prof. Dr. Mauro Oddo Nogueira

Coorientador: Prof. Dr. Bruno César Pino Oliveira de Araújo

BRASÍLIA – DF

2019

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA – IPEA

Civitarese, Cristiano Hauck

C582a Avaliação de impacto do leilão específico para contratação de energia eólica: uma análise utilizando método de controle sintético / Cristiano Hauck Civitarese – Brasília : IPEA, 2019.
98 f. : il.

Dissertação (mestrado) – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, Programa de Pós-Graduação em Políticas Públicas e Desenvolvimento, área de concentração em Economia, 2019

Orientação: Mauro Oddo Nogueira

Coorientação: Bruno César Pino Oliveira de Araújo

Inclui Bibliografia.

1. Energia Eólica. 2. Geração Energética. 3. Leilão de Energia 4. Método de Controle Sintético 5. Brasil. I. Nogueira, Mauro Oddo. II. Araújo, Bruno César Pino Oliveira de. III. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. IV. Título.

CDD 333.92

Ficha catalográfica elaborada por Andréa de Mello Sampaio CRB-1/1650\

CRISTIANO HAUCK CIVITARESE

**AVALIAÇÃO DE IMPACTO DO LEILÃO ESPECÍFICO
PARA CONTRATAÇÃO DE ENERGIA EÓLICA: UMA
ANÁLISE UTILIZANDO MÉTODO DE CONTROLE
SINTÉTICO.**

Dissertação apresentada ao Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Políticas Públicas e Desenvolvimento, área de concentração em Economia, para a obtenção do título de Mestre.

Defendida em 11 de setembro de 2019

COMISSÃO JULGADORA

Prof. Dr. Bruno César Pinto Oliveira de Araújo – IPEA

Prof. Dr. Fabiano Mezadre Pompermayer – IPEA

Prof. Dr. Mauro Oddo Nogueira

Prof. Dr. Antonio Glauter Teofilo Rocha

BRASÍLIA – DF

2019

“Avaliação de Políticas Públicas é um julgamento. Mas é, fundamentalmente,
um processo de aprendizagem.” (Antônio Lassance)

Por Deus; por você, Fernanda; aos meus pais, irmãos e amigos;
pelo caminho sendo trilhado neste momento.

AGRADECIMENTOS

Dedicar-se ao mestrado requer empenho e sacrifício. Agradeço à minha esposa Fernanda pelo amor, suporte e incentivos nos momentos difíceis. À minha mãe Hendna e aos meus irmãos Rodrigo e Natália pela compreensão da minha ausência. Aos meus amigos e colegas pela convivência diária e pelo apoio constante.

Agradeço ao Professor Bruno Araújo por compartilhar seu tempo e conhecimento, orientação e dedicação ao longo desses últimos meses. Por fim, agradeço aos demais pesquisadores do Ipea por oferecer valiosa sabedoria em sala de aula sobre o universo da Economia, das Políticas Públicas e do Desenvolvimento.

Lista de Abreviaturas

ACL – Ambiente de Contratação Livre

ACR – Ambiente de Contratação Regulado

Aneel – Agência Nacional de Energia Elétrica

BNB – Banco do Nordeste do Brasil)

BNDES – Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social

CCEE – Câmara de Comercialização de Energia Elétrica

CIP – Contribuição para Iluminação Pública

Conama – Conselho Nacional do Meio Ambiente

COP21 – Conferência das Nações Unidas sobre as Mudanças Climáticas

DD – Diferenças em Diferenças

DNAEE – Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica

EIA/RIMA – Estudo de Impacto Ambiental e Relatório de Impacto Ambiental

EPE – Empresa de Pesquisa Energética

FC – Fator de Capacidade

GCOI – Grupo de Controle das Operações Integradas

GD – Geração Distribuída

GJ – Gigajoule

GTD – Geração, Transmissão e Distribuição

GW – Gigawatt

GWh – Gigawatt-hora

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

ICMS – Imposto sobre Operações relativas à Circulação de Mercadorias e Prestação de Serviços de Transporte Interestadual e Intermunicipal e de Comunicação

IEA – Agência Internacional de Energia

INTER – Instituto de Tecnologia de Energia Renovável

IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada

IPI – Imposto sobre Produtos Industrializados

IRENA – Agência Internacional de Energia Renovável

kWh – quilowatt-hora

LFA – Leilões de Fontes Alternativas

MAE (Mercado Atacadista de Energia

MCS – Método de Controle Sintético

MME – Ministério de Minas e Energia
MP – Medida Provisória
MSPE – Erro Quadrático Médio de Predição
Mtoe – Megatoneladas equivalentes de petróleo
MWh – Megawatt-hora
MWmed – Megawatt médio
O&M – Operação e Manutenção
OCDE – Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico
ONS – Operador Nacional do Sistema
P&D (ou P, D&I) – Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação
PCL – Política de Conteúdo Local
PIB – Produto Interno Bruto
PIS/Cofins – Programa de Integração Social e de Formação do Patrimônio do Servidor
Público/Contribuição para Financiamento da Seguridade Social
Proinfa – Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica
PWh – Petawatt-hora
RBIEE – Rede Brasileira de Inovação em Energia Eólica
REIDI – Regime Especial de Incentivos para o Desenvolvimento da Infraestrutura
SEB – Sistema Elétrico Brasileiro
SIN – Sistema Interligado Nacional
SUDENE – Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste
TIPI – Tabela de Incidência do Imposto sobre Produtos Industrializados
TWh – Terawatt-hora
UBP – Uso de Bem Público
UHE – Usina Hidrelétrica
US\$ – Dólar Americano
WWEA – World Wind Energy Associations

Lista de Figuras

Figura 1 – A estrutura do SEB.	18
Figura 2 – O vento e a geração na turbina.	22
Figura 3 – Desenho esquemático de uma turbina eólica moderna (aerogerador).	23
Figura 4 – Distribuição global atual médio do potencial eólico em 2006 (W/m ²).	28
Figura 5 – Potencial eólico anual, país a país.	29

Lista de Gráficos

Gráfico 1 – Capacidade instalada total de energia elétrica no Brasil em GW: 1883 a 2016. ...	9
Gráfico 2 – Estrutura da capacidade instalada energética brasileira em GW: 1974 a 2017.....	9
Gráfico 3 – Consumo mundial de eletricidade por setor, em Mtoe.	13
Gráfico 4 – Consumo de energia elétrica no Brasil em GWh: estratificação por classe, valor mensal de abril de 2019.	14
Gráfico 5 – Proporção dos mercados de energia elétrica no Brasil em 2018.....	18
Gráfico 6 – Geração elétrica de fontes renováveis por fonte (total mundial 1990-2016), em GWh.	24
Gráfico 7 – Evolução da capacidade eólico-elétrica instalada global, em MW.....	25
Gráfico 8 – Evolução dos preços da energia eólica contratada em cada um dos leilões (valores com database em dezembro de 2015, R\$/MWh).....	26
Gráfico 9 – Capacidade instalada global 2013-2017.....	30
Gráfico 10 – Capacidade instalada do Brasil 2013-2017.	31
Gráfico 11 – Evolução do Fator de Capacidade eólico mundial.	32
Gráfico 12 – Evolução do Fator de Capacidade eólico brasileiro.	33
Gráfico 13 – Vazão do rio São Francisco e comportamento médio do vento na região Nordeste.....	35
Gráfico 14 – Custo histórico da energia eólica no mundo em centavos de dólar.....	37
Gráfico 15 – Custo instalado total entre 2009-2012 para grandes parques (> 5MW) em países selecionados (não OCDE).	39
Gráfico 16 – Efeito da velocidade do vento no custo da eletricidade eólica.	40
Gráfico 17 – Redução de custo através de escala.	40
Gráfico 18 – Efeito do ciclo de vida do projeto na economia da geração eólica.	41
Gráfico 19 – Valor final da energia elétrica.	43
Gráfico 20 – Tarifas médias de energia elétrica em países selecionados (valores em R\$/MWh de 2014).	44
Gráfico 21 – Abertura da carga tributária consolidada de tributos e encargos (energia elétrica).	46
Gráfico 22 – Taxa média efetiva de tributo usado na geração de eletricidade, em Euros por GJ (Gigajoule).....	47
Gráfico 23 – Relação entre o consumo de eletricidade per capita e o PIB per capita, em países selecionados, 2008-2012.	48

Gráfico 24 – Participação de cada fonte nos leilões: percentual da capacidade dos projetos cadastrados.....	57
Gráfico 25 – Custo de investimento dos empreendimentos habilitados, por ano, em R\$/kW.	58
Gráfico 26 – Preço médio da contratação de energia eólica em leilões de expansão, em R\$/MWh, e energia contratada, em MWmed.....	59
Gráfico 27 – Preço médio de venda, comparativo entre fontes de energia, em R\$/MWh.	59
Gráfico 28 – Preço médio dos contratos de leilões por fonte energética, em R\$/MWh, referência de 2018.	60
Gráfico 29 – Investimento projetado acumulado nos leilões, por fonte (em bilhões de Reais).	61
Gráfico 30 – Evolução da geração de energia eólica no Brasil, em GWh.....	65
Gráfico 31 – Geração de energia eólica no Brasil pré e pós-intervenção, em GWh.	75
Gráfico 32 – Evolução da geração de energia eólica: Brasil vs. Países doadores (média aritmética sem ponderação).	78
Gráfico 33 – Evolução da geração de energia eólica: Brasil vs. Brasil Sintético.....	79
Gráfico 34 – Diferença entre geração de energia eólica: Brasil vs. Brasil Sintético.....	80
Gráfico 35 – Evolução da geração de energia eólica: Brasil vs. Brasil Sintético, com referência fictícia em 2009.	82
Gráfico 36 – Evolução da geração de energia eólica para os dois maiores representantes do Brasil: Real vs. Sintético de Turquia e Uruguai.	83
Gráfico 37 – Diferenças entre geração de energia eólica do Brasil e de cada um dos países do pool de doadores.	84

Lista de Tabelas

Tabela 1 – Matriz de capacidade instalada de geração de energia elétrica do Brasil.....	8
Tabela 2 – Matriz de produção de energia elétrica no SIN.	10
Tabela 3 – Custos de energia a partir de diferentes fontes, em Euros.....	36
Tabela 4 – Custo instalado total típico para parques eólicos por país.	38
Tabela 5 – Componentes das tarifas de consumo de energia elétrica industrial.	45
Tabela 6 – Atributos das covariadas.....	76
Tabela 7 – Médias das preditoras do modelo no período pré-tratamento.....	78
Tabela 8 – Peso dos países no Brasil sintético.	79

Resumo:

No início dos anos 2000, a geração de eletricidade por fontes renováveis eólicas começou a ganhar mais projeção no Brasil. Fatores como os “apagões” de 2001 e 2002, insegurança de abastecimento energético, matriz dependente da fonte hidráulica, aumento do fluxo de investimentos estrangeiros para construção de usinas eólicas e o alto potencial de ventos da costa brasileira compõem o conjunto de motivos que levou o Governo Federal a incentivar a geração eólica. Em 2009, o Governo achou oportuno o momento de realizar o primeiro leilão para contratação de energia eólica para garantia da segurança do abastecimento nacional e diversificação da matriz energética. Esse estudo consiste em pesquisa quantitativa acerca do impacto dos leilões específicos para contratação de energia eólica na geração total por essa fonte. Por meio do método de controle sintético desenvolvido por Abadie et al. (2010), concluiu-se que a geração eólica foi aproximadamente 3 (três) vezes maior em relação à situação hipotética de não ocorrência de leilões específicos no período analisado. Os leilões consecutivos e específicos para energia eólica permitiram redução do preço médio da energia a ponto de tornar essa fonte mais competitiva em relação a outras fontes energéticas, além da diversificação da matriz brasileira e, conseqüentemente, maior segurança no abastecimento da população.

Palavras-chave: Energia Eólica. Geração Energética. Leilão de Energia. Método de Controle Sintético

Abstract:

In the early 2000s, the generation of electricity from renewable wind sources began to gain more projection in Brazil. Factors such as the "blackouts" of 2001 and 2002, insecurity of energy supply, a matrix dependent on the hydraulic source, an increase in the flow of foreign investments to build wind farms and high wind potential of the Brazilian coast make up the set of reasons that led the Federal Government to encourage wind power generation. In 2009, the Government considered it opportune to hold the first auction for contracting wind energy to guarantee the security of the national supply and diversification of the energy matrix. This study consists of a quantitative research on the impact of specific auctions for wind energy contracting in total generation by this source. By means of the synthetic control method developed by Abadie et al. (2010), it was concluded that wind generation was approximately 3 (three) times higher than the counterfactual situation where the specific auctions policy had not occurred in the analyzed period. The consecutive and specific auctions for wind energy allow Brazil to reduce the average price of energy to a stronger and more competitive point of view regarding energy sources, besides the diversification of the Brazilian matrix and, consequently, greater security without supplying the population.

Keywords: Energy Generation. Energy Auction. Synthetic Control Method. Wind Energy.

SUMÁRIO

Lista de Abreviaturas	i
Lista de Figuras	iii
Lista de Gráficos	iv
Lista de Tabelas	vi
Resumo:	vii
Abstract:	viii
1 INTRODUÇÃO	1
2 ECONOMIA DA ENERGIA ELÉTRICA	5
2.1 O SISTEMA ELÉTRICO NACIONAL	6
2.2 A GERAÇÃO	7
2.3 TRANSMISSÃO, DISTRIBUIÇÃO E A CONCORRÊNCIA NO SETOR	11
2.4 O CONSUMO	13
2.5 AS TARIFAS	15
2.6 MODELO INSTITUCIONAL BRASILEIRO	16
2.6.1 A estrutura do Sistema Elétrico Brasileiro (SEB)	16
2.6.2 Sistema de leilões	19
3 ENERGIA EÓLICA	21
3.1 ECONOMIA DA ENERGIA EÓLICA	27
3.1.1 Potencial Eólico	28
3.1.2 Capacidade Eólica Instalada	30
3.1.3 Fator de Capacidade	31
3.1.4 Geração de Energia Hidráulica	34
3.1.5 Custo da Energia Eólica	36
3.1.6 Tarifas de Energia Elétrica	41
3.1.7 Tributos na Tarifa	45
3.1.8 Crescimento PIB, renda per capita e o consumo de eletricidade	48
3.1.9 Experiências internacionais de comercialização	49
3.1.10 Novo Modelo SEB e Contratação de Energia eólica	52
3.2 MERCADO DE ENERGIA EÓLICA	55
4 MÉTODO DO CONTROLE SINTÉTICO APLICADO	68
4.1 O MODELO QUANTITATIVO	69
4.2 HIPÓTESE DE IDENTIFICAÇÃO E VIÉS DE SELEÇÃO	72

5 O CONTRAFACTUAL: DESCRIÇÃO DOS DADOS E RESULTADOS	74
5.1 VARIÁVEL DE INTERESSE	75
5.2 COVARIADAS	76
5.3 RESULTADOS	77
5.4 INFERÊNCIA SOBRE O EFEITO DA INTERVENÇÃO.....	81
5.5 PONTOS DE ATENÇÃO	84
6 CONCLUSÃO	87
Referências Bibliográficas	89
Apêndice – Fonte de Dados	97

1 INTRODUÇÃO

Acredita-se que a política de leilões específicos para contratação de energia possa ser excelente instrumento para alavancar a geração de eletricidade em determinadas fontes de energia, principalmente para aquelas de origem renovável. Sob determinadas condições, leilões podem fomentar a concorrência (DEMSETZ, 1968), onde empresas pretendentes (geradoras de energia eólica) concorrem umas com as outras, oferecendo o menor preço por unidade de energia gerada com o objetivo de contratar com a União por longo prazo. Independentemente das teorias de Demsetz (1968), Williamson (1976) e competição pelo campo (*competition for the field*)¹, os leilões específicos de energia eólica no Brasil não almejavam apenas questões de mercado, mas também buscaram desenvolver novas fontes de energia, melhorando as condições de infraestrutura do país e de segurança energética.

Os leilões específicos ainda podem aumentar deságios nos contratos, proporcionar investimentos em novas usinas, entre outros benefícios para a sociedade, como maior confiabilidade do sistema elétrico, economia de reservatórios hidráulicos em épocas de seca, maior participação de fontes “limpas” na matriz energética. No entanto, até o momento, há poucas evidências desses fatos, seja pela dificuldade de se encontrar dados confiáveis, seja pela complexidade de se estimar o impacto do leilão específico sobre o desenvolvimento natural da exploração de determinada fonte energética.

Tendo em vista a repercussão da necessidade mundial por fontes renováveis para a produção de energia elétrica, em especial a fonte eólica, esta dissertação investiga o impacto da política de leilões específicos na produção total de energia eólica, tendo por base os leilões dedicados à contratação de energia exclusivamente originada por usinas eólicas. A partir de 2009, após atrasos na obtenção de licenciamento da hidrelétrica de Belo Monte, o Governo achou oportuno o momento de realizar o primeiro leilão para contratação de energia eólica para garantia da segurança do abastecimento nacional e diversificação da matriz energética.

Naquela data, os órgãos estruturais do setor elétrico, como o Ministério de Minas e Energia (MME), a Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel) e o Operador Nacional do Sistema (ONS) já identificavam que a indústria eólica apresentava capacidade instalada mínima necessária e número de proponentes suficientes para as primeiras contratações de energia por longo prazo. Estavam certos, no entanto, que o setor carecia de aportes de capital para a

¹ Tais teorias, que relacionam economia de escala, monopólio natural e leilões governamentais, apesar de não serem objetos deste trabalho, por sua importância, estão introduzidas na seção seguinte, ao se tratar do setor geracional elétrico.

construção de novos parques, haja vista os estudos realizados à época, que indicavam o elevado potencial eólico da costa brasileira, com média de velocidade dos ventos maiores que muitos outros países, baixa intermitência dos fluxos, áreas extensas propícias para a instalação de inúmeras torres e aerogeradores.

Antes de 2009, os produtores eólicos tinham basicamente duas opções para venda de energia: pela via de contratos bilaterais, cujos montantes contratados eram relativamente baixos e de curto prazo; ou pela via de leilões de múltiplas fontes, permanecendo expostos à concorrência de produtores de outras fontes, por exemplo, hidráulicos, biomassa, solar e térmicas. Esta segunda via geralmente resultava em escassos contratos, uma vez que o valor unitário da energia eólica, naquela época, ainda não era completamente competitivo vis-à-vis outras fontes, principalmente a hidráulica de baixos preços.

No entanto, a análise de impacto dos efeitos dos leilões não é tarefa simples. A geração eólica naturalmente já se apresentava em crescimento antes de 2009. Novas tecnologias tornavam o aproveitamento eólico cada vez mais eficiente, utilizando-se a mesma capacidade instalada. Aumento dos rotores, novos formatos de pás, incremento na altura das torres e inovação das engrenagens das turbinas aproveitavam mais, ano a ano, a força dos ventos. No âmbito econômico, o aumento do comércio internacional de itens para construção de parques eólicos e intensificação dos fluxos de capital estrangeiro para o Brasil em vista da saturação do mercado europeu no setor eólico permitiram ao país a repentina evolução da capacidade instalada em energia renovável, principalmente aquela para captação dos ventos.

No estudo desse impacto, outro fator que dificulta o cálculo do efeito dos leilões específicos são as políticas governamentais para fomento à produção energética, principalmente a eletricidade. Ações governamentais de estímulo à produção, sejam por meios diretos como subvenções aplicadas ao produtor de energia, sejam por incentivos indiretos como políticas nacionais (fiscais ou monetárias, por exemplo) e variações no comércio exterior, afetam, em maior ou menor grau, a geração de eletricidade. Tanto o Brasil, quanto os países utilizados como comparação aqui neste trabalho, receberam algum tipo de estímulo em sua produção, principalmente os indiretos. Para ilustrar, a partir dos anos 2000, foram comuns incentivos através de fundos de financiamento para fontes renováveis, programas de desenvolvimento de energia “verde”, políticas de redução do consumo de combustíveis fósseis, alta de preço do petróleo, obrigações quanto à redução de emissão de gases de efeito estufa, entre outras práticas.

Portanto, isolar o efeito dos leilões específicos dentro de contextos econômicos e industriais diversos é tarefa complexa e que exige cuidados, tanto para se utilizar de comparações, quanto nos cálculos estatísticos para previsão da eficácia da política pública. Para

isso, a metodologia deve atentar para a qualidade dos dados, a seleção correta e equilibrada de países de referência, além da otimização precisa de indicadores ou variáveis que vão representar adequadamente o atributo objeto da pesquisa.

A análise deste estudo baseia-se, portanto, em duas estratégias. Primeiro utiliza-se a combinação de outros países para construir um país “sintético”, o qual resume a geração de energia eólica do Brasil antes do início dos leilões específicos de 2009. A segunda estratégia consiste em estimar a evolução subsequente deste Brasil “contrafactual”, pós-2009, sem efeito dos leilões específicos, comparativamente à experiência real de geração eólica do Brasil. A diferença das duas curvas resulta, portanto, no impacto ano a ano dos leilões específicos de energia eólica. Importante ressaltar que o ano de referência aplicado neste trabalho foi o ano de 2011, uma vez que as usinas leiloadas de 2009 em diante começaram a entrar em operação apenas em 2011. Assim sendo, pelo fato de o objeto desta análise ser a efetiva geração de energia, e não o potencial de produzir, designou-se esta data como a referência para a intervenção, e não 2009, ano de início dos leilões.

Para arquitetar essa ideia adotou-se o Método de Controle Sintético (MCS), metodologia descrita por Abadie, Diamond e Hainmueller (2010). O MCS é baseado na suposição de que é possível obter uma combinação de variáveis, chamadas de grupo de controle, que podem replicar – sintetizar – o comportamento da variável de interesse (geração de energia eólica) no período anterior à intervenção, 2011. Como a performance do sintético é similar à do real no período anterior à intervenção, quaisquer desvios entre o controle sintético e a variável de interesse nos períodos posteriores à data de referência supostamente representam o efeito dessa intervenção, permitindo, portanto, estimar o impacto da política.

Construído e executado o programa computacional, foi calculada a geração eólica total do Brasil sintético, em 2016, de 10.314 GWh, enquanto a geração do Brasil real é de, aproximadamente, 33.488 GWh. Portanto, a diferença geracional-eólica, em 2016, encontrada foi de 23.174 GWh. Da mesma forma, somando-se todos os acréscimos pós-intervenção, ano a ano, de 2012 a 2016, entre o país real e o sintético, resulta-se num estoque de 46.773 GWh de energia adicionais à matriz brasileira, após a implementação dos leilões exclusivos. Em outras palavras, no período de 2012 a 2016, somando todos os acréscimos resultantes dos leilões exclusivos, o modelo indicou um total de 46.733 GWh adicionados à matriz elétrica brasileira.

A importância deste estudo reside principalmente em fornecer subsídios e instrumentos tanto para a avaliação *ex post* dos leilões eólicos, quanto para avaliação *ex ante* de leilões específicos para outras fontes renováveis ainda imaturas, por exemplo, biomassa, fotovoltaica; e para outras fontes que porventura possam surgir no futuro. Aqui são providos meios

estatísticos que podem ajudar na identificação do período de maturidade novas fontes energéticas, de “quando” tais fontes poderão ser objeto de leilões específicos, permitindo-se prever a energia gerada adicional resultante da política energética e calcular seu impacto e/ou efetividade ao longo dos anos.

Este trabalho está estruturado como segue. A seção 2 contém breve revisão do setor elétrico. A seção 3 permite-se entender a “economia eólica”, seus atributos e o mercado de compra e venda de energia. A seção 4, desenvolve-se a metodologia aplicada para o cálculo do impacto da política pública e, especificamente, o Método de Controle Sintético. Na seção 5 são descritos os dados para a construção do Modelo, seguido dos resultados. Na seção 6, a dissertação é concluída.

2 ECONOMIA DA ENERGIA ELÉTRICA

Para entender o conceito de Energia (e as unidades de medidas utilizadas neste trabalho), é preciso voltar às definições básicas da Física. A grandeza física Potência Elétrica é usualmente medida em *Watts* (HORDESKI; DEKKER, 2003, p. 19), e corresponde à multiplicação da corrente elétrica com tensão (diferença de potencial) num determinado circuito elétrico. Tal unidade de medida aparece nesta dissertação geralmente para expressar a capacidade instalada das usinas de geração de energia, ou como a quantidade de trabalho que uma usina detém para transformar a força dos ventos em energia elétrica.

$$\text{Potência Elétrica [Watts]} = \text{Corrente Elétrica [Ampère]} \times \text{Tensão Elétrica [Volts]} \quad (1)$$

Energia e Potência apresentam uma relação próxima. Energia pode ser definida em termos de potência e tempo, particularmente no campo da Eletricidade (HORDESKI; DEKKER, 2003, p. 19):

$$\text{Energia (Watts-hora)} = \text{Potência [Watts]} \times \text{Tempo [hora]} \quad (2)$$

Energia, portanto, é a potência despendida em determinado tempo. E pode ser expressa em múltiplos de *Watts-hora*, como, por exemplo, kWh (quilowatt-hora), MWh (megawatt-hora) ou TWh (terawatt-hora). Tal unidade de medida aparece neste trabalho para expressar a energia efetivamente consumida em determinado período de tempo, ou como unidade de produção energética.

Quanto às fontes, a energia primária é aquela proveniente direta da natureza, antes de ser convertida ou transformada. O sol, os ventos, o petróleo, o carvão, urânio e o gás natural são alguns exemplos de fontes de energia primária. Já as fontes secundárias são aquelas resultantes da conversão ou transformação das fontes primárias. Combustíveis refinados e a eletricidade são exemplos de fontes secundárias.

Outro conceito frequentemente utilizado neste trabalho é o de fontes renováveis, ou seja, aquelas fontes capazes de se manterem disponíveis para uso por longo prazo, regenerando-se constantemente; não esgotáveis, portanto. Entre as fontes renováveis mais comuns estão a energia hidráulica, solar, biomassa e a eólica, foco deste estudo. Pelo fato de a energia hidráulica ser a mais comum e ter usinas com potência geralmente mais elevada, pesquisadores costumam mencionar sobre as “fontes renováveis não convencionais”, ou seja, são as fontes renováveis excluindo-se a fonte hidráulica.

2.1 O SISTEMA ELÉTRICO NACIONAL

O consumo de energia elétrica brasileiro está basicamente universalizado, além de ser marcadamente industrial. Segundo estimativas do IBGE², a população brasileira já ultrapassou 209 milhões. Para essa população, a Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílio, também do IBGE, aponta 99,7% de indivíduos com acesso à energia elétrica³. Na categoria de consumo, dados do Boletim de Monitoramento do Sistema Elétrico (BRASIL, 2019) do Ministério de Minas e Energia (MME) apontam um consumo de energia elétrica, em grande medida, industrial (~28%) e residencial (~23%), no acumulado dos últimos 12 (doze) meses; os percentuais restantes são outras classes, como “rural”, “comercial”, “perdas” etc.

Segundo Atlas de Energia do Brasil (KELMAN, 2008), de todos os segmentos da infraestrutura, energia elétrica é o serviço mais universalizado. As particularidades de cada região ou localidade da carga⁴, no contexto brasileiro, determinaram os contornos que o sistema elétrico interligado adquiriu ao longo do tempo, e ainda determinam a maior ou menor facilidade de acesso das cargas à rede elétrica. Pelo lado da geração, usinas hidrelétricas ou eólicas, por exemplo, instalam-se no local da fonte primária de energia, ou seja, as usinas hidráulicas se posicionam nos reservatórios de águas e as usinas eólicas, nas regiões de grande quantidade de vento.

Acompanhando tais peculiaridades em sua formação, o Sistema Elétrico Nacional pode ser entendido como a composição de dois arranjos: o Sistema Interligado Nacional (SIN) e os Sistemas Isolados, estes localizados principalmente no Norte do País (KELMAN, 2005).

Abrangendo praticamente todas as regiões brasileiras, o SIN é um sistema de produção, transmissão e distribuição de energia elétrica com forte predominância de usinas hidrelétricas e compensações por usinas térmicas (KELMAN, 2005). O SIN permite a interligação da energia entre as regiões, viabilizando, assim, otimizar os recursos da rede e diversificar o regime dos rios das diferentes bacias hidrográficas.

Desde meados da década de 70, o sistema eletroenergético brasileiro é operado de forma coordenada, no intuito de se obterem ganhos sinérgicos a partir da interação entre os agentes. A operação coordenada busca minimizar os custos globais de produção de energia elétrica, contemplar restrições intra e extrassetoriais e aumentar a confiabilidade do atendimento. Atualmente, no SIN, essa atividade é exercida pelo ONS. (KELMAN, 2005, p. 6)

² <https://www.ibge.gov.br/apps/populacao/projecao//index.html>

³ <https://indicadoresods.ibge.gov.br/objetivo7/indicador711>

⁴ Carga é o ponto de consumo da energia, e é caracterizada pelo local de instalação e quantidade de demanda de energia elétrica.

Há, portanto, interdependência operativa entre as usinas, cuja operação centralizada do Operador Nacional do Sistema (ONS) interconecta os sistemas elétricos do SIN, interligando os recursos de geração. Esse modelo permite o ganho sinérgico entre os elementos, reduzindo custos operativos, consumo de combustível e compartilhando déficits entre os atores (KELMAN, 2005).

Quanto aos Sistema Isolados, o Decreto nº 7.246/2010 (BRASIL, 2010) define como sendo sistemas elétricos de serviço público de distribuição de energia elétrica que, em sua configuração normal, não estejam eletricamente conectados ao SIN, por razões técnicas ou econômicas. Hoje, existem 246 localidades isoladas eletricamente no Brasil, a maior parte na Região Norte, em que o consumo representa menos de 1% da carga total do país. A demanda por energia nessas localidades é suprida principalmente por usinas térmicas a óleo diesel (ONS, 2019).

O sistema econômico do setor elétrico brasileiro pode ser entendido como a resultante de 3 (três) partes principais: Geração, Transmissão e Distribuição. A seguir, são descritos cada um deles, o que contribui para o bom entendimento do objeto deste trabalho.

2.2 A GERAÇÃO

O segmento Geração normalmente é intensivo em capital, requerendo longos períodos para investimentos e prazos largos de maturação dos projetos. No Brasil, o setor elétrico contrata energia tanto do ambiente regulado, quanto do mercado livre, em que os preços e quantidades são livremente negociados entre as partes envolvidas. Adiantando tema descrito adiante nesta dissertação, atualmente, em torno de 71% do mercado brasileiro de energia elétrica é regulado, ou seja, a maioria da energia contratada é feita pelo Governo através de leilões (CCEE, 2019).

Nesse segmento, o conjunto das fontes para geração de energia elétrica utilizadas atualmente no país forma a chamada Matriz Geracional brasileira. Essa matriz brasileira de geração de eletricidade é bem diversificada (Tabela 1), com fontes renováveis (hidráulica, eólica, solar, etc.) e térmicas (nuclear, petróleo, carvão, gás natural, etc.). Ela apresenta ainda fontes de Geração Distribuída – GD –, ou seja, centrais geradoras de energia elétrica, de baixa potência, conectadas à rede de distribuição por meio de instalações das próprias unidades consumidoras (BRASIL, 2012).

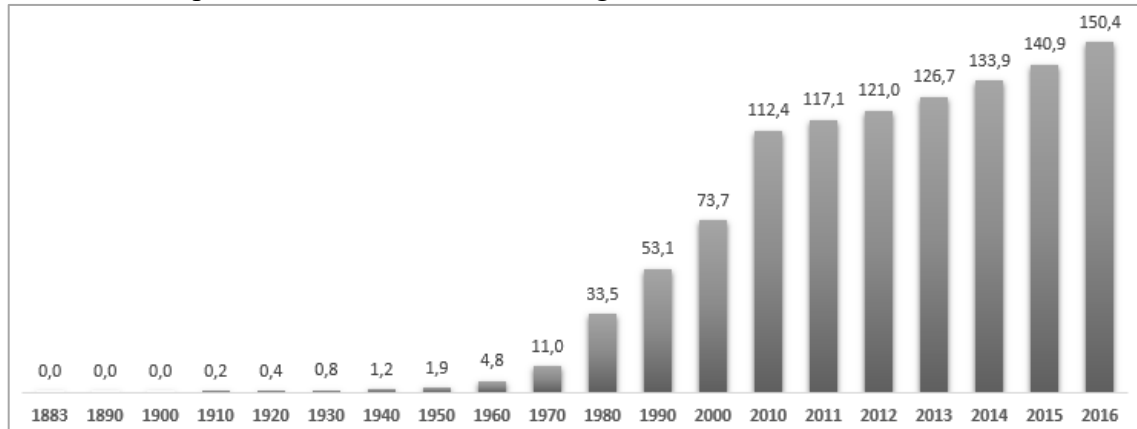
Tabela 1 – Matriz de capacidade instalada de geração de energia elétrica do Brasil.

Fonte	Mai/2018	Mai/2019			Evolução da Capacidade Instalada Mai/2019 - Mai/2018
	Capacidade Instalada (MW)	Nº Usinas	Capacidade Instalada (MW)	% Capacidade Instalada	
Hidráulica	101.554	1.430	105.327	63,5%	3,7%
UHE	95.794	217	99.309	59,9%	3,7%
PCH + CGH	5.716	1.130	5.937	3,6%	3,9%
CGH GD	43	83	80	0,0%	85,0%
Térmica	43.624	3.170	42.557	25,7%	-2,4%
Gás Natural	12.995	167	13.354	8,1%	2,8%
Biomassa	14.676	568	14.864	9,0%	1,3%
Petróleo	9.923	2.250	8.985	5,4%	-9,5%
Carvão	3.718	22	3.252	2,0%	-12,5%
Nuclear	1.990	2	1.990	1,2%	0,0%
Outros	297	4	69	0,0%	-77,0%
Térmica GD	25	157	44	0,0%	76,4%
Eólica	12.904	671	15.074	9,1%	16,8%
Eólica (não GD)	12.894	614	15.064	9,1%	16,8%
Eólica GD	10	57	10,314	0,0%	0,0%
Solar	1.578	81.289	2.920	1,8%	85,1%
Solar (não GD)	1.307	2.472	2.100	1,3%	60,6%
Solar GD	271	78.817	821	0,5%	203,1%
Capacidade Total sem GD	159.311	7.446	164.924	99,4%	3,5%
Geração Distribuída - GD	349	79.114	955	0,6%	173,5%
Capacidade Total - Brasil	159.660	86.560	165.879	100,0%	3,9%

Fonte: Boletim de Monitoramento do Sistema Elétrico (BRASIL, 2019).

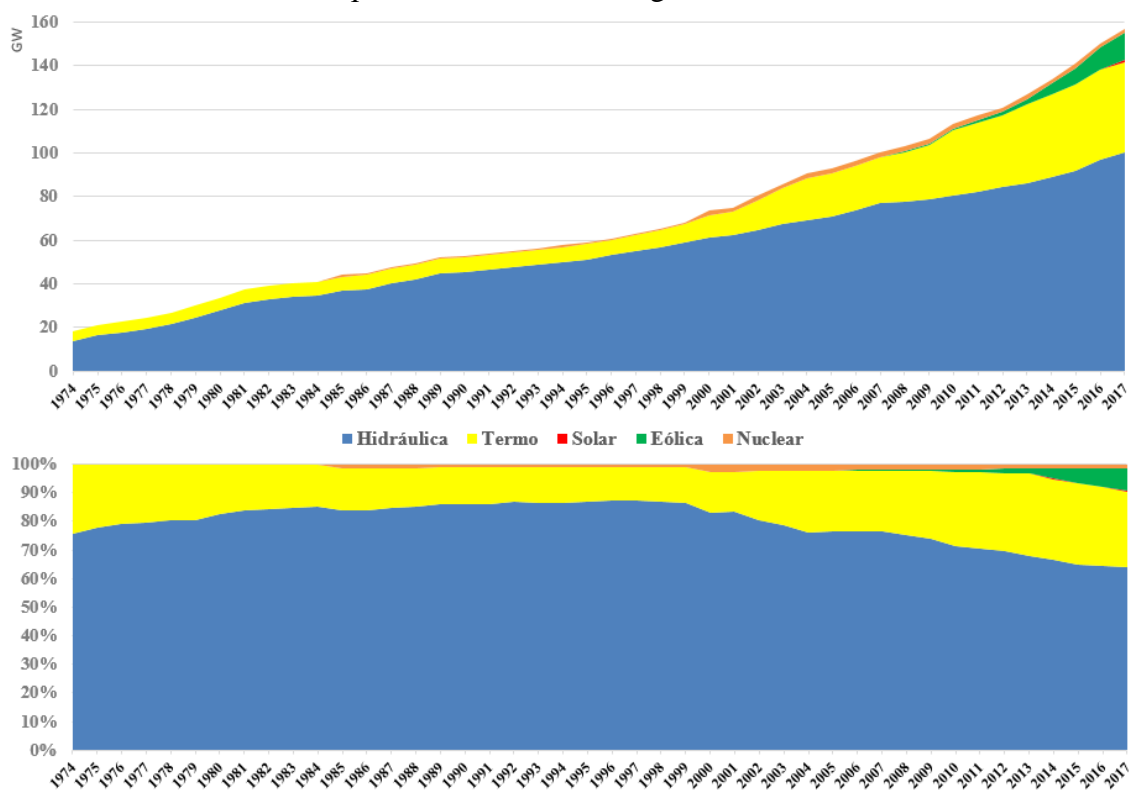
Nota: o Boletim utiliza o banco de dados da ANEEL e MME (Dados BIG e GD do site da ANEEL, disponível em: < www.aneel.gov.br/scg/gd>).

Da Tabela 1 é possível perceber que a matriz brasileira é fortemente hidráulica (capacidade instalada de 105.327MW - 63,5%), com expressivas componentes de fontes térmicas (42.557MW - 25,7%) e eólicas (15.074MW - 9,1%). A Tabela 1 também mostra a evolução da capacidade instalada nos últimos 12 (doze) meses a partir de maio, em que as fontes eólica e solar despontam em crescimento (16,8% e 85,1% respectivamente).

Gráfico 1 – Capacidade instalada total de energia elétrica no Brasil em GW: 1883 a 2016.

Fonte: Elaboração própria (dados de BRASIL, 2017).

O Gráfico 1 mostra a evolução da capacidade instalada total de energia elétrica desde o século XIX, em que se vê alta taxa de evolução a partir dos anos 70. Segundo estudo do MME, que analisa a capacidade instalada no Brasil e mundo (BRASIL, 2017), de 1970 a 2016, o Brasil passou de 11 GW de capacidade a 150,4 GW, taxa de crescimento de 5,8% a.a., indicador bem superior ao do PIB no mesmo período, de 3,5% a.a. Numa outra perspectiva, o mesmo estudo do MME mostra a estrutura dessa capacidade instalada.

Gráfico 2 – Estrutura da capacidade instalada energética brasileira em GW: 1974 a 2017.

Fonte: Elaboração própria (dados: Balanço Energético Nacional do MME).

Pelo Gráfico 2 percebe-se crescimento da fonte hidráulica no absoluto, porém, em valores relativos, esta fonte vem perdendo expressão vis-à-vis as fontes térmicas e eólica, desde

1999. A fonte térmica também tem aumentado nos últimos anos em valores absolutos e apresenta parcela considerável na matriz energética, em torno de 26% (Tabela 1), todavia, apresenta redução relativa, resultante do aumento de outras fontes, por exemplo, a eólica.

Corroborar com esta análise a informação mostrada na Tabela 2 a seguir, isto é, a fonte eólica apresentou (entre maio/18 e abril/19) 15,7% de evolução na produção⁵ de energia elétrica no SIN, bem maior que a evolução da produção de energia hidráulica (4,5%), no mesmo período. Chama a atenção também o expressivo valor da evolução da fonte solar no ano de 2018, 114,3%. A elevada taxa se deve ao fato de a energia solar ainda ser uma fonte com “baixa” expressão na matriz de produção em termos absolutos e relativos (~0,7%, ou seja, entre maio/18 e abril/19, foram adicionados apenas 3.795 GWh em relação a 558.340 GWh na produção total da matriz), assim, qualquer acréscimo anual de produção por esta fonte torna o resultado de evolução relativo bem expressivo.

Tabela 2 – Matriz de produção de energia elétrica no SIN.

Fonte	Valor mensal					Acumulado 12 meses		
	Abr/18 (GWh)	Mar/19 (GWh)	Abr/19 (GWh)	Evolução mensal (Abr/19 / Mar/19)	Evolução anual (Abr/19 / Abr/18)	Mai/17-Abr/18 (GWh)	Mai/18-Abr/19 (GWh)	Evolução
Hidráulica	36.007	39.198	37.440	-4,5%	4,0%	388.650	406.182	4,5%
Térmica	7.320	6.575	6.558	-0,3%	-10,4%	115.999	100.153	-13,7%
Gás	2.188	2.851	1.921	-32,6%	-12,2%	48.983	38.547	-21,3%
Carvão	779	822	832	1,2%	6,8%	13.217	10.353	-21,7%
Petróleo *	600	427	628	47,1%	4,6%	10.816	7.224	-33,2%
Nuclear	1.305	1.174	976	-16,9%	-25,2%	13.649	14.954	9,6%
Outros	236	310	255	-17,7%	8,0%	3.118	2.915	-6,5%
Biomassa	2.211	990	1.946	96,5%	-12,0%	26.216	26.159	-0,2%
Eólica	2.581	2.558	2.596	1,5%	0,6%	41.668	48.210	15,7%
Solar	185	358	344	-4,1%	85,5%	1.771	3.795	114,3%
TOTAL	46.094	48.689	46.938	-3,6%	1,8%	548.088	558.340	1,9%

Fonte: Boletim de Monitoramento do Sistema Elétrico (BRASIL, 2019).

Diferentemente de outros setores, como o de telecomunicações por exemplo (em que o tráfego demandado por ser represado por algum tempo até ser despachado), o setor elétrico deve entregar toda a energia demandada, caso contrário, ocorrem os chamados “apagões”, como aqueles episódios marcantes que aconteceram no Brasil em 2001 e 2002. Em outras palavras, toda a energia demandada pelos consumidores deve ser gerada e distribuída; não há, portanto, congestionamento de energia elétrica, como o tráfego de dados no setor de telecomunicações.

No entanto, a energia elétrica consumida não tem “rótulo”, ou seja, a energia que chega até a residência do consumidor pode ter sido gerada por qualquer tipo de fonte. Assim, quando

⁵ Quando se trata de “produção” de energia elétrica, entende-se energia realmente demandada (variável fluxo), medida em GWh (gigawatt-hora), diferentemente de “capacidade instalada”, a qual indica a capacidade de potência do sistema (variável estoque), medida em MW (megawatt) ou GW (Gigawatt).

se fala em Geração ou Produção de energia, há uma reflexão sobre fontes energéticas (hidráulica, eólica, etc.); e quando se fala em Consumo, refere-se a classes de mercado consumidor (residencial, industrial, comercial, etc.). Tais conceitos são importantes para a inteligibilidade deste trabalho.

A Matriz de produção de 2018, mostrada na Tabela 2 anterior, apresenta um conjunto específico de fontes energéticas que é reflexo de contexto histórico, tanto da demanda típica do país, quanto das políticas desenvolvidas no passado até o presente momento. O Atlas de Energia do Brasil (KELMAN, 2008) mostra que políticas, ainda em andamento, buscam diversificar a matriz energética brasileira, como também reduzir a utilização dos combustíveis fósseis – como carvão e petróleo –, em função tanto da volatilidade e tendência de alta dos preços do “ouro negro”, quanto da necessidade de contenção do volume de emissões de gases causadores do efeito estufa a partir dos compromissos assumidos no Protocolo de Kyoto, em 1992. Nesse movimento, por óbvio, as fontes “limpas” ganham importância mundial.

2.3 TRANSMISSÃO, DISTRIBUIÇÃO E A CONCORRÊNCIA NO SETOR

O sistema de transmissão permite que as usinas de geração entreguem sua energia ao mercado distribuidor. Interliga, portanto, a geração à distribuição e geralmente é um mercado monopolista dentro de determinada região. Atualmente são mais 141 mil quilômetros de linhas de transmissão no Brasil (PAR, 2019). Segundo o Atlas de Energia do Brasil:

A rede primária é responsável pela transmissão de grandes “blocos” de energia, visando ao suprimento de grandes centros consumidores e à alimentação de eventuais consumidores de grande porte. A rede secundária – subtransmissão – é basicamente uma extensão da transmissão, objetivando o atendimento de pequenas cidades e consumidores industriais de grande porte. (KELMAN, 2005, p. 10)

Já o sistema de distribuição se caracteriza como o segmento do setor elétrico dedicado à “capilaridade” do setor elétrico proveniente do sistema de transmissão, à conexão de centrais geradoras e ao fornecimento de energia elétrica ao consumidor final (Aneel, 2019). Segundo a Aneel, o Brasil possui hoje em torno de 105 distribuidoras de energia elétrica. Apesar do elevado número de empresas, o setor de Distribuição é geralmente monopolista, pois apenas uma empresa fornece a energia ao consumidor em determinada região.

Apesar de não ser objeto deste trabalho, mas pela importância do tema, abre-se espaço aqui para uma breve discussão sobre a teoria de Demsetz (1968) e Williamson (1976), relacionando economia de escala, monopólio natural e leilões governamentais. Demsetz questiona se um setor com características de monopólio natural necessita ter seus preços regulados em prol da sociedade. Para o formulador da teoria da *franchising bidding*, se a

concessão do serviço público for garantida através de contratos de longo prazo, a partir de um leilão competitivo, e o menor lance for o preço cobrado pelo serviço prestado, não existiria razão para regulação dos preços a serem cobrados pelo investidor. Caso exista suficiente competição no leilão, o lance ganhador deveria ser próximo do custo médio marginal e o investidor teria apenas “lucros normais”, sendo o mais eficiente entre os competidores (PAULO, 2012).

Em outras palavras, Demsetz (1968, p. 59) argumenta que “o ponto importante que precisa ser enfatizado é que não existe teoria que permita deduzir a partir de um observado nível de concentração em um dado mercado se o preço e a quantidade estão ou não operando em níveis competitivos”. Ou seja, através do mecanismo de leilões, o Poder Concedente estaria estimulando um processo concorrencial *for the field ex ante* à concessão da outorga, o que seria passível de resultar em preços próximos daqueles de um ambiente competitivo perfeito, isto é, preço igual ao custo marginal. Neste contexto, Demsetz (1968) isenta a existência de economias de escala como os determinantes de preços e quantidades monopolistas. Em suma, o sistema de *franchise bidding* proposto consistiria no estabelecimento da concorrência pelo mercado (*for the field*) ao invés da tradicional competição realizada dentro dos próprios mercados (*in the field*), tendo-se em vista a impossibilidade dessa modalidade no caso dos monopólios naturais.

Todavia, a teoria de Demsetz possui duas hipóteses como premissas básicas: hipóteses: (i) os insumos necessários devem estar disponíveis aos preços de mercado para todo o universo de concorrentes, (ii) e o custo de colusão entre os rivais deve ser proibitivamente alto.

Williamson [1976] argumenta que mesmo que os leilões de concessões sejam competitivos, o fato de que os contratos de longo prazo, objetos destes leilões, são incompletos faz com que seja necessária a utilização de algum instrumento de regulação de preços, de forma complementar a realização destes leilões. Este instrumento de regulação deveria ser capaz de considerar os efeitos de mudanças não previsíveis, no momento da realização do leilão da concessão, nos preços dos insumos, na tecnologia, no custo de capital, nos modelos de gestão e outros fatores que possam alterar a estrutura de custos do investidor. Ou seja, a introdução, nos contratos de concessão, de cláusula de revisões periódicas nas estruturas de custo dos investidores seria uma necessidade para garantir, ao longo da vigência do contrato, “lucros normais” para o investidor, e conseqüentemente, o menor preço para o consumidor. (PAULO, 2012, p. 41)

Para Williamson (1976), apesar da inclinação em aceitar a ideia central de Demsetz, considera que os problemas enfrentados pela regulação variam em conformidade com o tipo de atividade regulada e com o modelo regulatório empregado (custos transacionais). Ele assume que a comparação entre os modos de oferta para um monopólio deve preceder estudos abstratos, uma vez que a análise detalhada de casos individuais deve ser impreterivelmente considerada.

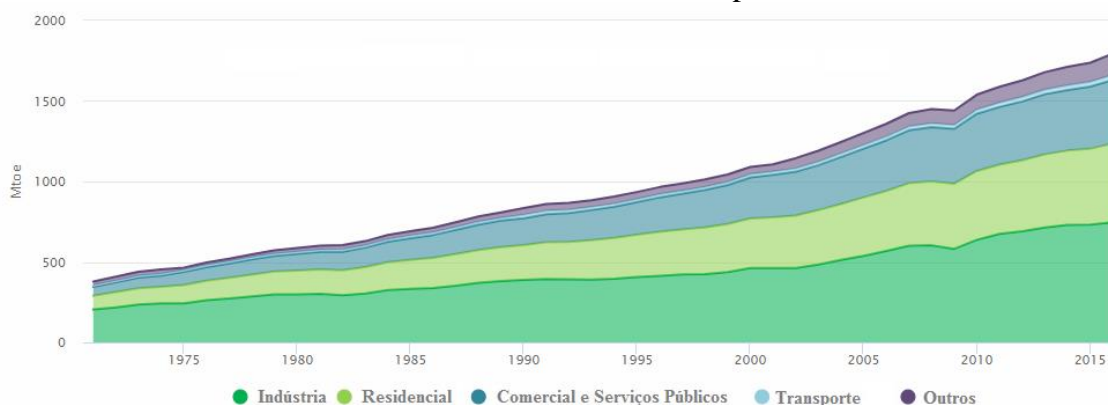
Sem investigações profundas – e por não ser foco deste estudo os assuntos correlatos sobre assimetria de informação, possibilidade de conluio entre os agentes, vantagens estratégicas

e mercados contestáveis – a respeito das teorias relacionadas à regulação do setor elétrico e a utilização de leilões para simular competição entre os agentes, como será mostrado nas seções seguintes deste trabalho, o preço da energia eólica se tornou mais competitivo após os leilões específicos, assim como ficou demonstrado (em trabalhos referenciados aqui) que a grande maioria das empresas vencedoras dos leilões tinham origem no setor privado. Além disso, ficou demonstrado também que a geração de energia eólica aumentou massivamente após os leilões exclusivos, permitindo a diversificação da matriz energética e a maior segurança do fornecimento de energia pela diminuição da dependência da matriz hidráulica.

2.4 O CONSUMO

O consumo de energia é um dos principais indicadores do desenvolvimento econômico e do nível de qualidade de vida de qualquer sociedade (KELMAN, 2008). Ele reflete diversas atividades em funcionamento do país, por exemplo, operações industriais, residenciais, aquisição de bens e serviços, e até lazer da população.

Gráfico 3 – Consumo mundial de eletricidade por setor, em Mtoe.



Fonte: Agência Internacional de Energia (IEA, 2019).

Nota: “Outros” incluem agricultura, pesca e setores não-especificados. Mtoe (unidade de energia = toneladas equivalentes de petróleo $\equiv 42 \cdot 10^9\text{J}$) e define-se como a quantidade de energia liberada na queima de uma tonelada de petróleo.

Em 2016, como mostra o Gráfico 3, o total mundial final de consumo de eletricidade ultrapassou 1.800 Mtoe de energia, o que corresponde a aproximadamente 21.000 TWh. Percebe-se que os setores mais marcantes no consumo são o industrial e residencial, seguidos do Comércio e Transportes.

Para a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), o aumento esperado da renda per capita, o crescimento populacional e a maior participação da eletricidade nas atividades econômicas e sociais, entre outros fatores, dão suporte ao aumento do consumo de energia elétrica no longo prazo, resultando na necessidade da expansão da capacidade de geração do sistema brasileiro

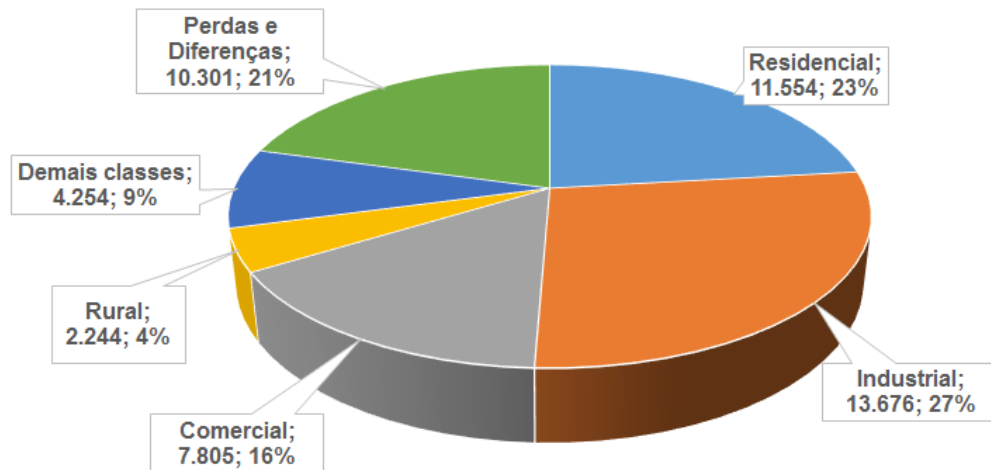
para os anos seguintes (EPE, 2019). Segundo estudo Atlas de Energia do Brasil (KELMAN, 2008), as variações de crescimento econômico principalmente dos países em desenvolvimento, particularmente Ásia e América Latina, refletem as variações da demanda por energia elétrica.

A pesquisa da Aneel aponta exemplos clássicos no Brasil dessa interdependência:

O primeiro ocorreu no ano de 1994, quando o Plano Real, ao conter a inflação e estabilizar a moeda, permitiu o aumento abrupto de renda da população. Segundo o Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS, órgão que coordena a operação integrada da geração e transmissão de energia elétrica na maior parte do país), a expansão do consumo de energia elétrica deu um salto de 4,55 % em 1994 e de 6,41% no ano seguinte, em função do aumento de vendas de eletrodomésticos e eletroeletrônicos. Além disso, em 2006 e 2007, o aquecimento econômico, com consequente geração de empregos, aliado à estratégia setorial de dilatação dos prazos de financiamento, beneficiou, entre outros, o setor automobilístico, que registrou volumes recordes de vendas de automóveis – o que também pressionou o consumo de combustíveis como gasolina e etanol. (KELMAN, 2008, p. 42)

Além do desenvolvimento econômico, outra variável que determina o consumo de energia é o crescimento da população. Sabendo que o setor residencial é o segundo maior em consumo, como mostrado anteriormente, é intuitivo pensar que, com o aumento populacional, os domicílios consomem mais energia elétrica, por demandarem mais aparelhos domésticos e maior tempo de funcionamento (KELMAN, 2008).

Gráfico 4 – Consumo de energia elétrica no Brasil em GWh: estratificação por classe, valor mensal de abril de 2019.



Fonte: Boletim de Monitoramento do Sistema Elétrico (BRASIL, 2019).

O Gráfico 4 acima mostra duas informações importantes: a classe industrial é a que mais consome, seguida da residencial. Juntas, as classes do Gráfico 4 representam o Consumo total de energia elétrica no Brasil, uma das covariadas que ajudam a representar a geração eólica do país. Neste trabalho, a covariada Consumo corresponde ao somatório da produção bruta de eletricidade, mais a importação, menos a exportação menos as perdas técnicas e não técnicas de eletricidade.

Também chama a atenção a grandeza da classe “Perdas e Diferenças”, absoluta e relativamente. Os dados desta Classe são obtidos, segundo Boletim (BRASIL, 2019), considerando o cálculo do montante de carga verificada no SIN e Sistemas Isolados, abatido do consumo apurado mensalmente no país pela EPE. O gráfico mostra que o conjunto de Perdas é praticamente da mesma ordem de grandeza que todo o consumo residencial, indicando que as Perdas – por fatores técnicos (perdas por aquecimento nos cabos, fuga de corrente, etc.) e não técnicos (furtos e roubos) – são exorbitantes para o sistema elétrico nacional brasileiro.

2.5 AS TARIFAS

Conforme mencionado anteriormente, o consumo de energia elétrica pode ser medido em kWh. As faturas mensais que chegam até a casa dos consumidores mostram o quanto de energia foi “gasta” no mês anterior. Tal valor é resultado de basicamente três componentes: o resultado do volume consumido multiplicado pela tarifa (valor do kWh, expresso em reais); os encargos do setor elétrico e os tributos determinados por lei (KELMAN, 2008). Os tributos são arrecadados pelo governo e os encargos tarifários são também recolhidos pelo governo para alguma aplicação específica, por exemplo, cobertura de fiscalização, fornecimento de energia para famílias pobres, fomento à pesquisa, etc.

O primeiro componente acima (multiplicação da energia pela tarifa) remunera as distribuidoras, transmissoras e geradoras. A tarifa, fator multiplicador em Reais, até a década de 90, era único para todo o Brasil, o que não incentivava as concessionárias à busca pela eficiência, uma vez que a integridade de seu custo era transferida ao consumidor. Com a edição da Lei nº 8.631, de 1993 (BRASIL, 1993), as tarifas passaram a ser fixadas por empresa, conforme especificidades de cada área de concessão – por exemplo, número de consumidores, quilômetros de rede de transmissão e distribuição, tamanho do mercado (quantidade de unidades de consumo atendidas por uma determinada infraestrutura), custo da energia comprada e tributos estaduais, entre outros.

Cabe lembrar que a tarifa no Brasil é definida pela Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel), órgão de regulação e fiscalização do setor. Sobre esse componente, incidem impostos de âmbito federal (PIS/Cofins), estadual (ICMS) e Municipal, como a Contribuição para Iluminação Pública. Valores de tarifa mais altos, em épocas de pouca chuva, por exemplo, são incentivos aos consumidores no sentido de poupar o consumo. Por outro lado, tarifas menores, em momento de muita chuva ou quando os reservatórios das usinas hidrelétricas estão cheios, incentivam a população a consumir mais. Portanto, a tarifa pode ser entendida como um sinalizador de demanda, conseqüentemente, uma *proxy* para a geração de energia elétrica.

2.6 MODELO INSTITUCIONAL BRASILEIRO

O modelo institucional do setor de energia elétrica passou por duas grandes mudanças desde a década de 90 (KELMAN, 2008). A primeira onda de evolução foi a privatização das companhias operadoras e a criação da Aneel, com a Lei nº 9.427, de 1996 (BRASIL, 1996). A dita Lei estabeleceu que as licitações para exploração de potenciais hidráulicos seriam processadas nas modalidades de concorrência ou de leilão e as concessões seriam outorgadas a título oneroso, através do valor de outorga chamado Uso de Bem Público (UBP).

A segunda onda de evolução institucional se deu em 2004, com a introdução do Novo Modelo do Setor Elétrico – Lei nº 10.848, de 2004 (BRASIL, 2004) –, marcando a retomada da responsabilidade do planejamento do setor de energia elétrica pelo Estado (KELMAN, 2008). O principal objetivo do marco era garantir o fornecimento de energia, seguindo os amplos debates posteriores à crise setorial dos anos 2001 e 2002, época dos racionamentos de energia.

O Novo Marco também tinha outros objetivos relevantes: promover a modicidade tarifária e a inserção social, em particular pelos programas de universalização (como o Luz para Todos). O Marco, adicionalmente, substituiu o critério utilizado para concessão de novos empreendimentos de geração. Após a promulgação da Lei, a contratação de energia passou a ser por meio de leilões de energia. Venceria os leilões o investidor que oferecesse o menor preço para a venda da produção das futuras usinas, no lugar do instrumento UBP, mencionado anteriormente (KELMAN, 2008).

2.6.1 A estrutura do Sistema Elétrico Brasileiro (SEB)

A Aneel sucedeu o Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica (DNAEE), uma autarquia vinculada ao Ministério de Minas e Energia (MME) (KELMAN, 2008). Além de fiscalizar o setor, a Agência normatiza as políticas e diretrizes estabelecidas pelo Governo federal, cabendo ainda, mediante delegação do MME, conceder o direito de exploração dos serviços de geração, transmissão, distribuição e comercialização de energia elétrica.

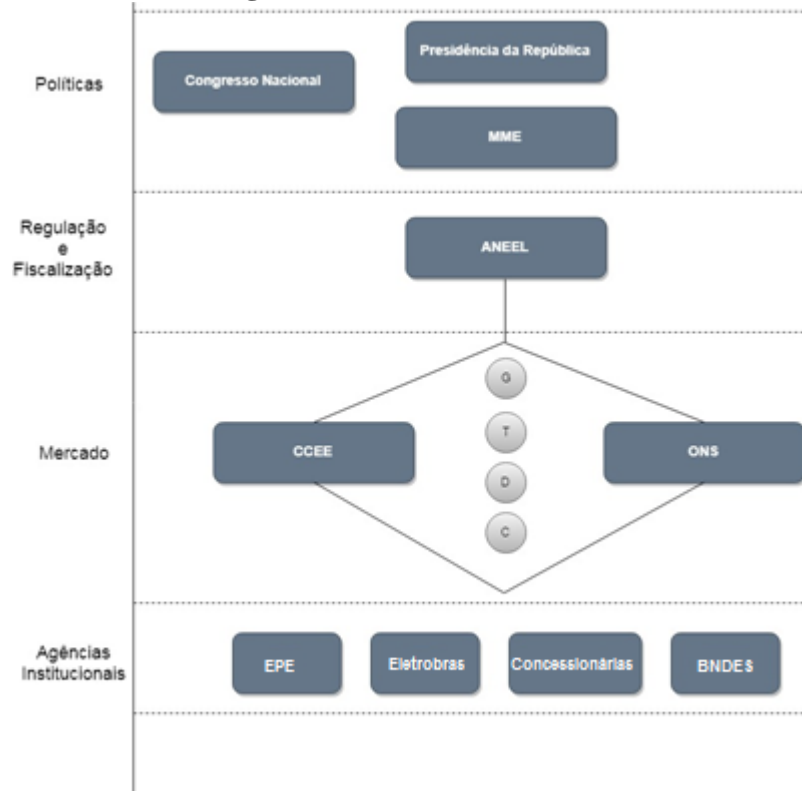
O ONS, entidade também autônoma que substituiu o GCOI (Grupo de Controle das Operações Integradas, subordinado à Eletrobrás), é o responsável pela operação das instalações de geração e transmissão dos sistemas interligados brasileiros que compõem o SIN. Junto com seus agentes proprietários, o ONS gerencia as diferentes fontes de energia *pari passu* a rede de transmissão, de forma a garantir a segurança do suprimento contínuo em todo o país.

Para determinar qual geradora vai fornecer a energia em determinado momento e onde, o ONS opera o *Newave*, programa computacional que faz projeções e elabora cenários para a oferta de energia. O mesmo programa é utilizado pela CCEE (Câmara de Comercialização de Energia Elétrica) para definição dos preços do mercado de curto prazo, conhecido como mercado *spot*.

Já o MAE (Mercado Atacadista de Energia), cuja constituição foi diretamente relacionada à criação do mercado livre, em 2004, com a implantação do Novo Modelo, foi substituído pela CCEE, que negocia a energia no mercado livre (ou mercado *spot*). No mesmo ano, o MME constituiu a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), com a missão principal de desenvolver os estudos necessários ao planejamento da expansão do sistema elétrico (KELMAN, 2008).

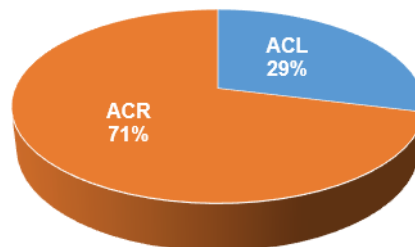
O Novo Modelo do Setor Elétrico preservou a Aneel, agência reguladora, e o Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), responsável por coordenar e supervisionar a operação centralizada do sistema interligado brasileiro. Para acompanhar e avaliar permanentemente a continuidade e a segurança do suprimento eletroenergético em todo o território nacional, além de sugerir das ações necessárias, foi instituído o Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico (CMSE), também ligado ao MME. (KELMAN, 2008, p. 20)

Abaixo, um esboço simplificado da estrutura do Sistema Elétrico Brasileiro, em que o núcleo é composto pelos órgãos Aneel, ONS e CCEE, elementos fundamentais para a organização da Geração, Transmissão, Distribuição e Comercialização de energia elétrica.

Figura 1 – A estrutura do SEB.

Fonte: Elaboração própria (KELMAN, 2008).

Apesar do foco deste trabalho estar na geração de energia eólica referente aos leilões específicos, é importante ressaltar as funções de comercialização da CCEE. A Câmara, entre outras atribuições, se responsabiliza pela liquidação financeira dos contratos de compra e venda de energia do mercado livre. Nos últimos anos, segundo Atlas de Energia do Brasil (KELMAN, 2008), a entidade passou a abrigar a operacionalização de parte dos leilões de venda da energia que, junto às licitações para construção e operação de linhas de transmissão, são atribuição da Aneel.

Gráfico 5 – Proporção dos mercados de energia elétrica no Brasil em 2018.

Fonte: InfoMercado Semanal (CCEE, 2019).

O Gráfico 5 mostra que 71% do consumo de energia no País é realizado através do Ambiente de Contratação Regulado (ACR). Já para o mercado livre (ou mercado *spot* ou ACL), apesar de representar hoje apenas 29%, a tendência de expansão desse ambiente nos últimos anos aponta para uma abertura consistente do mercado brasileiro. Em outras palavras, o

ambiente que, antes dos anos 2000, era amplamente regulado, está se tornando cada vez mais livre, em que os agentes fecham acordos livremente. Essa trajetória é mais um indício da diversificação da matriz brasileira, principalmente por fontes renováveis não convencionais.

2.6.2 Sistema de leilões

Nos leilões de energia participam, na parte compradora, apenas as distribuidoras, para as quais essa passou a ser a única forma de contratar grande volume de suprimento para o longo prazo (KELMAN, 2008). Do outro lado, as vendedoras de energia – geradoras – entregam a produção em um, três ou cinco anos após a data de realização do leilão. Tais leilões são chamados, respectivamente, de A-1, A-3 e A-5. Em outras palavras, para exemplificar, as usinas entram em operação (entregando energia para o contratante) um, três e cinco anos após a realização do leilão.

Os leilões são realizados pela Aneel e pela CCEE, após a determinação das datas pelo MME. O Ministério, por meio de Portaria, fixa o preço teto da energia em MWh, de acordo com as fontes energéticas disponíveis: hídrica, térmica, eólica, etc. Em caso de leilões múltiplos, como as geradoras entram em “pool”, isto é, a oferta não é individualizada, vence o proponente que oferece o menor preço para o MWh, obviamente, menor ou igual ao preço teto. Cada leilão múltiplo tem seus critérios, o que favorece ou não o aparecimento de diversos proponentes, no entanto, o fomento da concorrência é sempre uma diretiva do Poder Concedente, a fim de minimizar ao máximo o preço da energia para o consumidor final.

Há também leilões específicos, cujo objetivo é a contratação de energia para atender determinada estratégia nacional. Nesse tipo de leilão só disputam geradoras específicas (e não em “pool”, como mencionado anteriormente), sejam projetos estruturantes, sejam usinas de fontes específicas de energia. Nesse tipo de leilão, os usineiros concorrentes utilizam a mesma fonte energética. Portanto esses leilões “exclusivos” tendem a estimular a indústria daquele segmento em específico.

Os leilões (múltiplos ou específicos) dividem-se em quatro modalidades principais: energia existente, energia nova, energia de ajuste e energia de reserva. A primeira corresponde à produção por usinas já em funcionamento, portanto, para entrega de energia em prazos mais curtos, por exemplo, um ano (A-1). A segunda modalidade trata da contratação de energia nova, correspondente a produção por usinas que ainda estão em fase de planejamento ou construção, para entrega de energia em prazos mais longos, cinco anos, por exemplo (A-5).

O MME também define os leilões “Especiais”, que são leilões de projetos estruturantes, leilões de fontes alternativas (LFA). São projetos estruturantes as Usinas de Santo Antônio,

Jirau e Belo Monte por possuírem caráter estratégico e de interesse público, que asseguram a otimização do binômio modicidade tarifária e confiabilidade do Sistema Elétrico, bem como garantem o atendimento à demanda nacional de energia elétrica, considerando o planejamento de longo, médio e curto prazos. Já os leilões LFA foram criados com o objetivo de incentivar a diversificação da matriz de energia elétrica, introduzindo fontes renováveis e ampliando a participação de energia eólica e da bioeletricidade. (MME, 2019).

Conforme Atlas de Energia do Brasil (KELMAN, 2008), a energia de ajuste se destina a distribuidoras que vão complementar o volume necessário ao atendimento do mercado (visto que as compras de longo prazo são realizadas com base em projeções), desde que essa suplementação não supere 1% do volume total. Por fim, a energia de reserva complementa a produção de usina convencionais, por exemplo, hidrelétricas. Tal energia pode ser usada para casos de emergência, segurança do sistema ou até para manutenção das reservas dos rios e represas, enfim, é energia para ser disponibilizada em momento oportuno.

Como são realizados com antecedência de vários anos, esses leilões [LFA] são, também, indicadores do cenário da oferta e da procura no médio e longo prazos. Para a EPE, portanto, fornecem variáveis necessárias à elaboração do planejamento. Para os investidores em geração e para as distribuidoras, proporcionam maior segurança em cálculos como fluxo de caixa futuro, por permitir a visualização de, respectivamente, receitas de vendas e custos de suprimento ao longo do tempo. Segundo o governo, o mecanismo de colocação prioritária da energia ofertada pelo menor preço também garante a modicidade tarifária. (KELMAN, 2008, p. 19)

Neste trabalho, as definições sobre tipos de leilões vêm apenas para contextualizar melhor o sistema de contratação de energia, não sendo, portanto, imprescindível para o objeto dessa dissertação. O foco desse estudo, no entanto, é a quantidade de energia total gerada, não importando a modalidade de leilão utilizada para a contratação da empresa geradora. Ou seja, independentemente se a energia eólica contratada em determinado ano ocorreu através de leilão de reserva, ou de leilão de ajuste, ou, ainda, de energia nova, o que importa, neste estudo, é a quantidade de energia eólica fornecida ao sistema naquele ano. Essa compreensão se torna mais clara com o próximo capítulo, ao se tratar da economia do setor eólico na geração de energia elétrica.

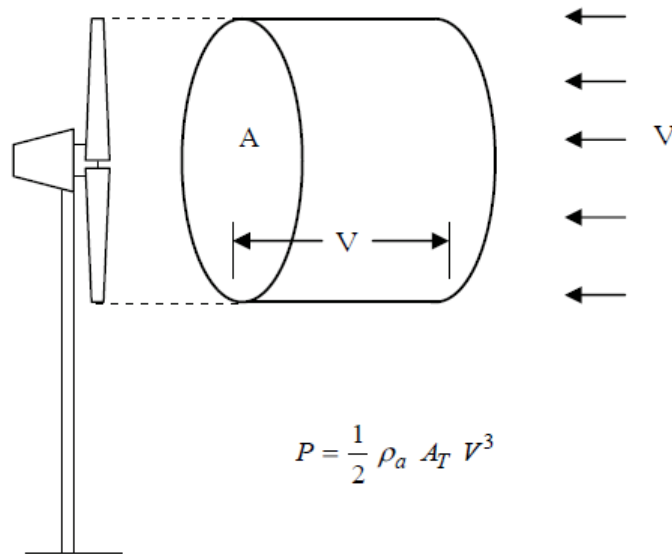
3 ENERGIA EÓLICA

O vento – atmosfera em movimento – tem sua origem na associação entre a energia solar e a rotação planetária (AMARANTE et al., 2001). Energia eólica, por outro lado, segundo Atlas de Energia do Brasil (KELMAN, 2008), é aquela obtida da energia cinética (do movimento) gerada pela migração das massas de ar provocada pelas diferenças de temperatura existentes na superfície do planeta. A geração eólica ocorre pelo contato do vento com as pás do aerogerador, componentes da usina eólica. Ao girar, o campo eletromagnético variável formado no rotor da usina transforma a força do vento em energia elétrica. Aerogerador é comumente conhecido como a turbina eólica ou Sistema de Geração Eólica, formada por todo o conjunto de componentes: gerador, pás, torre e demais elementos de toda a estrutura de geração.

A quantidade de energia mecânica transferida para a geração elétrica na usina está diretamente relacionada a vários fatores, entre eles, a densidade do ar, a área coberta pela rotação das pás, velocidade do vento (KELMAN, 2008), temperatura, altura das torres, eficiência tecnológica do aerogerador. Assim, a geração de energia eólica pressupõe diversas condições, tanto física e tecnológicas, quanto ambientais. A avaliação dessas condições em conjunto, neste trabalho, pode ser chamada de potencial eólico.

Não existem estudos precisos a este respeito, mas estimativas apontam que o potencial eólico bruto no planeta seja da ordem de 500 mil TWh (terawatts-hora) por ano, embora, por restrições socioambientais, apenas 10% sejam tecnicamente aproveitáveis. Ainda assim, 50 mil TWh por ano correspondem a mais de 250% da produção mundial total de energia elétrica em 2007, que foi de 18,9 mil TWh. (KELMAN, 2008, p. 81)

O livro *Wind Energy* (Mathew, 2006) mostra um conjunto de variáveis que determinam o potencial de geração da usina eólica. Na forma mais simples demonstrada no Livro, aponta-se que a Potência depende da densidade do ar, da área do rotor e da velocidade do vento.

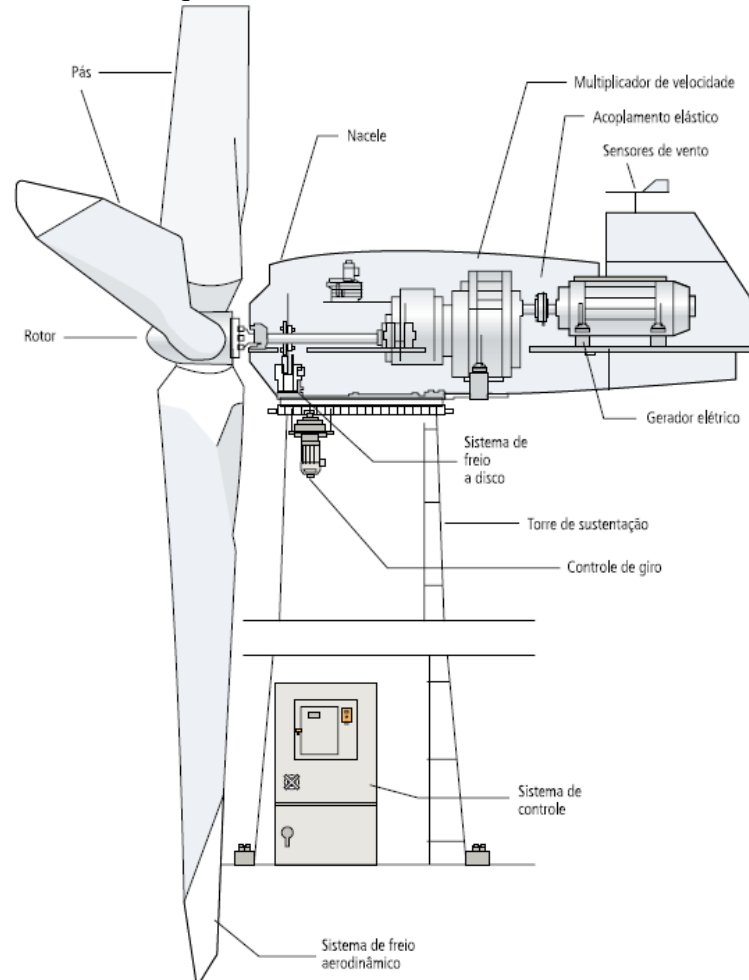
Figura 2 – O vento e a geração na turbina.

Fonte: Mathew (2006, p. 12).

No mesmo livro, Mathew descreve o conjunto de variáveis que influenciam na geração elétrica. Velocidade, temperatura, elevação das pás (distância do solo), inclinação (ângulo de ataque), forma das hélices (aerodinâmica dos elementos), desenho dos eixos e rotores, regime dos ventos, turbulência gerada pelo ambiente ao redor, enfim, são características que determinam o potencial e a eficiência na geração eólica. Portanto, o potencial eólico de um país depende de inúmeras variáveis, o que dificulta estabelecer um valor matemático único que represente fielmente o potencial eólico de todo o território daquele país.

Na Figura 2, Mathew (2006) mostra reduzidamente que os fatores que influenciam a potência disponível na corrente de vento são a densidade do ar (ρ_a), a área do rotor (A_T) e a velocidade do vento. Percebe-se a relação cúbica da velocidade do vento com a potência, indicando que este fator (velocidade) é o mais proeminente dos fatores. No entanto, esta última fórmula é uma aproximação, pois, como relatado no parágrafo anterior, a potência eólica é dependente de diversas outras variáveis.

Figura 3 – Desenho esquemático de uma turbina eólica moderna (aerogerador).

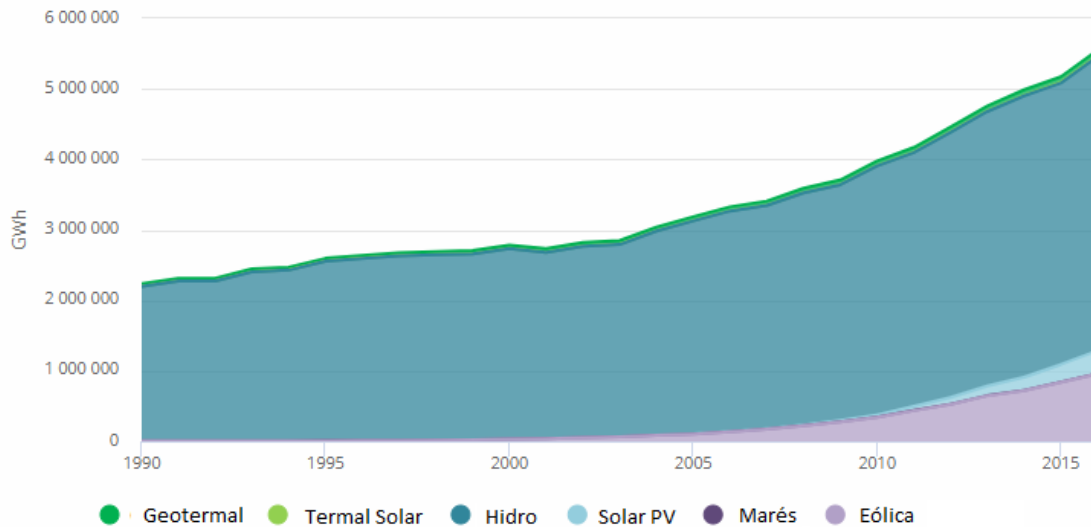


Fonte: KELMAN (2005), adaptado de CENTRO BRASILEIRO DE ENERGIA EÓLICA – CBEE / UFPE. 2000. Disponível em: www.eolica.com.br.

As turbinas eólicas evoluíram muito ao longo das últimas décadas. Na década de 80, a potência nominal das turbinas estava entre 10 e 50 kW. Já em 2002, a Alemanha instalou turbinas de 1.400 kW e a, na Espanha, 850 kW. No Brasil já existem turbinas com rotores de 125 metros de diâmetro com potência nominal acima de 3.000 kW. Nos últimos anos, as inovações tecnológicas nesse setor se voltaram para o acionamento, geradores síncronos e novos sistemas de controle que permitem o funcionamento das turbinas em velocidade variável, independentemente do tipo de gerador. Portanto, a tecnologia atual oferece extensa variedade de máquinas, de acordo com a aplicação e local de instalação (KELMAN, 2005).

Dados da Agência Internacional de Energia (IEA, 2018) indicam rápido crescimento da geração elétrica por fontes renováveis. Em 2016, a geração elétrica mundial total por essas fontes atingiu aproximadamente 5.500 TWh, sendo a fonte hidráulica a maior parcela (4.170 TWh, ~75%) e a fonte eólica como a segunda maior parcela das renováveis (957 TWh, ~17%). É o que comprova o Gráfico 6 a seguir.

Gráfico 6 – Geração elétrica de fontes renováveis por fonte (total mundial 1990-2016), em GWh.



Fonte: IEA, 2018.

Nota: PV significa energia fotovoltaica.

De acordo com Atlas do Potencial Eólico Brasileiro (AMARANTE et al., 2001), a geração de eletricidade em grande escala, para alimentar de forma suplementar o sistema elétrico com o uso de turbinas eólicas de grande porte, é tecnologia que existe há diversas décadas. No entanto, a partir da década de 90, o aproveitamento eólico-elétrico atingiu escala de contribuição mais significativa, devido a vários fatores, entre eles, tecnologia, mercado e até financeiro.

Regimes de competição especialmente via remuneração pela energia produzida foi um desses fatores. O baixo impacto ambiental também foi um ponto favorável ao desenvolvimento eólico. O Atlas também menciona outros aspectos:

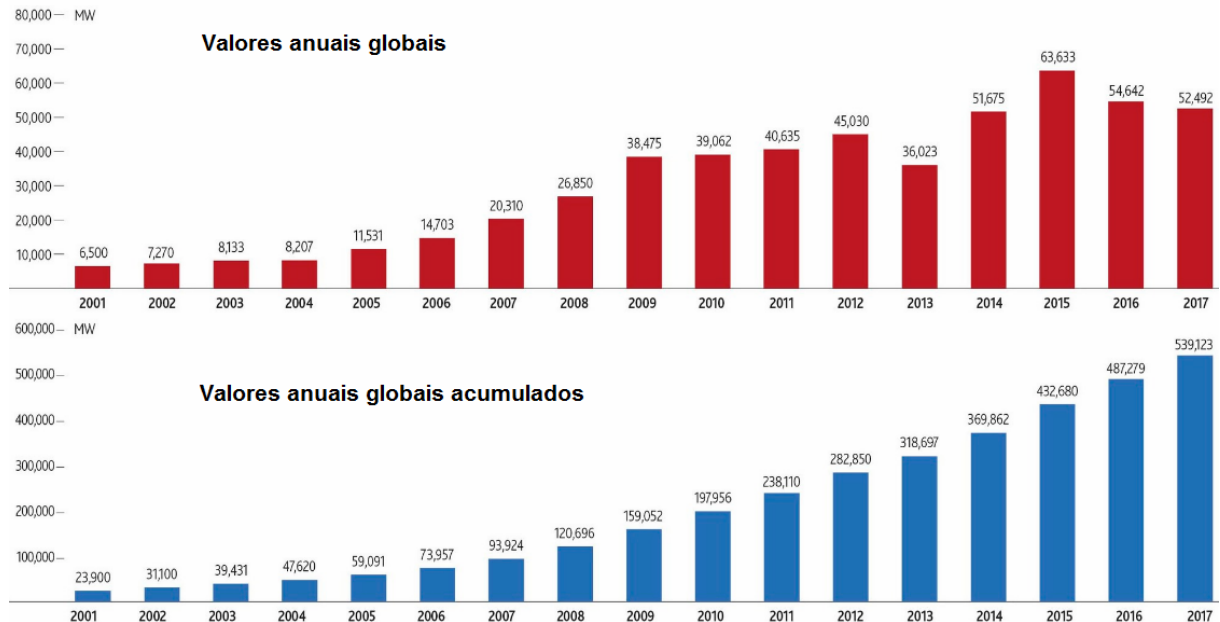
Características também marcantes desse processo foram: (a) devido à modularidade, o investimento em geração elétrica passou a ser acessível a uma nova e ampla gama de investidores; (b) devido à produção em escalas industriais crescentes, o aumento de capacidade unitária das turbinas e novas técnicas construtivas, possibilitaram-se reduções graduais e significativas no custo por quilowatt instalado e, conseqüentemente, no custo de geração (AMARANTE et al., 2001, p. 13).

Além de poder operar como fonte complementar às usinas hidrelétricas, a fonte eólica aumenta a “limpeza” da matriz energética local, ao reduzir a dependência dos combustíveis fósseis, como carvão e petróleo, cuja utilização é responsável pela emissão de grande parte dos gases que provocam o efeito estufa. (SILVA; WEISS; FREITAS, 2017)

Fora os aspectos econômicos, independência energética, acordos internacionais sobre clima, existência (ou ausência) de uma infraestrutura local estabelecida, a escolha pela sustentabilidade (através da energia “limpa”) é uma abreviação para um novo paradigma de

desenvolvimento, um modo de enxergar o processo social que inclui considerações sobre os impactos ambientais (KURSUNOGLU; MINTZ; PERLMUTTER, 1995), em que a energia eólica tem ganhado relevância nos debates multilaterais e, conseqüentemente, ganhado o interesse dos investidores.

Gráfico 7 – Evolução da capacidade eólico-elétrica instalada global, em MW.



Fonte: Conselho de Energia Eólica Global (GWEC).

O Gráfico 7 mostra a evolução da capacidade instalada de potência eólica global. Percebe-se que, ano a ano, consistentemente, novas instalações são colocadas em operação ao redor do globo. A tendência da capacidade instalada acumulada leva a crer que o mercado eólico está em franca expansão e que ainda não atingiu o ponto de maturação, ou estabilidade.

No contexto brasileiro, o volume de ventos é duas vezes maior que a média mundial, com característica de baixa oscilação da velocidade, o que garante maior previsibilidade à geração de eletricidade (WWF-BRASIL, 2012). Segundo estudo da Conferência das Nações Unidas sobre as Mudanças Climáticas (COP21), realizada em Paris em 2015, o parque eólico brasileiro está concentrado na região Nordeste, com 79% da capacidade instalada (CNI, 2017).

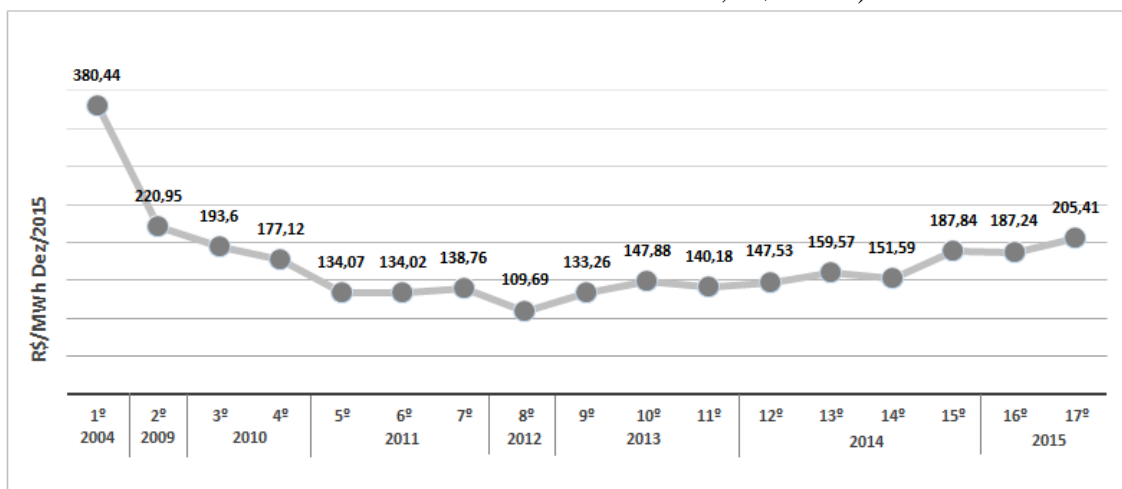
Ainda segundo aquele estudo, o setor eólico está ganhando maturidade, com crescimento do índice de nacionalização de aerogeradores. A região Nordeste continuará se destacando, respondendo por 85% de toda a capacidade instalada do SIN em 2020 (CNI, 2017). Levantamento de 2017 pelo MME indica que o país conta com 9 fabricantes de turbinas eólicas, com capacidade anual de produção além de 4.000 MW, distribuídos em 5 estados: Ceará, Pernambuco, Bahia, São Paulo e Santa Catarina. Há 4 fabricantes de pás e 12 fabricantes de torres. O conteúdo nacional médio dos equipamentos fica entre 50% e 70%, havendo metas de

melhor performance para alguns componentes, regras estabelecidas pelo BNDES (BRASIL-MME, 2017).

Os contratos de energia eólica geralmente são de longo prazo, levando a riscos menores de crédito entre os compradores (CNI, 2017). Mesmo nesse cenário de riscos menores, Guarnier et al. aponta que a mitigação de possíveis riscos pode ser feita por meio da formação de portfólios compostos por diferentes fontes de energia ou plantas de geração em diferentes regiões. A base dessa mitigação de risco está na complementariedade entre as fontes de energia, a sazonalidade e a variabilidade anual, tornando-se uma proteção natural, funcionando como mecanismo de mitigação de risco (E. GUARNIER et al., 2015).

A competitividade da energia eólica brasileira também é influenciada pelo nível de preços da energia contratada dessa fonte ao longo dos anos. Apesar de o preço da eólica contratada ter aumentado nos últimos leilões (Gráfico 8), os valores ainda são muito inferiores, se comparados ao preço do primeiro leilão (380 R\$/MWh). Segundo Elbia Melo (2013), a competitividade da indústria eólica é visível pela queda do valor médio de investimento (Capex total) a partir dos primeiros leilões pós-2009.

Gráfico 8 – Evolução dos preços da energia eólica contratada em cada um dos leilões (valores com database em dezembro de 2015, R\$/MWh).



Fonte: Elaboração própria (dados da EPE, 2016).

O Gráfico 8 mostra que, desde 2004 até 2012, observa-se queda gradativa dos preços. A partir de 2012 até final de 2014, há um processo de estabilização dos preços. Já em 2015, os preços tiveram um aumento substancial. Por outro lado, em comparação com a América do Sul, o Brasil está no limite inferior, com preço em torno de 0,05 US\$/kWh (CNI, 2017), na época em que o relatório foi feito⁶. O primeiro valor do Gráfico 8, R\$ 380,44, foi o valor resultante

⁶ Em valores atuais com 1 US\$ = 3,75 Reais, então 0,05 US\$/kWh = 0,1875 R\$/kWh ou 187,5 R\$/MWh.

do Proinfa (Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica), bem acima dos valores praticados pelos leilões específicos subsequentes para contratação de energia eólica.

Quanto à questão ambiental, em julho de 2014, a Resolução nº 462 do Conselho Nacional do Meio Ambiente – Conama (BRASIL-MME, 2017) simplificou o processo de licenciamento ambiental para empreendimentos eólicos para determinadas localidades. Para esses locais, a emissão do Estudo Ambiental Simplificado, para obtenção das licenças prévia e de instalação é, no mínimo, seis meses mais rápida que a do Estudo de Impacto Ambiental e Relatório de Impacto Ambiental (EIA/Rima).

Por outro lado, a mesma Resolução tornou mais restritiva a implantação de projetos em locais específicos, como as dunas do Nordeste, por exemplo. Nestes casos é necessária a apresentação do EIA/Rima para obtenção da licença.

Outra contribuição da Resolução foi trazer aprimoramentos para os documentos e procedimentos do Licenciamento Ambiental, ao determinar quais informações mínimas deveriam constar das licenças e estabelecer alguns procedimentos. Isso tende a trazer maior transparência e dinamismo ao processo, tornando mais eficiente também o cadastramento e habilitação de projetos para os Leilões de Energia. (CNI, 2017, p. 88)

Entre os principais impactos ambientais da geração eólica estão a poluição visual (devido às grandes torres), poluição sonora (principalmente à noite) e barreiras às rotas de aves migratórias. Há relatos também do incômodo gerado pelas pás das hélices, as quais, ao girar, criam um efeito de sombreamento pulsante.

3.1 ECONOMIA DA ENERGIA EÓLICA

Pelo exposto até aqui, conclui-se que os fatores econômicos dos sistemas de energia eólica são multidimensionais. Há diversos elementos que afetam a unidade de custo da eletricidade produzida por uma turbina eólica. E tais fatores podem variar de país para país, região para região. O mérito econômico de uma planta de geração de potência eólica depende das condições locais (MATHEW, 2006).

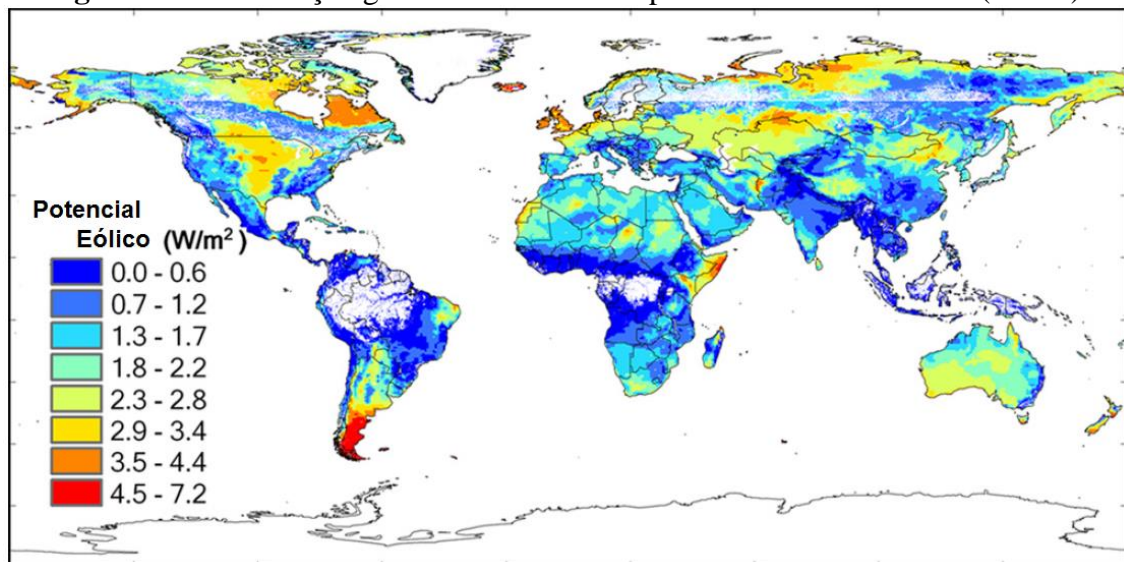
Apesar da multidimensionalidade da economia eólica, em que inúmeros fatores afetam, em maior ou menor grau, a geração por essa fonte específica de energia, esse trabalho se limita às variáveis selecionadas a partir dos estudos da Economia Eólica desenvolvidos ao longo desta pesquisa. Portanto, a seguir estão detalhados os atributos que este estudo considera como os principais para a geração eólica. São eles: potencial eólico, capacidade instalada, fator de capacidade, geração de energia hidráulica, custo da energia eólica, tarifas, tributos, crescimento do PIB, consumo de eletricidade e outras experiências internacionais de comercialização de energia eólica.

3.1.1 Potencial Eólico

Conforme mencionado anteriormente neste trabalho, um conjunto de atributos determinam o potencial de geração da usina eólica. A mesma ideia serve para descrever o potencial eólico de uma região ou de um país. O potencial eólico como fonte global de eletricidade é calculado usando derivações dos ventos através de assimilação de dados de uma variedade de fontes meteorológicas (XI LU; JUHA, 2009).

Uma forma de medir o potencial eólico foi usada por Xi Lu e Juha (2009) em seu trabalho sobre o Potencial Global. Nele, os autores utilizaram atributos para “rodar” as simulações computacionais, tais como velocidade dos ventos (com a duração de ocorrência aproximada por equações probabilísticas), pressão atmosférica, temperatura, densidade do ar, época do ano, parâmetros técnicos da turbina (diâmetro do rotor, altura das torres, etc.) e localização da usina (*onshore* ou *offshore*⁷). O resultado está mostrado na Figura 4 abaixo.

Figura 4 – Distribuição global atual médio do potencial eólico em 2006 (W/m²).

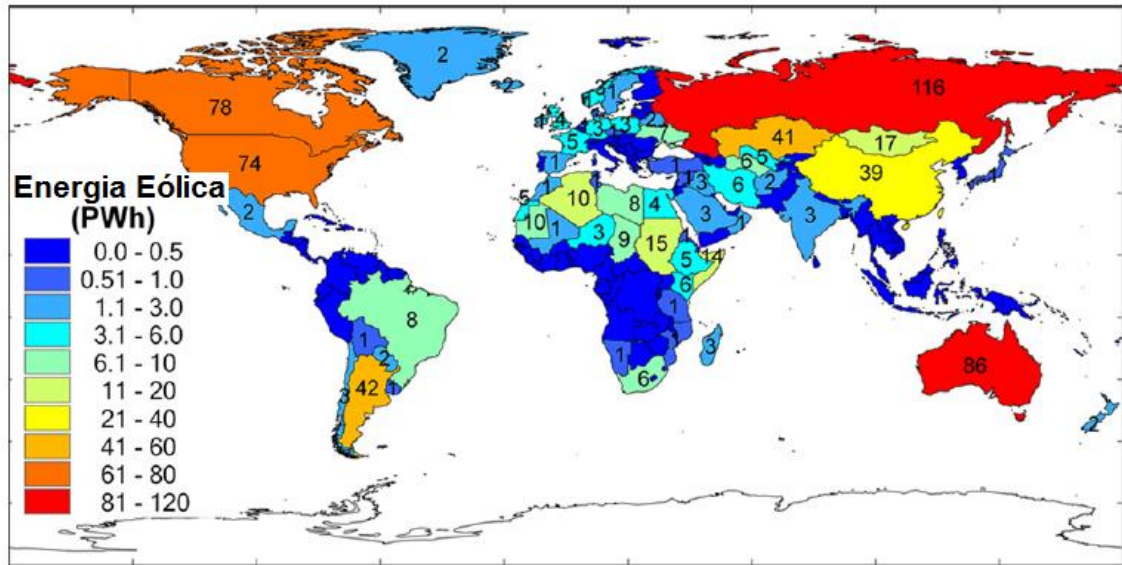


Fonte: Xi Lu e Juha (2009).

A simulação da Figura 4 indica, em cores, o potencial eólico, por unidade de área, que pode ser extraída em cada região do globo. Percebe-se que o potencial varia naturalmente dentro de um mesmo país, o que dificulta rotular um país com um determinado valor de potencial eólico. No entanto, Xi Lu e Juha (2009) propõem um potencial anual de energia elétrica por fonte eólica *onshore*, país a país, conforme figura abaixo.

⁷ Há dois tipos de parques eólicos: *onshore*, localizados em terra ao largo da costa marítima ou no interior do continente; e *offshore*, cujos parques são instalados no mar.

Figura 5 – Potencial eólico anual, país a país.



Fonte: Xi Lu e Juha (2009).

Note-se que a legenda da Figura 5 mostra a Energia Eólica potencial de cada país, e não o Potencial por unidade de área da figura anterior (Figura 4). Em outras palavras, o resultado do trabalho de Xi Lu e Juha (2009) determina a energia eólica que pode ser extraída em cada país. A unidade escolhida por eles é PWh, petawatts, o que corresponde a 1.000 (mil) terawatts, ou 1.000.000 (um milhão) de gigawatts. Tais valores são utilizados na modelagem apresentada por este estudo como variável importante na indicação do quanto cada país poderia gerar de energia eólica anualmente. Segundo a Figura 5, o Brasil, por exemplo, tem um potencial de gerar de 6,1 a 10 PWh de energia, caso extraísse todo seu potencial eólico, em todo o território nacional.

Segundo Atlas de Energia do Brasil (KELMAN, 2005), embora ainda haja divergências entre especialistas e instituições na estimativa do potencial eólico brasileiro, há estudos aplicando metodologias importantes no levantamento desse valores. Um desses estudos é o Atlas do Potencial Eólico Brasileiro (AMARANTE et al, 2001), o qual utilizou recursos de geoprocessamento e cálculos de desempenho e produção de energia elétrica a partir de curvas de potência de turbinas eólicas existentes no mercado.

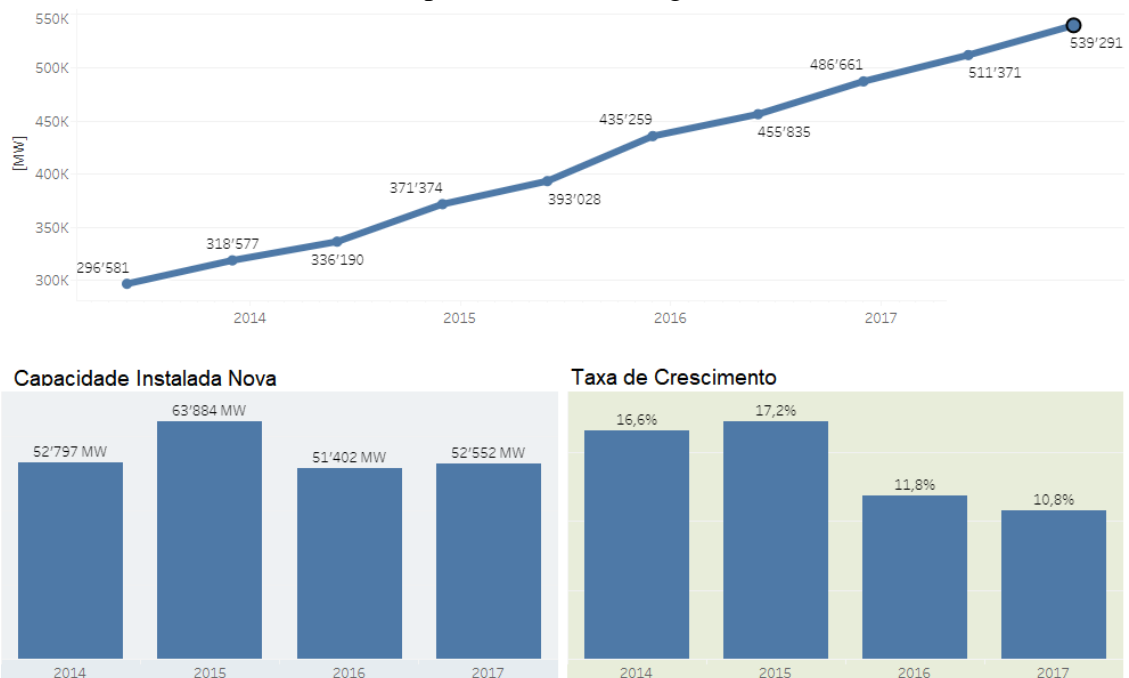
O estudo de Amarante et al (2001) estimou para o Brasil um potencial disponível da ordem de 143 GW, considerando, entre outras premissas, velocidade média dos ventos acima de 6m/s, torres de 50 m de altura, densidade média de ocupação de terreno de apenas 2 MW/km² e fator de disponibilidade de 0,98 (tempo que o gerador fica disponível para gerar energia).

3.1.2 Capacidade Eólica Instalada

Capacidade instalada, como próprio nome diz, é a potência máxima que uma usina pode fornecer para uma carga. Em outras palavras, é a potência total, em máxima eficiência, que se pode fornecer dados os equipamentos instalados na usina. Essa variável pode ser agregada para indicar a capacidade total de um país, ao se somar a capacidade instalada de todas as usinas dessa região. Dessa feita, pode-se entender a capacidade instalada como uma *proxy* de oferta de energia eólica, lembrando que ela indica a capacidade máxima do sistema, e não a energia gerada e efetivamente entregue aos consumidores.

Dados recentes da World Wind Energy Associations (WWEA, 2018) mostram que a capacidade instalada de potência eólica global já ultrapassou 540 GW (gigawatts). As taxas globais de crescimento desse indicador geralmente são elevadas, comparadas com o crescimento da renda dos países. Entretanto, a taxa anual de crescimento da capacidade instalada em 2017 foi de 10,8%, a menor desde o início do desenvolvimento de turbinas eólicas no final do século 20.

Gráfico 9 – Capacidade instalada global 2013-2017.

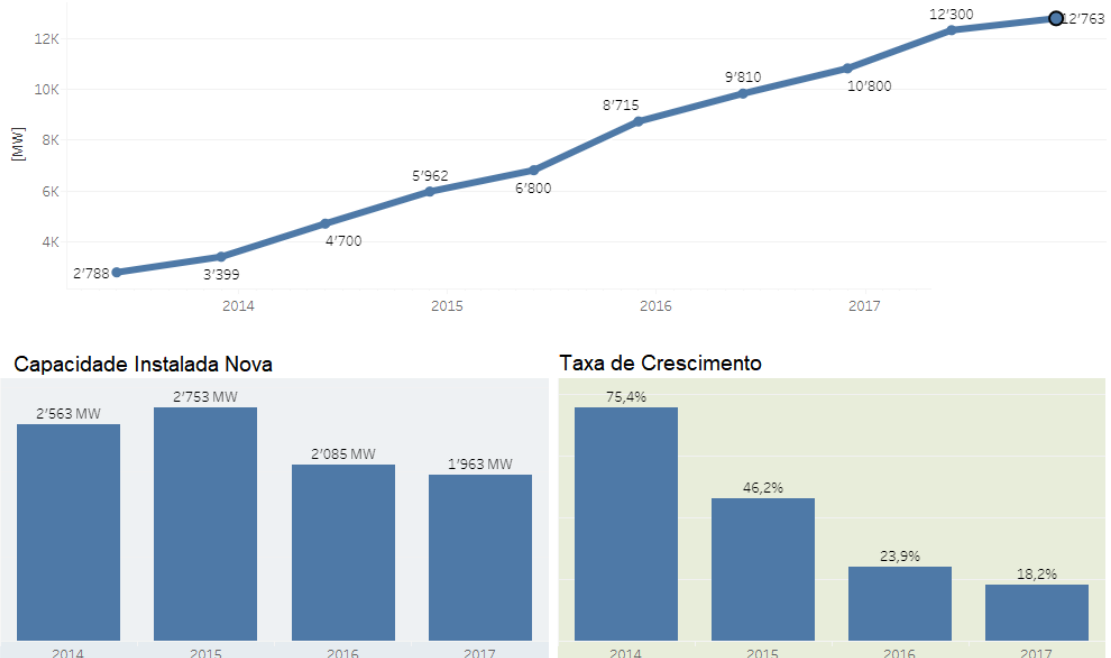


Fonte: WWEA, 2018.

Para a mesma Associação, já em 2018, a capacidade instalada brasileira de geração elétrica por fonte eólica ultrapassou os 12 GW (Gráfico 10 abaixo). Apesar do crescimento de 16,8% em relação ao ano anterior – lembrando que o PIB em 2017 ficou próximo de 1% – a capacidade instalada eólica ainda é relativamente modesta na matriz brasileira, correspondendo a 9,1% do total do país (BRASIL, 2019). Seguindo a rápida tecnologia mundial em

aproveitamento dos ventos, o Brasil é o sétimo país em produção eólica e o nono em capacidade instalada líquida, segundo o último relatório estatístico mundial em energia, publicado pela IEA (2018).

Gráfico 10 – Capacidade instalada do Brasil 2013-2017.



Fonte: WWEA, 2018.

Os números do Gráfico 10 comprovam que, ano a ano, em torno de 2 GW de capacidade nova é adicionada à matriz brasileira, mantendo a curva de capacidade instalada num formato quase retilíneo. Em termos relativos, o percentual (taxa de crescimento) vem se reduzindo e, em 2017, o valor estava próximo de 18%.

Por se tratar de indicador importante para a caracterização da economia eólica, a Capacidade Instalada também é utilizada no objeto desta pesquisa no sentido de sinalizar a oferta de geração eólica, compondo, juntamente com as outras variáveis aqui descritas, o conjunto de indicadores que podem explicar esse mercado e descrever a geração eólica dos países.

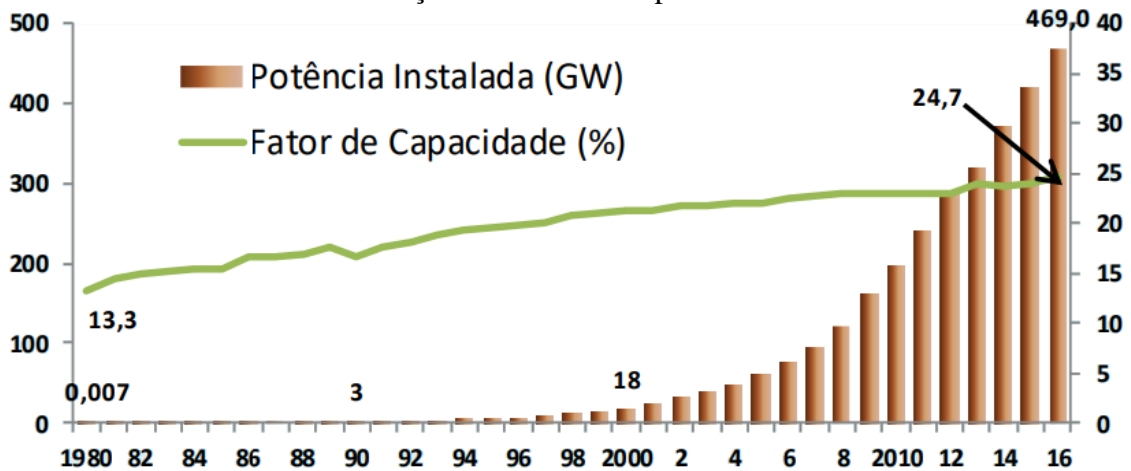
3.1.3 Fator de Capacidade

Outra forma de se avaliar o potencial eólico da região é através do Fator de Capacidade (FC). Esse fator pode ser entendido como o percentual de aproveitamento, efetivo ou estimado, do total da potência máxima instalada. Portanto, seu cálculo depende das características do aerogerador instalado e das características do ambiente (AMARAL, 2011). Dito de outra forma, o FC é a proporção entre a produção efetiva da usina em um período de tempo e o potencial

total máximo neste mesmo período. Por exemplo: se uma usina de potencial de 10MW gerar 35,04GWh (35.040MWh) em 1 ano, ela terá um fator de capacidade de 40%, pois $35.040\text{MWh} / (365\text{dias} * 24\text{h} * 10\text{MW}) = 40\%$.

Segundo Amaral (2011), avanços tecnológicos também são responsáveis pelo aumento do fator de capacidade. Melhorias na qualidade do funcionamento do aerogerador garantem melhor aproveitamento eólico e redução de perdas de energia. Aumentos sucessivos no porte das instalações, acompanhados de desenvolvimento tecnológico e escolha de melhores sítios resultaram em incrementos no Fator de Capacidade do Brasil (BRASIL-MME, 2017).

Gráfico 11 – Evolução do Fator de Capacidade eólico mundial.



Fonte: BRASIL (2017).

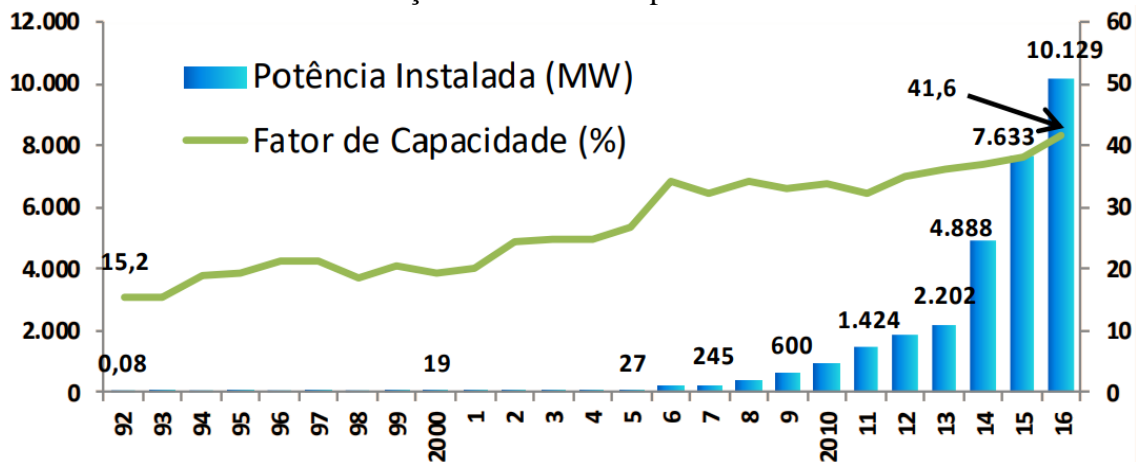
O Gráfico 11 mostra os sucessivos incrementos no FC mundial desde o fim do século passado até 2013, em razão dos avanços tecnológicos em materiais e porte das instalações, o que permite melhor aproveitamento dos ventos (BRASIL-MME, 2017). Entretanto, análises feitas em planta de geração de energia elétrica em um determinado período mostram ampla variedade de Fatores nas diferentes regiões do planeta. Essas diferenças podem ser atribuídas aos seguintes aspectos:

- diferenças nos padrões de carga diária, que refletem o mix de demanda de edifícios e indústria, entre outros fatores;
- diferenças nos custos operacionais;
- interrupções planejadas e não planejadas das unidades para atender aos requisitos regulamentares e de manutenção
- variação na eficiência de tecnologias de geração elétrica usando o mesmo tipo de combustível [no caso, o vento]; e
- restrições devido à disponibilidade de recursos comumente associada a geradores que dependem de recursos renováveis. (EIA, 2015, p. 1)

Dessa feita, a variável Fator de Capacidade, por significar a eficiência na transformação da energia eólica em energia elétrica levando consigo características tanto da máquina quanto da topografia, é utilizada neste estudo como um atributo, simultaneamente, tecnológico e ambiental da geração de energia. Em outras palavras, ela é utilizada aqui como uma *proxy*

conjunta de tecnologia, meio ambiente e eficiência do sistema, contribuindo para explicar a Geração Eólica, objeto desse estudo.

Gráfico 12 – Evolução do Fator de Capacidade eólico brasileiro.



Fonte: BRASIL (2017).

Seguindo a tendência mundial, o FC brasileiro apresentou crescimentos quase constantes ao longo dos últimos anos e décadas. Importante observar no Gráfico 12 que o Brasil atingiu 36% de Fator de Capacidade em 2013, enquanto que o valor mundial neste mesmo ano foi de 23% (Gráfico 11), indicando que o Brasil é bem mais eficiente que a média mundial, resultado dos avanços tecnológicos em materiais, porte das instalações e ambiente dos parques geradores, conforme sugere o relatório do MME (BRASIL-MME, 2017). A título de comparação com outras fontes, o FC eólico é relativamente baixo: usinas hidrelétricas brasileiras têm FC menor que 60%, e termelétricas em torno de 80% (MONTALVÃO, 2009).

Cabe ressaltar que até o tipo de sistema tarifário adotado por um país pode afetar o desenvolvimento tecnológico eólico. De forma geral, há dois modelos tarifários mais comuns adotados pelos países no âmbito energia eólica: *Feed-in Tariff* e o modelo Leilão. O sistema *Feed-in Tariff* é baseado no preço fixo da energia e na receita total variável. Pelo fato de as tarifas, neste modelo, serem geralmente mais elevadas, os investidores buscam maximizar a geração de energia. Consequentemente, as torres e pás dos aerogeradores tendem a ser maiores, maximizando o potencial local do vento, a um custo unitário de investimento mais elevado (MELO, 2013).

No sistema *Feed-in Tariff*, portanto, segundo Melo (2013), grandes geradores operam por longo tempo abaixo da capacidade nominal, maior relação MW por área local e, conseqüentemente, menor fator de capacidade. Claramente este é um modelo propulsor de tecnologia, pois ele incentiva o aumento da produção de energia, uma vez que é remunerada por tarifas mais atrativas.

Já no sistema tarifário brasileiro (exclusive Proinfa) por leilões, o preço é resultado da concorrência, vence aquele que oferecer menor preço pelo MWh. Nesse modelo, os geradores recebem receita “fixa”, baseada na produção de energia anual esperada. Melo (2013) explica que o objetivo do menor preço oferecido no pregão força as empresas a minimizar o investimento, apostando na implantação de torres menores, ou menor número de aerogeradores por local. Portanto, é um sistema maximizador de Fator de Capacidade.

Turbinas com geradores menores e pás maiores são mais baratas, embora não maximizem o uso do potencial local de vento. Com isso, esses geradores operam com maior frequência perto da capacidade nominal do que os maiores. Isso significa menor relação MW por área local e maior fator de capacidade. Nesse formato, o mecanismo de contratação e preços no Brasil não otimiza necessariamente o uso do recurso vento, diferente do *Feed-in Tariff* ou do Proinfa. O modelo do Proinfa e o *Feed-in* pagam ao produtor de energia pela energia gerada, o que faz que se busque o máximo de geração possível por máquina e uma máquina mais eficiente para uma determinada área. (MELO, 2013, p. 137).

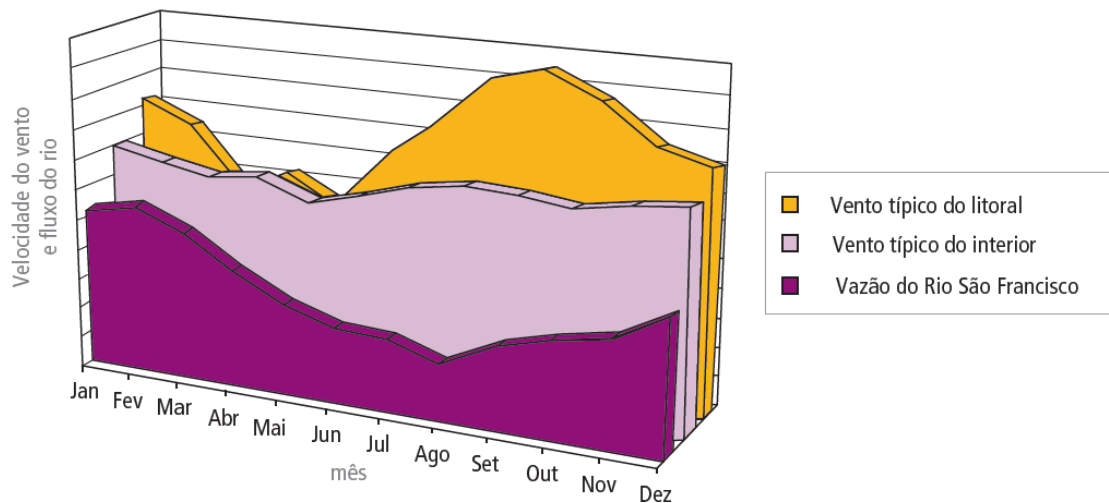
Outra característica do modelo brasileiro é a metodologia utilizada: contratos por disponibilidade, ou seja, o licitante vencedor é contratado para colocar sua usina em disponibilidade, pois quem ordena o despacho de energia é o ONS, quando houver necessidade, isto é, demanda. Portanto, a metodologia de contratos por disponibilidade não apresenta forte incentivo ao gerador para produzir maior quantidade de energia. De acordo com Melo (2013), o que se contrata é determinada disponibilidade; o excedente pode ser vendido no mercado curto prazo (mercado *spot*), o que nem sempre é possível devido à falta de demanda. Portanto, não há incentivo para que o produtor seja eficiente⁸. Assim, o modelo brasileiro – contratação por disponibilidade – é orientado a custo e não otimiza a produção. O modelo de leilões brasileiros não é, por definição, um mecanismo propulsor de tecnologia (MELO, 2013).

3.1.4 Geração de Energia Hidráulica

Quando se estuda a geração de energia eólica, há que se mencionar a demanda por esta fonte. E a demanda por esta fonte é fortemente influenciada pela variação da disponibilidade hídrica. Em outras palavras, a complementaridade da geração eólica com a energia hidráulica foi comprovada ao se estudar os níveis médios de vazão dos rios que atendem algumas usinas da região Nordeste (BRASIL, 2007). Como pode ser visto no Gráfico 13 abaixo, o período onde existe a menor vazão dos rios é quando ocorrem as melhores incidências de vento.

⁸ Eficiência no sentido de maior extração de energia elétrica por área de empreendimento eólico.

Gráfico 13 – Vazão do rio São Francisco e comportamento médio do vento na região Nordeste.



Fonte: PNE 2030.

É possível perceber no Gráfico 13 que, nos meses de maior seca, entre abril e outubro, naturalmente corresponde ao período de maior fluxo eólico no litoral. Conseqüentemente, o ONS pode despachar mais usinas eólicas neste período, de forma a armazenar mais água nas barragens das usinas hidrelétricas, tornando o sistema elétrico mais seguro e garantido. Outra vantagem dessa complementaridade está no momento do despacho, o qual é realizado basicamente com base no preço do MWh. Nos períodos de seca, é provável que o preço unitário da energia de uma Usina Hidrelétrica (UHE) esteja acima de uma usina eólica. Portanto, ao despachar a eólica (com preço menor nesse momento), o ONS cumpre a economicidade tarifária, com benefício para a sociedade.

De qualquer forma, acredita-se que as vantagens da utilização da energia eólica na região nordeste do Brasil se deve a sua complementaridade à geração hidroelétrica nos períodos de seca quando os ventos são mais favoráveis, especificamente durante o segundo semestre de cada ano, sendo denominada de complementaridade entre a oferta de eletricidade de fonte eólica e hídrica no Nordeste do Brasil, o que pode trazer possíveis benefícios de uma maior participação da energia eólica na geração de energia elétrica no Brasil. (PERON 2017 apud BITTENCOURT et al, 1999; ROCHA et al, 1999; AMARANTE et al, 2001a; SILVA et al, 2015, p. 38).

Assim, a complementaridade entre as fontes torna a variável Geração Hidráulica informação valiosa para explicar o desenvolvimento da Geração Eólica, motivo pelo qual a variável hidráulica também é utilizada neste estudo para sintetizar a variável de interesse.

Essa ação de complementaridade eólica-hídrica não é milagre apenas do São Francisco brasileiro. Estudos realizados entre 1997 e 1998 pela Universidade de Roskilde na Dinamarca e contribuições de concessionárias de energia da Dinamarca, Suécia e Noruega mostraram uma complementaridade no sistema hídrico desses três países. Uma inserção eólica de 37% (equivalente a 54% da demanda) em consumo na Dinamarca encontra complementaridade no sistema hídrico da Suécia e Noruega. Num segundo momento, o estudo analisou uma injeção eólica total, perto de 100% do consumo dinamarquês, interligado a Alemanha, Holanda e Finlândia. De acordo com as simulações feitas para esse caso, não há prejuízos à segurança do fornecimento de

energia, desde que ocorra um reforço extra ao sistema de transmissão entre Dinamarca e Suécia. (PINTO, 2014, p. 282).

Apesar de não ser foco desta pesquisa, cumpre ressaltar também a complementaridade da geração eólica com a geração solar, uma vez que os ventos continuam soprando mesmo nos momentos em que não há luz solar. No cenário em que há grande desenvolvimento de fontes renováveis não convencionais, a geração eólica também apresenta essa vantagem.

3.1.5 Custo da Energia Eólica

O custo de produção de eletricidade usando o vento é comparável à produção de eletricidade à base de combustível fóssil (PINTO, 2014). Pelo lado governamental, se se considera o custo da emissão de gases de efeito estufa, o benefício social líquido aumenta, conseqüentemente, o custo dessa fonte de energia resulta ainda menor, comparado a outras fontes.

Tabela 3 – Custos de energia a partir de diferentes fontes, em Euros.

Tecnologia	Custo de instalação (Euro/kW)	Preço do combustível (Euro/MWh)	Custo com O&M (Euro/kW)
Gás	635-875	EUA: 16 União Europeia: 27	19-30
Carvão	1300-2325	EUA: 12 União Europeia: 18	30-60
Nuclear	1950-3400	3,6 - 5,5	80-96
Eólica <i>onshore</i>	1300-1500	N/D	33-50
Eólica <i>offshore</i>	3000	N/D	70

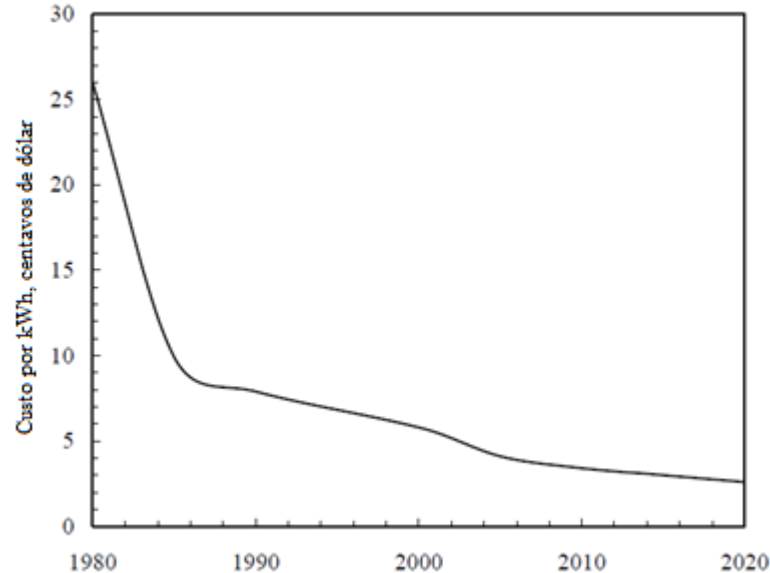
Fonte: PINTO (2014, apud Milborrow, 2010).

A Tabela 3 mostra o custo de capital e o custo de operação e manutenção para projetos eólicos *onshore*, comparáveis aos custos dos projetos de usinas a carvão. No caso da eólica, o maior componente do custo é a instalação (1300 a 1500 Euros por kW), seguido dos custos de operação e manutenção (O&M), os quais podem chegar a 25% do percentual total do custo por kW produzido ao longo da vida útil da turbina (PINTO, 2014).

Os custos de energia eólica são isentos do valor do combustível, vez que a matéria-prima é o vento. Para outras fontes, o valor do combustível é parcela relevante. Interessante notar também na Tabela 3 a diferença de custos eólicos entre parques *onshore* e *offshore*, com este representando quase o dobro, tanto em instalação, quanto em manutenção. No Brasil, as instalações *offshore* ainda são incipientes. Como exemplo, a Petrobras está com projeto para instalação, até 2022, da primeira planta eólica do Brasil em alto-mar, no polo de Guamaré, no Rio Grande do Norte.

Outra característica importante dos parques eólicos é o elevado custo inicial dos projetos. O custo da turbina representa a maior parte das despesas de um projeto eólico. (BRASIL, 2007).

Gráfico 14 – Custo histórico da energia eólica no mundo em centavos de dólar.



Fonte: PINTO (2014).

O Gráfico 14 mostra que o custo por kWh caiu 26 centavos na década de 80 para próximo de 5 centavos de dólar em 2005. O declínio, segundo Milton Pinto (2014), foi mais forte de 1980 a 1985, atribuído principalmente ao aumento do tamanho da turbina. Projeções indicam que o custo cairá ainda mais, indo a 2,6 centavos por kWh por volta de 2020.

Conforme mesmo autor (PINTO, 2014), há muitos outros fatores que afetam a viabilidade econômica de um projeto de energia eólica, como fatores específicos do local de instalação, questões políticas, tecnológicas e, obviamente, de mercado. Milton também elenca três modos diferentes de se expressar o custo da energia eólica: (a) custo por potência nominal da turbina, (b) custo pelo tamanho do rotor e (c) custo por kWh de eletricidade gerada.

A Agência Internacional de Energia Renovável (IRENA) utiliza, como unidade de custo instalado, o dólar americano por kW, referenciado em 2010. Esse é a unidade utilizada neste trabalho, pois permite maior padronização e comparabilidade entre os países mapeados por essa Agência. O custo instalado eólico corresponde à média do somatório dos custos totais na construção de usinas eólicas *onshore* do país.

Segundo o Instituto Global CCS, o custo de instalação de um projeto de energia eólica é dominado inicialmente pelo custo de capital, liderado pelas turbinas eólicas (incluindo torres e instalações), que pode representar até 84% do custo total instalado (CCS, 2012). O mesmo Instituto levantou os custos instalados típicos totais de parques eólicos por país.

Tabela 4 – Custo instalado total típico para parques eólicos por país.

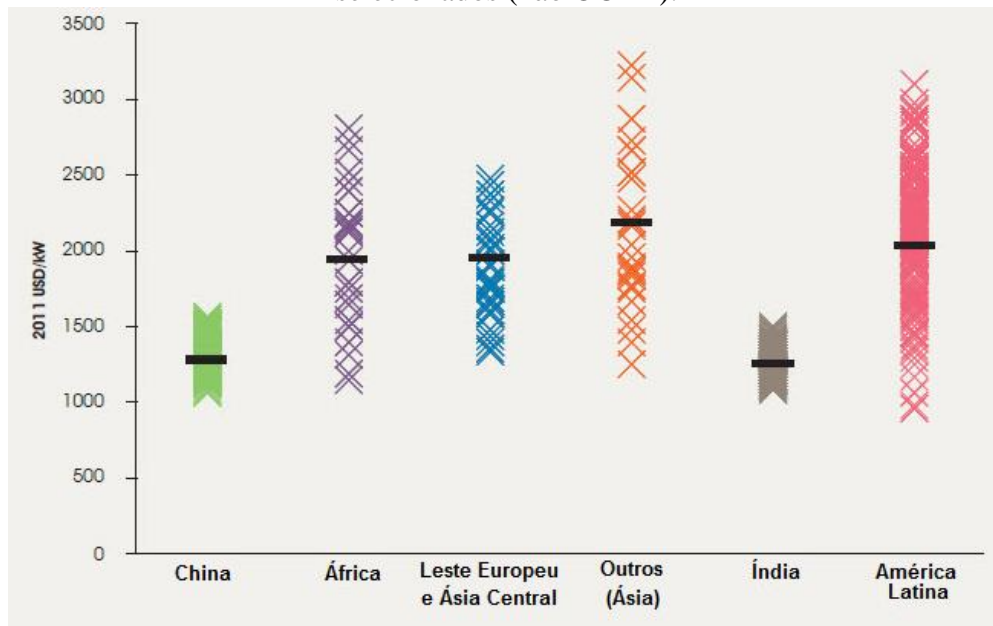
Pais	Ano do custo	Varição do custo (USD/kW)
China	2011	1 114 – 1 273
Australia	2011	1 600 – 3 300
Austria	2011	2 368
Brazil	2011	1 650 – 2 850
Denmark	2010	1 600 – 1 700
Europe (weighted average)	2010	~1 600
Ireland	2011	2 000 to 2 600
Italy	2011	1 941 – 2 588
Japan	2011	3 900
Mexico	2011	2 000
Norway	2011	1 900 – 2 000
Portugal	2011	1 810
Spain	2009	2 000
United States	2011	2 100

Fonte: CCS (2012).

Note-se que a Tabela 4 indica grande variação nos custos de cada país, resultado da variação de preços sazonais da matéria-prima, tipo do projeto, modelo das turbinas, tempo de internalização dos preços dos projetos no cálculo da pesquisa, entre outros fatores (CCS, 2012). Outro diagnóstico identificado pela pesquisa do Instituto foi que há consideráveis economias de escala nos empreendimentos de energia eólica, demonstrados pelo fato de que projetos com menos de 5 MW têm custos totais instalados significativamente maiores do que os projetos maiores (WISER; BOLINGER, 2012). No entanto, não parece haver as mesmas economias de escala ao mudar da faixa de 5 MW para 20 MW para capacidades mais altas.

Tanto a variação dos custos quanto a economia de escala podem ser confirmadas no Gráfico 15 a seguir:

Gráfico 15 – Custo instalado total entre 2009-2012 para grandes parques (> 5MW) em países selecionados (não OCDE).



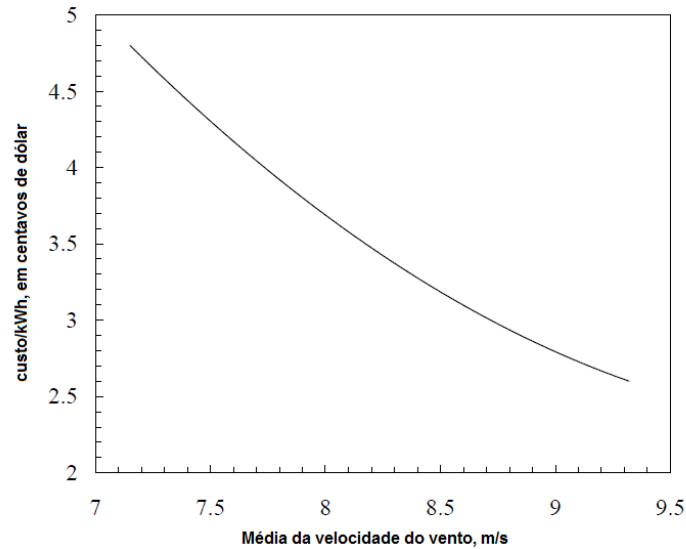
Fonte: CCS (2012).

O Gráfico 15 mostra a elevada variância dos custos instalados totais de alguns países como, por exemplo, África, países do Leste Europeu e da América Latina entre os anos de 2009 e 2012. Diferentemente, China e Índia têm bases de produção local de baixo custo e desenvolveram indústrias eólicas locais com ganho de escala. Seus custos são, portanto, significativamente menores do que em outras regiões não OCDE. Outros países e regiões não possuem indústrias locais extensas de fabricação e desenvolvimento de projetos que, combinadas com custos mais altos para desenvolvimento de projetos, engenheiros e funcionários no exterior, transporte, materiais básicos (cimento, aço, etc.), significam custos instalados tipicamente mais altos, com custos médios na faixa⁹ de R\$ 7.880 a R\$ 9.000 / kW dependendo da região. No entanto, estes não são diferentes dos valores da OCDE. O importante é que as regiões não-OCDE, com custos mais altos do que a China e a Índia, compensaram isso, em certa medida, por terem Fatores de Capacidade (FC) maior¹⁰ (CCS, 2012).

Para uma turbina eólica, o combustível é grátis, mas o investimento de capital é alto (MATHEW, 2006). Para o autor, o custo da geração eólica perpassa por muitos aspectos, desde custos com o terreno da usina, linha de transmissão, condições dos sistemas de potência, até velocidade do vento. A energia disponível no espectro eólico é proporcional ao cubo da velocidade do vento. Isso implica que, quando a velocidade do vento dobra, a energia disponível aumenta oito vezes.

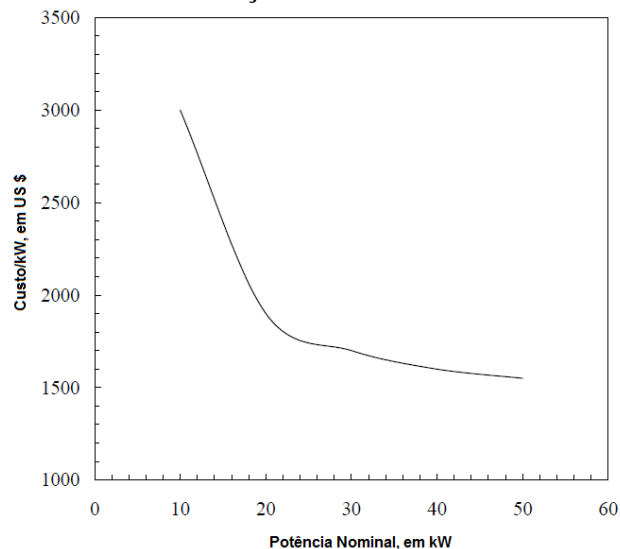
⁹ Cotação do dia 18 de abril de 2019: 1 Dólar = 3,94 Reais.

¹⁰ Brasil é um exemplo disso.

Gráfico 16 – Efeito da velocidade do vento no custo da eletricidade eólica.

Fonte: MATHEW (2006, p. 211).

Do Gráfico 16, o espectro da “força” do vento é fator crítico no custo da energia gerada. Quando a velocidade média aumenta de 7 m/s para 9,5 m/s, o custo é reduzido em 50% (de 5 centavos para 2,5 centavos por kWh). Por esse motivo, torres mais altas, expostas a velocidades maiores do vento, geralmente são priorizadas nos projetos. Por outro lado, quanto mais altas as torres, mais custoso é o sistema eólico.

Gráfico 17 – Redução de custo através de escala.

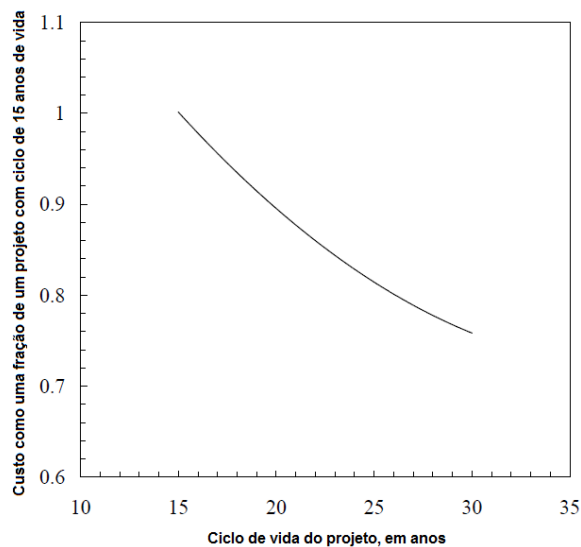
Fonte: MATHEW (2006, p. 212).

Como a velocidade do vento aumenta com a altura, sistemas com torres mais altas geralmente possuem potencial de geração maior. Torres são um dos itens caros em um sistema de energia eólica. A altura mínima da torre requerida é determinada pela rugosidade da superfície da área local. As condições climáticas locais também influenciam a economia da energia eólica. Alta turbulência do vento no local pode exigir mais atenção ao rotor. Além disso,

a presença de substâncias corrosivas e outras substâncias na atmosfera reduzem o tempo de vida da turbina. Tais fatores requerem, portanto, manutenção frequente, o que, por sua vez, aumenta os custos operacionais e de manutenção do sistema (MATHEW, 2006).

Para exemplificar essa sinergia entre fatores, o Gráfico 17 indica que aerogeradores a partir de 20 kW de potência nominal apresentam queda expressiva no custo, em relação a projetos de potência menor. Aumentando a potência do sistema de 20 kW para 50 kW, o custo/kW é reduzido em 18% (dados os custos como média do mercado, já que diferentes fabricantes cobram taxas diferentes para sistemas do mesmo tamanho). Em outras palavras, o gasto com componentes não escala com a mesma taxa que o tamanho da turbina. O custo de produção das primeiras unidades será naturalmente maior, já que o investimento em pesquisa e desenvolvimento, bem como outras instalações de infraestrutura, será compartilhado por este número limitado de turbinas. (MATHEW, 2006).

Gráfico 18 – Efeito do ciclo de vida do projeto na economia da geração eólica.



Fonte: MATHEW (2006, p. 213).

A vida útil econômica da turbina influencia os cálculos de custo dos sistemas de energia eólica. Geralmente, a vida de uma turbina eólica pode variar de 20 a 30 anos. Quando se projeta um sistema mais durável, o investimento inicial do projeto será distribuído ao longo de mais anos, o que, por sua vez, reduziria o custo anual de operação. Um exemplo típico é mostrado no Gráfico 18. Quando a vida do projeto aumenta de 15 para 30 anos, o custo cai quase 25% (MATHEW, 2006).

3.1.6 Tarifas de Energia Elétrica

A tarifa é definida pela Aneel, órgão responsável pelo setor elétrico no Brasil, e tem a função de cobrir custos operacionais das empresas de transmissão e distribuição, bem como remunerar investimentos necessários para aumentar a capacidade do sistema. Além da tarifa, os Governos Federal, Estadual e Municipal cobram na conta de luz o PIS/Cofins, o ICMS e a Contribuição para Iluminação Pública, respectivamente (ANEEL, 2017).

Portanto, a tarifa é a soma dos custos, gerenciáveis e não-gerenciáveis, incorridos por todos os componentes da indústria da eletricidade e comercialização da energia elétrica, mais os encargos e os subsídios. Os tributos ICMS, PIS/COFINS e CIP não fazem parte da tarifa e são acrescidos a ela apenas na conta de luz (MONTALVÃO, 2009).

Desde 2004, com a reforma legal do setor elétrico – mais detalhado adiante –, o valor da energia adquirida pelas distribuidoras passou a ser determinado também em decorrência de leilões públicos, em que a competição entre os fornecedores de energia (geradores) contribui para menores preços (ANEEL, 2017).

O estudo da Agência “Entendendo a Tarifa” (ANEEL, 2017) explica que o mercado energético geracional é basicamente concorrencial, no entanto, o setor de transporte de energia (da unidade geradora ao consumidor, comumente chamado de transmissão) é um monopólio natural. Explicando melhor, a Aneel entende que, ao se contratar energia por leilão, como há vários fornecedores (conjunto de usineiros), a Agência define que o mercado de geração é concorrencial. Ao mesmo tempo, a Agência entende que o setor de Transmissão e Distribuição são monopólios naturais, pois é eficiente economicamente haver apenas um fornecedor em determinado local.

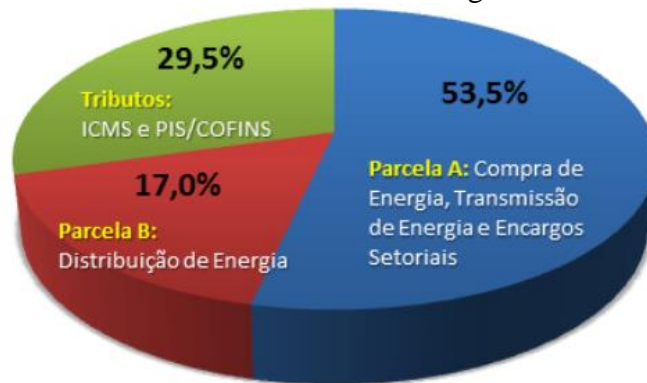
No entanto, a tarifa que o Governo vai cobrar do usuário deve capitar cada um dos serviços, desde a geração até a efetiva entrega da energia na casa do consumidor. Dessa feita, a Aneel atua para que as tarifas sejam compostas por custos eficientes, que efetivamente se relacionem com os serviços prestados. Para isso, a Agência, didaticamente, costuma decompor o custo da tarifa em três partes: custo da energia gerada, custo de transporte e os encargos setoriais (junto com tributos).

De acordo com o estudo, no que se refere aos custos da distribuidora, pode-se classificá-los em dois tipos:

- Parcela A: composta por todos os custos que não são gerenciáveis pelas concessionárias de distribuição, tais como compra de energia, serviços de transmissão e encargos setoriais (todas as alterações nessa parcela são repassadas ao consumidor); e

- Parcela B: composta pelos custos gerenciados pelas Distribuidoras de Energia, são eles: depreciação, O&M, pessoal, remuneração de capital, etc.

Gráfico 19 – Valor final da energia elétrica.



Fonte: ANEEL (2017).

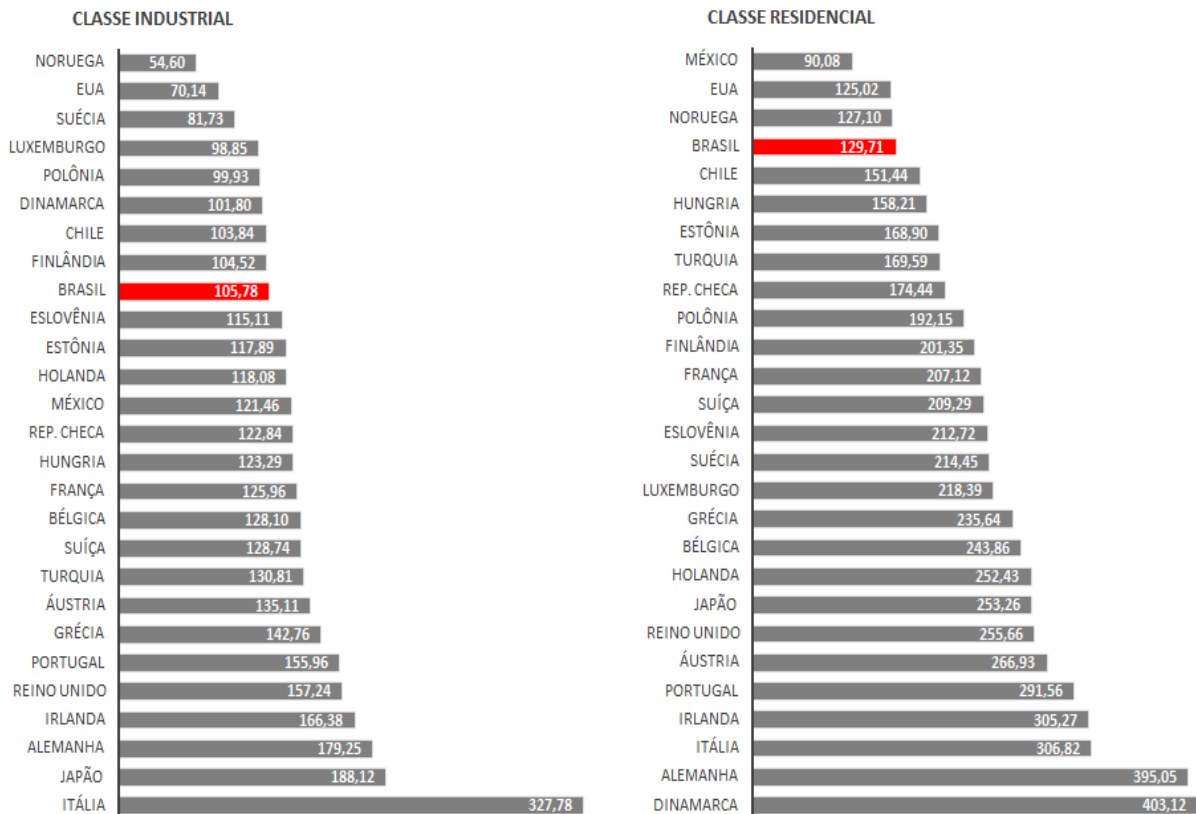
Conforme se observa no Gráfico 19, a fatia que unifica custos de Geração, Transmissão e Encargos representa atualmente a maior parcela do valor final da energia elétrica (53,5%), seguido dos custos com Tributos (29,5%). A parcela referente aos custos com distribuição, ou seja, o custo para manter os ativos e operar todo o sistema de distribuição representa apenas 17% dos custos das tarifas (ANEEL, 2017).

Uma forma de visualizar os custos na tarifa de energia elétrica no Brasil é por meio do mapeamento da evolução da tarifa residencial por função de custo ao longo dos anos. A Aneel anualmente publica essa evolução no Observatório Tarifário (ANEEL, 2019), em que apresenta relatórios contendo informações resultantes dos cálculos tarifários, de forma consolidada, com o objetivo de acompanhar a composição, formação de custos e os impactos na tarifa.

A título de observação, a formação das tarifas de energia depende da classe de consumo. Na classe Residencial de consumo, a tarifa de energia elétrica é aplicada apenas sobre o consumo de energia. Já a tarifa de energia elétrica para consumidores de alta tensão – indústrias e grandes consumidores de energia – se divide em duas partes: consumo e demanda. A tarifa de consumo (tal como para os consumidores residenciais) visa remunerar a energia de fato utilizada, enquanto que a tarifa de demanda visa remunerar o serviço de disponibilização da energia elétrica (de potência elétrica) no sistema (FIRJAN, 2011).

Em comparação com o resto do mundo, o Brasil está distante dos países com a maior e menor tarifa média de energia elétrica. O Gráfico 20 a seguir dá uma ideia do cenário brasileiro.

Gráfico 20 – Tarifas médias de energia elétrica em países selecionados (valores em R\$/MWh de 2014).



Fonte: Elaboração própria (dados da EPE, 2017).

Nota: Tarifas referentes ao ano de 2014, excluindo impostos; para o Brasil, tarifa média da Aneel.

O Anuário Estatístico de Energia Elétrica (Gráfico 20), produzido pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE) em 2017, com base no ano de 2016, revela que a tarifa média de energia elétrica do Brasil, classe industrial, estava (em 2014) em torno de R\$ 105/MWh, enquanto na classe residencial estava em torno de R\$ 130/MWh, bem menores que as tarifas de muitos países europeus (como Turquia), porém maiores que as tarifas dos EUA e da Noruega, por exemplo.

Outra forma de visualizar os componentes formadores da tarifa total é através dos itens: custos GTD (geração, transmissão e distribuição, sem impostos), perdas (técnicas e não técnicas), encargos setoriais e tributos (federais e estaduais).

Apesar das diferentes formas de se medir o preço da energia elétrica, este trabalho utiliza o preço da eletricidade industrial, em centavos de dólar por kWh, ano base 2009, incluindo tributos. Essa escolha justifica-se por motivo de qualidade de base de dados, comparabilidade entre países selecionados e pelo fato de a indústria ser a maior classe consumidora de eletricidade. Portanto, essa variável sinaliza tanto o indicador de preço da eletricidade, quanto os tributos que acompanham a energia no país. O item a seguir detalha um pouco mais este último atributo.

3.1.7 Tributos na Tarifa

Outra forma de analisar os componentes da tarifa é separá-la em dois grupos: custos operacionais e custos estatais. O grupo “custos operacionais” envolve o gasto na geração, transmissão e distribuição (GTD) e os custos com perdas técnicas e não técnicas.

As perdas podem ser divididas em dois tipos: técnicas e não técnicas. As perdas técnicas são inerentes ao sistema elétrico e se referem à perda física de eletricidade dissipada nas redes de transmissão e de distribuição de energia. As perdas não técnicas são perdas comerciais, derivadas de inadimplências e furtos de energia, erros de medição, deficiências no processo de faturamento e falta de medidor em unidades consumidoras. (FIRJAN, 2011, p. 18)

Já o grupo “custos estatais” se refere aos valores embutidos na tarifa destinados à arrecadação do Estado. Geralmente é composto pelos Encargos Setoriais e pelos Tributos (federais, estaduais e contribuições). A título de exemplo, de acordo com os dados Aneel de 2011, consolidados no relatório Firjan (2011), época em que o valor da tarifa estava em R\$ 329,00, pode-se visualizar a distribuição dos componentes mostrada na Tabela 5.

Tabela 5 – Componentes das tarifas de consumo de energia elétrica industrial.

Item	Participação dos Componentes	
	Tarifa Consumo	
	R\$/MWh	%
Custos de Geração, Transmissão e Distribuição – custos de GTD	165,5	50,3
Perdas técnicas e não técnicas	3,6	1,1
Encargos Setoriais	56,4	17,1
Tributos federais e estaduais (PIS/COFINS e ICMS)	103,5	31,5
Total	329,0	100,0

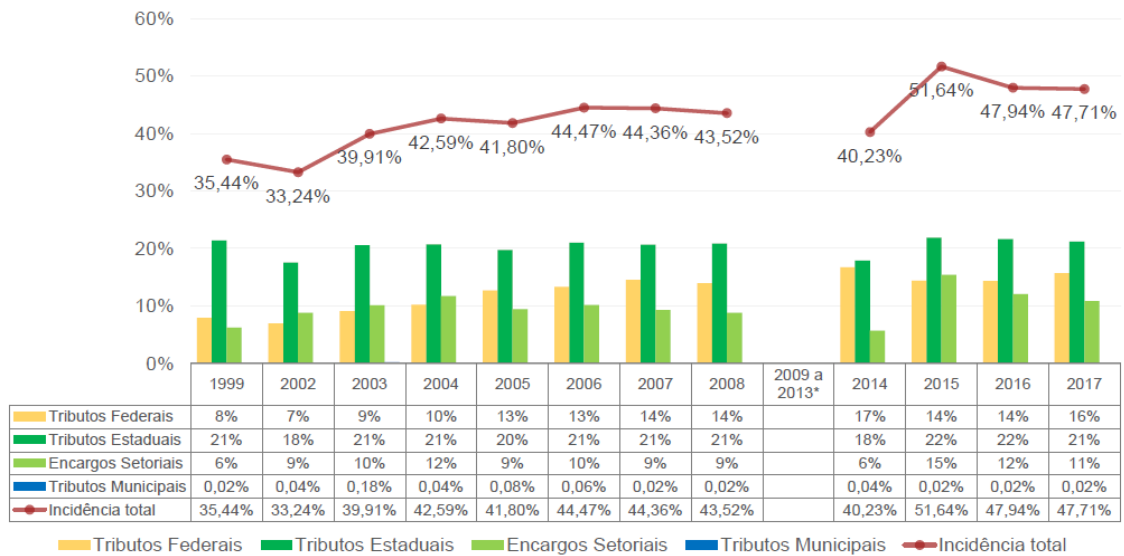
Custos ligados a questões operacionais: 51,4% da tarifa

Custos ligados à arrecadação do Estado: 48,6% da tarifa

Fonte: FIRJAN (2011).

O trabalho da Firjan (2011) indica carga tributária em torno de 31,5% e encargos setoriais por volta de 17,1%. Somados, os custos de arrecadação atingem 48,6%, quase metade do valor da tarifa. A Tabela 5 também mostra que os custos ligados a questões operacionais totalizam 51,4%. Em outras palavras, ao analisar o valor da tarifa para explicar a geração de energia elétrica, a que se atentar para o fato de grande parte da tarifa – 48,6% – não corresponde ao custo operacional, e, sim, a custos ligados à arrecadação do Estado.

Gráfico 21 – Abertura da carga tributária consolidada de tributos e encargos (energia elétrica).

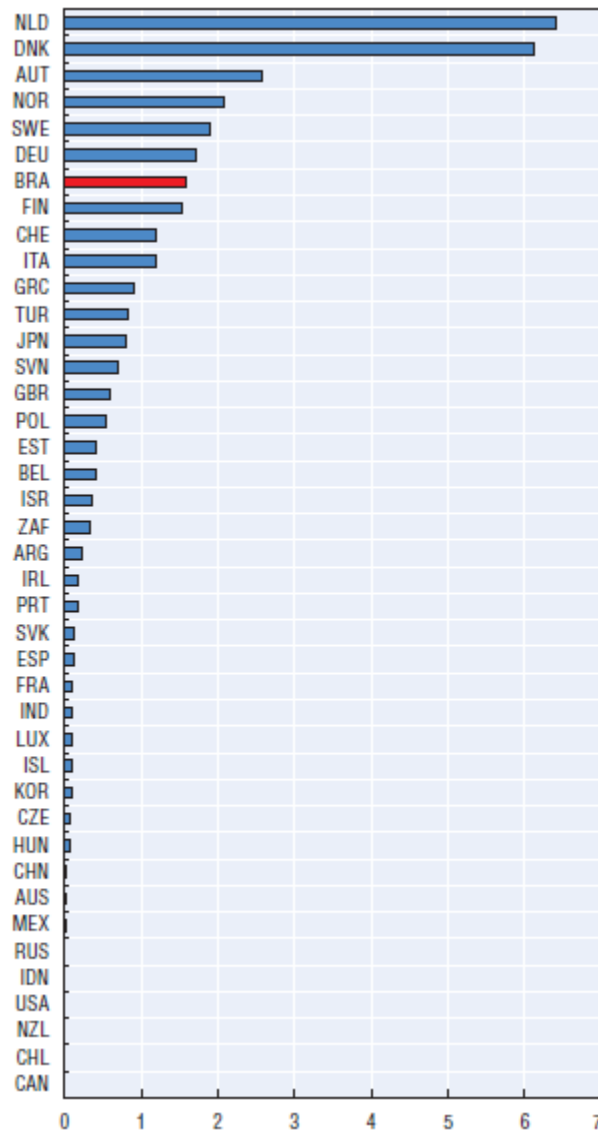


Fonte: INSTITUTO ACENDE BRASIL (2018).

Nota: (*) O estudo para o período compreendido entre os anos-calendário 2009 a 2013 não foi realizado.

Diferentemente do estudo da Firjan para a classe de consumo industrial, mostrado no Gráfico 20, o Instituto Acende Brasil, Gráfico 21, calcula a carga tributária média para todas as classes de consumo. Historicamente, a carga tributária sobre energia elétrica saiu de 35% em 1999 e rapidamente atingiu valores em torno de 44% em 2007. A partir de 2015, o valor salta para acima de 47%, resultado de aumento considerável nos encargos setoriais. Percebe-se que os tributos estaduais sempre foram elevados, já os tributos federais tiveram expressivos aumentos a partir dos anos 2000.

Gráfico 22 – Taxa média efetiva de tributo usado na geração de eletricidade, em Euros por GJ (Gigajoule).



Fonte: OECD (2015).

Nota: Joule (J) é unidade de medida de energia utilizada pelo Sistema Internacional, sendo 1 Wh = 1 (Joule/seg) x 3600 seg = 3.600 Joules.

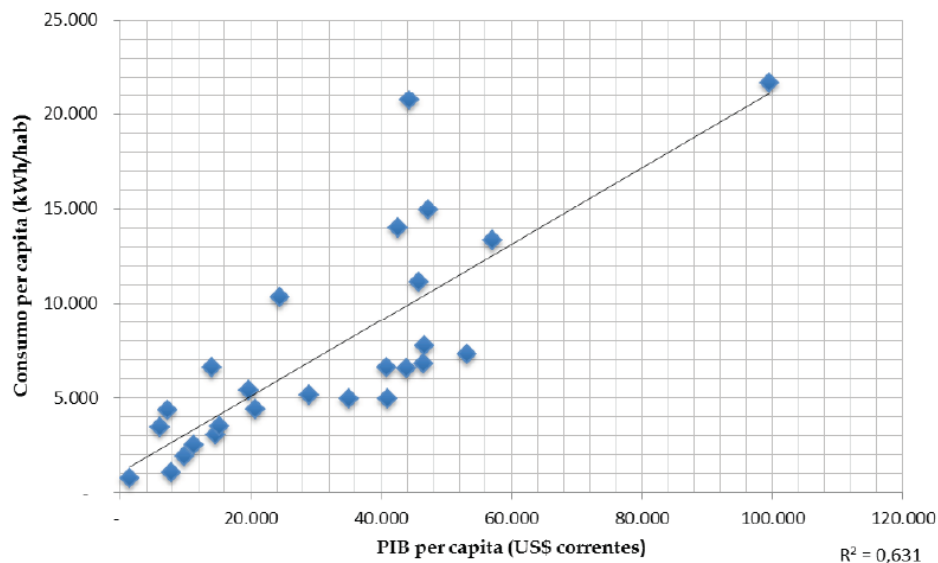
Outra dificuldade encontrada no cálculo da carga tributária na geração de energia elétrica, como citada por OECD (2015) para a confecção do Gráfico 22 acima, está na carga tributária do combustível usado para a geração de energia. Um imposto sobre eletricidade que não distingue as fontes de geração não envia qualquer sinal de preço em relação aos combustíveis usados para gerar eletricidade ou com relação à eficiência na geração (OECD, 2015). O Gráfico em questão mostra o Brasil como um dos países com maior carga tributária sobre a geração da eletricidade, perto de países como Noruega, Suécia, Dinamarca e Holanda, por exemplo. Em países como México, Chile, Nova Zelândia e Canadá, por outro lado, a carga tributária é mínima. Turquia aparece no meio, com carga nem tão alta, nem tão pequena.

Conforme mencionado anteriormente, neste trabalho, o indicador que sinaliza a tributação é o Preço da Eletricidade Industrial, o qual representa tanto os encargos e tarifas da eletricidade, quanto os tributos embutidos nesse valor. O setor industrial foi escolhido por ser a categoria de maior consumo de energia elétrica, à frente das categorias Residencial e Comercial.

3.1.8 Crescimento PIB, renda per capita e o consumo de eletricidade

É intuitivo pensar na relação direta entre a renda e o consumo de energia elétrica, ou seja, quanto maior a renda de um indivíduo, maior será o seu consumo de energia elétrica de sua população. O estudo da EPE (2017), em parceria com o ONS, realizado em 2017 para o cálculo da projeção de demanda de eletricidade, chegou a resultados de elasticidade-renda que apontam para essa relação: no período entre 2000 e 2016, o valor chegou a 1,58 de elasticidade-renda do consumo de eletricidade no Brasil, sendo 3,5% o consumo de eletricidade em relação a 2,2% de PIB no período.

Gráfico 23 – Relação entre o consumo de eletricidade per capita e o PIB per capita, em países selecionados, 2008-2012.



Fonte: De Castro et al. (2017, p. 32).

O Estudo de De Castro et al. (2017) também apontou elevada correlação entre o crescimento do PIB per capita e o consumo de energia elétrica por indivíduo, no período de análise, entre 2008 e 2012 (Gráfico 23). Portanto, variáveis como Consumo e PIB, ambas per capita, corroboram para entender a demanda por energia, e, conseqüentemente, a geração energética de um país.

Para este trabalho, utiliza-se a base do Banco Mundial para os indicadores de Crescimento do PIB e Renda per capita, ambos referenciados em 2010. Para o indicador de consumo, utiliza-se a energia elétrica total consumida, em TWh, do IEA Statistics. Este último indicador corresponde ao somatório da produção bruta de eletricidade, adicionada à importação, descontada exportação e perdas¹¹ totais. Percebe-se, portanto, que este indicador é uma *proxy* de outros três atributos: importação, exportação e perdas técnicas e não técnicas, tão relevantes para os países estudados. Detalhes estão no Apêndice.

3.1.9 Experiências internacionais de comercialização

O estudo de experiências internacionais na comercialização de energia, em especial a eólica, permite entender qual a evolução global na geração eólica para a qual os países estão caminhando. Ademais, tal estudo conduz o pesquisador a compreender o fluxo de investimentos no setor energético, por conseguinte o ganho de escala e tendência de preços de equipamentos de geração.

A Alemanha, nos anos 2000, estabeleceu o novo marco regulatório para fontes renováveis, *Renewable Sources Act*, visando a estimular a geração eólica, com nova forma de compartilhamento de custos entre geradores e distribuidores, na tentativa de equilibrar o mercado em todos os níveis da rede nacional de distribuição de energia (FURTADO, 2010).

O plano alemão adotou o crescimento da oferta das energias renováveis: de 5% em 2000 e 10% em 2010. Adicionalmente, ficou estabelecida a revisão bienal das tarifas e modificação das metas para participação das energias renováveis na matriz nacional. Dessa maneira, ficou definido, em 2004, o aumento da meta de 10% para 12,5% em 2010 e de 20% em 2020. (FURTADO, 2010, p. 70)

Outro considerável incentivo indireto ao desenvolvimento eólico alemão foi a determinação do governo em descomissionar – até 2020 – 17 (dezessete) usinas de energia nuclear em funcionamento. Em 2009, a Alemanha já estava entre as três maiores potências eólicas do mundo, com potência instalada em torno de 25.777 MW

Na Espanha, a partir de 2000, o governo estabeleceu metas de participação de fontes renováveis: 12,0% na matriz energética para renováveis e 29,4% na geração elétrica até 2010. Em 2009, o país já atingia a potência instalada de 19.149 MW (FURTADO, 2010).

Diferentemente, na Eslovênia, Furtado descreve que os produtores têm garantia de compra de energia na tarifa fixa, mas podem receber maior preço pela eletricidade, dependendo do período do ano. Assim como Alemanha e Espanha, a Eslovênia aderiu ao modelo *feed-in*¹²

¹¹ A variável “Perdas” foi citada em alguns indicadores ao longo da descrição econômica da energia, motivo pelo qual exige uma *proxy* na representação sintética da geração de energia de qualquer país.

¹² *Feed-in Tariff*: tarifa baseada em preço fixo da energia e na receita total variável.

cooperativo, no âmbito internacional, promovido pela Conferência Internacional de Energias Renováveis de Bonn, em 2004.

O estudo de Furtado (2010) aponta também a expansão renovável na Índia. Em 2009, esse país já atingia 10 GW de potência instalada. Os motivos para o rápido crescimento do setor foram o grande aumento da demanda e subjacente problema causado pela poluição derivada do uso de energia fóssil; e infraestrutura pública para os investimentos privados e a presença dos principais fabricantes mundiais de aerogeradores, com oferta de aeroturbinas, na Ásia.

Nos anos 90, os EUA estabeleceram o Padrão de Carteira Renovável, com seguintes contornos, segundo Furtado (2010): criação do mercado livre de energia, sistema de créditos de energia renovável, adoção obrigatória por todas as concessionárias, flexibilidade no cumprimento de metas, penalização por não cumprimento de obrigações e novos sistemas de empréstimos e créditos. Atualmente, os EUA são a segunda maior potência em capacidade eólica instalada.

O estudo de Furtado (2010) indica que o Reino Unido tem o melhor potencial eólico da Europa. Em 2002, ocorreu neste país importante Marco Legal – Obrigações a Renováveis (Renewable Obligations – RO), o qual criou créditos de renováveis, com subsídios à energia eólica e criou instrumentos para negociação entre as concessionárias de forma que as metas de comercialização de energia renovável pudessem ser alcançadas. Em 2009, o Reino Unido introduziu a tarifa *feed-in* para a geração de energia renovável.

No Uruguai, houve uma revolução energética na última década e hoje as fontes energéticas respondem por 95% da demanda elétrica no país. Fruto do Plano Nacional de Energia até 2030, publicado em 2008, o Uruguai fez a transição para fontes energéticas renováveis sem subsídios governamentais. O Plano se baseou em 4 (quatro) eixos estratégicos: reestruturação institucional, diversificação da matriz energética, gerenciamento da demanda e integração social (WWF, 2014).

Segundo Relatório da WWF (2014), a prioridade do Plano de longo prazo uruguaio era alcançar 100% de eletrificação até 2015 e otimizar a planta renovável até 2020. Atualmente, o país já tem mais de 99% de eletrificação, mais de 1.200 GWh de geração eólica e 1.650 MW de capacidade instalada, de acordo com as estatísticas da IEA (Agência Internacional de Energia).

Assim como no sistema brasileiro, a Noruega tem um sistema elétrico de forte base hídrica. As empresas de geração transmissão e distribuição de energia no país nórdico eram estatais, em grande parte. No entanto, após reforma no final de 2001 (estabelecimento da Nordpool), as empresas de energia nórdicas passaram a competir no mercado livre. O Nordpool

foi a primeira bolsa internacional para comercialização de energia elétrica e, em 2006, o mercado *spot* já negociava 60% da energia elétrica norueguesa (GASTALDO; BERGER, 2019).

O fato é que, antes de 2003, o Nordpool funcionava no modelo “só-preço-de-curto-prazo”, ou seja, o operador da rede intervivia no preço diariamente. Com o tempo, a falta de liquidez no mercado de reservas foi tornando o modelo inviável economicamente. Com o tempo, começam a se popularizar os esquemas baseados na contratação regulada de longo prazo. Atualmente, novos tipos de contratações são realizados para contornar o *missingmoney*¹³, entre elas a contratação por longo prazo (30 anos, por exemplo) e contratação de energia de reserva (VAZQUEZ; HALLACK, 2014).

O que Vazquez e Hallack (2014) querem dizer é que, no setor de geração de energia elétrica, a construção de grandes usinas tem um forte apelo por contratos de longo prazo. Pelo fato de as usinas serem caras, intensivas em capital e longo prazo de amortização, grandes investimentos são necessários para se construir uma fazenda eólica e o *payback* geralmente é longo. Caso contrário, se os contratos fossem de curto prazo (como eram na Noruega antes de 2003), o mercado geracional ficaria sem dinheiro circulando para a construção de grandes usinas (*missingmoney*). Por isso o Nordpool partiu para os contratos de longo prazo, dando confiabilidade ao sistema, ou seja, não faltaria energia para os consumidores, pois sempre novas usinas seriam construídas e, para aquelas já construídas, os contratos já estavam firmados por longos anos.

Outro expoente na produção de energia eólica é a Nova Zelândia. Atualmente com aproximadamente 700 MW de capacidade instalada, o país já supri 85% de sua necessidade elétrica com fontes renováveis, sendo 5% a parcela dos ventos. O projeto do governo é atingir 100% de fontes renováveis até 2035. Cabe ressaltar que o país utiliza o modelo *net metering*, que consiste em permitir ao consumidor a geração de sua própria energia (renovável) e o excedente seja injetado (e vendido) na rede da distribuidora (ELECTRICITY AUTHORITY, 2018).

O mercado neozelandês é basicamente livre (mercado *spot*), em que os preços de atacado são calculados a cada meia hora e variam dependendo da oferta, demanda e local da

¹³ O *missing money problem*, consoante literatura especializada, é a falta de receita em um mercado de energia competitivo para a completa amortização dos investimentos feitos pelos geradores, que leva à falta de incentivos para a expansão, devido a falhas de mercado inerentes ao funcionamento do setor energético. É, portanto, o fundamento para o pagamento pela confiabilidade energética.

carga. Além disso, os grandes consumidores podem fazer *hedge* de seus contratos a fim de amortecer a variação do preço *spot* (ELECTRICITY AUTHORITY, 2018).

No setor energético, a Turquia é parecida com o Brasil. A matriz turca é bem diversificada, com a fonte eólica compondo quase 5% da capacidade instalada do país (Abraceel, 2017) e taxa de crescimento similar à evolução eólica brasileira. O estudo da Associação mostra que o crescimento da demanda por eletricidade na Turquia está fortemente ligado ao aumento populacional e à industrialização. Além disso, o estudo (Abraceel, 2017) mostra que o Marco Legal da Eletricidade, publicado em 2001, teve como objetivo, entre outros, a privatização, liberalização e reestruturação de toda a indústria turca de eletricidade. Também implementaram o *net pool*, baseado nos desenhos de mercado do Reino Unido e do *Nordpool*: “os compradores e os vendedores indicam lances e ofertas para a venda em um mercado do dia seguinte com liquidação a um preço de compensação do mercado. Nenhum limite de preço é implementado” (Abraceel, 2017, p. 72).

3.1.10 Novo Modelo SEB e Contratação de Energia eólica

A primeira política governamental destinada a incentivar a fonte eólica ocorreu em 2001, durante a crise energética, através do Programa Emergencial de Energia Eólica – Proeólica (BRASIL, 2001), cujo objetivo era contratação de 1.050 MW até final de 2003. No entanto, os projetos eólicos não obtiveram resultados (EPE, 2016).

Em 2002, através da Lei nº 10.438, ficou instituído o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica - Proinfa, com o objetivo de aumentar a participação da energia elétrica produzida por empreendimentos de Produtores Independentes Autônomos, concebidos com base em fonte eólica, pequenas centrais hidrelétricas e biomassa, no Sistema Elétrico Interligado Nacional (BRASIL, 2002). Milton descreve o mesmo: o programa surgiu com a intenção de aumentar a participação da energia elétrica produzida através de fontes eólicas, biomassa e pequenas centrais elétricas – PCHs (PINTO, 2014).

O PROINFA foi dividido em 2 fases, onde o objetivo da primeira fase era a contratação de cerca de 3.300 MW de energia elétrica, sendo 1.422,92 MW provenientes de fontes eólicas. Na segunda fase, que sequer foi implementada, o objetivo era que estas três formas de energia alcançassem cerca de 10% da produção de energia elétrica nacional até 2026. A Eletrobrás ficou responsável pela contratação dos projetos selecionados pelo programa pelo prazo de 20 anos. (FERREIRA, 2017, p. 95).

A supramencionada Lei instituiu ainda redução de 50% às tarifas dos sistemas elétricos de distribuição (TUSD) e transmissão (TUST) incidindo sobre produção e consumo da energia proveniente de geração eólica. Na sequência, em 2003, a Lei nº 10.762 limitou o benefício da

redução da TUSD e TUST para fontes solar, eólica, biomassa e cogeração qualificada cuja potência instalada fosse menor ou igual a 30 MW (BRASIL, 2003).

Segundo Tolmasquim (EPE, 2016), no estudo Energia Renovável publicado pela EPE, o Proinfa pode ser considerado um apoio do tipo tarifa *feed-in*, por determinar valores específicos de energia vendida para cada tipo de fonte por 20 anos. Os custos do programa são então recuperados através de uma taxa paga pelo consumidor através das faturas de energia elétrica. No âmbito da energia eólica, o valor base estipulado foi de R\$ 180,18 e um valor teto de R\$ 204,36 por MWh (BRASIL, 2004). Tolmasquim (EPE, 2016) ainda argumenta que “além de viabilizar a contratação de uma grande quantidade de parques eólicos, o programa introduziu regras de conteúdo local, com o objetivo principal de fomentar a indústria nacional de base eólica, bem como das outras fontes envolvidas no programa”.

O programa contratou 1.304 MW de eólica, no entanto, a energia efetivamente gerada por esta fonte passou de 61 GWh, em 2002, para apenas 93 GWh, em 2005 (dados IEA, 2018). Ou seja, o Programa contratou um grupo de usinas que, somadas, tinham 1.304MW de potencial energético, no entanto, a energia efetivamente gerada aumentou apenas 32 GWh em 3 anos (de 2002 a 2005), sendo que o potencial de geração, com esse conjunto de usinas contratadas, poderia ter sido acima de 4 mil GWh. Em outras palavras, o Programa contratou muitas usinas, mas que geraram muito pouco efetivamente. Portanto, conclui-se que o Programa não foi bem sucedido.

As principais dificuldades encontradas pelos empreendedores eólicos na primeira fase do Proinfa foram:

- a) Limite financeiro, levando à criação de novas sociedades e alterações de titularidade;
- b) Necessidade de revisão dos projetos e novas regras na obtenção de licenças ambientais;
- c) Dificuldade dos agentes financeiros por causa de ser baixo *know how* relativo ao tema. (PINTO, 2014, p. 296).

Ainda segundo Milton de Oliveira Pinto (2014), como os prazos da 1ª fase do Programa não foram completamente cumpridos e por não haver interesse na regulação na segunda fase, o governo brasileiro então decidiu por adotar o sistema de leilões para contratação da demanda de energia eólica.

Após o PROINFA, a primeira tentativa da fonte eólica para continuar a se inserir foi através do Leilão de Fontes Alternativas de 2007, onde foram habilitados 9 empreendimentos somando 939 MW. Contudo, a fonte não obteve contratação até um leilão exclusivo ocorrido em dezembro de 2009 (Leilão de Energia de Reserva - LER). (EPE, 2016, p. 242).

No entanto, quando em dezembro de 2009 o MME resolveu convocar o leilão de Energia de Reserva para fonte eólica, proporcionou um impulso à geração eólica que os investidores estavam demandando, outorgando desta forma oportunidades de

continuidade aos projetos eólicos existentes, posto que já tinha conhecimento pleno do interesse do mercado pela continuidade de estes projetos, e das principais necessidades para fazê-los realidade.

O Governo suavizou as condições de entrada ao mercado eólico nesta etapa transitória, reduzindo as exigências do índice nacionalização, que se encontrou em definitivo com a resposta positiva que buscava por parte dos investidores, cobrindo com notável êxito suas expectativas, o que aconteceu ainda com maior intensidade com os leilões de agosto de 2010. Estas medidas proporcionaram continuidade e profundidade ao processo inversor do setor eólico no Brasil, evitando sua interrupção, no entanto se alcançava o objetivo da primeira etapa do Programa. (HUMMLER, 2011, p. 50).

Números de geração de energia eólica no Brasil (IEA, 2018) mostram que a evolução da geração permaneceu praticamente inalterada até 2009, salvo um leve crescimento em 2008, o que leva a crer que os Programas até então dedicados a diversificação da matriz ou aumento da produção eólica não apresentaram resultados efetivos de geração. No entanto, os mesmos Programas ajudaram a aumentar a capacidade instalada eólica do país, preparando os empreendimentos para os leilões posteriores. Ou seja, até 2009 houve aumento da capacidade de geração projetada, mas não houve aumento expressivo de geração efetiva de energia eólica na mesma proporção. Segundo Losekann e Hallack (2018, p. 636), “o programa [Proinfa] passou por algumas dificuldades que acarretaram contratação inferior ao projetado, mas teve o papel de conferir uma nova dinâmica para a energia eólica no Brasil”.

Destaque-se que a composição deste parque gerador, contratado e em implantação, é o resultado da real possibilidade de oferta que se tinha à época da realização dos leilões, tanto em termos de disponibilidade de projetos, de equipamentos, quanto em termos de obtenção das licenças ambientais, sem as quais nenhum empreendimento de geração pode participar dos leilões de compra de energia elétrica previstos em lei. (HUMMLER, 2011, p. 65).

O Proinfa teve como objetivo único a inserção das fontes renováveis alternativas no mercado. Deve destacar que se trata de um programa que no plano regulatório estabeleceu um verdadeiro sistema de apoio às novas fontes renováveis. Tecnicamente isso não acontece com as novas formas de contratação de geração eólica, pois deve ser entendido como mecanismos transitórios entre a primeira e a segunda fase do programa PROINFA. (HUMMLER, 2011, p. 69).

Furtado (2010) alega que, apesar do alto potencial eólico brasileiro, o setor eólico apresentou fragilidade em sua estrutura industrial no curto prazo, o que levou o Proinfa a problemas principalmente nos projetos de geração eólica. O monopólio do país em produção de aerogeradores elevou os custos dos componentes e conseqüentemente da energia eólica. Tal realidade mudou significativamente, segundo o autor, com os sucessivos leilões de energia eólica que atraíram novas empresas para o mercado, garantindo o desenvolvimento da cadeia de suprimentos de equipamentos, componentes e infraestrutura mais madura.

Voltando um pouco no tempo, cabe tecer algumas informações sobre o marco histórico para o setor elétrico, já introduzido neste trabalho, a Lei nº 10.848, de 15 de março de 2004, e do Decreto nº 5.163, de 30 de julho de 2004. Eles regulamentaram a comercialização de energia

elétrica e o processo de outorga de concessões de geração de energia elétrica, ficando estabelecido que as concessionárias, as permissionárias, e as autorizadas do serviço público de distribuição de energia do SIN deveriam garantir, por meio de licitação, na modalidade de leilão, o atendimento da totalidade de seu mercado.

O novo marco também estabeleceu que os leilões seriam regulados e realizados pela Aneel. Tal delegação incluiu a faculdade de a Aneel promovê-los diretamente ou por intermédio da Câmara de Comercialização de Energia Elétrica – CCEE. Quanto à EPE, esta ficou com a função de habilitação técnica dos projetos candidatos, cujas características técnicas são comprovadas pelos empreendedores proponentes e analisadas previamente a cada certame. Já as diretrizes do MME definem quais fontes podem participar de cada leilão (EPE, 2018).

Outras iniciativas pontuais – denominadas aqui de *small-scale policies* – contribuíram para o desenvolvimento do setor, porém com baixo impacto. Em pequena medida facilitaram o aumento da carga das usinas, compra de insumos, alavancagem financeira do setor privado e outros desembaraços que indiretamente afetaram a capacidade instalada eólica, podendo-se citar: a desoneração tributária possibilitada pelo Regime Especial de Incentivos para o Desenvolvimento da Infraestrutura (BRASIL, 2007), as boas condições de financiamento (BNDES, 2012) da época, isenção do ICMS nas operações com equipamentos e componentes para o aproveitamento da energia eólica (BRASIL, 1997), possibilidade de aderir ao regime de tributação com lucro presumido para apuração do Imposto de Renda da Pessoa Jurídica (IRPJ) e da Contribuição Social Sobre o Lucro Líquido (CSSL), a desvalorização do dólar, o desconto da TUST/TUSD e um sistema de bandas que garantia a receita dentro de um limite de geração entre -10% e +30% da energia contratada. (EPE, 2016).

Apesar de essas iniciativas serem consideradas de pequena escala (*small-scale*) em comparação ao objeto deste estudo, algumas delas serão melhores detalhadas no capítulo a seguir em vista da sua importância para a história do desenvolvimento eólico-energético do Brasil.

3.2 MERCADO DE ENERGIA EÓLICA

O primeiro leilão de fontes alternativas foi realizado em junho de 2007 pela Aneel, com o objetivo de atender a demanda das distribuidoras e promover a contratação de energia elétrica proveniente de novas fontes alternativas. As usinas eólicas, no entanto, não participaram do processo, devido a alguns fatores, entre eles, o baixo volume negociado, falta de documentação necessária para habilitação e até desconexão das usinas com as linhas de transmissão e com as distribuidoras de eletricidade. (HUMMLER, 2011).

O primeiro leilão de energia eólica veio então em 2009, exclusivo para tal fonte, para garantia da segurança do abastecimento nacional, justificada pelo Ministério de Minas e Energia pela dificuldade e atraso na obtenção de licenciamento da hidrelétrica de Belo Monte (cuja capacidade instalada é de 11.233 MW). O preço inicial para o leilão foi de R\$189,00/MWh e o preço final ficou em R\$148,39, com contratação de 1.805 MW em 71 empreendimentos, com contratos de compra e venda de energia com duração por 20 (vinte) anos (HUMMLER, 2011).

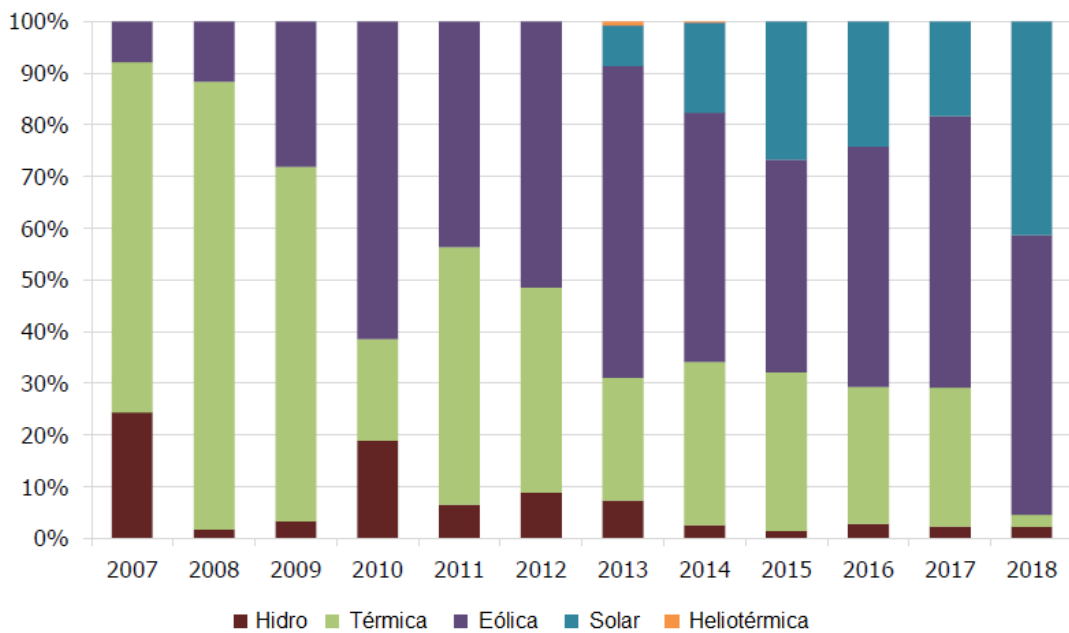
[O] leilão de energia de reserva de 14 de dezembro de 2009 exclusivamente para fonte eólica, combina por um lado uma resposta a essa necessidade de abastecimento e ao mesmo tempo uma intenção política de diversificar a matriz energética incrementando a presença de uma tecnologia em concreto, a eólica, o que representa um feito diferencial em relação aos mecanismos habilitados até o momento. (HUMMLER, 2011, p. 76).

A partir do primeiro leilão de 2009, o recurso eólico se fez presente em 15 (quinze) leilões subsequentes, até 2015, entre Energia de Reserva (LER), Energia Nova de três e cinco anos (A-3 e A-5), e Fontes Alternativas (LFA); formando, juntos, sequência de adições de energia eólica à matriz brasileira, com garantia de contratação por longo prazo. Conforme estudo do MME (BRASIL-MME, 2017), em 2006, começaram a entrar em operação os primeiros geradores contratados no Proinfa, e em 2011, os primeiros contratados no leilão de reserva de 2009. Por esse motivo, importa ressaltar, que 2011 é a data de referência neste estudo, por representar a entrada em operação das primeiras usinas contratadas nos leilões iniciais de 2009.

A contratação sucessiva de empreendimentos eólicos, atingiu o objetivo de diversificação da matriz energética brasileira, além de resultar no aumento de geração efetiva de energia eólica, conforme aponta estudo da EPE, realizado em 2016.

O sucesso da energia eólica se confirma pela contratação de 14.626 MW no ambiente regulado entre 2009 e 2015. Tal sucesso pode ser atribuído à competitividade da fonte eólica que, dado seu relativo baixo custo nos leilões, vem garantindo tanto uma indicação de montante mínimo a ser contratado pelo governo, quanto sua efetiva contratação. Essa competitividade foi fruto de um conjunto de fatores como a qualidade do recurso eólico em determinadas regiões do país e a sinalização, nos planos decenais de expansão de energia, de continuidade de leilões mantendo perspectiva para a expansão da energia eólica, que também acabou por criar um mercado interno. Percebe-se uma retroalimentação positiva nesse processo, onde a indicação do planejamento para inclusão do recurso eólico na matriz ganha força dado o valor que a fonte vem apresentando nos leilões. (EPE, 2016, p. 245).

Gráfico 24 – Participação de cada fonte nos leilões: percentual da capacidade dos projetos cadastrados.



Fonte: EPE (2018).

O estudo da EPE (2018), Gráfico 24, apresenta, de forma comparativa, um retrato dos empreendimentos de geração de energia elétrica a partir da fonte eólica, cadastrados na EPE para os diversos Leilões de Energia que contaram com a participação dessa fonte. Os cadastros evidenciam a crescente participação da eólica: enquanto em 2008 essa fonte representava 12% da capacidade total cadastrada, em 2018 esse valor chegou 54%. Avaliando-se a participação em termos de quantidade de projetos, ao invés da potência total, a fonte eólica tem uma predominância ainda maior, atingindo 82% no ano de 2012.

Quanto ao período para implantação dos projetos habilitados nos leilões de 2009 a 2018, informados pelos empreendedores ao estudo da EPE (2018), verificaram-se prazos médios entre 11 e 18 meses, com leve tendência de queda ao longo do horizonte avaliado. Ressalte-se que esses prazos refletem o prazo disponível para entrada em operação comercial em cada leilão, que pode ser de três a seis anos.

Gráfico 25 – Custo de investimento dos empreendimentos habilitados, por ano, em R\$/kW.

Fonte: EPE (2018).

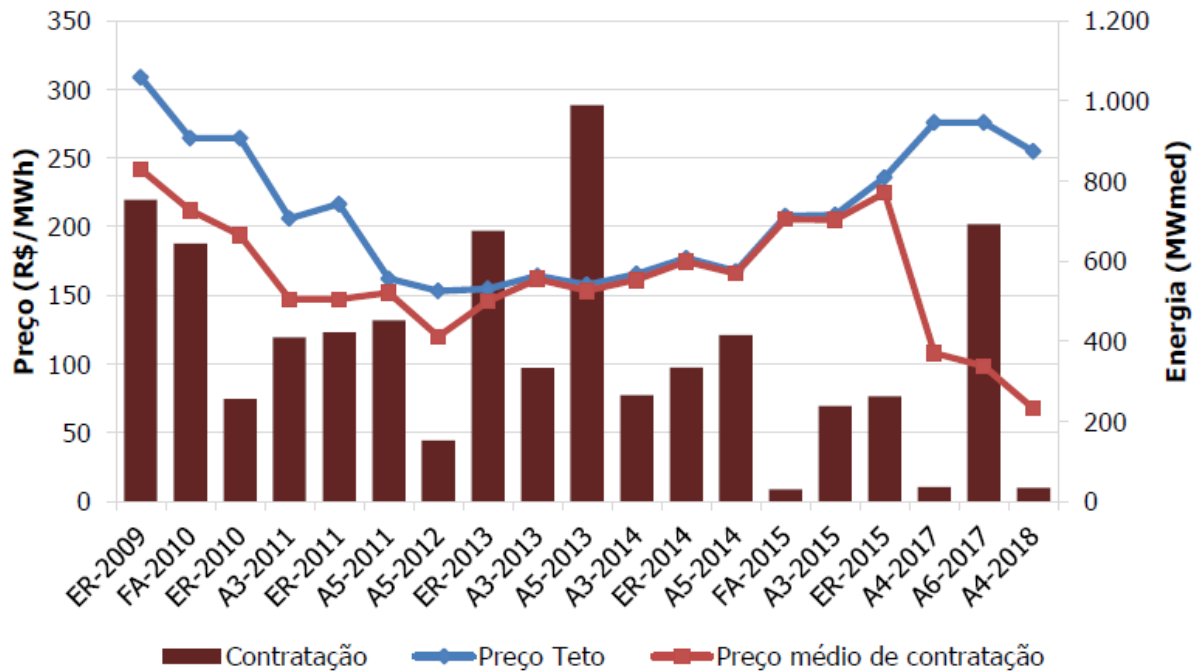
Nota: Ressalta-se que tais valores de investimento não consideram os juros durante a construção e estão originalmente referenciados a dezembro do ano anterior ao do respectivo leilão. Para as análises a seguir os valores foram atualizados para a mesma data-base (jan/2018), considerando a variação do IPCA nos períodos.

O Gráfico 25 apresenta o custo dos empreendimentos brasileiros habilitados tecnicamente, em R\$/kW. Note-se que, a partir de 2009, os custos logo diminuem, seguido de uma estabilização. Percebe-se também a pequena variação dos custos em 2007 e 2008 se devem aos poucos projetos cadastrados, enquanto 2009, em diante, as faixas de variação são amplas. O estudo EPE (2018) ainda relata:

Mais recentemente, percebe-se um estreitamento dessas faixas, o que pode ser explicado pelo amadurecimento do setor, com custos mais bem conhecidos pelos agentes. (...) Em função do elevado índice de nacionalização dos equipamentos, não se observou impacto significativo da variação cambial nos custos dos empreendimentos, que se mostram mais sensíveis à variação da inflação no período. (EPE, 2018, p. 42).

Ao longo do período 2009-2016, segundo estudo do Ipea (Desafios da Nação de 2018), dos autores Losekann e Hallack, o preço de contratação de energia eólica caiu fortemente desde o primeiro leilão, quando a energia foi negociada pelo valor médio de R\$ 240,00/megawatts-hora (MWh), em valores atualizados para 2018. No leilão de 2012, a energia eólica foi comercializada a R\$ 120,00/MWh, a preços referenciados também a 2018. Posteriormente a 2013, como mostra o Gráfico 26 a seguir, o preço de contratação da energia eólica se elevou, refletindo a deterioração das condições macroeconômicas do Brasil. Nos últimos anos, o volume contratado tem se reduzido.

Gráfico 26 – Preço médio da contratação de energia eólica em leilões de expansão, em R\$/MWh, e energia contratada, em MWmed¹⁴.

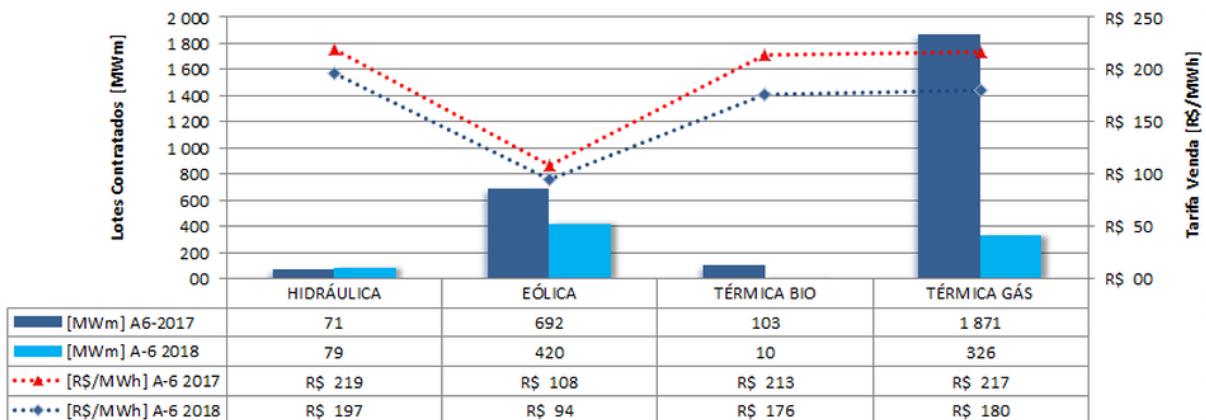


Fonte: EPE (2018).

Nota: os valores mostrados foram atualizados para a mesma data-base (jan/2018), considerando a variação do IPCA nos períodos.

Primeiramente é possível perceber, no Gráfico 26, que os primeiros leilões, de 2009 ao final de 2012, tiveram deságios expressivos em relação ao preço teto. De 2013 a 2017, os preços médios de contratação praticamente foram similares ao preço teto. Já para os leilões de 2017 e 2018, segundo o estudo da EPE (2018), o deságio ficou perto de 70% em relação ao preço teto, resultado da disputa no processo licitatório.

Gráfico 27 – Preço médio de venda, comparativo entre fontes de energia, em R\$/MWh.

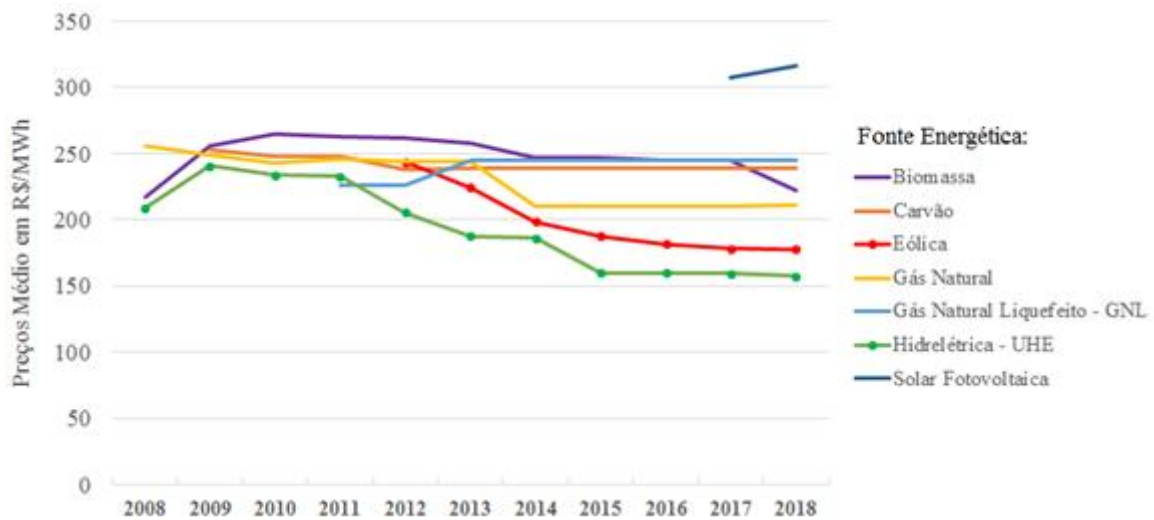


Fonte: ePowerBay (2018).

¹⁴ MWmed é outra unidade de medida de energia. 1 MWmed.ano corresponde a 8.760 MWh de energia gerada em 1 ano.

A título de exemplo, o Gráfico 27 acima mostra comparativo entre energia contratada e o preço médio por fonte nos últimos leilões. Observa-se que nos dois anos, 2017 e 2018, a fonte eólica apresentou preços abaixo daqueles de fonte hidráulica, no entanto, nos anos anteriores a 2017, o preço médio eólico foi bastante competitivo, porém ligeiramente acima dos preços da fonte hidráulica (EPE, 2018). Isso é um indicativo de que, a partir de 2009, os preços da energia eólica caíram sensivelmente e se tornaram competitivos vis-à-vis a fonte hidráulica. Ressalte-se que a comparação média de preços entre as fontes exige cuidados, pois os modelos de contratação entre as diversas fontes são diversos, as quantidades de energia contratada são diferentes, o mesmo para o submercado onde a contratação é realizada. Portanto, o Gráfico anterior serve apenas como análise “fria” de comparação.

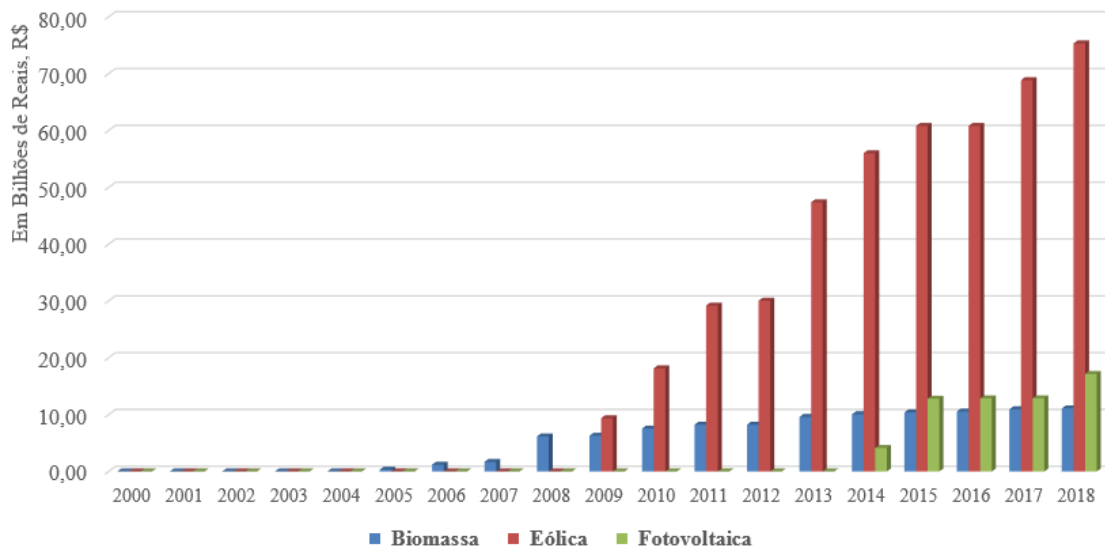
Gráfico 28 – Preço médio dos contratos de leilões por fonte energética, em R\$/MWh, referência de 2018.



Fonte: Elaboração própria.

Nota: fonte dos dados: CCEE (2018), InfoLeilão.

Enquanto o Gráfico 27 mostra o preço médio apenas dos leilões específicos eólicos, a base de dados da CCEE – Gráfico 28 – calcula o preço médio dos contratos de todos os leilões, específicos ou não, por fonte (em destaque, as curvas Eólica e Hidrelétrica). Note-se que, ao longo de todo o período, os valores eólicos estão sempre acima dos valores hidrelétricos. Todavia, percebe-se que a diferença é pequena e as tendências de queda e estabilização nos últimos anos são similares entre as duas fontes. Isso indica, mais uma vez, a competitividade entre as duas fontes energéticas e o distanciamento dos preços médios dessas duas fontes das outras fontes da matriz energética.

Gráfico 29 – Investimento projetado acumulado nos leilões, por fonte (em bilhões de Reais).

Fonte: Elaboração própria (dados da Aneel: Resultados de Leilões <<http://www.aneel.gov.br/resultados-de-leiloes>>).

Nota: valores em bilhões de Reais dos anos correntes.

O Gráfico 29 indica os investimentos realizados a partir dos leilões de 2009 em diante, por fonte, em especial a eólica. Destaque-se que os valores investidos nas eólicas são consideravelmente mais elevados que as outras fontes. Ademais, note-se que os investimentos previstos apresentaram certo perfil de continuidade até o ano final de análise, 2018, sugerindo correlação entre os sucessivos leilões exclusivos para eólica e atração de capital privado para construção dos parques e aquisição de aerogeradores; conseqüentemente, efeitos positivos para a geração eólica e diversificação da matriz energética.

A partir de 2009, através de leilões específicos para fontes renováveis, a energia eólica passou a ser comercializada no ambiente regulado. Em 2011, a fonte eólica já concorria com fontes tradicionais de energia em leilões não específicos, como o A-3 e A-5. O esquema contratual dos leilões vigente para os geradores eólicos foi elaborado visando reduzir o risco de investimento pelo setor privado. Considerando-se que a energia eólica tem como características econômicas o elevado investimento inicial, o baixo custo operacional e um fluxo de produção sazonal e intermitente, foi formulado um modelo de contrato que considera a produção média ao longo dos anos e permite reajustes e compensações de acordo com o histórico de geração. Essa mudança no sistema de contratação de energia eólica estimulou o desenvolvimento do setor e aumentou a produção eólica no país. (FERREIRA, 2017, p. 96)

Mas antes dos leilões específicos, cabe lembrar algumas políticas de menor escala, mas que também perpassaram pelo desenvolvimento eólico-energético. Em 2007, o Governo criou o Regime Especial de Incentivos para o Desenvolvimento da Infraestrutura (Reidi), instituído pela Lei nº 11.488, de 15 de junho de 2007. O objetivo era, fundamentalmente, incentivar, via isenções fiscais, investimentos privados em setores de infraestrutura como transporte, portos, energia, saneamento básico e irrigação (BRASIL, 2007).

Através do Regime, no caso de venda ou de importação de máquinas, aparelhos, instrumentos e equipamentos novos e de materiais de construção para utilização ou incorporação em obras de infraestrutura destinadas ao ativo imobilizado, fica suspensa a exigência da Contribuição para o Programa de Integração Social e de Formação do Patrimônio do Servidor Público (PIS/Pasep) e da Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social (Cofins) incidentes sobre a venda no mercado interno quando os referidos bens ou materiais de construção, inclusive os importados, forem adquiridos por pessoa jurídica beneficiária do Reidi.

No Reidi, a empresa, para se qualificar, deveria ter um projeto específico aprovado para implantação de obras de infraestrutura junto ao ministério correspondente. O tempo de benefício seria de 5 (cinco) anos após a data de aprovação do projeto e da habilitação do ato declaratório do Poder Executivo. (LIMA; SACHSIDA; BARBOSA DE LIMA, 2018). Ainda nessa linha de continuar o Regime, em 2014, o Governo Federal publicou a Medida Provisória 656/2014 que reduziu a zero as alíquotas do PIS/Pasep e Cofins nas vendas e importação de peças utilizadas na fabricação de aerogeradores.

Desse modo, o Reidi incide apenas no custo ou na construção da edificação, não se aplicando ao valor do terreno, à mão de obra para a pessoa física e para a aquisição de bens e serviços não sujeitos ao pagamento das contribuições em decorrência de imunidade, não incidência, suspensão ou alíquota zero da contribuição para PIS/Pasep e Cofins. Com a implantação desse programa, era esperado pelo governo federal que setores considerados estratégicos para o desenvolvimento do país seriam beneficiados. Isso contribuiria com o crescimento das empresas, proporcionando aumento da produtividade, além do crescimento dos setores primários e secundários da economia. (LIMA; SACHSIDA; BARBOSA DE LIMA, 2018, p. 303).

O estudo de Lima, Sachsida e Barbosa apontou que muitos projetos no setor eólico foram habilitados e que a avaliação de impacto feita pelos autores indicou efeito positivo médio de pelo menos 5% no emprego e no PIB dos municípios beneficiados. No entanto, o estudo não tinha como objetivo determinar o impacto do Reidi sobre a Geração de Energia Eólica. Até a edição desta Dissertação, não se encontrou evidência ou estudos do efeito direto do Reidi sobre a Geração de Energia Eólica. Considera-se, portanto, que houve efeito indireto de pequena escala, não influenciando, no entanto, na análise de impacto dos leilões específicos de energia eólica nos anos seguintes através da metodologia aplicada aqui.

Outra política importante para o setor eólico e solar foi o Convênio ICMS nº 101, de 1997, prorrogado e ratificado inúmeras vezes. O convênio concedia isenção de ICMS para diversos componentes da indústria eólica, como geradores, torres, cabos, etc. O dispositivo também deixou claro que o benefício somente se aplica aos equipamentos que fossem isentos ou tributados à alíquota zero do Imposto sobre Produtos Industrializados – IPI. Já quanto a este último imposto (IPI) o Decreto nº 6.890, de 29 de junho de 2009, através do seu artigo 2º,

alterou a TIPI (Tabela de Incidência do Imposto sobre Produtos Industrializados) na vigência do Decreto nº 6.006/2006, atribuindo alíquota zero do IPI para os componentes agregados ao aerogerador.

Ferreira menciona que foram os leilões de energia que estimularam a demanda por energia eólica e, conseqüentemente, a demanda por aerogeradores e seus equipamentos (FERREIRA, 2017). Seguindo o aumento da produção de energia eólica iniciado em 2009, o BNDES, só em 2012, modificou sua Política de Conteúdo Local (PCL) passando a exigir a nacionalização de equipamentos que até então não eram, em sua maioria, produzidos internamente. Para esse autor, apesar do Proinfa ter estabelecido um índice de nacionalização para os projetos eólicos, não houve desenvolvimento desta indústria por falta de pesquisa no setor, falta de mão de obra especializada e, principalmente, incertezas quanto ao horizonte da energia eólica.

Em 2013, o PCL do BNDES sofreu mudanças e o conteúdo local deixou de ser global e passou a ser estabelecido separadamente para cada componente do gerador (torre, pás, nacelle e rotor). Segundo Ferreira (2017) esta mudança deu novo impulso à indústria eólica nacional através do estímulo à produção nacional de equipamentos até então não produzidos localmente.

Somam-se a essas políticas outras de menor relevância para o setor eólico como, por exemplo, Finem, linha do BNDES que apoiou os investimentos em aumento da capacidade e construção de novas plantas eólicas; Finame, outra linha que apoiou desenvolvedores de parques eólicos adquirirem aerogeradores de empresas cadastradas no BNDES; outras linhas de financiamento promovidas pelo BNB (Banco do Nordeste do Brasil) e pela SUDENE (Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste); e políticas de direitos aduaneiros favoráveis como a MP 656/2014 que zerou as alíquotas do PIS/Pasep e Cofins citada anteriormente neste capítulo. (FERREIRA, 2017)

Ocorreram também, políticas tecnológicas, como a isenção da cláusula de P&D da Aneel, que obriga geradores a dedicarem 1% da receita líquida para esse fim; Programa de Subvenção Econômica à Inovação da FINEP, que habilitou 11 (onze) projetos destinados ao desenvolvimento de aerogeradores de grande porte entre 2006 e 2010; Plano Inova Energia, lançado em 2013 com projetos ligados a soluções para cadeias eólicas; Fundo Setorial de Energia (CT-Energia), criado por meio da Lei nº 9.991 de 2000 e que contratou, em 2006, 125 projetos, sendo 15 direcionados à fonte eólica, principalmente para desenvolvimento de turbinas eólicas de pequeno porte; Rede Brasileira de Inovação em Energia Eólica (RBIEE), de 2012, com o objetivo de fomentar tanto a capacitação da mão de obra para o setor eólico, quanto o investimento em P,D&I dos aerogeradores e seus equipamentos; Instituto de Tecnologia de

Energia Renovável (INTER), iniciado em 2015 para a criação do centro nacional de energia eólica focado no desenvolvimento de uma tecnologia nacional por meio da criação de uma base científica e tecnológica, e de uma infraestrutura adequada para a realização de testes experimentais em protótipos de aerogeradores e equipamentos; entre outras políticas tangenciais ao setor eólico.

Outro estudo importante sobre a expansão da indústria eólica está na pesquisa publicada pelo Ipea em 2018, que destaca a economia das instituições. Diniz (2018) aponta que a maioria dos projetos de geração eólica implantados no país durante os últimos dez anos foram conduzidos pela iniciativa privada, reafirmando que o arcabouço regulatório e institucional estruturado para o setor geracional foi bem-sucedido em fomentar os investimentos privados. Para o pesquisador defende que um conjunto de mudanças institucionais ao longo dos anos criaram um ambiente mais seguro para alavancar os investimentos na geração eólica.

O estudo supracitado conclui que a expansão do setor eólico não foi resultado simplesmente de execução via empresas estatais, e, sim, em grande medida por meio de aumento do investimento privado. Ele exemplifica lembrando que, em 2009, o país possuía duas fábricas de aerogeradores, e, em 2014, já contabilizava dez fábricas de torres e componentes mecânicos, nove fábricas de aerogeradores (em operação) e três fábricas de pás.

Tabela 5 – Presença do Estado nos projetos de geração eólica.

	ACL ou N/D		Leilão		Proinfa		Total	
	Usinas	Part. (%)	Usinas	Part. (%)	Usinas	Part. (%)	Usinas	Part. (%)
Presença estatal	38	31,4	196	35,2	2	4,9	236	32,8
Privado	83	68,6	361	64,8	39	95,1	483	67,2
Total	121	-	557	-	41	-	719	-

Fonte: DINIZ, 2018.

Nota: ACL, Ambiente de Contratação Livre e N/D, usinas em que o pesquisador não conseguiu compilar as informações.

O estudo de Diniz (2018) não esclarece o período de análise, mas relata que foram selecionados 719 empreendimentos eólicos disponíveis no banco de dados da Aneel, pós-1998. Pela Tabela 5, é possível notar a presença estatal em, aproximadamente, 1/3 (um terço) dos empreendimentos, enquanto a participação privada completa os outros 2/3 (dois terços), ~67%. A predominância dos projetos privados é nítida e o pesquisador levanta evidências de que o arcabouço regulatório e institucional estruturado para o setor de geração eólica foi bem-sucedido, de modo que impulsionou o investimento privado e o desenvolvimento econômico.

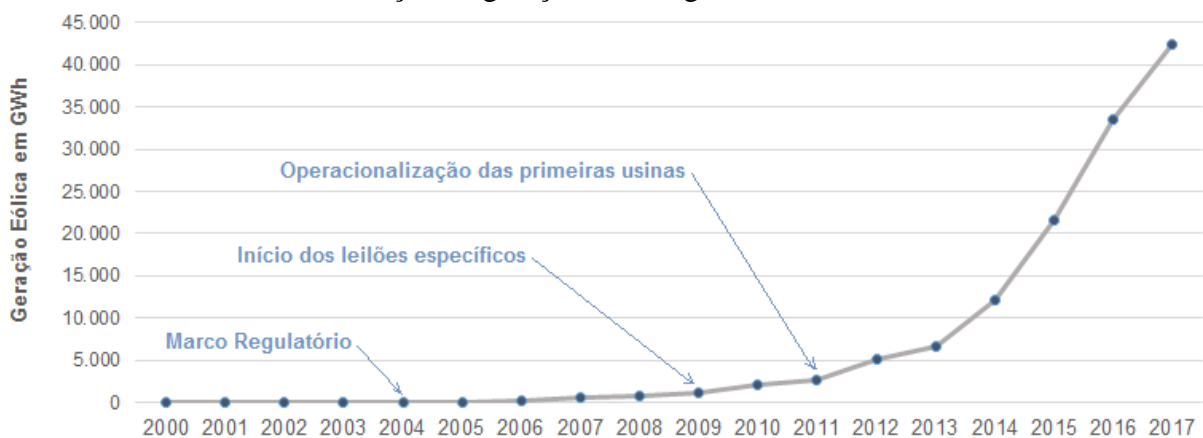
A seguir, esta dissertação tece as informações iniciais para a introdução do método aplicado.

3.2.1 O Leilão Específico de Energia Eólica

Algumas explicações são razoáveis para se entender o aumento consistente de geração de energia por fontes não convencionais ao redor do planeta. Geração por fonte eólica, solar ou gás natural tem aumentado em vários países, em detrimento da geração por carvão, óleo ou até hidráulica. Substituição/compensação à redução da produção de energia por fonte altamente poluidora, como o carvão, esgotamento das opções fluviais para construção de usinas hidrelétricas, desenvolvimento tecnológico de aerogeradores mais eficientes, ganhos de escala mundial na produção de equipamentos para energia renovável (queda de preço mundial dos insumos), novas facilidades de financiamento de projetos em energia limpa e inúmeros programas governamentais de fomento à energia renovável contribuíram para a evolução rápida e consistente da energia eólica no globo.

No Brasil não foi diferente. Diversos incentivos – descritos aqui neste trabalho – foram direcionados para o aumento da produção eólica no país desde os anos 90, no entanto, percebeu-se que a geração efetiva de energia eólica não refletiu, na década de 2000, os esforços realizados. Tais incentivos foram denominadas aqui neste trabalho como políticas *small-scale* (de pequena escala ou pequeno impacto para a geração eólica). Por outro lado, em 2011, quando entraram em operação as primeiras usinas eólicas contratadas em 2009, a geração efetiva de energia eólica despontou em relação aos anos anteriores, sinalizando que algo diferente havia ocorrido, chamando a atenção, portanto, para os efeitos dos leilões específicos de energia por essa fonte a partir de então.

Gráfico 30 – Evolução da geração de energia eólica no Brasil, em GWh.



Fonte: Elaboração própria (IEA, 2018).

Até 2009, pelo Gráfico 30, mesmo com os incentivos supracitados, a evolução da energia eólica foi relativamente lenta. Com o objetivo de aumentar a competitividade dessa fonte no mercado brasileiro e aproveitar tanto o potencial eólico da costa brasileira, quanto a

queda do preço mundial dos insumos, o governo decidiu realizar leilões para contratação de energia especificamente eólica, buscando diversificar a matriz energética do país em termos de fontes renováveis. (NASCIMENTO; MENDONÇA; CUNHA, 2012, p. 644).

Os leilões exclusivos para fonte eólica de 2009 em diante combinaram, de um lado, resposta à necessidade de abastecimento do consumo crescente, ao mesmo tempo em que representaram intenção política de diversificar a matriz energética incrementando a presença de uma tecnologia em concreto, a eólica, o que representa um feito diferencial em relação aos mecanismos habilitados até aquele momento (GWEC, 2011).

Os 7 GW de potência contratados a partir de 2009 contrastam fortemente com os primeiros investimentos feitos pelo Brasil nessa fonte de energia quando da implantação do Proinfa, em que 1,4 GW foi contratado a preços até três vezes superiores aos dos últimos leilões. (MELO, 2013, p. 127)

Os leilões trouxeram implicações econômicas e tecnológicas, resultando, a partir de 2009, em um novo marco para o setor elétrico brasileiro. Estudo de Simas e Pacca (2013) mencionam:

Desde então [2009], empreendimentos eólicos corresponderam a 50% da capacidade de geração de energia elétrica contratada, em MW médios, com preços de venda de energia cada vez mais competitiva, se aproximando do valor médio de termelétricas convencionais. (SIMAS; PACCA, 2013, p. 105).

O objeto desse trabalho, portanto, é avaliar o impacto da política de leilão específico de energia eólica sobre o crescimento da geração de energia eólica total da base. Em outras palavras, deseja-se calcular o efeito dos leilões específicos iniciados em 2009 – aqui considerada como uma política de largo efeito (*large-scale*) – na curva de crescimento da geração eólica brasileira, respondendo à pergunta: qual a contribuição dos leilões específicos para a geração eólica brasileira? Ou ainda: se não houvesse leilão específico de energia eólica em 2009 (e anos seguintes), qual seria o crescimento natural da geração eólica? Se os geradores eólicos permanecessem apenas com as opções de venda de energia por meio de contratos bilaterais ou leilões múltiplos, como teriam se desenvolvido? A política de leilões exclusivos eólicos obteve sucesso?

Em vista destas perguntas, o objetivo inicial esperado era calcular a quantidade de energia eólica gerada resultante apenas da sequência de leilões específicos de energia eólica a partir daquela data, excluindo, entretanto, o crescimento de geração natural do sistema, resultante do crescimento do mercado mundial, das políticas públicas iniciadas no sistema, das contratações bilaterais do mercado livre, entre outros eventos correlacionados.

A partir do estado da arte adquirido para a elaboração dessa pesquisa, esperava-se poder extrapolar os meios desenvolvidos aqui para sua utilização futura, para outras fontes energéticas, por exemplo, solar e biomassa, a fim de se poder calcular os efeitos de leilões

específicos para tais fontes. Todavia, os resultados se mostraram bem mais amplos que isso. A metodologia empregada aqui e o conhecimento adquirido durante as investigações no âmbito energético permitem a aplicação do estudo em diversas outras áreas do saber científico, por exemplo, infraestrutura de transportes, intervenções financeiras do Banco Central, políticas sociais, etc.

A seguir, descreve-se a metodologia utilizada para a consecução desses objetivos, a descrição dos dados inseridos no método, os resultados efetivamente obtidos e, finalmente, a análise desses resultados com breve interpretação frente aos objetivos esperados, mencionados no parágrafo anterior.

4 MÉTODO DO CONTROLE SINTÉTICO APLICADO

A variável explicada ou dependente neste estudo é a Geração de Energia Eólica ou, dito de outra forma, é a Energia Elétrica gerada por fontes eólicas. Explicando melhor, o desafio enfrentado foi conseguir determinar a geração de energia eólica na ausência da atuação governamental, aqui expressa pela decisão de leilões específicos de contratação de energia eólica. Gestores governamentais normalmente encontram dificuldade em estimar o efeito do leilão no desenvolvimento do setor elétrico, principalmente no surgimento de novas tecnologias, ou novas fontes renováveis. Até que ponto uma fonte de energia pode ser considerada madura? Qual o momento correto de se implementar um leilão exclusivo, ao invés de leilão múltiplo, com várias fontes?

Dado que o Poder Concedente pode intervir no mercado concorrente de geração de energia elétrica, é desafio identificar o quanto da geração de energia eólica foi ocasionado pela intervenção estatal ou por outros fatores. Uma possível solução é a utilização da metodologia descrita por Abadie, Diamond e Hainmueller (2010): o Método de Controle Sintético.

O Método de Controle Sintético (MCS) é baseado na suposição de que é possível obter uma combinação de variáveis exógenas, chamadas de grupo de controle ou sintético, que podem reproduzir um comportamento artificial da variável tratada (variável de interesse) ao longo do período de análise, antes e depois da intervenção. Com isso, como o comportamento do sintético é similar ao da variável de interesse antes da política sob estudo, é de se supor que, após a intervenção, essa variável sintética desenhará o comportamento da variável tratada sem o efeito da intervenção, permitindo, portanto, o cálculo do impacto.

Segundo Cetin (2015), que utilizou o método para investigar as intervenções cambiais praticadas pelo Banco Central em 2013, essa metodologia conseguiria resolver o problema da endogeneidade da intervenção, pois os dados utilizados para a construção do sintético não estariam sujeitos aos efeitos da intervenção em estudo.

Outra ferramenta muito utilizada em análise de impacto é a Diferença em Diferenças (Dif-Dif). Neste método, o efeito da política é estimado mediante uma dupla diferença: uma subtração da média do indicador de resultado entre os períodos pré e pós-política para os grupos de tratamento e controle, e a outra diferença corresponde à subtração dessas primeiras diferenças entre os dois grupos (IPEA, 2018).

Uma limitação do Dif-Dif é que a hipótese central por trás do método requer que a tendência do indicador de resultado para o grupo de controle seja similar – ou corresponda – à tendência que o grupo de tratamento teria pós-política na ausência da intervenção. No caso

deste trabalho, isso não poderia ser verificado a priori e as trajetórias certamente não seriam semelhantes. Outra “restrição” é que o Dif-Dif (assim como o método de aleatorização) estima diretamente um impacto médio via coeficiente de uma regressão linear sem se ater às estimativas por indivíduo e sem a necessidade de se explicitar o contrafactual estimado (IPEA, 2018).

O Método de Controle Sintético, por outro lado, explicita tanto as estimativas por indivíduo, quanto o contrafactual estimado. Diferentemente do Dif-Dif, o MCS “sintetiza” o grupo de controle utilizando informações sobre um conjunto de preditores da variável de resultado oriundas de um conjunto de unidades que não foram afetadas pela intervenção (CORSEUIL, 2018).

Outro método de análise de impacto é o Pareamento com Escore de Propensão (*Matching*). Essa ferramenta se assemelha ao MCS, porém atua em várias unidades tratadas, e não apenas uma. O Pareamento com apenas uma variável é muito próximo do MCS. Além disso, no *Matching*, é o pesquisador quem define a estrutura de ponderação; já, no MCS, quem determina essa estrutura é o próprio algoritmo computacional (CORSEUIL, 2018).

Pelos motivos expostos acima, escolheu-se o Método de Controle Sintético para o caso aqui estudado. Portanto, segue-se ao detalhamento da aplicação do MCS para o caso particular deste trabalho.

4.1 O MODELO QUANTITATIVO

Segundo o guia Avaliação de Políticas Públicas (IPEA, 2018), a avaliação de impacto está calcada num conceito particular de causalidade. Para A causar B, é necessário que todos os outros efeitos causadores de B estejam devidamente controlados, para que apenas A reste como o inequívoco causador do fenômeno. No entanto, o mesmo Guia de Avaliação *ex post* aponta: afirmar que determinado resultado é causado por uma política específica não é tarefa estatística trivial. Todavia há estratégias empíricas que podem ser ponderadas para se isolar o efeito de uma dada política da influência de outros fatores sobre os seus indicadores de resultado (IPEA, 2018).

Neste trabalho, optou-se por utilizar o MCS, método desenvolvido por Abadie e Gardeazabal (2003) e, posteriormente, ajustado por Abadie, Diamond e Hainmueller (2010).

O método de controle sintético é utilizado para avaliar o impacto de intervenções que tipicamente ocorrem no nível de unidades agregadas, tais como municípios, estados ou setores de atividade. Como o seu nome indica, o método procura “sintetizar” um grupo de controle que é obtido pela combinação de um conjunto de unidades não afetadas pela intervenção, de forma que a trajetória do indicador de resultado desse grupo sintetizado se assemelhe à trajetória da unidade tratada nos períodos anteriores

à intervenção. Para tanto, o método faz uso de informações do período pré-intervenção da unidade tratada e das unidades não tratadas, incluídas as características observáveis das unidades e do indicador de resultado para o qual se quer estimar o efeito de interesse. Essas informações são então utilizadas para ponderar as unidades não tratadas, a fim de se gerar o paralelismo das trajetórias pré-programa entre a unidade tratada e o grupo de controle sintético. Uma das características do método é a busca por esse paralelismo das tendências de forma explícita e intencional. (IPEA, 2018, p. 275).

No MCS, adaptado a este trabalho, define-se Y_{it}^I como a energia elétrica gerada por fontes eólicas (variável explicada ou dependente) em um país i no período t . Considera-se a intervenção da política iniciando-se no momento T_0 , e Y_{it}^N seria a energia elétrica gerada por fontes eólicas não observável que teria ocorrido caso o país não adotasse tal política, aqui estudada como sendo o leilão específico para contratação de energia eólica. Para a montagem do modelo, utiliza-se amostra com $J+1$ países indexados por i , onde $i = 1$ é o caso de interesse e as unidades $i = 2$ até $i = J + 1$ são as potenciais unidades de comparação. (ABADIE et al., 2010).

Portanto, considera-se que não há políticas de intervenção no período antes de T_0 , ou seja, $Y_{it}^N = Y_{it}^I$ quando $t < T_0$. Assim, o efeito da política intervencionista é dado por $\alpha_{it} = Y_{it}^I - Y_{it}^N$ para $t > T_0$. Assume-se que α é o estimador do controle sintético e que Y_{it}^N segue o modelo dado por:

$$Y_{it}^N = \delta_t + \theta_t Z_i + \lambda_t \mu_i + \epsilon_t \quad (3)$$

onde δ_t é um fator desconhecido constante entre os países, Z_i é um vetor ($r \times 1$) de covariadas observáveis que não são afetadas pela intervenção, θ_t é um vetor ($1 + r$) de parâmetros desconhecidos, λ_t é um vetor ($1 \times F$) de fatores comuns não observáveis, μ_i é um vetor ($F \times 1$) desconhecido que depende do período e ϵ_{it} são choques transitórios não observáveis com média zero. (ABADIE et al., 2010).

Considera-se também $W = (\omega_2, \dots, \omega_{j+1})'$ como um vetor ($J \times 1$) de pesos positivos e que somam 1. Abadie et al. (2010) mostra que, sob condições normais, $Y_{it}^N = \sum_{i=2}^{j+1} \omega_i Y_{it}$. Cada valor do vetor W é um controle sintético em potencial, ou seja, é uma média ponderada das regiões de controle. Supõe-se, dessa feita, que há um vetor de pesos ótimo \widehat{W} que pode replicar as observações pré-intervenção da variável de interesse. Então, pode-se calcular:

$$\alpha_{1t} = Y_{it} - \sum_{i=2}^{j+1} \omega_i Y_{it}, \text{ para } t \geq T_0 \quad (4)$$

Selecionando um vetor W que melhor represente as características da unidade tratada, encontra-se numericamente o estimador alfa do controle sintético. Para isso, define-se X_1 como um vetor ($k \times 1$) contendo os valores das características da unidade tratada no período pré-

intervenção que deseja-se replicar, e que contenha Y e Z. De modo similar, define-se X_0 como uma matriz ($k \times J$) contendo as mesmas características para os países de controle. (ABADIE et al., 2010).

A diferença entre as características pré-intervenção da unidade tratada e do controle sintético é dada por $\|X_1 - X_0W\|$. Então, de modo a criar o controle sintético mais próximo possível da variável de interesse, deve-se escolher então o vetor W^* que minimiza essa distância, com os pesos guardando os requisitos de serem positivos e somando 1 (unidade). O vetor W^* , portanto, minimiza a função:

$$\|X_1 - X_0W\|_v = \sqrt{(X_1 - X_0W)'V(X_1 - X_0W)} \quad (5)$$

Onde V é uma matriz $k \times k$ semidefinida positiva e simétrica.

Tal matriz introduz ao modelo os diferentes pesos de cada uma das covariadas, suas respectivas importâncias relativas na previsibilidade gerada pelo modelo.

Os pesos são expressos pelos elementos da diagonal da matriz, definidos pelo pesquisador ou calculados pelo próprio modelo a partir dos dados de entrada. O restante dos elementos da matriz permanece zerado por se tratar de uma matriz diagonal.

Vale destacar que, para este trabalho, foi escolhida a linguagem de computação estatística R (R Core Team, 2018), por ser ambiente computacional gratuito, de fácil aprendizagem e que permite resultados gráficos adequados à pesquisa em questão. O pacote utilizado foi o Synth.R, o qual realiza, como demonstrado em Abadie A., Diamond A., Hainmueller J. (2011), todo o processo de otimização para a escolha dos pesos das covariadas e dos países, além da escolha do vetor de pesos que melhor combina, simultaneamente, as variáveis de resultado.

Portanto este estudo não define subjetivamente os valores da diagonal da matriz V . Então o Synth, de modo padrão, escolhe os valores de acordo com os dados de entrada usando um método baseado em regressões, como foi proposto por Abadie e Gardeazabal (2003) e Abadie, Diamond e Hainmueller (2010). Nesse processo, o Synth primeiramente encontra o $W^*(V)$ minimizando a equação 4:

$$\min_V (Q_1 - Q_0W^*(V))'(Q_1 - Q_0W^*(V)) \quad (6)$$

Onde Q_1 é definido como um vetor ($T_p \times 1$) contendo os valores da unidade tratada ou explicada (energia elétrica gerada por fontes eólicas), em um determinado período pré-intervenção, Q_0 como uma matriz ($T_p \times J$) contendo as mesmas características para os países de controle e T_p é número de períodos pré-intervenção onde o erro quadrático médio é minimizado, com $1 \leq T_p \leq$

T_0 . De posse do W^* , então ele otimiza a equação 5 para encontrar a matriz V que melhor representa a importância relativa de cada covariada, minimizando o erro quadrático médio da projeção para o período anterior à intervenção. (ABADIE et al., 2010):

$$\min_V \sqrt{(X_1 - X_0W)'V(X_1 - X_0W)} \quad (7)$$

Portanto, o método de controle sintético, apresentado por Abadie e Gardeazabal (2003) e Abadie, Diamond e Hainmueller (2010), tenta solucionar o problema do contrafactual comparando o perfil da variável tratada atingida pelo choque – política ou intervenção – com o perfil do indivíduo sintético criado a partir de diversas regiões observadas. Na definição em Abadie e Gardeazabal (2003) e Abadie, Diamond e Hainmueller (2010), a unidade de controle sintético é uma média ponderada das unidades de controle disponíveis que melhor aproxima as características, inclusive de tendência, da variável tratada antes do tratamento ou intervenção.

4.2 HIPÓTESE DE IDENTIFICAÇÃO E VIÉS DE SELEÇÃO

A hipótese necessária para se obter uma boa estimativa do impacto via Método de Controle Sintético é que não reste nenhuma diferença intrínseca (mesmo em aspectos não observáveis) entre o agente tratado e o seu par sintético. Para este trabalho, considera-se como hipótese que o conjunto de covariadas escolhidas (descritas no capítulo seguinte e no Apêndice) está restrito a variáveis predeterminadas, não afetadas diretamente pelo programa, mas que contribuem otimamente para a predição da variável tratada.

A intenção, contudo, é que a hipótese seja satisfeita e que o país sintético resulte em razoável semelhança com o país tratado antes da intervenção. Já para o período pós-intervenção, tenciona-se que o sintético represente, de forma bem aproximada, a variável escolhida caso o país não tivesse sido tratado. Após otimizado o modelo, esta pesquisa também trabalhou no teste desta hipótese, calculando o erro do sintético em relação ao país real e também utilizando recursos de testes placebos para verificação da robustez do método.

Outra preocupação ao longo do desenvolvimento da pesquisa reside no Viés de Seleção. Ele acontece quando determinada característica dos dados utilizados pode afetar tanto a seleção do beneficiário do programa, quanto os indicadores de resultado. Nessa situação, diferenças encontradas nos resultados poderiam ocorrer devido às características do beneficiário e não devido à política implementada.

A questão central nessa construção [contrafactual] é a seleção do grupo não afetado. O “problema de seleção” ocorre quando os afetados pela intervenção diferem muito dos não afetados. O uso de comparações inapropriadas pode levar a conclusões errôneas. As unidades comparadas devem ser suficientemente similares, evitando que as diferenças de resultado venham simplesmente das disparidades em suas

características. Para isso, utilizamos neste trabalho o método do controle sintético, metodologia estatisticamente robusta... (ROCHA; RAUEN, 2018, p. 20).

O Método escolhido não apenas compara as regiões estudadas, mas também fornece inferência causal. Os autores Abadie, Diamond e Hainmueller (2014) demonstram que o principal obstáculo, conseqüentemente o ponto fulcral do método, para a inferência causal em estudos comparados não é o tamanho reduzido da amostra, mas a ausência de mecanismo explícito que determine como as unidades de comparação são selecionadas. Rocha e Rauen (2018) também concluíram – dos estudos de Abadie et al. – que o cuidado na seleção do grupo de comparação permite a inferência quantitativa precisa nos estudos de caso comparados.

O Método de Controle Sintético implementado aqui utiliza apenas o beneficiário atingido pelo programa (o Brasil), previamente determinado (no caso, a Geração Elétrica por fonte eólica brasileira), o que reduz fonte de viés. Além disso, os países escolhidos como grupo de controle não implementaram a política de leilão específico de energia eólica de larga escala, o que também reduz o viés de seleção. Países que implementaram alguma forma de leilão específico para energia eólica foram excluídos, ou seja, países com políticas *large-scale* que afetam diretamente a geração eólica foram retirados do *pool* de doadores. Ademais, a investigação feita até o momento da edição deste trabalho não identificou políticas de subsídios diretos no setor eólico dos países escolhidos que causassem invalidez estatística do modelo.

Além da intervenção em análise, é possível que haja outros acontecimentos concorrentes que afetem os resultados. Por exemplo, as variáveis de resultado podem ser afetadas pela ocorrência de algum episódio econômico, social ou até mesmo de algum evento da natureza, ou podem simplesmente ser alteradas devido a uma tendência temporal socioeconômica preexistente, ou podem ser impactadas por uma outra intervenção política também em andamento. Em todos esses casos, o papel da avaliação de impacto será o de isolar o resultado que é devido à política sob análise daquilo que é consequência de eventos simultâneos. (IPEA, 2018, p. 264)

Outro instrumento que aumenta a acurácia e precisão do método é a escolha de indicadores diretos para a unidade tratada correlatos à política ou intervenção sob análise. Em outras palavras, a intervenção neste caso é o leilão específico para contratação de energia eólica; portanto, variável tratada (explicada) escolhida foi a geração de energia eólica. Adicionalmente, todas as covariadas (ou variáveis explicativas) do grupo controle foram escolhidas de forma que apresentassem, em certa medida, correlação com a variável tratada, baseando-se no estudo detalhado prévio apresentado nos capítulos iniciais desta dissertação. Passa-se, então, à análise do Contrafactual.

5 O CONTRAFACTUAL: DESCRIÇÃO DOS DADOS E RESULTADOS

Para se entender o que teria ocorrido com a geração de energia eólica na ausência dos leilões específicos para essa fonte, pode-se utilizar a construção de um contrafactual, ou seja, tenta-se criar um Brasil sintético, sem tais intervenções. Para tanto, escolheu-se o Método do Controle Sintético (MCS), instrumento bastante citado em inferência causal com dados não experimentais¹⁵. Posteriormente, o confronto entre o Brasil sintético e o Brasil real permite analisar os efeitos da intervenção e quantificar os resultados desta ação.

A noção de contrafactual é fundamental para se compreender a avaliação de impacto. Para se calcular o impacto de uma política sobre um beneficiário, é preciso observar, ao mesmo tempo, o que aconteceu com ele ao ser atendido pela política e o que teria acontecido se não tivesse participado. A diferença entre o que ocorreu nessas duas situações é o que pode ser considerado como o efeito causado pela política, isto é, o seu impacto. No entanto, não é possível simultaneamente observar ambas as situações. Como não é possível observar diretamente o contrafactual, esse deve ser estimado para se calcular o efeito causal da política pública. (IPEA, 2018, p. 264)

O método é orientado a dados, ou seja, ele compara um conjunto de dados (informações) reais – denominado grupo de tratamento – com outro grupo de variáveis chamado de grupo controle. A premissa é de que a combinação ponderada de dados geralmente fornece melhor comparação para o caso exposto à intervenção do que para o grupo isolado não exposto – afinal, segundo Rocha e Rauen (2018), é muito difícil encontrar uma só realidade que, não tendo passado pela exposição, aproxime as características mais relevantes daquela sob análise.

Já para a definição do conjunto de variáveis que formam o grupo controle, tentou-se escolher aqueles indicadores com maior similaridade possível com o grupo de interesse, ou que exerça influência sobre a variável controle. Com isso, as unidades que compõem o grupo sintético foram selecionadas a partir de informações estudadas e que, de fato, tenham influência ou correlação com a variável de interesse. Conseqüentemente, a abordagem estima a diferença de desempenho da variável sob análise entre o Brasil real e o contrafactual ao longo do período de tratamento, e, então, calcula a medida de impacto da intervenção após esse evento (ROCHA; RAUEN, 2018).

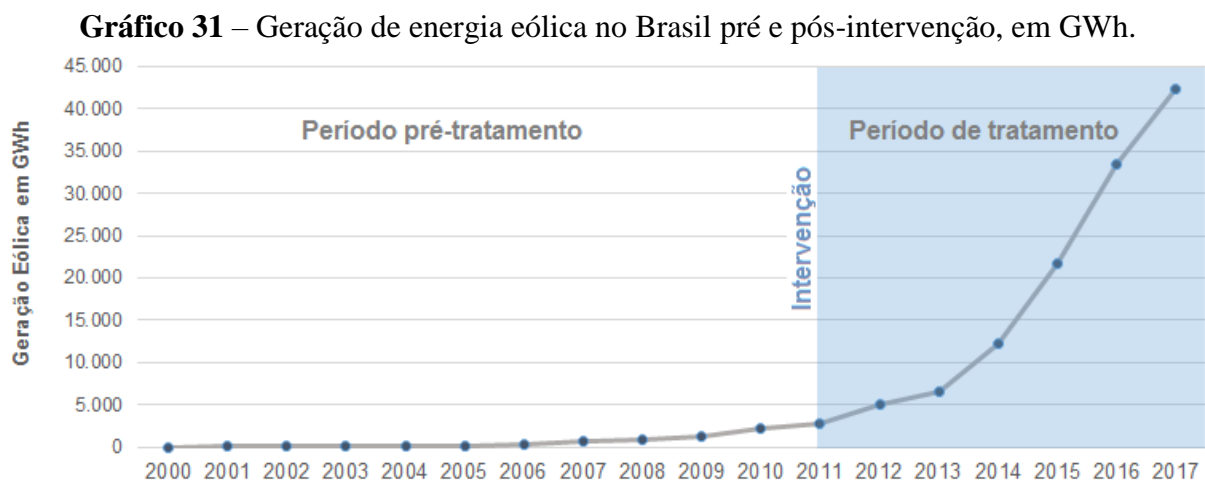
Para a aplicação do MCS, a escolha eficaz dos países como assemelhados é importante para o cálculo do país sintético. Comparações impróprias podem levar a falsa aderência do modelo, por causa de correlações espúrias ou sem sentido econômico, e que então afetariam negativamente a qualidade dos resultados da estimação. (CETIN, 2015).

¹⁵ Método não experimental se refere à abordagem em que os grupos de tratamento e controle não são formados por meio da aleatorização, e sim com os dados disponíveis, únicos.

A intenção é montar o país sintético utilizando países similares¹⁶ ao Brasil, expostos aos mesmos choques externos, especialmente com relação às covariadas escolhidas para ajudar o cálculo da curva sintética antes da intervenção. Para o conjunto de doadores, atentou-se também para a exclusão de países com a mesma intervenção (*large-scale*) que o Brasil, ou políticas artificiais de fomento à geração de energia eólica, como acontece na China, por exemplo, o qual foi excluído.

5.1 VARIÁVEL DE INTERESSE

Como o objetivo é mensurar o impacto da política de leilão específico para energia eólica sobre a geração de energia total dessa fonte, a variável de interesse – variável explicada ou dependente – é a Geração de Energia Eólica total no Brasil, medida em GWh. Ela é composta por todas as usinas de geração eólica registradas no SIN – Sistema Elétrico Interligado Nacional. O gráfico abaixo mostra a evolução da energia gerada desde 2000 até 2016¹⁷. A partir de 2011, é possível perceber crescimento acentuado, o que será o foco da investigação deste trabalho.



Fonte: Elaboração própria (IEA, 2018).

O período estudado vai de 2000 a 2017, sendo 2011 a data da intervenção (início da operação das primeiras usinas eólicas contratadas a partir de 2009) e 2011 a 2017, o período de tratamento. De fato, entre os anos 2000 e 2011 (período pré-tratamento), o crescimento em geração de energia eólica é irrisório comparado ao período de tratamento, entre 2011 e 2017, momento de frequentes leilões eólicos, ano a ano. Dessa feita, ao utilizar o ano de 2011 como o ponto de referência para a intervenção (ao invés de 2009), ganham-se mais dois anos de

¹⁶ A similaridade aqui mencionada refere-se ao setor eólico, ou seja, países que possuem geração eólica, potencial de ventos, número de empreendimentos, etc. da mesma ordem de grandeza do Brasil.

¹⁷ Sítio eletrônico do IEA: <https://www.iea.org/statistics/kwes/supply/>

informação sobre as covariadas, o que ajuda a aumentar a precisão do modelo. Utilizar o ano de 2009 como ponto de intervenção é desnecessário, vez que as usinas contratadas a partir dessa data só entraram em operação em 2011, e a variável tratada é a geração efetiva de energia, e não o potencial de energia eólica.

De posse dessas definições, países que não implementaram leilão específico para energia eólica foram selecionados a compor o *donor pool*, isto é, o conjunto de unidades não tratadas pela intervenção e que servem como potenciais unidades de comparação com a unidade tratada. Além disso, foram excluídas as unidades (países) que não possuem geração eólica ou possuem alguma geração eólica irrisória. Da mesma forma, foram retirados das unidades potenciais os países que apresentavam falha de dados nas variáveis tratadas. Com isso, a lista preliminar de países para formação do *donor pool* contém 26 (vinte e seis) países potenciais.

5.2 COVARIADAS

Este estudo trata de dados em painel (ou dados longitudinais), em que várias unidades amostrais (no caso, países) são acompanhadas por diversas variáveis distribuídas ao longo do tempo. Nesta pesquisa, os dados são não balanceados, ou seja, algumas variáveis, para alguns países, não possuem todos os dados para todos anos do período analisado. Neste caso, o próprio algoritmo desconsidera os valores faltantes, o que não prejudica a rotina para minimizar a função dos pesos mencionada na seção 4.1, que trata sobre o método quantitativo.

Tabela 6 – Atributos das covariadas.

VARIÁVEL DE INTERESSE	Unidade	Base de dados
Geração de energia eólica	GWh	IEA
COVARIADAS	Unidade	Base de dados
Capacidade eólica instalada	MW	IRENA
Crescimento do PIB	%	Banco Mundial
Custo instalado eólico <i>onshore</i>	USD/kW (ref 2010)	IRENA
Energia elétrica total consumida*	TWh	IEA
Fator de capacidade	%	IRENA
Geração hidrelétrica	%	Banco Mundial
Geração renováveis (excluindo hidro)	%	Banco Mundial
Potencial eólico	PWh	Xi Lu et al.
Preço da eletricidade industrial**	USD/kW (ref 2009)	IEA
Renda per capita (log)	USD, 2010	Banco Mundial

* inclui a importação e exclui exportação e perdas técnicas e não técnicas

** inclui tributos

Fonte: Elaboração própria.

As variáveis foram escolhidas com bases em três diretivas principais. Primeiro, o conjunto de variáveis deve representar a Economia Eólica, detalhadamente explicada na seção 3.1. A partir dos estudos realizados sobre o leilão específico de energia eólica, levantou-se um

conjunto seletivo de covariadas que representa fortemente, direta ou indiretamente, a variável de interesse – a Geração Eólica.

A segunda diretiva tem a ver com a disponibilidade da informação. Para cada uma das variáveis escolhidas, tentou-se descobrir bases de dados fidedignas que contivessem valores reais para cada ano, de cada país selecionado. A descrição detalhada de cada variável e da base de dados utilizada neste trabalho pode ser vista no Apêndice.

Por fim, como terceira diretiva, está a quantidade de covariadas escolhida. Sabe-se, pela literatura estudada, com referência principal em Abadie et al. que o número de covariadas não deve ser muito extenso, a ponto de dificultar a convergência do algoritmo MCS¹⁸. Ao todo, após inúmeros testes e percepção da qualidade das bases de dados, assim como valores, atingiu-se o número ótimo de 11 (onze) variáveis, incluindo a variável de interesse. Acima disso, a convergência fica prejudicada; abaixo disso, a curva do país sintético, antes da intervenção, começa a apresentar maior diferença com os valores reais.

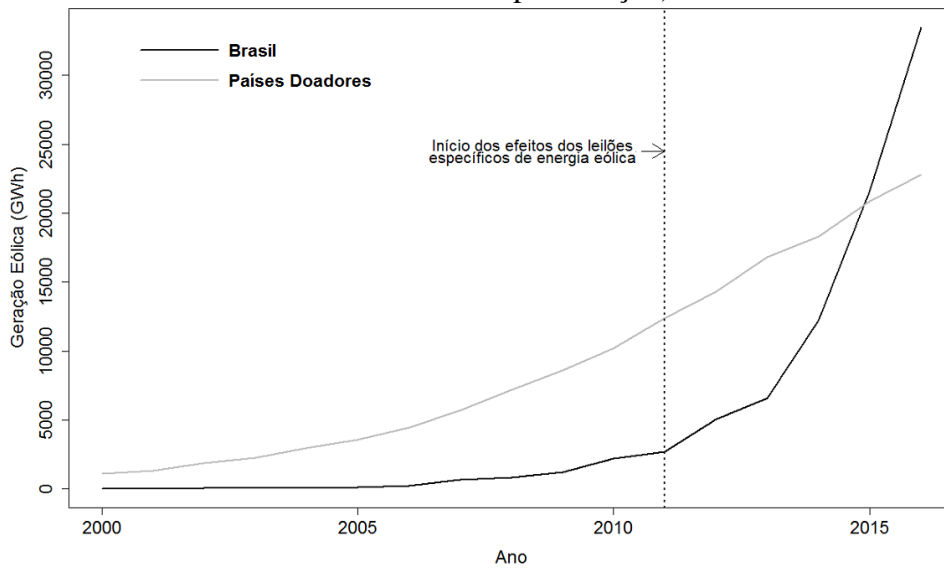
5.3 RESULTADOS

O Gráfico 32 abaixo mostra a evolução da geração de energia eólica no Brasil e no resto dos países doadores. Conforme a figura sugere, a média¹⁹ dos países doadores não provê um grupo de comparação razoável para o estudo dos efeitos dos leilões no Brasil. Mesmo antes da intervenção, a diferença entre as curvas é notável. Nos anos 2000, a diferença na geração eólica entre as duas curvas era pequena e rapidamente elas se tornam bem díspares, voltam a se igualar próximo a 2015, momento em que a curva brasileira se torna superior que a média dos países. Assim sendo, a média sem ponderação não fornece um contrafactual adequado, motivo pelo qual o MCS é utilizado para prover uma forma sistemática para se estimar o contrafactual.

¹⁸ Quando muitas covariadas são inseridas no algoritmo, a probabilidade de divergência aumenta consideravelmente. Para evitar tal dificuldade, deve-se escolher covariadas suficientes, distribuídas entre preditoras comuns (2000 a 2009) e especiais (apenas para alguns anos), de tal forma a permitir que o resultado seja convergente, resultando em menor erro probabilístico entre o país real e o sintético.

¹⁹ Média aritmética sem qualquer ponderação ou pesos.

Gráfico 32 – Evolução da geração de energia eólica: Brasil vs. Países doadores (média aritmética sem ponderação).



Fonte: Elaboração própria.

Como explicado anteriormente, o Brasil sintético foi construído por uma combinação de um subconjunto dos países doadores que mais se aproximam do Brasil real antes dos leilões específicos, nos termos das variáveis preditoras. O resultado é mostrado na tabela a seguir, com os valores das covariadas para o Brasil real, o sintético e a média dos outros países doadores.

Tabela 7 – Médias das preditoras do modelo no período pré-tratamento.

Variáveis	Brasil		Média dos 26 países	Unidade
	Real	Sintético		
Capacidade eólica instalada	331,833	332,995	2590,190	MW
Crescimento do PIB	3,785	3,425	2,373	%
Custo instalado eólico onshore	2400,000	2043,258	2156,231	USD/kW (ref 2010)
Energia elétrica total consumida	387,012	116,616	369,694	TWh
Fator de capacidade	39,000	29,933	26,423	%
Geração hidrelétrica	82,632	60,221	23,945	%
Geração renováveis (excluindo hidro)	3,317	2,333	4,605	%
Potencial eólico	8,000	9,665	12,798	PWh
Preço da eletricidade industrial	0,119	0,116	0,143	USD/kW (ref 2009)
Log(Renda per capita)	3,991	4,070	4,457	USD, 2010

Fonte: Elaboração própria.

Pela Tabela 7, a média dos países pré-selecionados indica que eles não são convenientes para representarem um grupo-controle para o Brasil. Quase todas as variáveis são bem diferentes em valores, comparadas ao Brasil real ou sintético, em particular, nas médias das variáveis “Capacidade eólica instalada” e “Geração hidrelétrica”. Ao contrário, o Brasil sintético reproduz os valores com certa precisão, e.g. “Capacidade eólica instalada”, “Crescimento do PIB”, “Preço”, etc.

Outras variáveis do Sintético, como “Energia elétrica total consumida”, “Fator de capacidade” e “Geração hidrelétrica”, não apresentaram médias muito próximas do país real, sinalizando que tais variáveis não possuem poder de previsibilidade da variável de interesse

(Geração Eólica), portanto, poderiam ser excluídas ou trocadas por outras, a fim de tornar o modelo ainda mais preciso. Todavia, tais variáveis foram mantidas, pois o modelo apresentou robustez desejada mesmo assim.

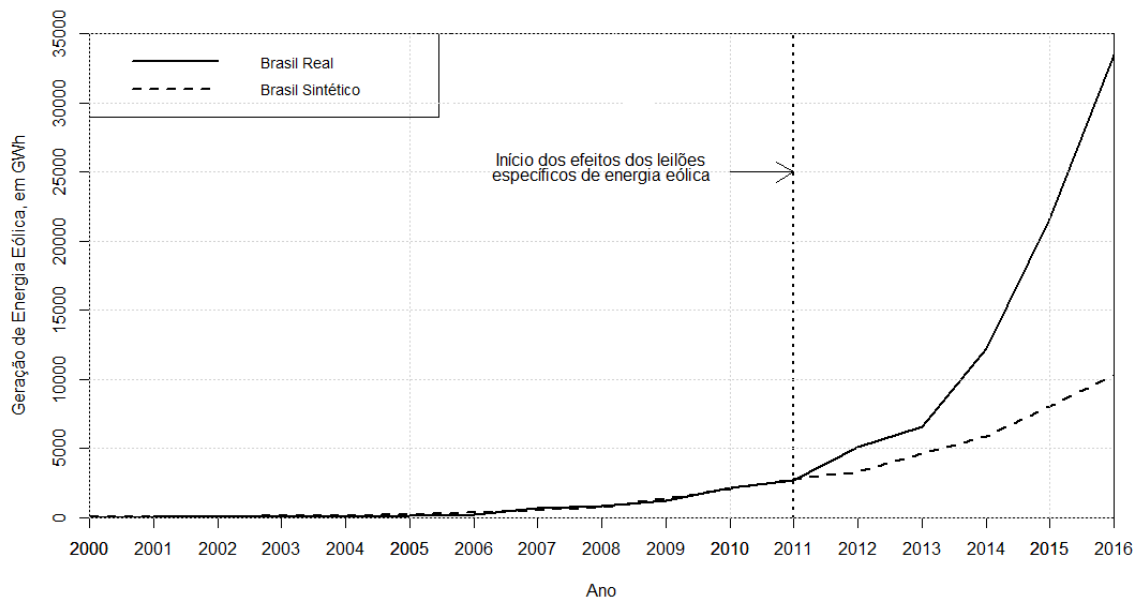
Tabela 8 – Peso dos países no Brasil sintético.

País	Peso	País	Peso
Argentina	0,000	Korea	0,000
Australia	0,000	Mexico	0,000
Austria	0,000	Netherlands	0,000
Canada	0,129	New Zealand	0,000
Chile	0,000	Norway	0,000
Denmark	0,000	Portugal	0,000
Finland	0,000	South Africa	0,000
France	0,000	Spain	0,000
Germany	0,000	Sweden	0,000
Greece	0,000	Turkey	0,299
Ireland	0,000	United Kingdom	0,000
Italy	0,000	United States	0,000
Japan	0,000	Uruguay	0,572

Fonte: Elaboração própria.

A Tabela 8 apresenta o conjunto de países doadores e os respectivos pesos de cada país-controle no Brasil sintético. Os pesos reportados nessa tabela indicam que a Geração Eólica no Brasil, antes da intervenção dos leilões, é melhor reproduzida pela combinação do Canadá (13%), Turquia (30%) e Uruguai (57%). Todos os outros países do *donor pool* foram assinalados com peso zero pelo MCS. Portanto, eles não compõem o país sintético.

Gráfico 33 – Evolução da geração de energia eólica: Brasil vs. Brasil Sintético.



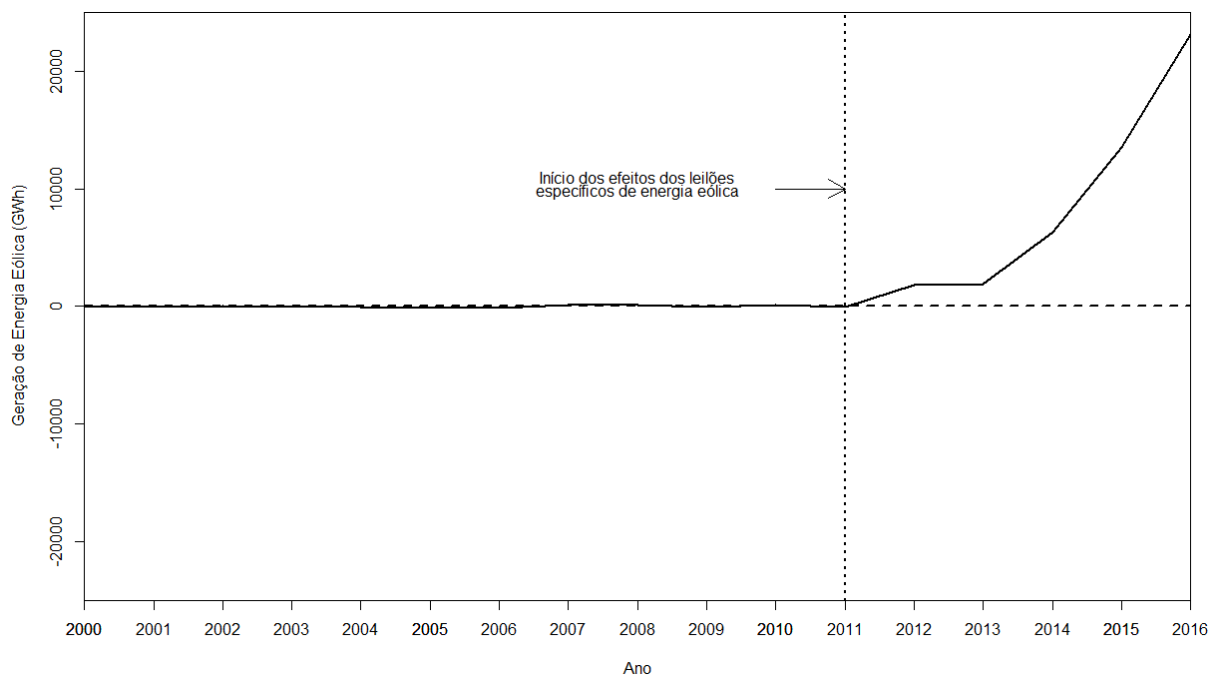
Fonte: Elaboração própria.

O Gráfico 33 mostra a evolução da geração eólica no Brasil e no Sintético durante o período de 2000 a 2016. Percebe-se que, diferentemente da curva da média dos países doadores mostrada no Gráfico 32, aqui o Brasil sintético é muito próximo da trajetória da geração eólica do Brasil real no período pré-intervenção, antes de 2011. No período pós-intervenção, a curva sintética, combinada com os preditores da Tabela 7, proveem aproximação sensível à geração eólica caso a intervenção não houvesse ocorrido.

A estimativa do efeito dos Leilões Específicos de Energia Eólica é a diferença entre as duas curvas do Gráfico 33. Notadamente, após 2011, as curvas se divergem. A geração eólica cresce mais rapidamente que o país sintético, indicando que a política surtiu efeito positivo e crescente, o que condiz com a sequência de leilões anuais pós-2009. Os leilões consecutivos foram agregando usinas à planta brasileira, assim como os despachos de energia pelo ONS foram cada vez mais concomitantes. Portanto, somados os efeitos, a curva tende a um crescimento quase-exponencial.

Construído e executado o programa computacional, foi calculada a geração eólica total do Brasil sintético, em 2016, de 10.314 GWh, enquanto a geração do Brasil real é de, aproximadamente, 33.488 GWh. Portanto, a diferença geracional-eólica, em 2016, encontrada foi de 23.174 GWh. Somando-se todos os acréscimos pós-intervenção, ano a ano, de 2012 a 2016, entre o país real e o sintético, resulta-se num estoque de 46.773 GWh de energia adicionais à matriz brasileira, após a implementação dos leilões.

Gráfico 34 – Diferença entre geração de energia eólica: Brasil vs. Brasil Sintético.



Fonte: Elaboração própria.

O Gráfico 34 mostra, ano a ano, estimativas do impacto dos leilões específicos de energia eólica, ou seja, a diferença entre o Brasil real e o Sintético. A curva sugere que os leilões resultaram em elevado efeito positivo na geração total de energia eólica. Em 2016, por exemplo, o efeito foi mais de 23 mil GWh de energia injetada na matriz brasileira. A título de comparação, o município de São Paulo consumiu 27 mil GWh de energia elétrica em 2017.

Importante observar também que, no período pré-intervenção, a diferença é praticamente zero, indicando que o país sintético, calculado pelo MCS, foi sensivelmente aproximado do país real, com erro muito baixo; ótima modelagem, portanto.

5.4 INFERÊNCIA SOBRE O EFEITO DA INTERVENÇÃO

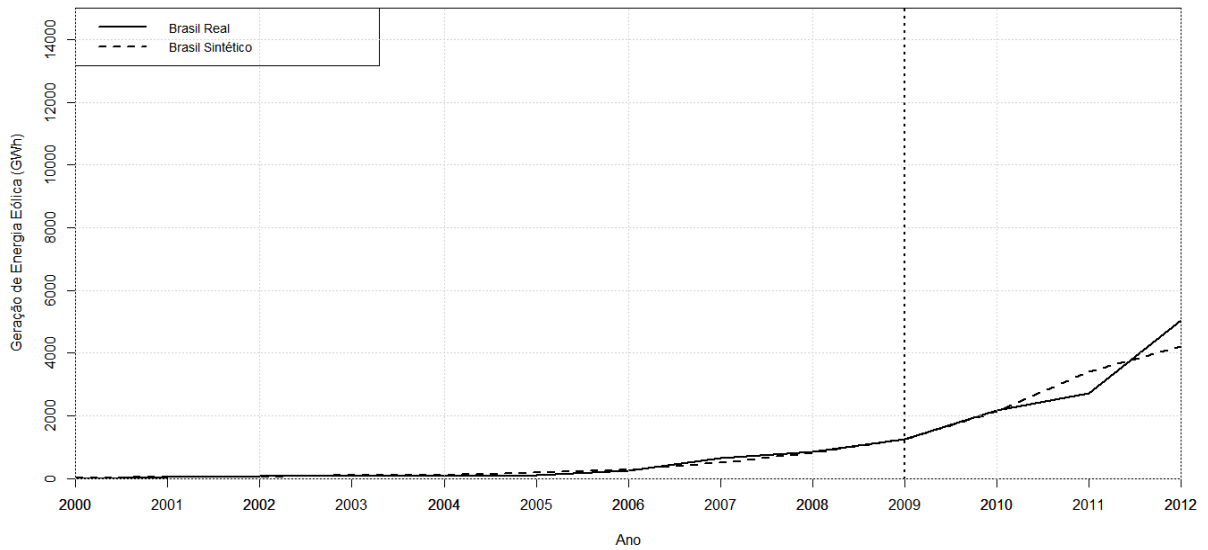
Para se avaliar a significância das estimativas, pode-se questionar se os resultados poderiam ter sido ocasionados inteiramente ao acaso (ABADIE et al., 2010). Seria possível obter tais resultados se fosse escolhido outro país aleatoriamente? Para responder a esta questão, faz-se uso de testes placebos. Similarmente ao estudo de Abadie e Gardeazabal (2003), estudo de robustez foi aplicado ao MCS implementado aqui, tomando como referência outros países que não implementaram a mesma política (*large-scale*) de leilões específicos de energia eólica durante o período de amostragem deste estudo.

Portanto, se os testes placebos mostrarem impactos similares ao brasileiro, então a interpretação analítica deste estudo não provê evidências significativas da positividade da política. Se, por outro lado, os testes placebos indicarem que o impacto estimado para o Brasil é relativamente maior que os outros países que não implementaram a mesma política, então a interpretação é que, realmente, a análise brasileira provê evidência significativa para a positividade da política implementada.

Seguindo o estudo de Abadie, Diamond e Hainmuller (2010), para se calcular a significância das estimativas, é conduzida série de testes placebos aplicando iterativamente o MCS a cada um dos países do *pool* de doadores. Em outras palavras, o teste procede como se cada um dos países tivesse passado pela intervenção, aqui considerado como sendo o leilão específico de energia eólica. Registra-se então cada uma das rotinas de distribuição das estimativas dos impactos.

O primeiro e o mais simples teste placebo é o teste no tempo (*in-time placebo*). Compete a este teste deslocar a referência no tempo, no período antes da intervenção. O algoritmo é rodado como se a política de intervenção fictícia tivesse acontecido antes do período real. Em caso de robustez, espera-se, portanto, que o resultado sintético não indique muita alteração em relação ao Gráfico 33.

Gráfico 35 – Evolução da geração de energia eólica: Brasil vs. Brasil Sintético, com referência fictícia em 2009.

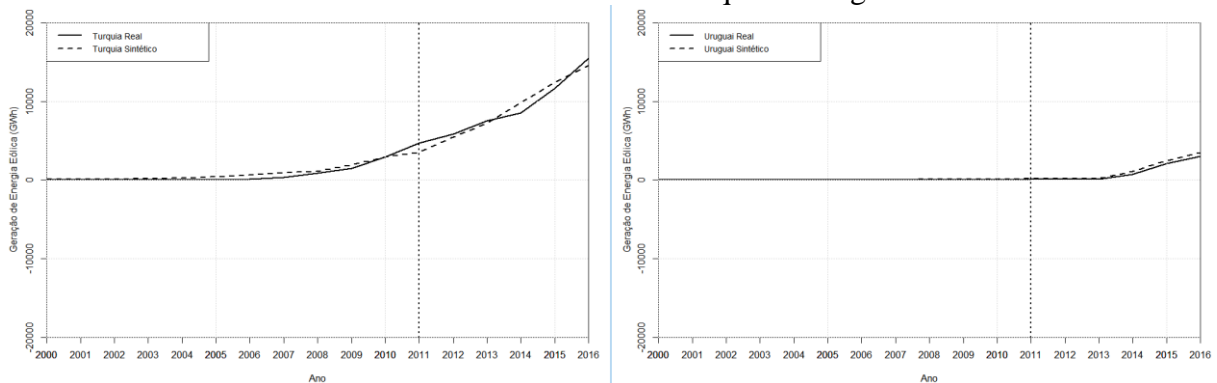


Fonte: Elaboração própria.

O Gráfico 35 mostra que o Brasil Sintético entre o período 2009 a 2011 não divergiu significativamente em relação ao Brasil Real, indicando robustez do modelo. As pequenas diferenças que, porventura, ocorreram se devem à diminuição das amostras do período pré-intervenção, o que resulta em perda natural de precisão do modelo. Em outras palavras, ao se diminuir, de 11 (onze) para 9 (nove) anos, a quantidade de dados que subsidiam o modelo, logicamente, o resultado será menos preciso que o original (Gráfico 33), o qual utilizou onze anos de informação, em relação ao Gráfico 35, o qual utilizou apenas 9 (nove) anos de informação.

Outro caminho para conduzir um teste placebo é executar o modelo para uma unidade de comparação. Deste modo, obtém-se estimativas do controle sintético para países que não experimentaram o evento de interesse. Neste trabalho, optou-se por escolher os dois países que mais representam o Brasil. No caso aqui estudado, o MCS escolheu o Uruguai (57%) e a Turquia (30%) como os dois países que mais minimizam, dentre o *pool* de doadores, a função de pesos.

Gráfico 36 – Evolução da geração de energia eólica para os dois maiores representantes do Brasil: Real vs. Sintético de Turquia e Uruguai.



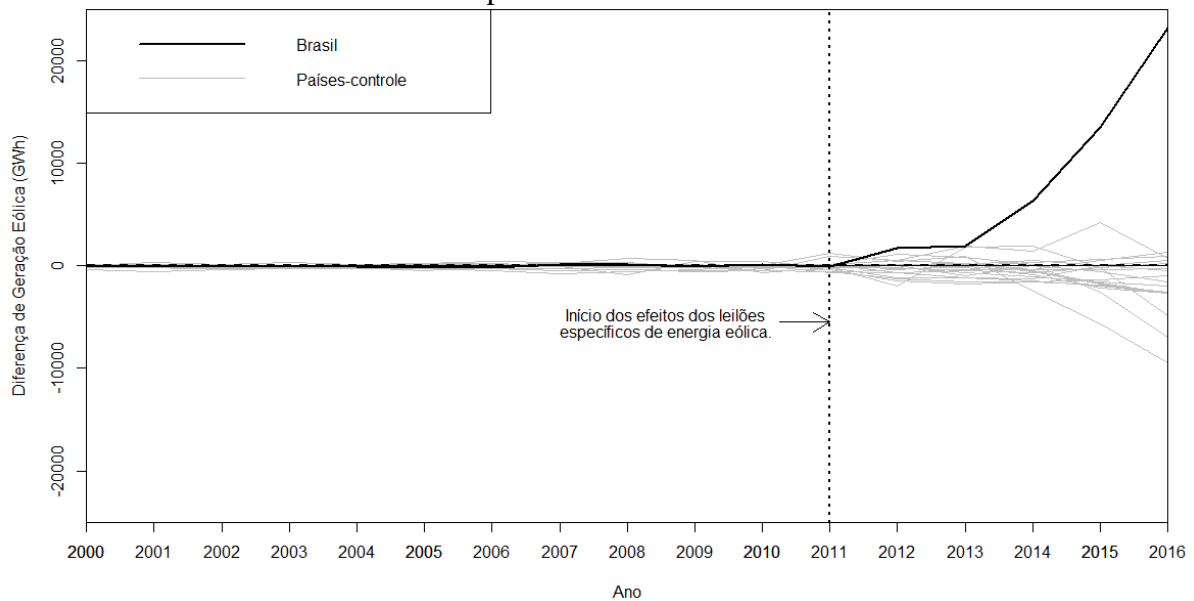
Fonte: Elaboração própria.

Note-se que, ao executar o MCS para Uruguai e Turquia, como estes países não sofreram a intervenção *large-scale* de leilões específicos para contratação de energia eólica, o Método resultou em aproximações bastante razoáveis mesmo após o ano de 2011. Portanto, o Gráfico 36 também comprova a elevada robustez do MCS para as covariadas escolhidas para neste trabalho. Após aquele ano (2011) a curva do país sintético – calculada pelo MCS –acompanha, quase que perfeitamente, os valores reais dos respectivos países, indicando que esses países não apresentaram choques de políticas no período 2000 a 2016.

Outro teste placebo muito utilizado na literatura atual sobre MCS consiste em calcular o método anterior para todos os países do *pool* de doadores. Antes de se dirigir a esse teste, insta conceituar o MSPE, erro quadrático médio de previsão. Ele representa a média dos quadrados das discrepâncias entre a geração eólica do Brasil e sua contraparte sintética durante o período pré-intervenção, ou seja, entre 2000 e 2011. Portanto, quanto menor o MSPE, melhor.

O MCS calcula os MSPEs de todos os países do *pool* de doadores em relação aos respectivos sintéticos. Aqueles países com MSPE extremamente elevado podem ser descartados para o teste placebo, uma vez que o sintético não conseguiu reproduzir minimamente o país com base nos demais doadores. O Gráfico a seguir foi reproduzido excluindo-se os países do *pool* que apresentaram MSPE acima de 40 (quarenta) vezes maior que o país tratado (o Brasil). Com isso, o gráfico abaixo contém o Brasil e mais 19 (dezenove) países do pool.

Gráfico 37 – Diferenças entre geração de energia eólica do Brasil e de cada um dos países do pool de doadores.



Fonte: Elaboração própria.

O Gráfico 37 mostra os resultados do teste placebo. As linhas cinza representam os 19 (dezenove) países do *pool*, a diferença de geração eólica entre cada país do *pool* de doadores e sua respectiva versão sintética. A linha negra é a diferença de geração para o Brasil, em que é evidente a discrepância relativa às outras curvas, indicando que o método sintético aqui aplicado foi bastante significativo para representar a geração eólica caso a intervenção não tivesse ocorrido.

As curvas evidenciam que, a partir de 2011, a política adotada no Brasil realmente resultou em um impacto positivo na geração eólica, comparado aos outros países do conjunto de doadores. A intervenção de 2011 foi realmente um evento “disruptivo” em relação às outras políticas anteriormente adotadas nesse país. De fato, o leilão específico adotado no Brasil causou aumento considerável na geração eólica, diversificando a matriz e, conseqüentemente, aumentando a segurança de disponibilidade energética.

5.5 PONTOS DE ATENÇÃO

Apesar dos ótimos resultados apresentados pelo Método de Controle Sintético, alguns pontos de atenção devem ser destacados. Primeiramente, o problema aqui estudado foi bem delimitado, ou seja, a realização dos leilões específicos de energia eólica foi evento único no país a partir de 2009, e que permaneceram nos anos seguintes, com consecutivos leilões eólicos até 2018. Isso contribuiu para a boa definição e isolamento do problema e seus efeitos.

Outro ponto importante foi o estabelecimento das covariadas. Esse conjunto de indicadores foram definidos após largo estudo econômico do setor eólico. Os 10 (dez) itens listados na Tabela 7 tinham relação direta com a geração de energia eólica. Neste ponto, insta observar dificuldade em localizar bancos de dados capazes de oferecer todos os indicadores, para todos os anos de análises, para todos os países doadores. Indicadores econômicos são mais fáceis de obter, com bases mais confiáveis. No entanto, indicadores mais técnicos, como aqueles do setor eólico, são mais específicos e, portanto, necessitam de maior investigação, a fim de se obter fontes mais confiáveis.

Quanto aos recursos computacionais, o modelo em R se mostrou rápido e eficiente, no entanto, exige elevado conhecimento tanto em programação de algoritmos, quanto do modelo matemático que fundamenta o MCS. Uma das dificuldades enfrentadas neste trabalho foi a manipulação das matrizes de dados. Sabe-se que o MCS utiliza o cálculo da matriz inversa para minimizar a função do contrafactual. Sabe-se também que, para o cálculo da matriz inversa, a matriz original deve ser “bem comportada”, ou seja, não deve apresentar elementos muito díspares da maioria dos números que compõem a matriz. Todavia, o período de análise deste trabalho envolveu o ano de 2009, momento em que muitos países apresentaram drásticas rupturas nos seus indicadores econômicos, logo após a crise financeira iniciada nos EUA em 2008. Particularmente, o país doador Finlândia apresentou, em 2009, um valor negativo de - 8,27% no crescimento do PIB, valor esse bem disperso dos demais anos deste país, o que prejudicou a execução regular do algoritmo, mais especificamente no cálculo da matriz inversa. Isso foi tratado anulando-se o valor de 2009, apenas para a covariada “crescimento do PIB” daquele país (Finlândia), sem prejuízo para a qualidade e precisão dos resultados. Para os demais países, o algoritmo não apresentou qualquer advertência ou restrição (*warning*).

Por fim, cabe ressaltar a atenção dispensada à correta escolha dos países para o *pool* de doadores. Conforme comentado aqui neste trabalho, foi necessário estudar minimamente o setor eólico-energético de cada um deles, a fim de se excluir aqueles países que, primeiro, apresentaram alguma política similar à brasileira; segundo, excluir aqueles que possuem alguma política *large-scale* de subsídios que pudesse invalidar a análise do resultado do MCS. Aqui é importante ressaltar a limitação quanto à literatura disponível sobre as normas de contratação de energia eólica nos países estudados.

Dessa feita, os testes placebos apontam para a rejeição da hipótese nula, isto é, a política de leilões específicos para a contratação de energia eólica, a partir de 2009, foi um fato “disruptivo”, que iniciou, de fato, um novo caminho para a geração brasileira de energia eólica,

diferentemente dos países aqui utilizados como doadores; e que resultou em aumento considerável da fonte eólica na matriz energética brasileira.

Em relação às perguntas levantadas na introdução deste trabalho, os resultados do MCS comprovam que a política de leilões exclusivos eólicos foi sucesso no aumento da geração eólica, proporcionando diversificação da matriz e economia dos reservatórios das usinas hidráulicas, conseqüentemente, dando mais segurança ao SIN.

6 CONCLUSÃO

Em 2009, após atrasos na obtenção de licenciamento da hidrelétrica de Belo Monte, o Governo achou oportuno o momento de realizar o primeiro leilão para contratação de energia eólica para garantia da segurança do abastecimento nacional e diversificação da matriz energética. Era um momento de razoável maturidade dos empreendimentos eólicos, boa capacidade instalada de aerogeradores e excelente potencial eólico ao longo de quase toda a costa brasileira. Eram os motivos necessários para se apostar no desenvolvimento do setor eólico nacional. E essa aposta foi realizada através dos leilões específicos de energia eólica.

Ao realizar leilões exclusivos e concomitantes para fonte eólica, o Governo favoreceu a competição entre os usineiros eólicos, principalmente de 2009 a 2013, resultando em preços contratados bem menores que o preço teto, fomentando ainda mais os investimentos nos anos seguintes. Num sentido pró-cíclico, os leilões específicos, em certa medida, deram segurança aos usineiros eólicos de que sua energia seria contratada, o que não ocorria antes de 2009, uma vez que os preços e potenciais da energia hidráulica sempre foram mais competitivos. Em meados de 2013, o preço médio dos leilões exclusivos subiu gradualmente até se igualar ao preço teto, apontando para uma estabilização do valor.

Cabe ressaltar o papel fundamental das políticas secundárias pré-2009 que contribuíram para o aumento da capacidade instalada, atração de fabricantes de componentes, créditos financeiros para empresas renováveis, enfim, todas as políticas que, direta ou indiretamente, fomentaram o setor eólico culminando na decisão do Poder Concedente em realizar o primeiro leilão específico para fonte eólica.

Como uma espécie de reserva de mercado, os leilões exclusivos eólicos foram a sinalização governamental de que haveria contratos futuros para investidores eólicos. O apontamento para a diminuição do risco do investimento levou a iniciativa privada a inúmeros projetos, é claro, aproveitando um enorme potencial eólico brasileiro ainda inexplorado. O alto índice de nacionalização de equipamentos, crédito do BNDES e uma estratégia bem clara do Governo em diversificar a matriz energética brasileira auxiliaram os leilões consecutivos a desencadear – e canalizar – o fluxo de investimentos do setor privado para a produção de energia eólica. Os contratos de longo prazo permitiram a construção de novas usinas, intensivas em capital, e os reservatórios hidrelétricos começaram a ser poupados. Era a segurança de abastecimento que o Governo desejava.

Nesse cenário, o objetivo aqui foi construir o modelo sintético que pudesse replicar o comportamento da geração total de energia eólica, caso a política de leilões específicos a partir

de 2009 não tivesse existido, para que então fosse possível inferir em conclusões sobre a eficácia – ou num sentido mais amplo, a efetividade – dessa política no desenvolvimento do setor eólico e, conseqüentemente, na matriz energética brasileira.

No âmbito quantitativo, este estudo apresenta evidências do impacto positivo dos leilões exclusivos eólicos na geração total de energia desta fonte alternativa. O Modelo utilizado aqui mostra que a geração eólica total do Brasil aumentou em 23.174 GWh, 5 (cinco) anos após o início de operação das primeiras usinas leiloadas em 2009. Em 2016, o Brasil real gerou aproximadamente 33.488 GWh, enquanto o país sintético indicou geração de 10.314 GWh, caso o país não houvesse realizado os leilões específicos de energia eólica, ou seja, os leilões específicos provocaram geração real 3 (três) vezes maior. Ao todo, somando-se todos os acréscimos, de 2011 a 2016, resultam num estoque de 46.773 GWh adicionais à matriz brasileira, após a implementação dos leilões. A política, portanto, foi efetiva e alcançou a efetividade naquilo que se propunha.

Ademais, cabe destacar que as conclusões deste estudo não esgotam o assunto. Um desdobramento desta pesquisa permitiria investigar novas covariadas que pudessem representar ainda melhor a geração eólica. O estado da arte seria a redução do número de covariadas de 11 (onze) para, talvez, 5 (cinco) delas que pudessem representar a geração eólica total brasileira ainda com mais precisão, em relação àquelas apresentadas aqui nesta pesquisa. O número próximo de 5 (cinco) facilitaria a reprodução do sintético, obtenção de banco de dados, acompanhamento do setor eólico nos próximos anos.

Embora o foco aqui seja a geração de energia eólica – e não a comprovação da Teoria de Demsetz ou Williamson –, o método aplicado neste trabalho, além de ter permitido maior entendimento sobre a conexão entre regulação de mercado e leilões concorrenciais, pode também ser utilizado para investigar o efeito de leilões específicos para outras fontes de energia, por exemplo, solar, biomassa e outras que vierem a surgir. A evolução da energia solar, por exemplo, segue um ciclo bem parecido com o setor eólico nos anos 2000. Em 2014 ocorreu o primeiro leilão específico de energia solar. De lá para cá, novos leilões aconteceram, o que fomentou a construção de novas fazendas solares. O setor fotovoltaico também é uma oportunidade para o MCS indicar o impacto da política de leilão exclusivo.

Por fim, o mesmo método – MCS –, ao identificar os países e respectivos pesos que reproduzem ou sintetizam o Brasil na geração de energia eólica, pode contribuir na análise *ex ante* de políticas para despacho mais eficiente de usinas elétricas, predição de geração adicional de fontes alternativas, estimativas de estoque energético e até economia dos recursos hídricos em reservatórios de usinas hidrelétricas.

Referências Bibliográficas

ABADIE, A.; DIAMOND, A.; HAINMUELLER, J. **Comparative Politics and the Synthetic Control Method**. MIT Political Science Department Research Paper N. 2011-25, 2011.

ABADIE, A.; DIAMOND, A.; HAINMUELLER, J. **Synthetic Control Methods for Comparative Case Studies: Estimating the Effect of California's Tobacco Control Program**. Journal of the American Statistical Association, v. 105, n. 490, 2010.

ABADIE, A.; GARDEAZABAL, J. **The Economic Costs of Conflict: A Case Study of the Basque Country**. American Economic Review, n. 93, p. 112–132, 2003.

ABRACEEL. **Ampliação do Mercado Livre de Energia Elétrica**. 2017. Disponível em: http://www.abraceel.com.br/archives/files/Abertura_do_Mercado_PSR_Abraceel_4Mai2017.pdf. Acesso em 28 jun. 2019.

AMARAL, Bianca Mesquita. **Modelos VARX para Geração de Cenários de Vento e Vazão Aplicados à Comercialização de Energia**. Rio de Janeiro: PUC, 2011. 150 p. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica) – Departamento de Engenharia Elétrica, PUC-Rio, 2011.

AMARANTE, O. A. C., SCHULTZ, D. J., BITTENCOURT, R. M. e ROCHA, N. A. **Wind/Hydro Complementary Seasonal Regimes in Brazil**. DEWI Magazine, v. 19, pp. 79-86, 2001a.

AMARANTE, Odilon Antônio Camargo et al. **Atlas do Potencial Eólico Brasileiro**, 2001. Disponível em: < http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/atlas_eolico/Atlas%20do%20Potencial%20Eolico%20Brasileiro.pdf>. Acesso em 14 fev. 2019.

ANEEL. **Entendendo a Tarifa: como é composta a tarifa**. SGT, 2017. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/entendendo-a-tarifa/-/asset_publisher/uQ5pCGhnyj0y/content/composicao-da-tarifa/654800?inheritRedirect=false&redirect=http%3A%2F%2Fwww.aneel.gov.br%2Fentendendo-a-tarifa%3Fp_p_id%3D101_INSTANCE_uQ5pCGhnyj0y%26p_p_lifecycle%3D0%26p_p_state%3Dnormal%26p_p_mode%3Dview%26p_p_col_id%3Dcolumn-2%26p_p_col_pos%3D1%26p_p_col_count%3D2>. Acesso em: 28 fev. 2019.

ANEEL. **Observatório Tarifário**. 2019. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/observatorio-tarifario>>. Acesso em: 28 mar. 2019.

ANEEL. **Regulação dos Serviços de Distribuição**. Disponível em: < <http://www.aneel.gov.br/regulacao-da-distribuicao>>. Acesso em: 11 de fev. 2019.

BITTENCOURT, R. M.; AMARANTE, O. C.; SCHULTZ, D. J. **Estabilização sazonal da oferta de energia através da complementaridade entre os regimes hidrológico e eólico**. In: Seminário nacional de produção e transmissão de energia elétrica - SNPTEE, 15, 1999. Foz do Iguaçu: anais, 1999, GLP-17.

BNDES. **Regras para o credenciamento e financiamento de aerogeradores - BNDES**. 2012. Disponível em: <http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/bndes/bndes_pt/Ferramentas_e_Nor>

mas/Credenciamento_de_Equipamentos/credenciamento_aerogeradores.html>. Acesso em: 1 fev. 2016.

BRASIL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução n. 482, de 2012**. Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/biblioteca/index.cfm>>. Acesso em: 10 fev. 2019.

BRASIL. **Boletim Mensal de Monitoramento do Sistema Elétrico Brasileiro**. Brasília: Ministério de Minas e Energia, mai. 2019. Mensal. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/web/guest/secretarias/energia-eletrica/publicacoes/boletim-de-monitoramento-do-sistema-eletrico/boletins-2019>>. Acesso em: 24 jul 2019.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução nº 462, de 2014**. Estabelece procedimentos para o licenciamento ambiental de empreendimentos de geração de energia elétrica a partir de fonte eólica em superfície terrestre. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=703>>. Acesso em: 23 fev. 2019.

BRASIL. **Convênio ICMS 101/97**. CONFAZ. Concede isenção do ICMS nas operações com equipamentos e componentes para o aproveitamento das energias solar e eólica. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. 18 dez. 1997, Sec. 1, p. 174.

BRASIL. **Decreto nº 7.246, de 28 de julho de 2010**. Dispõe sobre a fixação dos níveis das tarifas para o serviço público de energia elétrica e extingue o regime de remuneração garantida. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L8631.htm>. Acesso em: 16 fev. 2019.

BRASIL. **Lei n. 10.848, de 15 de março de 2004**. Dispõe sobre a comercialização de energia elétrica. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2004-2006/2004/Lei/L10.848.htm>. Acesso em: 10 fev. 2019.

BRASIL. **Lei n. 8.631, de 4 de março de 1993**. Dispõe sobre a comercialização de energia elétrica. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2004-2006/2004/Lei/L10.848.htm>. Acesso em: 10 fev. 2019.

BRASIL. **Lei n. 9.427, de 26 de dezembro de 1996**. Institui a Aneel e disciplina o regime das concessões de serviços públicos de energia elétrica. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9427cons.htm>. Acesso em: 10 fev. 2019.

BRASIL. **Lei no 10.438, de 26 de abril de 2002**. Dispõe sobre a expansão da oferta de energia elétrica emergencial, recomposição tarifária extraordinária, cria o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (Proinfa), a Conta de Desenvolvimento Energético (CDE), dispõe sobre a universalização do serviço público de energia elétrica, dá nova redação às Leis no 9.427, de 26 de dezembro de 1996, no 9.648, de 27 de maio de 1998, no 3.890-A, de 25 de abril de 1961, no 5.655, de 20 de maio de 1971, no 5.899, de 5 de julho de 1973, no 9.991, de 24 de julho de 2000, e dá outras providências. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. de Abril de 2002, Sec. 1, p. 2.

BRASIL. **Lei no 10.762, de 11 de Novembro de 2003**. Dispõe sobre a criação do Programa Emergencial e Excepcional de Apoio às Concessionárias de Serviços Públicos de Distribuição

de Energia Elétrica, altera as Leis no 8.631, de 4 de março de 1993, 9.427, de 26 de dezembro de 1996, 10.438, de 26 de abril de 2002, e dá outras providências. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. 11 dez. 2003, Sec. 1, p. 127.

BRASIL. **Lei no 11.488, de 15 de Junho de 2007.** Cria o Regime Especial de Incentivos para o Desenvolvimento da Infra-Estrutura - REIDI; e dá outras providências. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. 15 jun. 2007, Sec. 1, p. 2.

BRASIL. **Lei nº 11.488, de 15 de junho de 2007.** Cria o Regime Especial de Incentivos para o Desenvolvimento da Infraestrutura – REIDI. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2007/Lei/L11488.htm>. Acesso em: 11 abr. 2019.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Plano Nacional de Energia 2030** / Ministério de Minas e Energia; colaboração Empresa de Pesquisa Energética. Volume 9, Outras Fontes. Brasília: MME: EPE, 2007. 12 v.: il. Disponível em: < <http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Plano-Nacional-de-Energia-PNE-2030>>. Acesso em: 22 fev. 2019.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Mundo-Capacidade Instalada de Geração.** p. 8–11, 2017. Disponível em: < <http://www.mme.gov.br/documents/10584/3580498/09+-+Capacidade+Instalada+de+Gera%C3%A7%C3%A3o+EI%C3%A9trica+-+ano+ref.+2016+%28PDF%29/ef977c63-24e2-459f-9e5b-dd2c67358633;jsessionid=E771C31AC8C293339D02919A5D95A2C6.srv155%3E.%20CNI.%20Implica%C3%A7%C3%B5es%20da%20CO2%20para%20o%20setor%20el%C3%A9trico.%20p.%20202,%202017>>. Acesso em: 14 fev. 2019.

BRASIL. **Portaria nº 45, de 30 de março de 2004.** Ministério de Minas e Energia. Chamada Pública para compra de energia elétrica no âmbito do PROINFA. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. de abril de 2004, Sec. 1, p. 53.

BRASIL. **Resolução nº 24, de 5 de Julho de 2001.** Câmara de Gestão da Crise de Energia Elétrica. Fica criado o Programa Emergencial de Energia Eólica - PROEÓLICA no território nacional. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. 6 jul. 2001, Sec. 1, p. 5.

BRASIL-MME. Ministério de Minas e Energia. **Energia Eólica no Brasil e Mundo.** Folder Energia Eólica, 2017. Disponível em: < <http://www.mme.gov.br/documents/10584/3580498/15+-+Energia+E%C3%B3lica+-+Brasil+e+Mundo+-+ano+ref.+2016+%28PDF%29+-+NOVO/f63a15ea-9d2c-4d27-9400-5d7c3fd97b22?version%20=%201.4>>. Acesso em: 22 fev. 2019.

CCEE. **InfoLeilão Dinâmico.** Boletim informativo mensal referente ao resultado consolidado dos leilões realizados pela CCEE. 2018. Disponível em: <https://www.ccee.org.br/portal/faces/pages_publico/o-que-fazemos/infomercado/info_leilao_dinamico?contentId=CCEE_640328&_afLoop=366458203901326&_adf.ctrl-state=1cborc4v2e_510#!%40%40%3F_afLoop%3D366458203901326%26contentId%3DCCEE_640328%26_adf.ctrl-state%3D1cborc4v2e_514>. Acesso em: 26 jul. 2019.

CCEE. **InfoMercado Semanal** - 197 - 1ª Edição - Janeiro/2019. Disponível em: <https://www.ccee.org.br/portal/faces/pages_publico/o-que-fazemos/infomercado/info_mercado_interativo?contentId=CCEE_644907&_adf.ctrl-state=9pgqi6lqn_100&_afLoop=57980>

139500983#!%40%40%3F_afrLoop%3D57980139500983%26contentId%3DCCEE_644907%26_adf.ctrl-state%3D9pgqi6lqn_104>. Acesso em: 16 fev. 2019.

CCS. Global CCS Institute. **Wind power capital costs**. Australia: Publicação, 2012. Disponível em: <https://hub.globalccsinstitute.com/publications/renewable-power-generation-costs-2012-overview/41-wind-power-capital-costs>. Acesso em: 25 fev. 2019.

CETIN, P. D. **Eficácia das Estratégias de Comunicação das Intervenções Cambiais Praticadas pelo Banco Central do Brasil em 2013: Comparação Utilizando o Método de Controle Sintético**. 2015. 43 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Economia) – Instituto de Ensino e Pesquisa – Insper, São Paulo, 2015.

CNI. **Implicações da COP21 para o setor elétrico**. p. 202. Brasília, 2017. Disponível em: <<http://www.portaldaindustria.com.br/publicacoes/2017/11/implicacoes-da-cop-21-para-o-setor-eletrico/>>. Acesso em: 22 abr. 2019.

CORSEUIL, Carlos Henrique. Curso: Avaliação de Políticas Públicas: Aula 7, 7 de nov. de 2018. 27 f. Notas de Aula. Ipea.

DE CASTRO, Nivalde et al. **As tarifas de energia elétrica no Brasil e em outros países: o porquê das diferenças**. Rio de Janeiro: Ed. Fábrica de Livros, 2017. 257 p.

DEMSETZ, Harold. **Why Regulate Utilities?** Journal of Law and Economics, v. 11, n. 1. Abr. 1968.

DINIZ, Tiago Barbosa. Expansão da Indústria de Geração Eólica no Brasil: uma análise à luz da nova economia das instituições. **Revista Ipea: planejamento e políticas públicas**. Brasília, n. 50, 2018. Disponível em: <<http://www.ipea.gov.br/ppp/index.php/PPP/article/view/864>>. Acesso em: 26 jul. 2019.

E. GUARNIER et al. **Análise estruturada de mecanismos para mitigação dos riscos de comercialização de usinas eólicas alocadas no mercado livre**. XXIII SNPTEE — Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica. 2015.

EIA. **Electric generator capacity factors vary widely across the world**. Today in Energy - U.S. Energy Information Administration (EIA), 2015. Disponível em: <<https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=22832>>. Acesso em: 23 fev. 2019.

ELECTRICITY AUTHORITY. **Electricity in New Zealand**. Wellington, 2018. Disponível em: <<https://www.ea.govt.nz/about-us/media-and-publications/electricity-nz/>>. Acesso em: 14 abr. 2019.

EPE. **Anuário Estatístico de Energia Elétrica (2017, ano base 2016)**. Empresa de Pesquisa Energética. Rio de Janeiro. 2017. Disponível em: <<http://epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/anuario-estatistico-de-energia-eletrica>>. Acesso em: 22 mar. 2019.

EPE. **Energia renovável: hidráulica, biomassa, eólica, solar e oceânica**. Empresa de Pesquisa Energética. Maurício Tiomno Tolmasquim (coord.) Rio de Janeiro. 2016. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/livro-sobre-energia-renovavel-hidraulica-biomassa-eolica-solar-oceanica>>. Acesso em: 18 fev. 2019.

EPE. **Expansão da Geração**. Empresa de Pesquisa Energética. Rio de Janeiro. 2019. Disponível em: <<http://epe.gov.br/pt/areas-de-atuacao/energia-eletrica/expansao-da-geracao>>. Acesso em: 17 mai. 2019.

EPE. **Participação de Empreendimentos Eólicos nos Leilões de Energia no Brasil**. Evolução dos projetos cadastrados e suas características técnicas. Empresa de Pesquisa Energética. Brasília. 2018. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-251/topico-394/NT_EPE-DEE-NT-041_2018-r0.pdf>. Acesso em: 21 jul. 2019.

EPE/ONS. **Projeção de demanda de energia elétrica para os próximos 10 anos (2017-2026)**. Estudos de Demanda. Nota Técnica DEA 001/17. EPE: Rio de Janeiro, 2017. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes>>. Acesso em: 25 mar. 2019.

ePowerBay. **Leilão A-6 2018 – Resultados**. Disponível em: <<https://www.epowerbay.com/single-post/2018/08/31/LEILAO-A-6-2018---RESULTADOS>>. Acesso em: 26 jul. 2019.

FERREIRA, Welinton Conte. **Política de conteúdo local e energia eólica: a experiência brasileira**. Niterói: UFF, 2017. 286 f. Tese (Doutorado em Ciências Econômicas) – Departamento de Ciências Econômicas, Faculdade de Economia, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2017.

FIRJAN. **Quanto custa a energia elétrica para a indústria no Brasil?**. Estudos para o Desenvolvimento do Estado do Rio de Janeiro. Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: Sistema Firjan, 2011.

FURTADO, Marcelo de Camargo. **Avaliação das oportunidades de comercialização de novas fontes de energias renováveis no Brasil**. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo: USP, 2010. 126 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Departamento de Sistemas de Potência. USP, 2010.

GASTALDO, Marcelo Machado; BERGER, Pablo. **Modelos regulatórios estrangeiros circunscritos ao setor elétrico**. Revista O Setor Elétrico: Direito em Energia Elétrica. V. 1, n. 2009. Disponível em: <<https://www.osetoreletrico.com.br/edicoes-eletronicas/>>. Acesso em: 27 mar. 2019.

HORDESKI, M. F.; DEKKER, M. **New Technologies for Energy Efficiency**. Library of Congress Cataloging-in-Publication Data. [S.l.: s.n.], 2003.

HUMMLER, Ramón Fiestas. **Análise do Marco Regulatório para Geração Eólica no Brasil**. 2011. Disponível em: <<https://gwec.net/publications/country-reports/analysis-regulatory-framework-brazil/>>. Acesso em: 07 de abr. 2019.

IEA. **Electricity generation from renewables by source**. 2018. Disponível em: <<https://www.iea.org/statistics/?country=WORLD&year=2016&category=Renewables&indicator=RenewGenBySource&mode=chart&dataTable=RENEWABLES>>. Acesso em: 11 de fev. 2019.

IEA. **Electricity Total final consumption by sector, Mtoe**. 2019. Disponível em: < <https://www.iea.org/statistics/kwes/consumption/>>. Acesso em: 11 de fev. 2019.

IEA. **Key world energy statistics**. 2018. Disponível em:< <https://webstore.iea.org/key-world-energy-statistics-2018>>. Acesso em: 18 abr 2019.

INSTITUTO ACENDE BRASIL. **Estudo sobre a Carga Tributária & Encargos do setor elétrico brasileiro**: Período-base 2016 e 2017. São Paulo: PWC, 2018. Disponível em: <http://acendebrasil.com.br/media/estudos/20161031_TributoEncargos_SetorEletrico_AcendePrice_AnoBase2015_Rev_4.pdf>. Acesso em: 23 mar. 2019.

IPEA. Presidência da República. **Avaliação de Políticas Públicas. Guia prático de análise *ex post***. Volume 2. Brasília, DF, 2018.

KELMAN, Jerson. **Atlas de Energia do Brasil**. 3ª edição. [S.l: s.n.], 2008. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/arquivos/PDF/atlas3ed.pdf>>. Acesso em 14 fev. 2019.

KELMAN, Jerson. **Atlas de Energia do Brasil, 3a edição**. [S.l: s.n.], 2005. Disponível em: < http://www.aneel.gov.br/documents/656835/14876406/2005_AtlasEnergiaEletricaBrasil2ed/06b7ec52-e2de-48e7-f8be-1a39c785fc8b >. Acesso em 14 fev. 2019.

KELMAN, Jerson. **Atlas de Energia do Brasil**, 3a edição. [S.l: s.n.], 2008. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/arquivos/PDF/atlas3ed.pdf>>. Acesso em 14 fev. 2019.

KURSUNOGLU, B. N.; MINTZ, S. L.; PERLMUTTER, A. **Economics and Politics of Energy**. Proceedings of the International Conference on Economics and Politics of Energy, held November 27-29, 1995, in Miami Beach, Florida.

LIMA, Alex Felipe Rodrigues; SACHSIDA, Adolfo; BARBOSA DE LIMA, George. **Uma Análise Econométrica do Regime Especial de Incentivos para Desenvolvimento da Infraestrutura (REIDI)**. Políticas Públicas: avaliando mais de meio trilhão de reais em gastos públicos/Organizador: Adolfo Sachside. Brasília: Ipea, 2018, 595 p. Disponível em:< http://www.ipea.gov.br/portal/index.php?option=com_content&view=article&id=34343&Itemid=433>. Acesso em: 14 abr. 2019.

LOSEKANN, Luciano; HALLACK, Michelle. **Novas Energias Renováveis no Brasil: Desafios e Oportunidades**. Desafios da nação: artigos de apoio, volume 2 / organizadores: João Alberto De Negri, Bruno César Araújo, Ricardo Bacelette. Brasília, v. 2, p. 678, 2018. Disponível em:< <http://repositorio.ipea.gov.br/handle/11058/8325>>. Acesso em: 07 abr. 2019.

MATHEW, Sathyajith. **Wind Energy**. Fundamentals, Resource Analysis and Economics. Editora Springer-Verlag, Berlin, 2006.

MELO, Elbia. **Fonte eólica de energia: aspectos de inserção, tecnologia e competitividade. Estudos Avançados**. São Paulo: v. 27, n. 77, 2013. Disponível em: < http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-40142013000100010 >. Acesso em: 16 abr 2018.

MILBORROW, D. **Annual power costs comparison**: what a difference a year can make. Windpower Monthly Magazine, jan. 2010.

MME. **Ambientes de Contratação**. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/web/guest/destaques-do-setor-de-energia/leiloes-de-energia>>. Acesso em: 15 de fev. 2019.

MONTALVÃO, Edmundo. **Impacto de tributos, encargos e subsídios setoriais sobre as contas de luz dos consumidores**. Brasília: Centro de Estudos da Consultoria do Senado Federal, 2009.

NASCIMENTO, T. C.; MENDONÇA, A. T. B. B.; CUNHA, S. K. **Inovação e sustentabilidade na produção de energia: o caso do sistema setorial de energia eólica no Brasil**. Cad. EBAPE.BR (FGV), v. 10, n. 3, artigo 9, Rio de Janeiro, Set. 2012, p. 630-651.

OECD. **Taxing Energy Use 2015: OECD and Selected Partner Economies**. OECD Publishing: Paris, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1787/9789264232334-en>>. Acesso em: 25 mar. 2019.

ONS. **Sistema Isolados**. Disponível em: <<http://ons.org.br/pt/paginas/sobre-o-sin/sistemas-isolados>>. Acesso em: 11 de fev. 2019.

PAR. Plano de Ampliações e Reforços nas Instalações de Transmissão do SIN. **PAR Executivo 2019-2023 do ONS**. Disponível em: <http://ons.org.br/AcervoDigitalDocumentosEPublicacoes/PAR2019_2023_sumario_executivo.pdf>. Acesso em: 11 fev. 2019.

PAULO, Goret Pereira. **A Utilização de Leilões em Modelos de Expansão da Rede de Transmissão de Energia Elétrica**. São Paulo: Escola de Administração de Empresas de São Paulo, 2012. 133 p. Dissertação (Doutorado em Administração Pública) – Fundação Getúlio Vargas, 2012.

PERON, Alexandre Mattos. **Análise da Complementaridade das Gerações Intermitentes no Planejamento da Operação Eletro-Energética da Região Nordeste Brasileira**. Campinas: Universidade Estadual de Campinas: Unicamp, 2017. 119 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. Unicamp, 2017.

PINTO, Milton de Oliveira. **Fundamentos de Energia Eólica**. 1. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2014.

R Core Team. R: **A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Viena, Áustria, 2018. Disponível em: <https://www.R-project.org/>. Acesso em: 28 mai. 2019.

ROCHA, G.; RAUEN, A. **Mais desoneração, mais inovação? Uma avaliação da recente estratégia brasileira de intensificação dos incentivos fiscais a pesquisa e desenvolvimento**. Texto para discussão / Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. Brasília: Rio de Janeiro, Ipea, 2018.

ROCHA, N. A.; AMARANTE, O. C.; SCHULTZ, D. J.; SUGAI, M. V. B. e BITTENCOURT, R. M. (1999). **Estabilização Sazonal da Oferta de Energia Através da Complementaridade entre os Regimes Hidrológico e Eólico**. XV SNPTEE, Foz do Iguaçu.

SILVA, G. T. F.; WEISS, M. A.; FREITAS, A. **Energias Renováveis e Potenciais Efeitos para o Desenvolvimento Regional no Brasil**. Cadernos de Economia, v. 15, n. 28, 2017.

SILVA, S. S. F.; ALVES, A. C.; RAMALHO, A. M. C.; LACERDA, C. S.; SOUSA, C. M. **Complementaridade Hidro Eólica: Desafios e Perspectivas para o Planejamento Energético Nacional**. Holos, Ano 31, Vol. 6, 32-53 p. 2015.

SIMAS, M; PACCA, S. **Energia eólica, geração de empregos e desenvolvimento sustentável**. Estudos Avançados. São Paulo: v. 27, n. 77, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0103-40142013000100008>>. Acesso em: 10 nov 2018.

VAZQUEZ, Miguel; HALLACK, Michelle. Planejamento na Indústria Elétrica no Brasil: Necessidade de Coordenação no Longo e no Curto Prazos. **Revista Econômica**, Niterói, v.16, n.2, p. 11-18, dezembro 2014.

WILLIAMSON, Oliver E. **Franchising Bidding for Natural Monopolies: in general and with respect to CATV**. The Bell Journal of Economics. v. 7, p. 73-104. spring. 1976.

WISER, R; BOLINGER, M. **2012 Wind Technologies Market Report**. U.S. Department of Energy: 2012, 92 p. Disponível em: <<https://www.nrel.gov/docs/fy13osti/58784.pdf>>. Acesso em: 25 fev. 2019.

WWEA. **Wind Power Capacity Reaches 539 GW, 52,6 GW added in 2017**. Bonn: Press Releases Statistics, 2018. Disponível em: <<http://wwindea.org/blog/2018/02/12/2017-statistics/>>. Acesso em: 22 fev. 2019.

WWF. **Green Energy Leaders: Latin America's Top Countries In Renewable Energy**. WWF International: Gland, Suíça, 2014. Disponível em: <<https://www.wwf.de/aktiv-werden/downloads/>>. Acesso em: 26 mar. 2019.

WWF-BRASIL. **Além de grandes hidrelétricas**. 2012. Disponível em: <<http://www.wwf.org.br/?32143/Alm-de-grandes-hidreltricas-polticas-para-fontes-renovveis-de-energia-eltrica-no-Brasil>>. Acesso em: 23 fev. 2019.

XI LU, M. B. M.; JUHA K. **Global potential for wind-generated electricity**. Cambridge (MA-EUA): Harvard University, 2009, 6 p.

Apêndice – Fonte de Dados

Neste apêndice, descreve-se a fonte dos dados usados nesta dissertação:

- **Geração de energia eólica (em GWh).** Corresponde à energia total gerada pelo país, independentemente do tipo de contratação ou forma de geração por fonte eólica. Fonte: IEA Statistics, disponível em: <https://www.iea.org/statistics>.
- **Energia elétrica total consumida (em TWh).** Corresponde ao somatório da produção bruta de eletricidade, mais a importação, menos a exportação menos as perdas técnicas e não técnicas de eletricidade. A diferença da unidade de medida desta variável com a variável “Geração” (item anterior) é apenas por motivo didático. Fonte: IEA Statistics, disponível em: <https://www.iea.org/statistics>.
- **Capacidade eólica instalada (em MW).** Corresponde à soma dos limites máximos de produção de energia eólica das usinas do país. Fonte: IRENA, disponível em: <https://public.tableau.com/views/IRENARETimeSeries/Charts?:embed=y&:showVizHome=no&publish=yes&:toolbar=no>.
- **Fator de Capacidade (em %).** Corresponde percentual de aproveitamento, efetivo ou estimado, do total da potência máxima instalada. Fonte: IRENA (2018), Renewable Power Generation Costs in 2017, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.
- **Custo instalado eólico (em USD/kW referenciado em 2010).** Corresponde à média do somatório dos custos totais na construção de usinas eólicas do país. Para este trabalho, considera-se apenas os custos para usinas *onshore*. Fonte: IRENA. Wind Power. Renewable energy technologies cost analysis series. Volume 1: Power Sector, issue 5/5. Junho 2012.
- **Potencial eólico (em PWh).** Refere-se à quantidade de energia que se pode gerar a partir dos ventos do país. Corresponde a um indicador, criado por Xi Lu e Juha (2009), através de cálculos estatísticos. Os autores partiram da energia cinética dos ventos interceptada pelas pás da turbina por unidade de tempo. Tal energia depende da densidade do ar, da área varrida pelo rotor, cubo da velocidade do vento, reduzida por um fator de potência (eficiência). Para este trabalho, considera-se apenas o potencial de usinas *onshore*. Fonte: XI LU, M. B. M.; JUHA K. Global potential for wind-generated electricity. Cambridge (MA-EUA): Harvard University, 2009.
- **Preço da Eletricidade Industrial, incluindo tributos de 2009 (em centavos de USD/kWh).** Refere-se ao preço médio da eletricidade para o consumidor industrial para o ano de 2009, incluindo tributos. Fonte: IEA (Agência Internacional de Energia), tópico: Energy Prices and Taxes Quarterly. Disponível em: < <http://data.iea.org/payment/products/11-energy-prices-and-taxes-quarterly.aspx>>.
- **Renda per capita (USD, referenciado em 2010).** É o Produto Interno Bruto (PIB) dividido pela população na metade do ano. O PIB é a soma do valor bruto adicionado por todos os produtores residentes na economia mais quaisquer impostos sobre produtos e menos quaisquer subsídios não incluídos no valor dos produtos. É calculado sem deduzir depreciação de bens fabricados ou pelo esgotamento e degradação de recursos naturais. Os dados estão em dólares americanos constantes de 2010. A Fonte é do Banco Mundial, dados das “Contas Nacionais”. Disponível em: <<https://databank.worldbank.org/data/reports.aspx?source=2&country=BRA#>>>.

- **Crescimento do PIB (em %).** Refere-se à taxa de crescimento anual do PIB, a preços de mercado, baseado na moeda local. Fonte é do Banco Mundial, dados das “Contras Nacionais”. Para maiores detalhes do conceito estatístico e metodologia, acessar “Metadata” do Banco Mundial, disponível em: <<https://databank.worldbank.org/data/reports.aspx?source=2&country=BRA#>>.
- **Produção de eletricidade por fontes hidráulicas (em % do total).** Corresponde à produção de hidroeletricidade em relação ao total de eletricidade produzida por todas as fontes do país. A Fonte é do Banco Mundial, tópico Meio Ambiente: Produção Energética & Uso, com dados do IEA (Agência Internacional de Energia). Disponível em: <<https://databank.worldbank.org/data/reports.aspx?source=2&country=BRA#>>.
- **Produção de eletricidade por fontes renováveis, excluindo hidroeletricidade (em % do total).** Corresponde à produção de eletricidade por fontes renováveis (em relação ao total de eletricidade produzida por todas as fontes do país), excluindo hidroeletricidade, e incluindo eletricidade geotérmica, solar, eólica, biomassa, biocombustíveis e maré. A Fonte é do Banco Mundial, tópico Meio Ambiente: Produção Energética & Uso, com dados do IEA (Agência Internacional de Energia). Disponível em: <<https://databank.worldbank.org/data/reports.aspx?source=2&country=BRA#>>.