



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**FACULDADE DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO, ATUÁRIAS E CONTABILIDADE.**  
**DEPARTAMENTO DE TEORIA ECONÔMICA**  
**CURSO DE CIÊNCIAS ECONÔMICAS**

**RAFAEL DE MOURA GOMES**

**DESENVOLVIMENTO DA ENERGIA EÓLICA NO CEARÁ, NO BRASIL E NO  
MUNDO: UMA SOLUÇÃO ENERGÉTICA VIÁVEL.**

**FORTALEZA**

**2016**

**RAFAEL DE MOURA GOMES**

**DESENVOLVIMENTO DA ENERGIA EÓLICA NO CEARÁ, NO BRASIL E NO  
MUNDO: UMA SOLUÇÃO ENERGÉTICA VIÁVEL.**

**Monografia apresentada ao Curso de  
Ciências Econômicas do Departamento de  
Teoria Econômica da Universidade Federal  
do Ceará.**

**Orientador: Prof. Me. Alfredo José Pessoa  
de Oliveira.**

**FORTALEZA**

**2016**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Biblioteca Universitária

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

G617d Gomes, Rafael de Moura.  
Desenvolvimento da energia eólica no Ceará, no Brasil e no mundo : uma solução energética viável /  
Rafael de Moura Gomes. – 2016.  
59 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Faculdade de Economia,  
Administração, Atuária e Contabilidade, Curso de Ciências Econômicas, Fortaleza, 2016.  
Orientação: Prof. Me. Alfredo José Pessoa de Oliveira.

1. Energia Eólica. 2. Matriz Elétrica. 3. Fontes Alternativas. I. Título.

CDD 330

---

**RAFAEL DE MOURA GOMES**

**DESENVOLVIMENTO DA ENERGIA EÓLICA NO CEARÁ, NO BRASIL E NO  
MUNDO: UMA SOLUÇÃO ENERGÉTICA VIÁVEL.**

**Monografia apresentada ao Curso de Ciências Econômicas do Departamento de Teoria Econômica da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Economia.**

**Aprovado em: 14 / 07 / 2016.**

**BANCA EXAMINADORA**

---

**Prof. Me. Alfredo José Pessoa de Oliveira  
(Orientador) Universidade Federal do Ceará (UFC)**

---

**Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Jacqueline Franco Cavalcante  
Universidade Federal do Ceará (UFC)**

---

**Auditor Ambiental Antônio Fernando da Silva Viana  
Universidade Federal do Ceará (UFC)**



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ  
FACULDADE DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO, ATUÁRIA E  
CONTABILIDADE - FEAAC

Digitado

COORDENAÇÃO DO CURSO DE CIÊNCIAS ECONÔMICAS  
(X) 08 - Diurno ( ) 09 - Noturno

**Parecer Final da Defesa da Monografia de Graduação**

Nome do (a) Aluno (a): RAFAEL DE MOURA GOMES  
NOME COMPLETO E LEGÍVEL  
Número de Matrícula: 320018 Fones: (85) 99933-3843  
Título da Monografia: DESENVOLVIMENTO DA ENERGIA EÓLICA  
NO CEARÁ, NO BRASIL E NO MUNDO: UMA SOLUÇÃO  
ENERGÉTICA VIÁVEL

A Coordenação do Curso de Ciências Econômicas:

Tendo acompanhado a apresentação da versão final da Monografia acima discriminada, consideramos satisfatório o resultado do trabalho e recomendamos sua aprovação.

Banca:

Nota:

Orientador (a): Alfredo J. P. Oliveira 1º. 9.5

Assinatura

ALFREDO JOSÉ PEISSA DE OLIVEIRA

Nome legível

1º Membro: Jacqueline Franco Cavalcante 2º. 9,5

Assinatura

JACQUELINE FRANCO CAVALCANTE

Nome legível

2º Membro: Antônio Fernando da Silva Viana 3º. 9.5

Assinatura

ANTÔNIO FERNANDO DA SILVA VIANA

Nome legível

Média: 9.5

Data da Aprovação:

Fortaleza, 14 / 07 / 2016

Visto do Coordenador (a): \_\_\_\_\_

À minha mãe, uma Antônia, mestra, não  
das letras, mas do amor incondicional  
que me criou e educou em meio às  
dificuldades da vida.

Ao meu grande amigo, parceiro e  
companheiro Saul. Seu carinho me deu a  
força de vontade que me faltava para  
iniciar e concluir esta tarefa.

## **AGRADECIMENTOS**

Acima de tudo, agradeço ao Deus que me deu o fôlego divino da vida.

Agradeço sempre aos meus pais, seu Gomes e dona Antônia, pelo amor, pela amizade, pelo sustento, pela paciência e por acreditarem em mim.

Aos meus irmãos, minha avó, Odete, meus primos e tios.

Aos meus amigos mais íntimos que souberam das minhas dificuldades, das minhas lutas, dos meus fracassos, mas que também conseguem reconhecer em mim um eterno amigo.

Ao meu orientador, professor Alfredo Pessoa, pela paciência e apoio neste trabalho.

À professora Jacqueline Franco e ao Fernando Viana por fazerem parte da banca que avaliou este trabalho.

Aos meus professores da escola que sempre diziam acreditar em mim, mesmo eu os achando otimistas demais.

Aos meus professores do curso de economia que me ensinaram algo para o futuro.

Aos meus professores e mestres do teatro que me deram um novo olhar para o mundo.

Agradeço também àquelas pessoas que passaram pela minha vida e que de alguma forma deixaram sua marca: os que já se foram, os que não encontro mais, os que só encontro vez ou outra.

Agradeço por tudo o que fizeram por mim. Os sorrisos, os abraços, os beijos, os conflitos, os desafios, as rodas de conversa, os conselhos, as viagens, as festas e tudo o que foi bom ou ruim. O bom a gente vive, o ruim a gente aprende.

## **RESUMO**

Este trabalho busca apresentar de forma sucinta e atualizada os dados referentes à geração de energia eólica no mundo, no Brasil e no Ceará. A fonte eólica continua a desempenhar um papel protagonista em meio às fontes alternativas, devido aos custos cada vez mais reduzidos nos últimos anos, chegando a atingir US\$ 14 por MW. No Brasil, o Plano Decenal de Expansão da Energia, espera chegar, em 2023, com 11,4% de participação na matriz elétrica nacional, totalizando 22,4 GW. No Ceará, a estimativa é de que nos próximos anos, a matriz elétrica seja 50% de energia proveniente de parques eólicos. A falta de recursos naturais para exploração de outras fontes elétricas, juntamente com o potencial eólico do Estado, tem transformado a matriz elétrica do Ceará e proporcionado desenvolvimento econômico à região.

**PALAVRAS CHAVES:** 1. Energia eólica 2. Matriz elétrica 3. Desenvolvimento Econômico 4. Fontes alternativas



## **ABSTRACT**

This study aims to present succinctly and update data related to wind power generation in the world, Brazil and Ceará. The wind power continues to play a leading role among the alternative sources, due to increasingly lower costs in recent years, reaching \$ 14 per MW. In Brazil, the Plano Decenal de Expansão da Energia is expected to arrive in 2023, with 11.4% of participation in the national energy matrix, totaling 22.4 GW. In Ceará, it is estimated that in the coming years, the energy matrix will have 50% of energy from wind farms. The lack of natural resources for the operation of other electrical sources, along with the wind potential of the state, has transformed the energy matrix of Ceará and proportionate economic development to the region.

**KEY WORDS:** 1. Wind power 2. Electric Matrix 3. Economic Development 4. Alternative sources

## LISTA DE FIGURAS

Figura 01 – Emissões de CO <sub>2</sub> evitadas (em toneladas).....	18
Figura 02 – Comparação das emissões de CO <sub>2</sub> nos estágios de produção de diferentes fontes de energia.....	19
Figura 03 – Índice de empregos por ano a cada MW gerado no setor eólico, separado por etapa de construção dos parques.....	22
Figura 04 – Capacidade eólica mundial instalada acumulada de 1997 a 2014.....	26
Figura 05 – Capacidade acumulada de energia eólica offshore instalada até 2013.....	29
Figura 06 – Desenho esquemático de uma turbina eólica moderna.....	33
Figura 07 – Regimes sazonais das energias eólica e hidráulica.....	35
Figura 08 – Estimativa do Potencial Eólico Brasileiro em 2001 para ventos de 50 m de altitude.....	36
Figura 09 – Primeira turbina eólica instalada no Brasil em 1992, em Fernando de Noronha..	37
Figura 10 – Segunda turbina eólica instalada em Fernando de Noronha, 2001.....	38
Figura 11 – Evolução da capacidade instalada de energia eólica no Brasil.....	41
Figura 12 – Indústria eólica no Brasil, até 2012.....	43
Figura 13 – Pirâmide etária da população brasileira e cearense em 2015.....	47

## **LISTA DE GRÁFICOS**

Gráfico 1 – Participação de mercado das maiores fabricantes de turbinas eólicas, 2014.....28

Gráfico 2 – Comparação dos custos nivelados de energia não subsidiada (\$/MWh).....31

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 – Evolução da indústria de cataventos multipás nos EUA.....	14
Tabela 2 – As 10 maiores capacidades acumuladas até dezembro de 2014.....	27
Tabela 3 – Composição do custo de capital para um parque eólico de 20 MW no México.....	32
Tabela 4 – Comparação de Composição do custo de Capital para sistemas de energia eólica Onshore e Offshore em países desenvolvidos.....	34
Tabela 5 – Ranking dos maiores estados em potência eólica instalada.....	50

## SUMÁRIO

RESUMO.....	v
ABSTRACT.....	vi
LISTA DE FIGURAS.....	vii
LISTA DE GRÁFICOS.....	viii
LISTA DE TABELAS.....	ix
<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>11</b>
<b>2 DESENVOLVIMENTO DA ENERGIA EÓLICA NO MUNDO.....</b>	<b>13</b>
<b>2.1 Considerações sobre a energia eólica.....</b>	<b>13</b>
<i>2.1.1 Breve histórico.....</i>	<i>13</i>
<i>2.1.2 Aspectos positivos da geração de energia eólica.....</i>	<i>16</i>
<i>2.1.2.1 Redução dos Gases do Efeito Estufa (GEE).....</i>	<i>16</i>
<i>2.1.2.2 Preservação do meio ambiente.....</i>	<i>19</i>
<i>2.1.2.3 Geração de emprego e renda.....</i>	<i>20</i>
<i>2.1.2.4 Diversificação da matriz energética.....</i>	<i>22</i>
<i>2.1.2.5 Desenvolvimento industrial.....</i>	<i>23</i>
<i>2.1.3 Aspectos negativos da geração de energia eólica.....</i>	<i>24</i>
<b>2.2 Panorama mundial.....</b>	<b>25</b>
<b>2.3 Energia eólica <i>Offshore</i>.....</b>	<b>29</b>
<b>2.4 Custos da energia eólica <i>Onshore</i> e <i>Offshore</i>.....</b>	<b>30</b>
<b>3 SURGIMENTO DA ENERGIA EÓLICA NO BRASIL.....</b>	<b>35</b>
<b>3.1 Evolução da energia eólica no Brasil.....</b>	<b>35</b>
<b>3.2 Dados atualizados da energia eólica no Brasil.....</b>	<b>40</b>
<b>3.3 Cadeia produtiva brasileira.....</b>	<b>42</b>
<b>3.4 Uma solução alternativa.....</b>	<b>44</b>
<b>4 ENERGIA EÓLICA E DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO NO CEARÁ.....</b>	<b>46</b>
<b>4.1 Aspectos sociais e indicadores econômicos do Ceará.....</b>	<b>46</b>
<b>4.2 Contexto da energia eólica no Ceará.....</b>	<b>48</b>
<b>4.3 Alternativa econômica e sustentável para o Ceará.....</b>	<b>50</b>
<b>5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>53</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>55</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A evolução da sociedade humana tem possibilitado ao homem ser protagonista de uma série de descobertas e invenções que mudam ou interferem no rumo da história. A vida em sociedade traz consigo a necessidade de adaptação tanto do homem para com o outro homem, quanto do homem para com o meio no qual ele se insere. E foi essa necessidade de adaptação que impulsionou o desenvolvimento de tecnologias que permitissem essa integração com o meio. Necessidades de se alimentar, de se vestir, de morar, de se reproduzir e de conduzir seus interesses da melhor forma possível, despendendo menos tempo e obtendo um maior proveito de suas ações.

Na busca por suprir suas necessidades o homem descobriu o fogo que lhe permitiu um melhor preparo dos alimentos e proporcionou aquecimento para seu corpo em dias frios. Inventou a roda que possibilitou a criação dos meios de transporte. Descobriu que podia usar ferramentas para a caça e para o cultivo da terra. E assim, essa continuidade de invenções e descobertas permitiu que o homem se tornasse o que ele é hoje.

À medida que tomava conhecimento do ambiente natural ao seu redor, descobria cada vez mais a utilidade dos recursos naturais. Então o homem descobriu a eletricidade. Com o passar do tempo, foram surgindo também outras formas de se produzir energia, com água, com carvão, com combustíveis fósseis em geral, até que a necessidade novamente se tornasse o motor para a descoberta de novas fontes energéticas.

Essa necessidade foi estimulada pela escassez dos recursos naturais não renováveis, pela diminuição da disponibilidade de água e pela ideia de que o aquecimento do globo é provocado pela emissão de gases poluentes, emitidos principalmente pela indústria de energia, causando sérias mudanças climáticas para todo o planeta.

Essa percepção trouxe ao homem a ideia de procurar recursos onde eles fossem abundantes e inesgotáveis. Dentre tantos outros, a luz do sol e a força dos ventos se tornaram símbolos dessa mudança de paradigma. Com destaque dado neste trabalho à energia eólica, o homem percebeu que foi possível gerar energia através da força dos ventos, que além de ser um recurso natural renovável, é limpo e eficiente.

As fontes alternativas se firmam no mundo com a mesma rapidez em que são desenvolvidas. Atualmente elas concentram a atenção de pesquisadores público e privados. Governos e empresas buscam desenvolver técnicas cada vez mais precisas de controle e geração de energias provenientes de recursos renováveis e alternativos, a fim de cumprir seu papel social e econômico.

É com essa visão que hoje a energia eólica desponta no mundo e, porque não dizer, no Estado do Ceará, como uma fonte de energia capaz de ajudar a solucionar parte dos problemas relativos ao abastecimento de energia, com vistas no desenvolvimento econômico e nas premissas de preservação dos recursos naturais e ambientais.

Assim sendo, este trabalho, através de uma visão panorâmica e sucinta, buscou apresentar, a partir de uma revisão bibliográfica e de dados, publicados em dissertações, monografias, artigos científicos e documentos públicos, o nível de desenvolvimento tecnológico e social que a fonte de energia eólica apresenta no momento atual.

Este trabalho divide-se em cinco capítulos. O primeiro é uma breve introdução sobre o tema. O segundo apresenta um sucinto panorama mundial do desenvolvimento tecnológico da energia eólica e sua capacidade de geração até o presente momento. O terceiro capítulo buscou apresentar a energia eólica dentro do contexto brasileiro com dados atualizados de geração. O capítulo quatro é um rápido panorama sobre a geração eólica no Estado do Ceará. Por fim, o quinto capítulo apresenta as considerações finais do autor.

## 2. DESENVOLVIMENTO DA ENERGIA EÓLICA NO MUNDO

### 2.1 Considerações sobre a Energia Eólica

#### 2.1.1 Breve histórico

O vento é uma fonte de recurso natural renovável em abundância na natureza. É originado através da associação entre a energia solar e a rotação planetária. Os processos de rotação e translação, juntamente com o aquecimento não uniforme da superfície terrestre, causado pela radiação solar, resultam na circulação atmosférica. As massas de ar aquecidas pela radiação perdem a densidade, deslocando-se entre as camadas atmosféricas, resultando na movimentação do ar.

A energia eólica é a transformação da energia cinética dos ventos em energia mecânica. Sua tecnologia de aproveitamento já é bastante disseminada por todo o globo e utilizada como política econômica para a produção de energia limpa e sustentável. Entretanto, seu uso já é muito antigo, embora não exista uma precisão de tempo. Alguns pesquisadores datam de mais de 3.000 anos atrás, embora outros citem até 5.000 a.C. Amarante *et al.* (2001) afirma que provavelmente eram “máquinas que utilizavam a força aerodinâmica de arrasto, sobre placas ou velas, para produzir trabalho”.

Camargo (2005) cita que os egípcios foram os primeiros a fazer uso prático do vento, por volta de 5.000 a. C. A força dos ventos era utilizada na condução de embarcações pelo Rio Nilo, com o uso de velas, na moagem de grãos, em serrarias e no bombeamento da água. Mais tarde, 200 a.C., os moinhos começaram a se espalhar pelo mundo. Antes de Cristo, os persas já faziam uso da força dos ventos, e por volta de 700 d.C., passaram a construir moinhos de vento verticais elevados para a moagem de grãos.

Acredita-se que foi a partir da Idade Média que a energia eólica passou a ser utilizada em larga escala. Por volta do século XI, no Oriente Médio, os moinhos eram utilizados na produção de alimentos e foi durante as cruzadas que essa tecnologia chegou pela Europa. Amarante *et al.* (2001), juntamente com Camargo (2005), corroboram com a ideia de que foi na Holanda que desenvolveram os moinhos de vento horizontais com hélices, apresentando uma grande evolução técnica e de potência e ampla aplicação como fonte de energia, sendo utilizados na drenagem do delta do Rio Reno através do bombeamento da água, bem como na moagem de grãos e nas operações em serrarias.

Durante a Idade Média, houve grandes aperfeiçoamentos técnicos dos moinhos de vento. Aperfeiçoamentos que iam desde desenhos das engrenagens até a forma de aplicação da



tecnologia: fabricação de papel, produção de óleos vegetais, projetos de drenagens. Até que, com o advento da máquina a vapor, os moinhos europeus entraram em desuso.

Ao final do século XIX, houve outro surto de utilização em larga escala dos moinhos de vento pelos Estados Unidos. Quando do fim da escravidão naquele país, em 1863, os colonizadores passaram a utilizar e disseminar o uso de cataventos multipás para o bombeamento de água para as fazendas e ranchos e mais tarde na geração de eletricidade. Eles chegaram a ser produzidos em escala industrial, centenas de milhares de unidades por ano, por diferentes fabricantes, o que contribuiu com a acessibilidade de preços para a população da região. Amarante *et al.* (2001) afirma que “muitos historiadores atribuem parcela do sucesso e da rapidez da expansão colonizadora do Oeste à disponibilidade de cataventos multipás de baixo custo – que facilitaram o acesso à água e a fixação de apoios em grandes áreas áridas ou semiáridas”.

A tabela a seguir, que mostra a evolução do número de empregados e do faturamento na produção de cataventos multipás nos EUA, indica a evolução dessa indústria ao longo de 40 anos. Estima-se em mais 6 milhões o número de cataventos multipás que já foram fabricados no mundo.

**Tabela 1 – Evolução da indústria de cataventos multipás nos EUA.**

ANO	EMPREGADOS	FATURAMENTO (US\$)
1879	596	1.011.000
1889	1110	2.475.000
1899	2045	4.354.000
1909	2337	6.677.000
1919	1932	9.933.000

*Fonte:* Extraído de Amarante *et al* (2001, p.13)

Data de 1888 a primeira turbina eólica para geração de energia elétrica, desenvolvida pelo americano Charles F. Brush, nos Estados Unidos. Era uma turbina composta por um gerador de 12 kW de potência, cujo rotor tinha 17 metros de diâmetro. Foi também, no final do século XIX, na Dinamarca, onde surgiram as primeiras turbinas eólicas para geração de energia elétrica na Europa (SOUZA, 2010).

A partir dos anos de 1930, pequenos aerogeradores para carregamento de baterias foram produzidos em larga escala nos EUA, favorecendo as comunidades rurais. Além da utilização em território americano, sua produção também era voltada para exportação para diversos países. Mas a partir de 1950, com o barateamento da energia elétrica e o acesso às redes de eletrificação para

atendimento da população no meio rural, a produção desses aerogeradores entrou em declínio (AMARANTE *et al.*, 2001).

Na década de 40, foi instalada em Vermont, EUA, a maior turbina eólica daquele tempo. Com capacidade de 1,25 MW de potência e 53 metros de diâmetro das pás, a turbina, que representou um importante marco tecnológico e proporcionou valiosas informações sobre parâmetros de projeto e caducidade de equipamentos, alimentou a rede de distribuição elétrica local por vários meses durante a Segunda Guerra Mundial. Mas com a escassez de recursos devido à guerra e a carência de dinheiro para remontar uma das lâminas de 8 toneladas que quebrou devido ao vento, o projeto findou e pouco foi incrementado ao parque eólico existente (SOUZA, 2010).

Durante a crise do petróleo, na década de 70, foram retomados os esforços e os investimentos em geração de energia elétrica através de fontes alternativas, para promover a diversificação das matrizes energéticas. Com o petróleo mais caro, a energia eólica tornou-se mais competitiva e até economicamente viável, proporcionando um rápido desenvolvimento de sistemas mais eficientes e de menor custo. No ano de 1971, nos Estados Unidos, através do Programa Federal de Energia Eólica, foi elaborado um levantamento do potencial eólico em diferentes regiões do país. Pesquisas referentes a diferentes concepções e materiais foram desenvolvidas (SOUZA, 2010; SIMAS, 2012).

Mesmo após a estabilidade do preço do petróleo no final da década de 1990, foi observado um crescimento nas pesquisas em desenvolvimento de energias renováveis. Mas, diferente do que ocorreu durante a crise do petróleo na década de 70, não foi mais o preço da energia que motivou as pesquisas por alternativas energéticas, mas a crescente preocupação com o meio ambiente (CAMARGO, 2005).

Além da preocupação com as mudanças climáticas provocadas pelo aquecimento global e os esforços para garantir a redução das emissões de gases do efeito estufa, outros aspectos relevantes também contribuíram para que muitos países desenvolvidos investissem em energias renováveis. Entre esses aspectos destacam-se: a crescente demanda por energia, a escassez dos recursos fósseis, a diversificação das matrizes energéticas dos países, a diminuição da dependência de importação de combustíveis, além da dificuldade cada vez maior de acesso a água como fonte hidráulica de energia (SOUZA, 2010).

Levando-se em consideração todos esses aspectos anteriormente citados, a energia elétrica produzida através da força cinética dos ventos, aparece como uma das alternativas para

enfrentar os problemas ambientais e econômicos provenientes do uso em excesso dos combustíveis fósseis, visto que, além de ter um grande potencial de exploração, com perspectivas de redução de custos a longo prazo, o combustível é o vento, portanto, limpo, inesgotável e em abundância na natureza.

### ***2.1.2 Aspectos positivos da geração de energia eólica***

A geração de energia elétrica através da força dos ventos é um recurso que implica numa série de benefícios para a sociedade e para o meio ambiente. Dentre esses benefícios, talvez, o de maior importância seja a redução na emissão de gases poluentes que aceleram o processo natural do efeito estufa, além da preservação do meio ambiente, geração de emprego e renda, diversificação da matriz energética, desenvolvimento industrial, entre outros.

#### ***2.1.2.1 Redução dos Gases do Efeito Estufa***

A radiação solar que incide sobre a Terra na forma de luz visível é o principal responsável pela dinâmica da atmosfera terrestre e pelas características climáticas do planeta. Uma parte dessa radiação é devolvida pela superfície terrestre na forma de radiação infravermelha. Os gases do efeito estufa (GEE) são substâncias gasosas presentes na atmosfera que têm a capacidade de bloquear uma parte da radiação infravermelha, dificultando seu escape para o espaço.

Entre os principais gases, alguns estão presentes naturalmente na atmosfera, sendo essenciais para a manutenção da vida na Terra, como o vapor de água, o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), o metano ( $\text{CH}_4$ ), o óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) e o ozônio ( $\text{O}_3$ ), onde ajudam a equilibrar a temperatura do globo. Outros, como o hidrofluorcarbono (HFC), o perfluorcarbono (PFC) e o hexafluoreto de enxofre ( $\text{SF}_6$ ) são produzidos apenas pela ação humana (BRASIL, 2013).

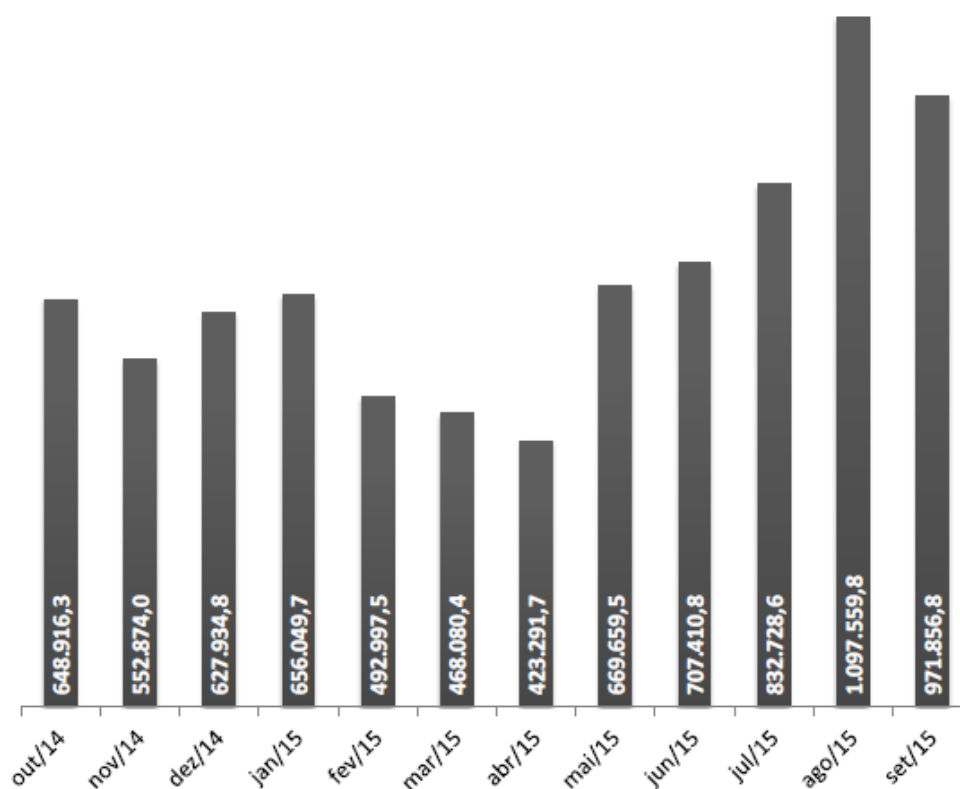
A indústria de energia é considerada uma das principais emissoras de GEE devido às emissões provocadas pela queima de combustíveis fósseis como o carvão mineral e o petróleo. Segundo Pires e Holtz (2012, p. 53) “no Brasil, apenas 1,5% das emissões de gases potencialmente causadores do fenômeno do aquecimento global, provêm do setor elétrico, enquanto, no mundo, 24% provêm dessa atividade, sendo a maior responsável pelo aumento das emissões de GEE”.

As preocupações em torno da redução das emissões de GEE ocorrem porque estes são considerados os principais causadores do aquecimento global e, portanto, responsáveis pelas alterações climáticas que comprometem os recursos naturais e o equilíbrio de todo o ecossistema (HOPPE; ALVIM; KETZER, 2009).

Isso levou as grandes economias mundiais a procurarem soluções que mitigassem os efeitos da poluição sobre o clima e, ao mesmo tempo, garantissem o desenvolvimento econômico. Em 1997, na cidade de Quioto, no Japão, durante a Conferência das Partes, órgão supremo da Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC) que reúne anualmente os países Parte em conferências mundiais, governos de diversos países entraram em consenso para se adotar um protocolo que garantisse medidas de redução das emissões, o Protocolo de Quioto, segundo o qual os países industrializados reduziram suas emissões combinadas de gases de efeito estufa em pelo menos 5% em relação aos níveis de 1990 até o período entre 2008 e 2012 (PROTOCOLO DE QUIOTO).

A tecnologia utilizada para produzir energia elétrica através da força dos ventos emite reduzidos GEE, sendo estes emitidos apenas durante as fases de construção dos parques eólicos e na fabricação dos aerogeradores. Segundo dados da Global Wind Energy Council (GWEC), seria possível reduzir 600 toneladas de dióxido de carbono da atmosfera para cada GW de energia eólica gerada.

A figura 01 indica a quantidade de CO<sub>2</sub> que foi possível ser evitada, mês a mês, em decorrência do uso da energia eólica entre os meses de outubro de 2014 a setembro de 2015. Os dados são de responsabilidade da Associação Brasileira de Energia Eólica (ABEEólica). Segundo a fonte, a emissão de CO<sub>2</sub> evitada nos 12 meses corresponde à emissão anual equivalente de cerca de 5 milhões de automóveis.

**Figura 01 – Emissões de CO<sub>2</sub> evitadas (em toneladas)**

Fonte: Extraído de ABEEÓLICA (2016, p. 07)

Na figura 02, são apresentados níveis de emissões de CO<sub>2</sub> das principais fontes de energia em seus estágios de produção. Apenas as grandes hidrelétricas são competitivas comercialmente na atualidade, entretanto, sua utilização tem sido discutida por países como Canadá e Brasil, pois, devido ao alagamento de extensas áreas, as vegetações submersas pelo represamento acabam apodrecendo, emitindo uma quantidade substancial de gases do efeito estufa. Um dos gases principais que são emitidos durante o processo de apodrecimento da vegetação submersa é o metano (FERREIRA, 2008).

**Figura 02 – Comparação das emissões de CO<sub>2</sub> nos estágios de produção de diferentes fontes de energia**

Tecnologias	Emissões de CO <sub>2</sub> nos estágios de produção de energia (ton/GWh)			
	Extração	Construção	Operação	Total
Planta convencional de queima de carvão	1	1	962	964
Planta de queima de óleo combustível	-	-	726	726
Planta de queima de gás	-	-	484	484
Energia térmica dos oceanos	N/D	4	300	304
Plantas geotérmicas	<1	1	56	57
Pequenas hidrelétricas	N/D	10	ND	10
Reatores nucleares	2	1	5	8
Energia eólica	N/D	7	ND	7
Solar fotovoltaico	N/D	5	ND	5
Grandes hidrelétricas	N/D	4	ND	4
Solar térmico	N/D	3	ND	3

Fonte: Extraído de Ferreira (2008, p. 26)

Ainda segundo a GWEC, Para uma usina eólica recuperar as emissões de gases poluentes emitidos durante as fases de construção do parque e fabricação das turbinas, é necessário um período de tempo entre 3 e 6 meses, quando comparado à taxa média de emissão do setor, o que torna ainda mais evidente a eficiência da energia gerada pela força dos ventos.

Assim sendo, a energia eólica entra em sintonia com o compromisso dos governos das nações desenvolvidas de reduzir os dramáticos efeitos dos gases poluentes sobre a atmosfera, evidenciando também a necessidade de encarar o incentivo ao uso de energias sustentáveis não apenas como uma política de desenvolvimento econômico, mas como uma prática sustentável para todas as nações (SIMAS; PACCA. 2013).

#### 2.1.2.2 Preservação do meio ambiente

A construção de um parque eólico é um processo que interfere no ambiente natural, provocando impactos na fauna e na flora existentes no local onde o parque é instalado. Apesar disso, estudos apontam que os parques eólicos, em comparação com outras fontes de energia fóssil e até renovável, como as hidrelétricas, apresentam um reduzido impacto ambiental no ambiente onde são instalados.

Apesar de os parques eólicos ocuparem uma vasta área de instalação, devido à necessidade de distância mínima entre as torres, a área realmente ocupada por cada torre é pequena, cerca de 1% do terreno, e os outros 99% podem ser aproveitados para a realização de outras atividades, como agricultura e pecuária. Diferente das hidrelétricas, onde sua instalação em muitos casos implica na necessidade de alagamentos de extensas áreas florestais ou cidades para represamento de água (FERREIRA, 2008).

Dentre os possíveis impactos ambientais causados pelo uso da energia eólica, Souza (2010) cita aqueles provenientes das diferentes etapas do processo de construção dos parques eólicos, que vão desde a obtenção das matérias primas a serem empregadas na fabricação de alguns componentes das torres, até a operação e o descomissionamento do parque gerador. Na etapa de fabricação dos componentes, o autor cita que por se tratar de uma indústria sem maiores peculiaridades em relação às demais e que geralmente são instaladas em locais relativamente urbanizados, não envolvem grandes impactos. Na etapa de instalação dos parques, os maiores impactos são relativos às emissões de gases poluentes e de poeira, gerados pela circulação de veículos, que podem afetar a fauna e a flora próximas do local, além de outros materiais particulados, decorrentes das atividades de limpeza do terreno e utilização de maquinários. Além disso, conforme Souza deixa explícito, as atividades de corte e aterro podem iniciar processos erosivos no solo e, dependendo do manejo desses materiais, a possível contaminação de recursos hídricos. Durante a fase de operação dos parques, os maiores impactos referem-se aos riscos de choques entre as pás e as aves e morcegos, principalmente se as usinas forem instaladas em áreas utilizadas como rotas migratórias de pássaros. Ademais, no caso de usinas instaladas em alto-mar, que são conhecidas como usinas eólicas *offshore*, acrescentam-se os impactos sobre a vida marinha e a pesca, embora estes também não sejam graves.

Filho e Azevedo (2013) salientam que, embora a geração de eletricidade a partir de fontes eólicas tenha se mostrado convidativa do ponto de vista ambiental, os impactos decorrentes da implantação e operação de parques eólicos não podem ser negligenciados. Ficando explícita a necessidade realização prévia de estudos dos impactos, a fim de reduzir o máximo possível qualquer efeito negativo proveniente do aproveitamento do recurso eólico.

### 2.1.2.3 Geração de emprego e renda

A energia extraída a partir da força cinética dos ventos, além de ser uma fonte limpa e renovável, demonstra ter um grande potencial socioeconômico para as regiões carentes que investem nessa tecnologia. Simas e Pacca (2013) apontam que a presença de projetos de energias

renováveis em regiões carentes de desenvolvimento econômico, trazem diversos benefícios para a comunidade, tais como, geração de emprego e renda, inovação tecnológica, desenvolvimento industrial, geração distribuída (geração elétrica realizada junto ou próxima dos consumidores independente da potência, tecnologia ou fonte de energia empregada), universalização do acesso à energia e desenvolvimento regional e local.

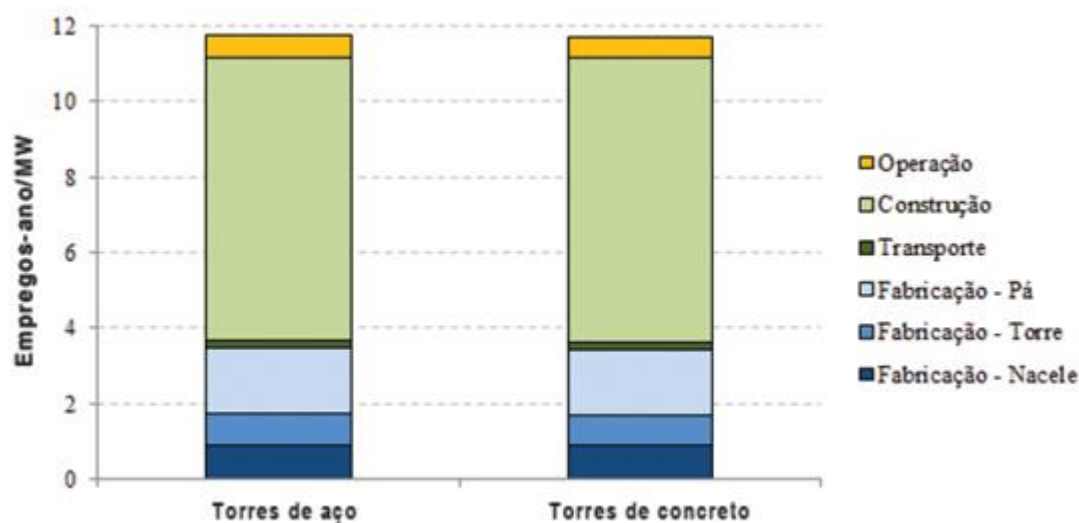
Em 2007, a indústria eólica na Europa empregava quase 70.000 pessoas, em média 1,3 empregos diretos por MW, sendo 43.250 na fabricação (0,8 empregos/MW), 21.200 na montagem e instalação (0,4 empregos/MW) e 5.000 em manutenção de instalações eólicas (0,1 empregos/MW). No mundo, o setor empregava cerca de 300 mil pessoas. (EPE, 2009; PNUMA, 2008).

Grande parte dos investimentos e muitos dos postos de trabalho criados são nas áreas rurais, o que pode ajudar a conter o êxodo rural (GWEC, 2014). Além disso, Melo (2013) destaca a geração de emprego e renda com uma das externalidades positivas da geração eólica para as regiões carentes. O pagamento dos arrendamentos das áreas onde são instaladas as usinas é feito diretamente aos proprietários das terras, o que contribui consideravelmente para a geração e injeção de renda em comunidades estagnadas economicamente.

Os empregos diretos e indiretos gerados pelo setor eólico podem ser agrupados em três categorias de acordo com características como, volume de empregos gerados, localização, tempo de duração e nível de especialização. A primeira categoria faz referência às etapas de fabricação e desenvolvimento tecnológico, incluindo pesquisa e desenvolvimento (P&D), dos componentes das usinas. O volume de empregos gerados nessa etapa é médio, sendo de natureza estável, exigindo um elevado nível de especialização. A segunda categoria diz respeito às etapas de instalação e construção dos parques, incluindo a parte de planejamento, gestão de projetos, transporte e descomissionamento. É a etapa que envolve o maior número de empregos gerados, embora sua natureza temporal seja de empregos temporários. A terceira categoria inclui as etapas de operação e manutenção (O&M), incluindo geração e distribuição de energia. É a etapa que emprega o menor número de pessoal, embora os empregos gerados sejam de caráter estável, ou pelo menos enquanto existir o parque na região (SIMAS; PACCA, 2013). O tempo médio de vida útil de um projeto eólico é de 20 anos (MELO, 2013).



**Figura 03 – Índice de empregos por ano a cada MW gerado no setor eólico, separado por etapa de construção dos parques.**



Fonte: Extraído de Simas e Pacca (2013, p. 108)

#### 2.1.2.4 Diversificação da matriz energética

A produção de energia é um fator determinante para o desenvolvimento socioeconômico de um país e garantir o suprimento interno de energia faz parte da política econômica de qualquer nação comprometida não só com o desenvolvimento econômico, mas também com o futuro do planeta no que concerne às mudanças climáticas.

O petróleo, o gás natural e o carvão são os principais insumos energéticos utilizados pela indústria ao redor do mundo, com elevadas taxas de crescimento, lideradas principalmente por emergentes como China e Índia. Dez países concentram 85% das reservas mundiais de petróleo. Do gás natural, 58% das reservas mundiais se encontram na Rússia, Catar e Irã. O carvão é responsável por 25% do consumo mundial de energia e suas reservas globais são 3,5 vezes maiores que as de petróleo e gás natural, sendo que dois terços destas reservas estão localizados apenas na Rússia, nos Estados Unidos, na China e na Índia (CNI, 2007).

Foi após a crise do petróleo, durante a década de 70, que os governos dos países desenvolvidos retomaram os investimentos na diversificação da matriz energética, não só como uma alternativa para fugir da dependência do petróleo e do carvão, mas também como política econômica para garantir a oferta de energia em meio a uma demanda cada vez mais crescente nestes países de consumo intenso, além de uma estratégia para diminuir a dependência da importação de combustíveis das regiões historicamente em conflitos e para encontrar alternativas economicamente

viáveis e ecologicamente sustentáveis para combater o aquecimento global (SOUZA, 2010; SIMAS, 2012).

O investimento na diversificação da matriz energética é parte de uma política de abastecimento que contribui para garantir a segurança energética, tanto em países desenvolvidos, quanto em países em desenvolvimento. A dependência de fontes fósseis se torna um risco, tanto do ponto de vista da volatilidade e tendência de alta dos preços do petróleo, quanto da necessidade de redução das emissões de gases poluentes. Além do que, podem servir como fontes complementares às grandes usinas hidrelétricas, visto que, praticamente, todos os principais potenciais já foram aproveitados nos países desenvolvidos (ANEEL, 2008).

Segundo o Greenpeace, a expectativa mundial é de que as energias de origem fóssil sejam gradativamente substituídas pelas energias produzidas por fontes renováveis, pois estas são parte de um modelo que ajudam a promover a descentralização da produção. Modelo este que prevê mais unidades geradoras em menor escala, instaladas mais próximas aos locais onde a demanda energética é maior, ao invés da concentração da geração energética em grandes usinas hidrelétricas e termelétricas, onde geralmente se localizam distantes dos centros de consumo (GREENPEACE, 2013).

#### *2.1.2.5 Desenvolvimento industrial*

A atratividade econômica da energia eólica tem sido um motor para o desenvolvimento industrial em diversos países, principalmente aqueles com uma economia em desenvolvimento, devido às políticas de incentivos adotadas pelos governos dessas nações, como China, Índia, Brasil e México.

Países como a China, que possuem uma vasta base industrial do setor eólico, possuem vantagens na produção de energia gerada pela força dos ventos, pois, com um grande número de empresas eólicas concorrendo no mercado interno, os preços são competitivos e a produção ainda pode ser exportada, o que beneficia a economia como um todo, aponta Junfeng *et al* (2007), no China Wind Power Report, relatório que avalia o desenvolvimento da energia eólica na China, bem como avalia as políticas nacionais de incentivo desta fonte naquele país.

O governo indiano também age através de políticas para o desenvolvimento da energia eólica no país. A Índia possui um forte mercado interno, favorecido pela concorrência de diversas empresas nacionais e multinacionais, entre elas Suzlon, Vestas, Enercon, RRB Energy, GE, Gamesa, Siemens e WinWinD. A Suzlon, uma das maiores fabricantes de aerogeradores é indiana e

está presente em diversos mercados do mundo, incluindo o Brasil. Em 2010, o país estava entre as três maiores capacidades novas instaladas de energia eólica, atrás apenas de gigantes como China e EUA (GWEC, 2010).

No Brasil, atualmente, a forte inserção da energia eólica na matriz energética se dá através dos Leilões de energia, o que reflete na indústria produtiva. Com os leilões, a fonte ganhou competitividade entre as demais e logo aqueceu o mercado interno. O que fez com que a demanda por equipamentos se expandisse, promovendo o crescimento de empresas do setor já instaladas e atraindo novos investimentos para o país. Nesse contexto brasileiro, o fortalecimento da cadeia produtiva nacional contribui também para o desenvolvimento da fonte eólica na América Latina, pois com o desenvolvimento da indústria de base dessa fonte na região, visualiza-se um cenário bastante favorável no que se refere à exportação de componentes eólicos para os países latinos vizinhos que, com isso, também ganham com a redução dos custos de transporte e, por conseguinte, a ampliação dos seus parques (MELO, 2013).

### ***2.1.3 Aspectos negativos da geração de energia eólica***

Em relação aos aspectos negativos da geração de energia eólica, há um consenso de que estes são bastante reduzidos, principalmente porque uma série de ações mitigadoras são estudadas ainda na fase de elaboração dos projetos de instalação de parques eólicos, com objetivo de amenizar, ou mesmo, eliminar as externalidades negativas e maximizar os efeitos positivos.

O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), que é o órgão consultivo e deliberativo do Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA), que reúne todos os entes nacionais, estaduais, municipais e do Distrito Federal, responsáveis pela proteção e melhoria da qualidade ambiental, estabelece as normas e critérios para o licenciamento de atividades efetiva ou potencialmente poluidoras – LEI Nº 6.938/1981 (BRASIL, 1981).

Segundo a resolução Nº 001/1986, o CONAMA estabelece que o licenciamento ambiental de atividades modificadoras do meio ambiente, tais como as extrativas minerais e vegetais, as construções de estradas, ferrovias, portos, indústrias, obras civis, linhas de transmissão, usinas de energia, etc., dependerá da elaboração do Estudo de Impacto Ambiental e do seu respectivo Relatório de Impacto ao Meio Ambiente, EIA/RIMA, documentos que objetivam avaliar previamente os impactos ambientais decorrentes da instalação de um empreendimento e estabelecer programas para monitoramento e mitigação desses impactos (BRASIL, 1986).

A resolução Nº 237/1997, do CONAMA, estabelece as licenças ambientais necessárias para a instalação e operação das atividades efetiva ou potencialmente poluidoras, sem as quais o empreendimento não poderia ser iniciado: Licença Prévia (LP), concedida na fase preliminar do planejamento do projeto, a qual aprova sua localização e concepção, estabelecendo os requisitos básicos para que o empreendimento possa seguir para as próximas etapas; Licença de Instalação (LI), que autoriza a construção do empreendimento ou atividade de acordo com as especificações constantes do projeto e dos estudos de impactos ambientais; Licença de Operação (LO), que autoriza a operação da atividade ou empreendimento, após verificar se todas as etapas anteriores foram cumpridas, com as devidas medidas de controle de impactos ambientais (BRASIL, 1997).

Dentre os impactos ambientais apontados por Filho e Azevedo (2013), Souza (2010) e Camargo (2005), os mais comuns são aqueles que interferem nos meios bióticos, físicos e socioeconômicos os quais:

- Supressão da vegetação local;
- Colisão com aves;
- Degradação da área afetada;
- Alteração do nível hidrostático do lençol freático;
- Emissão de ruídos;
- Impactos visuais;
- Interferência eletromagnética;
- Corona visual ou ofuscamento;
- Efeito estroboscópico dos aerogeradores ;
- Interferências locais.

Ribeiro (2013, p. 109) cita os impactos das usinas nas regiões de dunas: “Esses impactos se manifestam, tanto sob o ponto de vista do ambiente físico do campo de dunas, quanto junto às comunidades próximas a ele”. Os efeitos sobre as mesmas são: terraplanagem, compactação, desmatamento e a fragmentação das dunas; além de aterramento de lagoas interdunares e da destruição de sítios arqueológicos.

## **2.2 Panorama Mundial**

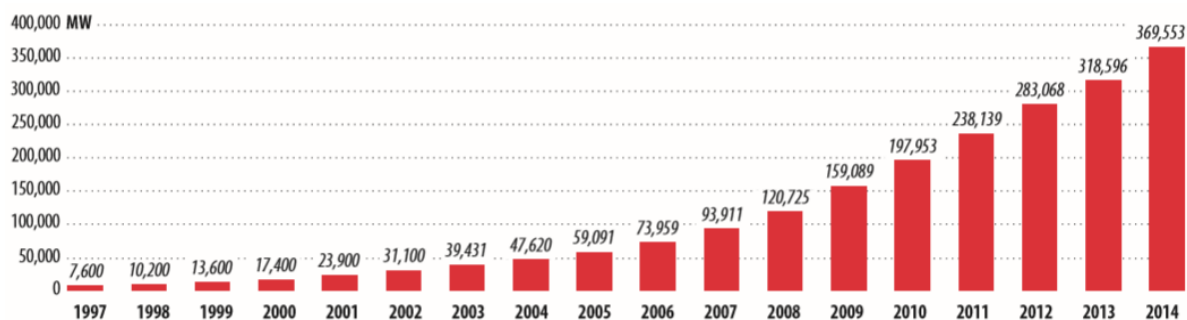
A produção mundial de energia eólica continua a despontar no mundo fortemente. Em 2013, mais de 90 países já possuíam projetos de geração eólica, com capacidade total instalada de 318 GW, produzindo cerca de 3% da energia elétrica mundial, com um crescimento médio anual de

26% (GWEC, 2014). Dentro de um cenário bastante otimista, mas não fora da realidade atual da indústria eólica e onde os governos dos países estão comprometidos com os objetivos do clima, como a redução das emissões de CO<sup>2</sup>, espera-se que a capacidade mundial acumulada de energia eólica no ano de 2020 alcance a faixa de 800 GW, segundo cálculos da GWEC.

Nos últimos 10 anos, o acúmulo de energia eólica na capacidade instalada mundial foi de 321 GW. Apenas em 2014, o acréscimo foi de 51 GW, um acréscimo de 44% em relação ao ano anterior (GWEC, 2014). A figura 04 apresenta a evolução da capacidade mundial acumulada de energia eólica instalada entre os anos de 1997 e 2014, período em que saltou de 7,6 GW para 369,5 GW de capacidade instalada, evidenciando o grande potencial dessa fonte frente às demais.

**Figura 04 – Capacidade eólica mundial instalada acumulada de 1997 a**

**2014**



Fonte: Extraído de GWEC (2015, p. 03).

A seguir, a tabela 02 mostra os 10 maiores países em capacidade acumulada até o ano de 2014. A China aparece em primeiro lugar, com 31% da capacidade acumulada total. Seguida pelos Estados Unidos e Alemanha, 17,8% e 10,6%, respectivamente. Juntos, os três países possuem quase 60% da capacidade acumulada mundial de energia eólica e o conjunto dos 10 maiores somam um total de 84,2%.

**Tabela 02 – As 10 maiores capacidades acumuladas até dezembro de 2014**

<b>País</b>	<b>MW</b>	<b>(%)</b>
China	114,763	31,0
Estados Unidos	65,879	17,8
Alemanha	38,165	10,6
Espanha	22,987	6,2
Índia	22,465	6,1
Reino Unido	12,440	3,4
Canadá	9,694	2,6
França	9,285	2,5
Itália	8,663	2,3
Brasil	5,939	1,6
Resto do mundo	58,275	15,8
<b>10 maiores</b>	<b>311,279</b>	<b>84,2</b>
<b>Total mundial</b>	<b>369,553</b>	<b>100</b>

Fonte: Extraído de GWEC (2015, p. 03).

Na região da Ásia, o crescimento da energia eólica é puxado principalmente pela China e pela Índia, cujos governos estimulam fortemente esse setor através de investimentos diretos e medidas regulatórias. Ambos também possuem uma relevante indústria de bens de capital que fornecem equipamentos para a indústria eólica local. Fornecedores de aerogeradores como a Suzlon, na Índia, Sinovel, Goldwind e Dongfang, na China, surgiram para atender a região asiática, mas já expandem sua produção para todo o globo, fazendo aquisições e fusões com outros fabricantes europeus e conquistando cada vez mais mercados no Brasil (LAGE; PROCESSI, 2013).

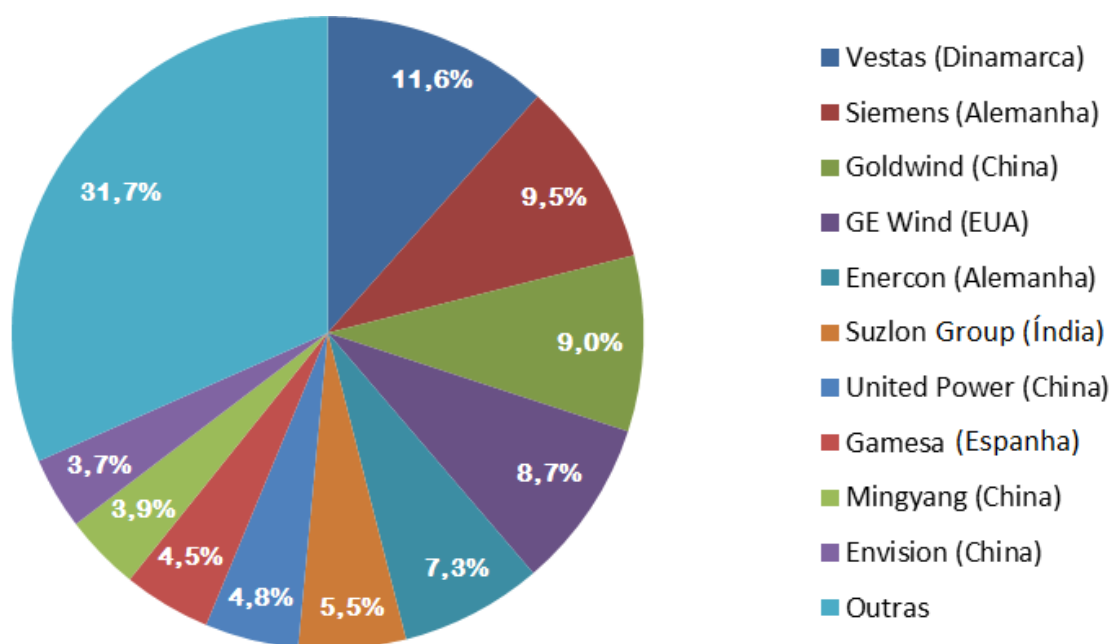
Os Estados Unidos é o segundo país em capacidade acumulada até o final de 2014, cujo acréscimo de energia eólica durante o ano foi de 4,8 GW. Os investimentos americanos no setor seguem uma trajetória cíclica, pois não há uma política consistente e de longo prazo para incentivo às energias renováveis (LAGE; PROCESSI, 2013).

A Europa é uma região avançada em termos de maturidade do mercado de energia eólica. Está em segundo lugar entre as regiões com maior potência instalada, atrás da Ásia. Alemanha, Espanha e Reino Unido estão entre os principais investidores desse tipo de fonte. A Alemanha é líder na região, com 39 GW instalados até 2014, dos quais, 5 GW foram adicionados durante o ano. Siemens e Enercon, duas das líderes mundiais, fabricantes de turbinas eólicas, são sediadas no país. Em 2014, a Espanha viveu um baixo momento de capacidade nova instalada, apenas 28 MW, enquanto o Reino Unido acrescentava 1,7 GW ao sistema. A fabricante de aerogeradores, líder do mercado, Vestas, é da Dinamarca e a Gamesa é espanhola. Juntas, as quatro fabricantes europeias, conquistaram mais de 30% de participação do mercado mundial em 2014 (GWEC, 2015).

Embora a Europa seja a pioneira da tecnologia de geração de energia através da força dos ventos, tendo quatro das dez maiores fabricantes de turbinas eólicas do mundo, a China tem um mercado que cresceu bastante nos últimos anos, se tornando líder mundial do setor e impactando bastante o cenário mundial. Sozinha, a China possui outras quatro das dez maiores fabricantes de aerogeradores do mundo, cuja produção abastece o mercado interno e externo (SOUZA, 2010; LAGE; PROCESSI, 2013; GWEC, 2014; REN21, 2015).

A seguir, o gráfico 01 mostra a participação de mercado das dez maiores fabricantes de turbinas eólicas do mundo. Juntas elas respondem por quase 70% da produção mundial desses equipamentos. A fabricante dinamarquesa Vestas, responde sozinha por 11,6% de participação no mercado, seguida pela alemã Siemens, com 9,5% de participação. A chinesa Goldwind e a norte americana GE Wind, possuem respectivamente 9,0% e 8,7% da fatia do mercado. Em seguida aparecem as fabricantes Enercon (7,3%), Suzlon Group (5,5%), United Power (4,8%), Gamesa (4,5%), Mingyang (3,9%) e Envision (3,7%). Os cálculos foram feitos com base nos 53,5 GW comercializados no período de 2014.

**Gráfico 01 – Participação de mercado das maiores fabricantes de turbinas eólicas, 2014.**



Fonte: Extraído de REN21 (2015, p. 71)

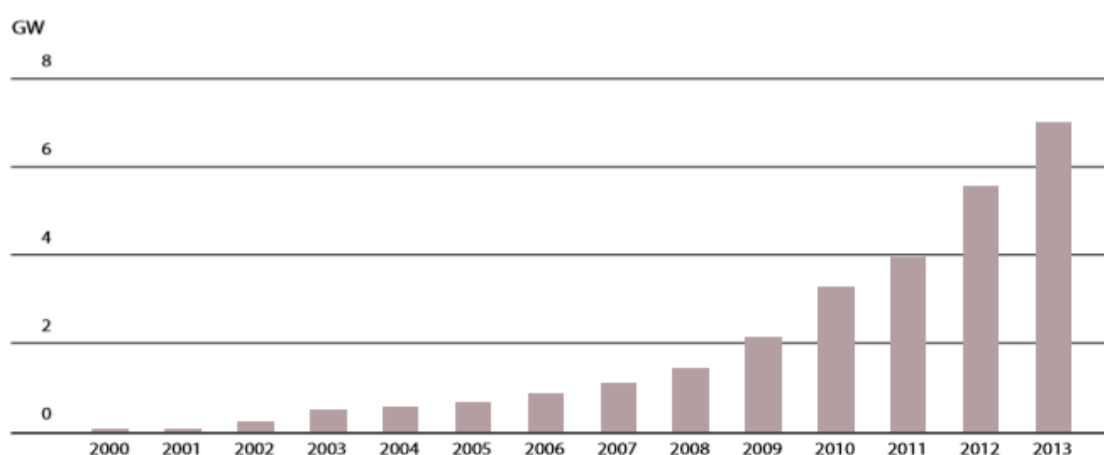
### 2.3 Energia Eólica *Offshore*

Diferente das usinas eólicas instaladas no continente, chamadas *onshore*, as usinas eólicas instaladas em alto mar são conhecidas como *offshore*. Estas últimas são uma alternativa as primeiras, em vista do melhor aproveitamento do vento em alto mar, além de uma alternativa aos problemas ambientais registrados pelas usinas em terra, como emissão de ruídos, tamanho das turbinas, proximidade dos centros urbanos e, ainda, porque as terras de melhor aproveitamento eólico geralmente situam-se no litoral, onde apresentam um alto valor de mercado e um grande apelo imobiliário (SCHOR, 2015).

No final de 2014, havia 8,6 GW de capacidade instalada acumulada de sistemas eólicos *offshore* no mundo. Cerca de 90% dessa capacidade se situava ao largo da costa ocidental da Europa, em países como Alemanha e Reino Unido. China e Japão detinha a outra parcela. Em 2013, os sistemas offshore representavam cerca de 2% da capacidade instalada acumulada de energia eólica (GREENPEACE, 2013; IRENA, 2015).

Apenas em 2012, quase 2 GW de energia eólica offshore foram adicionados em linha, destes, 93% na costa europeia. Estima-se que em 2020, esse percentual cairá para 60%, sendo a China, sozinha, responsável por 30% da capacidade total instalada (GREENPEACE, 2013). A figura 05 ilustra o crescimento da capacidade instalada acumulada de energia eólica offshore entre os anos 2000 até o final de 2013.

**Figura 05 – Capacidade acumulada de energia eólica offshore instalada até 2013.**



Fonte: Extraído de IRENA (2015, p. 65)



## 2.4 Custos da energia eólica *Onshore e Offshore*

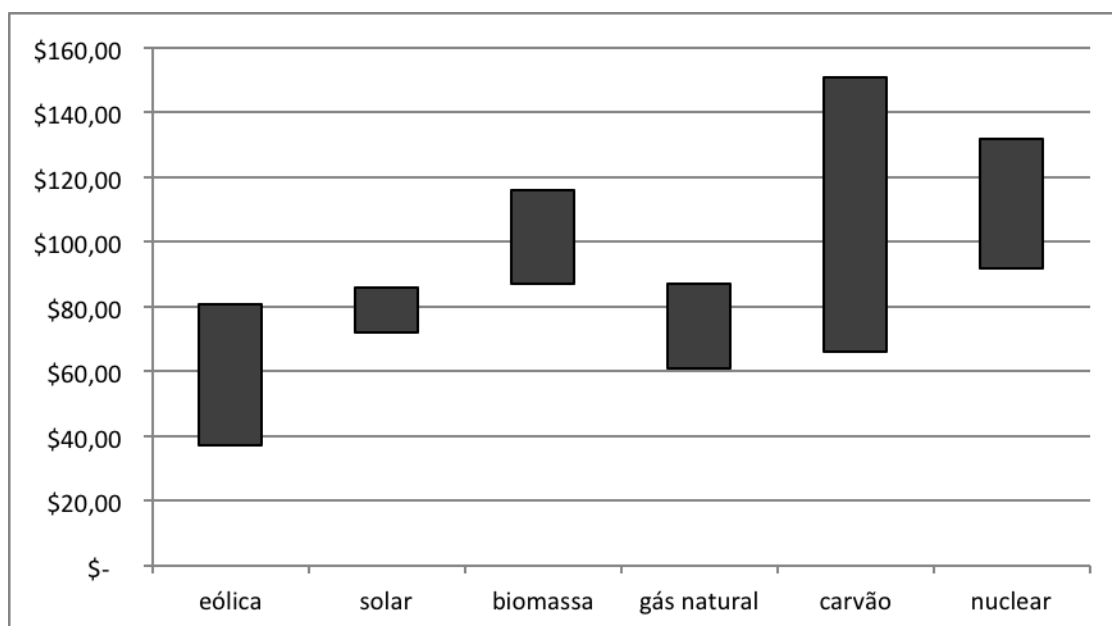
Os custos referentes à geração de energia e instalação de parques eólicos podem variar muito de acordo com as políticas aplicadas em cada país, com as características de cada projeto (tecnologia adotada, instalações, localização do empreendimento, etc.) e as condições geográficas de cada região (vento, relevo, clima, etc.). Ao longo do tempo, esses custos têm apresentado uma trajetória decadente. Fatores como, domínio ou acúmulo de conhecimento dos processos de fabricação dos equipamentos, aperfeiçoamentos tecnológicos e produção em larga escala têm levado à rápida redução dos custos no setor eólico, tornando-o competitivo em relação às outras fontes energéticas (CAMARGO, 2005; SOUZA, 2010).

Segundo Camargo (2005), dados do departamento de energia americano (USDOE) indicam que em 1979, o custo da energia eólica era de US\$ 400/MWh. Em 2000, chegou a US\$ 60/MWh e em 2004 atingiu US\$ 45/MWh. Neste mesmo ano, o custo do kWh gerado variava entre US\$ 0,039 em algumas usinas do Texas e US\$ 0,05, ou mais, no pacífico Noroeste. Em 2002, na Europa, o custo correspondia a € 39/MWh, com tendência de queda para os anos seguintes.

Um estudo recente feito pelo banco de investimento franco-americano Lazard mostrou que o custo de gerar um MWh de energia eólica nos Estados Unidos varia entre US\$ 37 e US\$ 81 em uma política de preços não subsidiados. Em comparação, o gás natural sai a US\$ 61 e o carvão a US\$ 66. Quando subsidiados, os dados do estudo apontam que os custos da energia eólica são ainda menores, variando entre US\$ 14 e US\$ 67 (LAZARD, 2014).

O gráfico a seguir, que é uma elaboração própria, criado a partir de dados divulgados pelo banco Lazard, ilustra a comparação entre os custos de geração de energia entre fontes renováveis como eólica, solar e biomassa e fontes convencionais não renováveis como gás natural, carvão e nuclear. A energia gerada pela força dos ventos é, notadamente, aquela que produz energia a um preço mais baixo, em comparação com as outras cinco fontes.

**Gráfico 02 – Comparação dos custos nivelados de energia não subsidiada (US\$/MWh)**



Fonte: LAZARD (2014) – Elaboração própria.

Em um projeto eólico, os custos geralmente são divididos em: custos iniciais do projeto e custos anuais com operação e manutenção. Os custos iniciais envolvem os estudos de viabilidade técnica, negociações e desenvolvimento, projetos de engenharia, custo dos equipamentos, infraestrutura e despesas diversas. Os custos anuais com operação e manutenção envolvem as despesas com equipamentos como, manutenção e prevenção, além de despesas com arrendamentos, seguros, entre outras. A turbina eólica representa o mais importante e significativo custo de um projeto (DUTRA; TOLMASQUIM, 2002; SENTER, 2011).

Senter (2011) destaca que cerca de 75% dos custos totais de um projeto eólico, referem-se aos investimentos iniciais e que, por não depender de combustíveis fósseis, como as termelétricas a gás natural e carvão mineral, os custos anuais não são onerosos, pois o combustível utilizado é o vento, não sendo este negociado comercialmente.

A tabela a seguir, apresenta a composição detalhada do custo de capital para um parque eólico de 20 MW em San Matias, no México. A turbina eólica representa 68,5% dos custos totais instalados, obras civis e ligação à rede correspondem a 22%, planejamento e outros custos de desenvolvimento do projeto aparecem com 9,5% (IRENA, 2015).

**Tabela 03 – Composição do custo de capital para um parque eólico de 20 MW no México**

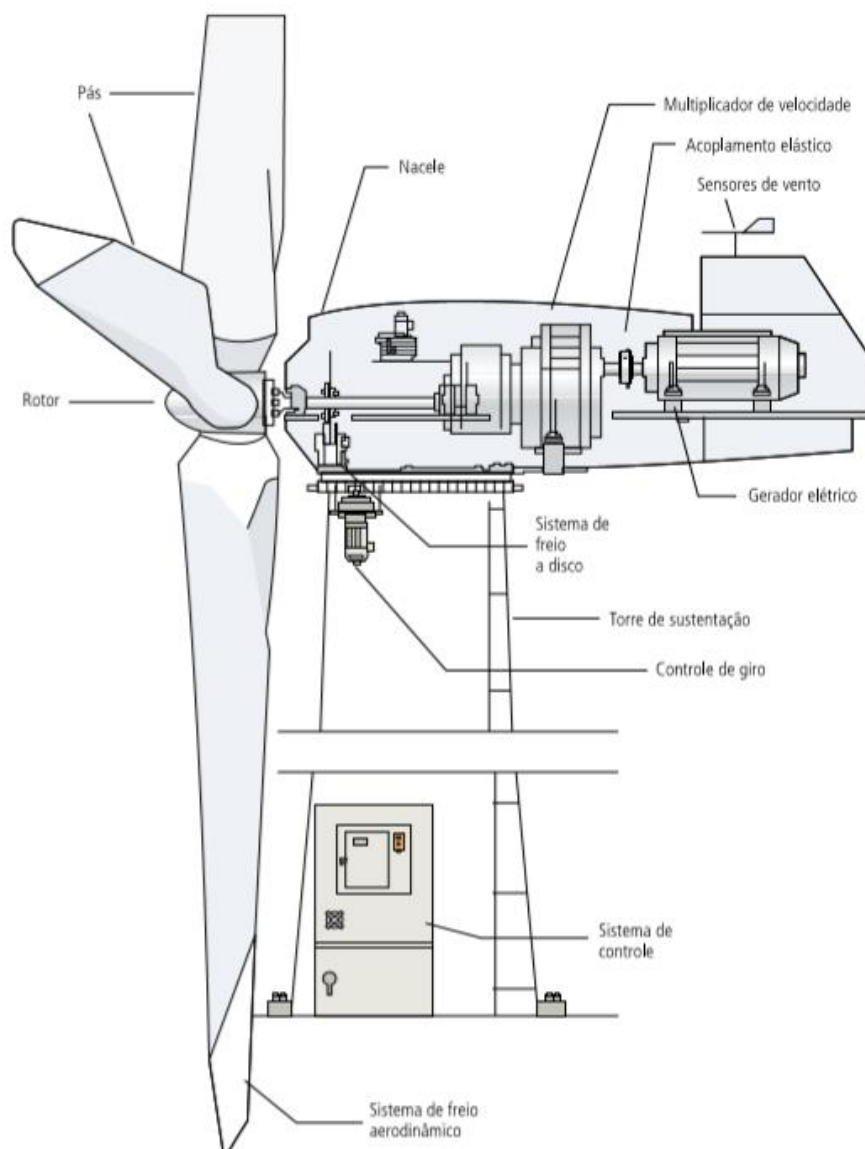
	Milhões de US\$ (2014)	(%)
Obras civis e ligação à rede	17,57	22
Turbinas eólicas e instalação	22,91	68,5
Planejamento e Gestão	4,27	9,5
Custos totais	44,74	100

Fonte: IRENA (2015) – Elaboração própria.

Conforme destaca a Agência Internacional de Energia Renovável (IRENA), as turbinas eólicas são o principal item de custo no desenvolvimento de um projeto eólico. Elas podem ser responsáveis por até 84% do custo total de instalação de um parque eólico, embora sejam possíveis valores maiores.

Entre os componentes das turbinas eólicas estão: a torre, a nacele, o rotor, as pás do rotor, os freios, o sensor de direção, o eixo, a caixa de velocidades, o gerador, o sensor de vento e os controladores eletrônicos.

**Figura 06 – Desenho esquemático de uma turbina eólica moderna**



Fonte: Extraído de ANEEL (2005, p. 97)

Os custos são a principal diferença entre sistemas eólicos *onshore* e *offshore*, mesmo que a tecnologia utilizada nas turbinas seja praticamente a mesma. Os custos de ligação à rede, construção e outros custos do projeto são substancialmente maiores em sistemas *offshore* do que em sistemas *onshore*. Essa diferença pode ser explicada por vários fatores, entre eles está o fato de que as torres das usinas eólicas instaladas no mar precisam ser mais altas devido à parte que fica submersa, as fundações são mais difíceis de construir, a transmissão elétrica é mais cara por ser feita com cabos submarinos e porque o ambiente marinho é consideravelmente mais corrosivo e abrasivo, o que requer um tratamento especial aos materiais utilizados na construção dos

equipamentos. Além disso, por se tratar de um empreendimento localizado no mar, há a dificuldade de acesso às turbinas, que acaba sendo feito através de barcos ou helicópteros (TRAPP, 2009).

Essas diferenças acabam reduzindo a parcela de custo das turbinas eólicas para um percentual entre 30% e 50% em relação ao custo total do projeto em parques eólicos *offshore*. Entretanto, sistemas eólicos *offshore* são beneficiados pela incidência de ventos intermitentes, bem como pelo tamanho das turbinas que geralmente são maiores, favorecendo a produção de energia. Os custos médios instalados entre 2000 e 2014 para projetos eólicos offshore, foram ligeiramente maiores que US\$ 4700/kW nos países da OCDE, enquanto que na China o custo foi de aproximadamente US\$ 2400/kW, como resultado da implantação de projetos mais baratos. Os projetos propostos para 2015 a 2020 estão mirando custos mais baixos, de cerca de US\$ 4100/kW, em média, mas dependem de grandes incentivos para alcançar economias de escala (IRENA, 2015).

**Tabela 04 - Comparação de Composição do custo de Capital para sistemas de energia eólica *Onshore* e *Offshore* em países desenvolvidos**

Participação no custo de:	Onshore (%)	Offshore (%)
Turbina eólica	64-84	30-50
Conexão à rede	9-14	15-30
Construção	4-10	15-25
Outros custos	4-10	8-30

Fonte: Extraído de IRENA (2015, p. 58)

Segundo dados do Relatório Mundial 2015 da REN21 (2015), os custos offshore geralmente são cerca de 50% a 60% maiores do que em terra e variam de cerca de US\$ 204/MWh (€ 168/MWh) no Reino Unido (incluindo infraestrutura de transmissão) para US\$ 170/MWh (€ 140/MWh) na Alemanha, chegando a US\$ 125/MWh (€ 103/ MWh) na Dinamarca (a ser completado em 2020). Na Europa, a indústria tem como meta chegar a US\$ 122/MWh (€ 100/MWh) em 2020. Os fabricantes MHI-Vestas e Siemens e o desenvolvedor DONG Energy assinaram uma declaração conjunta no início de 2015 para um objetivo unirem-se para reduzir os custos da energia eólica offshore abaixo desse nível em 2020.

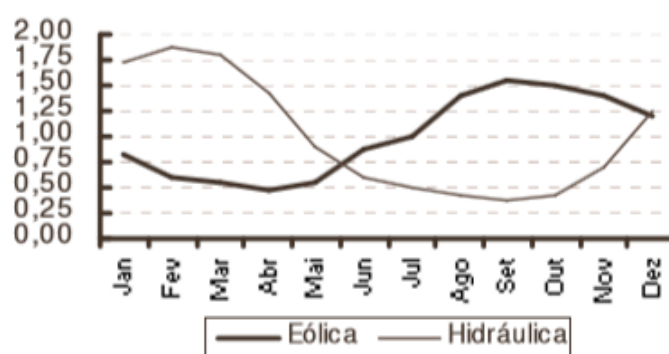
### 3. SURGIMENTO DA ENERGIA EÓLICA NO BRASIL

#### 3.1 Evolução da energia eólica no Brasil

O Brasil é considerado um dos países com o maior potencial eólico do mundo devido à sua extensão continental e a grande incidência de fortes ventos no litoral, com destaque para a região nordeste. Segundo dados atualizados do Global Wind Energy Council (GWEC), o potencial eólico brasileiro é estimado em aproximadamente 350 GW, para ventos de 80 a 100 metros de altura, duas vezes maior que o publicado pelo primeiro Atlas Eólico Brasileiro, em 2001, que na época estimava uma potência total de 143.5 GW (figura 06), maior até mesmo que a estimativa do potencial hidrelétrico nacional, que é de 260 GW, de acordo com a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2005).

Outro dado importante sobre a produção de energia eólica no Brasil refere-se à possibilidade de otimização da complementaridade em relação aos regimes sazonais eólico e hidrológico. Ou seja, em períodos de escassez de água, a geração eólica pode atuar como uma fonte complementar ao sistema elétrico brasileiro, visto que em períodos de pouca chuva os regimes de vento são mais intensos (figura 07). Essa integração na operação de usinas hidrelétricas e eólicas tendem a otimizar o uso dos reservatórios hídricos (responsáveis por mais 60% da geração de eletricidade no país) e adicionam estabilidade sazonal ao sistema elétrico interligado (SCHULTZ *et al*, 2005).

**Figura 07 – Regimes sazonais das energias eólica e hidráulica**

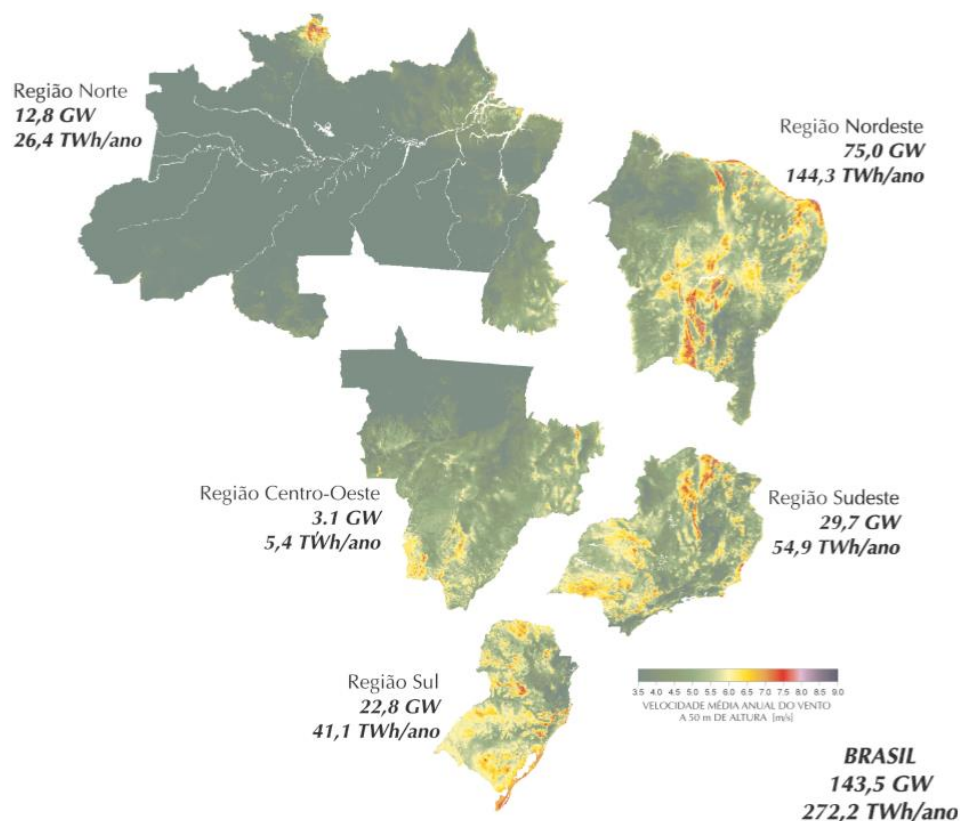


Fonte: Extraído de Schultz *et al* (2005, p. 17).

A figura abaixo ilustra o Atlas do Potencial Eólico Brasileiro, estimado pela primeira vez em 2001, para ventos com altura de 50 metros, com os respectivos potenciais de cada região do Brasil. Nestas estimativas, a região nordeste representava mais de 50% de todo o potencial eólico do país,

com um total de 75 GW, com destaque para os estados do Rio Grande do Norte, Ceará, Pernambuco e Bahia. E no sul, o estado de maior destaque é o Rio Grande do Sul (AMARANTE *ET AL*, 2001).

**Figura 08 – Estimativa do Potencial Eólico Brasileiro em 2001 para ventos de 50 m de altitude.**



Fonte: Extraído de Amarante *et al* (2001, p. 44).

Devido ao enorme potencial e aos benefícios da geração de energia eólica, bem como a uma série de outros fatores externos como a crise econômica de 2008 e as perspectivas de crescimento do mercado brasileiro de consumo desse tipo de energia, o Brasil despontou na América Latina como o grande exponencial na produção de energia por fonte eólica e tem se tornado um dos maiores produtores mundiais de energia por esse tipo de fonte (MELO, 2013).

A primeira turbina eólica instalada no Brasil data de junho de 1992, no Arquipélago de Fernando de Noronha, Pernambuco. É considerada a primeira turbina eólica de grande porte em operação comercial instalada na América do Sul. Foi um projeto realizado pelo Grupo de Energia Eólica da Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, financiado com recursos do *Folkecenter*, um instituto de pesquisas dinamarquês, em parceria com a Companhia Energética de Pernambuco – CELPE. A turbina possuía um gerador de 75 kW de potência, rotor de 17 m de diâmetro e torre de 23 m de altura. A energia gerada pela turbina correspondia a 10% do total de energia gerada pela

ilha na época, resultando numa economia de até 70 mil litros de óleo diesel por ano. A segunda turbina da ilha foi instalada em maio de 2000, entrando em operação em 2001. Era um projeto do Centro Brasileiro de Energia Eólica – CBEE/UFPE em parceria com o *RISØ National Laboratory* da Dinamarca, com financiamento da ANEEL. A turbina tinha um gerador de 225 kW de potência, pás de 13 m de comprimento e torre de 30 m de altura, produzindo até 60 MWh por mês na fase experimental. As duas turbinas produziam juntas até 25% da energia consumida na ilha, tornando Fernando de Noronha o maior sistema híbrido eólico-diesel do Brasil (ANEEL, 2002).

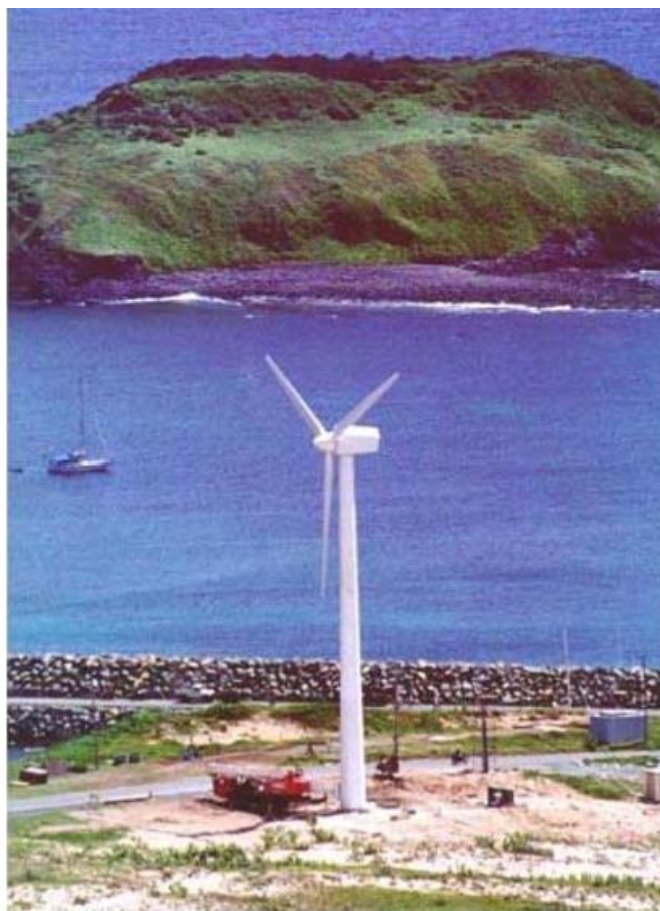
**Figura 09 – Primeira turbina eólica instalada no Brasil em 1992, em Fernando de Noronha.**



Fonte: MEMÓRIA DA ELETRICIDADE. Primeira turbina eólica de Fernando de Noronha: 2000.  
Fonte: Extraído de ANEEL (2005, p. 105)



**Figura 10 – Segunda turbina eólica instalada em Fernando de Noronha, 2001.**



Fonte: CENTRO BRASILEIRO DE ENERGIA EÓLICA – CBEE / UFPE. 2000. Disponível em: [www.eolica.com.br](http://www.eolica.com.br).

Fonte: Extraído de ANEEL (2005, p. 106)

A primeira usina eólica do país foi instalada em 1994, no município de Gouveia, Minas Gerais. A Central Eólica Experimental do Morro do Carmelinho, possuía uma potência nominal de 1 MW, gerados a partir de 4 turbinas de 250 kW, com rotor de 29 m de diâmetro e torre de 30 m de altura. Foi um projeto realizado pela Companhia Energética de Minas Gerais em parceria com o governo da Alemanha – Programa Eldorado (ANEEL, 2005).

Em 2001, o governo brasileiro instituiu o Programa Nacional de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica – PROINFA, através da Medida Provisória N° 14, de 21 de dezembro de 2001 – convertido na Lei N° 10.438, de 26 de abril de 2002, com o objetivo de agregar 3.300 MW de potência instalada ao Sistema Elétrico Interligado Nacional, sendo destes 1.100 MW provenientes de projetos eólicos.

Em janeiro de 2002 havia apenas 6 centrais eólicas em operação no país, correspondendo aos 18.800 kW de capacidade instalada. Em setembro de 2003 esse número cresceu para 22.025 kW instalados em 9 centrais, um crescimento pouco maior que 17%. Com a primeira

fase do PROINFA, o número de usinas eólicas em operação no Brasil aumentou para 17, atingindo uma potência instalada de 273 MW até novembro de 2008, registrando uma taxa média de crescimento anual de 65% em relação aos cinco anos anteriores (ANEEL, 2008).

Além de incentivar a geração de energia por fontes renováveis, o PROINFA também objetivava dar suporte à indústria nacional de equipamentos, por isso foram instituídos índices mínimos de nacionalização dos equipamentos utilizados nos empreendimentos, 60% durante a primeira fase e 90% na segunda fase. Na segunda fase, originalmente previa-se que em 20 anos, 10% da energia elétrica gerada no Brasil seria proveniente de fontes renováveis. Entretanto, foi justamente a instituição dos índices mínimos de nacionalização e a alta dependência de importação de equipamentos para montagem das usinas que travou a expansão da energia eólica. Com o resultado, em 2008, o Ministério de Minas e Energia anunciou a intenção de rever as regras do Programa para tentar solucionar os impasses, ao mesmo tempo anunciou a realização de leilões de energia para o ano seguinte. Com a reforma do setor elétrico (Lei Nº 10.848, de 15 de março de 2004 e Decreto 5.163, de 30 de julho de 2004), a segunda fase do PROINFA foi profundamente alterada. A reforma focou na introdução de leilões para a contratação da nova capacidade de geração de energia pela menor tarifa ao consumidor final (CNI, 2008; ANEEL, 2008).

O PROINFA, que deu início à trajetória de expansão da energia eólica produzida no Brasil, lançado em 2004, foi responsável pela contratação de mais de 1,4 mil MW ao sistema gerador de energia (MELO, 2013).

Ainda de acordo com Melo (2013), os leilões de energia nova, realizados no Brasil pela primeira vez em 2009, contribuíram para a consolidação da energia eólica na matriz energética nacional, alcançando o ápice no ano de 2011, quando os leilões contrataram uma expressiva quantidade de energia, 2.905 mil MW. Tais dados corroboram com Nascimento, Mendonça e Cunha (2012, p. 630), que avaliam “os valores alcançados ao longo dos últimos leilões de energia eólica têm evidenciado o potencial de competitividade dessa fonte energética em comparação com as demais”.

Além dessas políticas, a crise externa de 2008, que desacelerou as economias norte americanas e europeias, líderes na produção de energia eólica, fez com que as empresas desse setor procurassem novos mercados, incluindo o Brasil (SIMAS; PACCA, 2013). Além disso, as perspectivas de preferência dos novos leilões de energia por as energias renováveis alternativas, contribuíram para essa onda de investimentos diretos no país, fábricas de aerogeradores instaladas, além daquelas que atuam no mercado nacional, fábricas de torres, de pás e das indústrias de

serviços relacionadas ao setor (MELO, 2013; NASCIMENTO; MENDONÇA; CUNHA, 2013; SIMAS; PACCA, 2013).

### **3.2 Dados atualizados da energia eólica no Brasil**

A política econômica brasileira tem vivido momentos de grande expansão com a criação de programas como o Programa de Aceleração do Crescimento (PAC), que chegou à sua segunda versão, o PAC 2, iniciado em 2011, com investimentos superiores à ordem de um trilhão de reais ao final de 2014. No Eixo energia, o programa alcançou um investimento de mais de 250 bilhões de reais, injetando 15,9 mil MW no parque gerador brasileiro e entraram em operação 108 usinas eólicas, com capacidade instalada de 2.849 MW (BRASIL, 2014).

O governo brasileiro, através de um aparato legal e institucional, bem como por uma série de planos, ações e programas, tem sido o grande fomentador das energias renováveis, que se iniciou no ano de 2004 com o PROINFA e continuou, até então, com os mais recentes leilões de energia nova, onde a fonte eólica teve sua primeira participação em 2009, segundo dados da Empresa de Pesquisa Energética (EPE), expostos no Plano Decenal de Expansão de Energia 2023 – PDE 2023 (EPE, 2014).

Os investimentos e incentivos do governo brasileiro no sistema elétrico nacional fazem parte de uma política energética que vigora desde o início dos anos 2000, quando, à época, houve no Brasil um período de racionamento de energia, que ficou conhecido como Crise do Apagão, provocado por uma série de mudanças drásticas na regulação do setor elétrico durante o governo vigente, acompanhado pela falta de planejamento energético de longo prazo e somados a um período de grande estiagem que diminuiu dramaticamente a capacidade dos reservatórios das grandes hidrelétricas brasileiras (GOLDENBERG; PRADO, 2013).

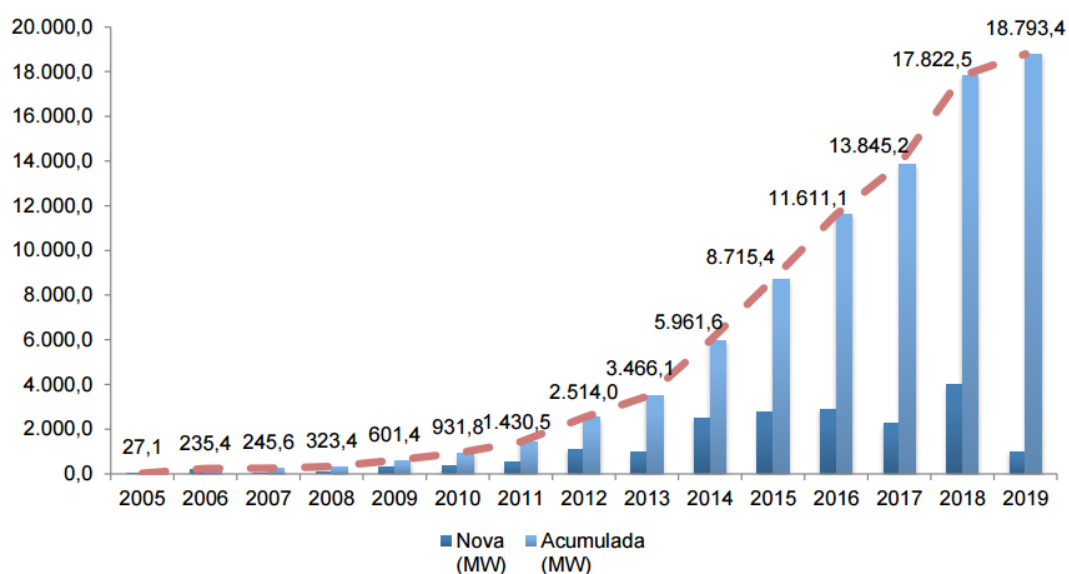
A partir de um cenário de baixíssima participação da energia eólica na matriz energética nacional, antes dos programas de governo de fomento às energias alternativas renováveis, menos de 0,05% do total, atualmente sua participação representa mais de 5,4% da capacidade total instalada de energia elétrica no país, segundo a ANEEL, com perspectivas de se chegar ao ano de 2023 com 11,4% de participação na capacidade total instalada, totalizando 22,4 GW (EPE, 2014).

Além dos incentivos do governo, o atual momento de integração da energia eólica no Brasil se dá também por fatores como o progresso tecnológico, acúmulo de conhecimento dos processos de fabricação de equipamentos e uso das tecnologias, competitividade entre as inúmeras

indústrias do setor, características do vento brasileiro, redução dos custos de produção e redução dos preços negociados nos leilões de energia (MELO, 2013).

Inicialmente, devido ao grande desenvolvimento dessa fonte no Brasil e a demanda por preços baixos, houve tendência de entrar no país equipamentos de tecnologia secundária. Entretanto, a partir dos leilões de 2010 e 2011, esse cenário começou a mudar. Os novos equipamentos que chegavam refletiam a tecnologia de ponta dos fabricantes. O país começava a importar turbinas de 3 MW de potência, torres de 120 metros de altura com pás que chegavam a mais de 60 metros de comprimento, que começaram a fazer parte do portfólio de tecnologias instalados nos parques eólicos brasileiros (GANNOUN, 2014).

**Figura 11 – Evolução da capacidade instalada de energia eólica no Brasil.**



Fonte: Extraído de ABEEÓLICA (2015, p. 07)

Conforme dito anteriormente, a fonte eólica está presente nos leilões de energia desde 2009. Até o final de 2012 o país havia contratado pouco mais de 7 GW de potência pela modalidade dos leilões, contrastando fortemente com os primeiros investimentos do país no setor quando da implantação do PROINFA, onde 1,4 GW de potência haviam sido contratados por preços até três vezes maiores. Na época do Programa, o investimento inicial era de R\$ 6 milhões por MW instalado, nos leilões esse valor chegou a R\$ 3,5 milhões por MW instalado. O que se observou foi uma média de demanda anual de 2 GW de capacidade nova instalada, movimentando mais de R\$ 7 bilhões por ano, com previsão de chegar a R\$ 50 bilhões em 2020 (MELO, 2013).

Atualmente, no Brasil, há apenas centrais eólicas *onshore*. O país não possui projetos para parques eólicos *offshore* especialmente porque o potencial de geração em terra ainda não foi

plenamente explorado. Não havendo justificativa econômica para tanto, embora o potencial de exploração possa alcançar 1,78 TW na faixa da Zona Econômica Exclusiva do Brasil – ZEE, área marítima cuja exploração econômica é exclusiva ao país a que pertence, que se estende por 200 milhas náuticas a partir da linha costeira (SCHOR, 2015).

### **3.3 Cadeia Produtiva Brasileira**

No Brasil, as empresas que compõem a cadeia produtiva da energia gerada pela força dos ventos são, em sua maioria, multinacionais, principalmente aquelas que fornecem as turbinas eólicas. Entre as empresas brasileiras que compõem essa cadeia, se destacam aquelas que fornecem as pás e as torres.

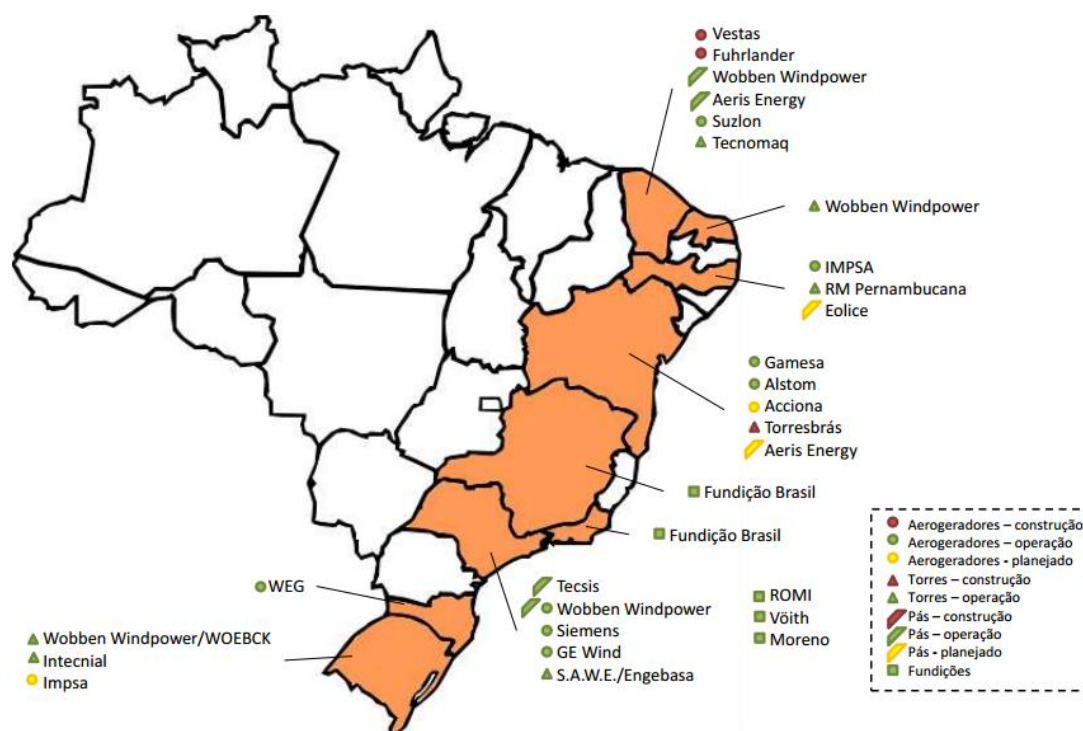
Entre as fabricantes de aerogeradores estão: Wobben Windpower, subsidiária da Enercon, que possui fábrica de pás no Ceará, Vestas, Fuhrlander e Suzlon, que também têm fábricas no Ceará, GE, Impsa Wind, Alstom Wind, as espanholas Gamesa e Acciona e a estreante nacional na fabricação de turbinas de grande porte, WEG (LAGE, PROCESSI, 2013; IBDI, 2014).

Assim como as torres, as pás são componentes de grandes dimensões e de significativa representatividade no custo do aerogerador (cerca de 20%). Entre as empresas que fabricam pás está uma das líderes mundiais no setor, Tecsis, empresa genuinamente brasileira, que produz pás no país para o mercado doméstico e principalmente para o mercado externo (aproximadamente 70% da produção), fornece principalmente para a GE. A iniciante no mercado, Aeris, que começou a operar em 2011 fornecendo para a Suzlon, fornece principalmente para a Acciona e com projetos de produzir também para a WEG. A Wobben que também produz para exportação, com fábrica em São Paulo e no Ceará. Há também a LM Wind Power, com fábrica inaugurada recentemente em Pernambuco e que é uma Joint Venture com a empresa brasileira Eólica (LAGE, PROCESSI, 2013; IBDI, 2014).

Na fabricação de torres, apesar de ser considerado um gargalo, é o setor que conta com o maior número de fornecedores, com destaque para os grupos nacionais como Engebasa, ICEC-SCS, Brasilsat, Intecnial, Máquinas Piratininga e Tecnomaq. Há também fornecedores pertencentes a grupos estrangeiros como Gestamp, Torrebras e INNEO. Também há montadoras de aerogeradores que possuem suas próprias fábricas de torres, de modo a diminuir a dependência de terceiros como é o caso da Wobben e da Alstom. A Gamesa tem participação no grupo Windair, que é proprietário da Torrebras. Existem ainda os novos fabricantes, especialmente para torres de concreto, que estão iniciando ou preparando a entrada no mercado brasileiro, como é o caso da CTZ

Eolic Tower, da Eolicabras e da Cassol. Cabe destacar também a entrada da Brametal, primeiro fabricante de torres treliçadas do País, com utilização de tecnologia alemã. (LAGE, PROCESSI, 2013; IBDI, 2014).

**Figura 12 - Indústria eólica no Brasil, até 2012.**



Fonte: Extraído de Yamamoto (2012) – (disponível em:

<http://www.fiesp.com.br/energia/apresentacoes/sala01/07.08/0830-Elbia-Mello-sub-Sandro-Yamamoto.pdf>)

Além dessas empresas especializadas na produção e montagem desses componentes eólicos, existe também toda uma cadeia produtiva especializada em diversos outros segmentos que auxiliam o setor eólico no país que são: fabricantes de subcomponentes e insumos para as torres, para o rotor, para as pás e o cubo, para a nacelle. Existem ainda as empresas responsáveis pelo fornecimento de materiais diversos como cobre, ferro, aço, alumínio, resina, fibra de vidro, fibra de carbono, plástico, imãs, concreto, adesivos, madeira. Há também outros segmentos de empresas de serviços que auxiliam os projetos eólicos, como aquelas especializadas em elaboração e desenvolvimento de projetos, estudos ambientais, apoio à negociação, serviços de execução do projeto, serviços de operação e manutenção, logística, consultoria, auditoria, serviços financeiros, seguros, treinamento e capacitação profissional e, ainda, as empresas responsáveis pela distribuição da energia gerada, que são as distribuidoras, podendo ser de capital privado (cerca de 70% das distribuidoras de energia) ou de capital público, responsável pelos 30% restantes (IBDI, 2014).

Melo (2013) indica que, em 2013, o Brasil possuía oito fábricas de aerogeradores em operação, quando em 2008 havia apenas uma. Ainda naquele ano, somavam-se também outras treze empresas que atuavam no mercado brasileiro, além das seis fábricas de torres e da segunda maior fabricante de pás eólicas do mundo que é totalmente brasileira. Segundo a autora, o país está tendo uma grande oportunidade de atração de investimentos em capital e tecnologia, podendo usufruir dos benefícios que só uma grande indústria pode proporcionar. Tal fato sinaliza ainda para um futuro promissor, podendo se tornar o país um grande *hub* de produção e exportação de equipamentos eólicos para toda a América Latina.

### **3.4 Uma solução alternativa**

As hidrelétricas compõem o principal recurso energético do Brasil. Segundo dados atualizados da ANEEL, coletados no Banco de Informações de Geração (BIG), a energia proveniente de fontes hidráulicas representa cerca de 60% da matriz elétrica nacional, com uma potência instalada de 92 GW, utilizando 35% do potencial hidráulico brasileiro. Entretanto, estudos indicam que os principais centros de energia hidrelétrica do país, localizados nas bacias do São Francisco e do Paraná, ou seja, sul, sudeste e nordeste, já estão quase integralmente aproveitados, restando aproveitar o potencial da bacia do rio Amazonas, cujo potencial de 106 mil MW, é o maior do país, mas tem a exploração dificultada pela logística e os impasses ambientais (ANEEL, 2008).

Em comparação com as hidrelétricas, as usinas termelétricas, movidas principalmente por fontes fósseis como o carvão mineral, o gás natural e o petróleo, representam 17% da potência elétrica instalada do país. Elas funcionam em complementaridade com as fontes hidráulicas e são acionadas em períodos de grande estiagem, para suprir a oferta de energia e preservar o volume dos reservatórios (ANEEL, 2008). É justamente por essa função complementar ao sistema elétrico nacional que as termelétricas recebem subsídios por parte do governo (WWF, 2012).

Em suma, os entraves à expansão das hidrelétricas no país são de caráter ambiental e logístico e as termelétricas, que se apresentam como solução complementar à fonte hidráulica, dependem de importação de combustíveis fósseis, o que encarece o preço da energia gerada, além de emitir gases que aceleram o processo de aquecimento global. Essa rápida avaliação coloca em evidência o caráter alternativo das energias renováveis, com destaque para a energia eólica que é limpa, renovável, não depende de importação de combustível e com reduzidos impactos ambientais.

Uma publicação elaborada pela organização não governamental WWF-Brasil, em 2012, destacou a importância de incentivos para a geração de energias renováveis alternativas, como

forma de mitigar os efeitos das fontes tradicionais sobre o clima e o meio ambiente, além de garantir um ambiente sustentável e eficaz para o abastecimento de eletricidade no Brasil. O documento visa avaliar os incentivos às fontes tradicionais e compará-los com aqueles utilizados para investir em fontes alternativas, bem como sugerir novos mecanismos de fomento a essas fontes (WWF, 2012).

Ainda, segundo a organização, “No Brasil é possível destinar recursos que hoje financiam a geração de energia por fontes não renováveis para a consolidação das fontes renováveis alternativas”. Algumas soluções apresentadas pela organização foram: estabelecimento de metas de participação das fontes alternativas na matriz energética e nos leilões; ampliar linhas de crédito e incentivos fiscais; leilões específicos para cada fonte; isenção parcial ou total de impostos; incentivos para instalação de pequenos sistemas de geração residencial, injetando a energia excedente na rede elétrica; destinar recursos da Conta de Desenvolvimento Energético (CDE) para projetos alternativos de forma cada vez mais intensa, reduzindo gradativamente os recursos destinados para investir em projetos tradicionais, principalmente termelétricas a carvão mineral.

Gannoum (2014) salienta que a dificuldade de se atender à demanda por energia nos últimos anos, aliada a uma gradativa perda de capacidade de água nos reservatórios, apontam para a necessidade de redirecionar a política energética e definir uma matriz de longo prazo que contemple a geração de energia que seja complementar entre os diversos tipos de fontes disponíveis no país, priorizando aquelas não convencionais e renováveis.

Apesar dos futuros certames não apresentarem claramente um redirecionamento da política energética que levem em consideração a abundante oferta de recursos renováveis de energia e, sobretudo a diferença de tecnologia e de custos de cada uma dessas fontes, há por parte do mercado uma expectativa favorável de que uma “nova ordem de contratação de energia” seja implementada no País, na qual não se levará em consideração apenas o preço da potência negociada nos leilões, mas, sobretudo a importância da fonte de geração de energia, o seu papel na matriz elétrica e sua complementaridade com as demais fontes para que se possa construir no futuro uma matriz de energia elétrica competitiva, mas que seja segura e sustentável do ponto de vista econômico e ambiental. (GANNOUN, 2014, p. 71).



## **4. ENERGIA EÓLICA E DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO NO CEARÁ.**

### **4.1 Aspectos sociais e indicadores econômicos recentes do Ceará**

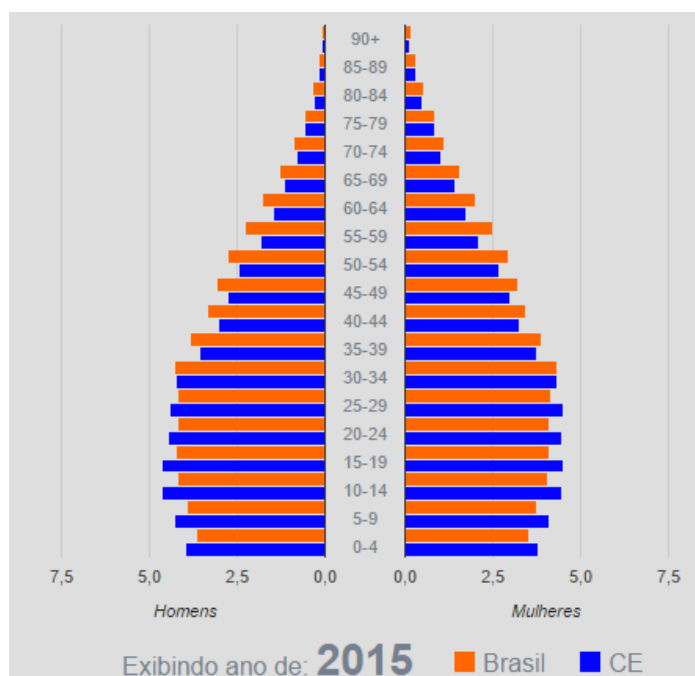
O Estado do Ceará possui uma área total de 148.825,6 km<sup>2</sup> e uma população estimada em 8,9 milhões de habitantes. Localizado na Região Nordeste do Brasil, tem por limites o Oceano Atlântico a norte, os Estados do Rio Grande do Norte e Paraíba a leste, Pernambuco ao sul e Piauí a oeste. Possui uma localização estratégica dada sua proximidade com o continente europeu, América do Norte e África, ocasionando um considerável fluxo turístico internacional e boas condições para o desenvolvimento do comércio exterior. O Estado possui 184 municípios, dividindo-se em 20 microrregiões administrativas, com destaque para a Região Metropolitana de Fortaleza e a Região Metropolitana do Cariri. A capital do Estado e a sede administrativa do Governo é a cidade de Fortaleza, sendo também a cidade mais rica e populosa do Ceará (IPECE, 2015).

Em dados coletados no anuário estatístico do Ceará, disponibilizados pelo Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará (IPECE), autarquia vinculada à Secretaria do Planejamento e Gestão, que publica informações sobre território, demografia, qualidade de vida, infraestrutura, aspectos econômicos e finanças públicas, com base nos dados coletados pelos censos anuais realizados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), indicam que, até 2010, a taxa de urbanização do Estado era de 75,1%, com uma densidade demográfica de aproximadamente 56,8 hab./km<sup>2</sup> e uma taxa média geométrica de crescimento anual da população de 1,3% entre os anos 2000-2010. A composição da pirâmide etária pode ser vista na figura 13, para o ano de 2015. Ainda segundo a autarquia, com dados de 2013, a taxa de cobertura dos serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário para a zona urbana no Estado eram, respectivamente, de 91,56% e 36,19%, e para a zona rural os percentuais eram de 29,92% para cobertura de água e 0,07% para cobertura de esgoto. Para o mesmo ano, a esperança de vida ao nascer era de 73,2 anos de idade. 69,2 para homens e 77,2 para mulheres. A taxa de analfabetismo era de 16,7% (IPECE, 2015).

Ainda outros dados referentes ao Estado apontados pelo órgão, mostram que o consumo de energia elétrica foi de 10.687.502 MWh no ano de 2013; a extensão das rodovias, incluindo as planejadas, pavimentadas e não pavimentadas, somaram 54.938,0 km em 2013, sendo 6,6% dessa extensão federal, 22,6% estadual e 70,8% municipal; o Estado possui dois terminais portuários (Mucuripe e Pecém) e um terminal aeroportuário internacional entre os mais movimentados do país; entre os principais produtos exportados estão calçados e suas partes, frutas e peles; entre as principais importações estão combustíveis, minérios, máquinas e cereais; os municípios que mais

exportam são Fortaleza, Cascavel, Maracanaú e Sobral e os que mais importam são São Gonçalo do Amarante, Fortaleza, Caucaia e Maracanaú (IPECE, 2015).

**Figura 13 – Pirâmide etária da população brasileira e cearense em 2015**



Fonte: IBGE (disponível em: <http://www.ibge.gov.br/apps/populacao/projecao/index.html>)

Segundo o Boletim de Conjuntura Econômica Cearense, referente ao quarto trimestre de 2015 e ao acumulado do ano, publicado também pelo IPECE, a economia cearense tem encolhido nos últimos períodos, acompanhando o ritmo do país. A economia do Ceará encolheu 5,56% no quarto trimestre de 2015, quando comparado com o mesmo período de 2014. No ano, a retração foi de 3,48%. A retração do Produto Interno Bruto cearense (PIB) é resultado da crise econômica vivida no país, onde houve queda na produção industrial, agropecuária e de serviços ao longo dos últimos meses. Segundo o boletim, a queda no setor industrial foi de 4,63%, no setor agropecuário foi de 24,93% e no setor de serviços, que tem a maior parcela na participação do PIB do Estado, a retração foi de 2,40%. No comércio exterior, o saldo da balança comercial, resultado entre exportações e importações, encerrou o ano com retração de 16,49%. Todas essas taxas são referentes ao ano de 2015, comparando-se com o ano de 2014 (IPECE, 2016).

A retração econômica do Estado tem afetado também o mercado de trabalho, onde foi registrado no ano de 2015, o primeiro saldo negativo anual dos últimos doze anos na criação de novos postos de trabalho, o que tem contribuído para a redução da renda média mensal do trabalhador cearense, além do aumento da taxa de juros básica do país, que atualmente encontra-se no patamar de 14,15% e do aumento da taxa de inflação, que corrompe o poder de compra do

consumidor. Atualmente, a inflação acumulada da Região Metropolitana de Fortaleza é de 11,43%, acima da inflação do país, 10,67%, e uma das mais altas entre as principais capitais brasileiras e suas regiões. E ainda, as receitas do Estado apresentaram queda de 8,2% no ano e as despesas um decréscimo de 9,5%. O investimento público declinou 35,8% e os gastos com juros e encargos da dívida ampliaram 27,8% (IPECE, 2016).

## **4.2 Contexto da energia eólica no Ceará**

O Ceará é considerado um estado pobre no que diz respeito às reservas de energias primárias. Não há no Estado nenhuma reserva significativa de petróleo, gás natural, carvão ou recursos hídricos. Entretanto, é uma região muito rica em dois dos principais recursos energéticos renováveis, solar e eólico. O Ceará foi um dos primeiros a receber anemógrafos computadorizados e sensores especiais para estudar a viabilidade da energia eólica, a fim de tornar o Estado energeticamente independente (CEARÁ, 2009).

Segundo o Mapa Territorial de Parques Eólicos do Ceará, elaborado em 2010, pelo governo estadual, o primeiro parque eólico instalado no Estado foi o parque eólico do Mucuripe, que começou a operar em outubro de 1996, com uma capacidade instalada inicial de 1,2 MW divididos em quatro turbinas de 300 kW de potência cada, que mais tarde aumentou para 2,4 MW distribuídos em quatro turbinas de 600kW cada. No ano de 1999 mais dois parques entraram em operação, Taíba e Prainha, nos municípios de São Gonçalo do Amarante e Aquiraz, respectivamente (CEARÁ, 2010).

O parque eólico de Taíba foi o primeiro a atuar como produtor independente no país. Inaugurado em janeiro de 1999, conta com 10 turbinas de 500 kW, rotores de 40m de diâmetro e torres de 45m de altura, totalizando 5 MW de potência instalada. O parque eólico de Prainha, que entrou em operação em abril de 1999, conta com 10 MW de potência instalada, distribuída em 20 turbinas de 500 kW cada. O projeto foi uma iniciativa da empresa alemã Wobben WindPower e era considerado o maior do Brasil (ANEEL, 2005). É importante destacar que ambos os parques eram, até então, os únicos exemplares do mundo instalados sobre dunas (RIBEIRO, 2013).

O Estado do Ceará possui uma faixa litorânea com 573 km de dunas formadas por ventos intensos e constantes. As usinas eólicas que operam no Estado apresentam um surpreendente desempenho, aproveitando-se da baixíssima rugosidade da areia de dunas. O Estado está entre as melhores regiões do mundo para o aproveitamento da energia eólica, devido ao

potencial dos ventos e devido também à crescente demanda de energia resultante do seu desenvolvimento econômico (NETO, 2010).

O Ceará possui um potencial real de geração eólica de 26,2 GW, para ventos com 50 metros de altura, distribuídos entre o litoral (*onshore*), com 13,5 GW, interior, 3,5 GW e no mar (*offshore*), com 9,2 GW. No litoral, muitas áreas não são disponíveis para a instalação de parques eólicos por vários motivos, seja por serem Áreas de Preservação Ambiental (APA), como dunas e mangues, ou por características físicas específicas, como declives, tornando viável o uso de apenas 40% da faixa litorânea. Em relação ao potencial *offshore*, o Estado conta com um grande diferencial por possuir uma plataforma continental rasa, com média de 8 m de profundidade em cerca de 35% de sua faixa litorânea, o que faz com que os custos de instalação e manutenção sejam reduzidos e facilitados. O interior conta com áreas em três altiplanos principais: Serra da Ibiapaba, Chapada do Araripe e Vale do Jaguaribe (CEARÁ, 2010).

Os dados sobre o potencial eólico utilizados pelo governo do Ceará na elaboração do Mapa Territorial de Parques Eólicos foram criados com medições feitas a partir de ventos com altitude de 50 metros, utilizando aerogeradores de 2,1 MW de potência, uma velocidade média do vento de 8 m/s e um fator real de capacidade de 35%. Conforme já foi dito anteriormente, atualmente esse potencial é bem maior, por existirem turbinas de mais de 3 MW de potência e torres de mais de 100m de altura, onde a velocidade e constância dos ventos são maiores, por conseguinte, o fator de capacidade também é maior.

Dados atualizados da ANEEL, dispostos no site da agência, apontam para o fortalecimento da matriz eólica no Estado. Atualmente o Ceará conta com 45 empreendimentos eólicos em operação e uma potência instalada de 1,25 GW, representando quase 40% da matriz elétrica do Estado. Outros 29 projetos com potência instalada de cerca de 700 MW estão em fase de construção e 30 empreendimentos de 622 MW de potência ainda não deram início às obras. Esses dados permitem inferir em uma potência instalada futura no Estado de mais de 2,5 GW, com uma participação de quase 50% na matriz estadual (ANEEL, 2016).

Vale ressaltar que o potencial de energia eólica disponível no Ceará é capaz de suprir a demanda interna, bem como gerar excedentes para o fornecimento do Sistema Interligado Nacional – SIN, que é um sistema que coordena e controla a produção e transmissão de energia elétrica no país, composto por múltiplos proprietários, estatal e privados, de todas as regiões do país (NETO, 2010).

**Tabela 05 – Ranking dos maiores estados em potência eólica instalada**

<b>Estado</b>	<b>Empreendimentos em operação (kW)</b>	<b>Empreendimentos em construção (kW)</b>	<b>Construção não iniciada (kW)</b>
Rio Grande do Norte	2 534 556	645 400	1 664 500
Rio Grande do Sul	1 544 817	257 600	253 100
Bahia	1 421 640	1 086 000	2 350 850
Ceará	1 254 234	702 500	622 500

Fonte: Banco de Informações de Geração, BIG (ANEEL, 2016) – Elaboração própria.

O Estado do Ceará é o quarto estado em potência instalada, atrás do Rio Grande do Norte, Rio Grande do Sul e Bahia. Ao fim do ciclo, o Ceará ficará em terceiro lugar, a Bahia em primeiro, o Rio Grande do Norte em segundo e o Rio Grande do Sul perderá duas posições. Juntos, os quatro estados representam mais de 80% de toda a potência eólica instalada do Brasil, alcançando pouco mais de 6,75 GW de potência.

#### **4.3 Alternativa econômica e sustentável para o Ceará**

Assim como no nordeste brasileiro, o Estado do Ceará possui uma matriz energética baseada principalmente em termelétricas movidas por fontes fósseis, incluindo a maior térmica do Brasil movida a carvão mineral, com potência instalada de 720 MW, localizada no Pecém. Segundo a ANEEL (2016), cerca de 60% da potência instalada no Estado corresponde à energia proveniente das térmicas. O que representa um risco não só para o meio ambiente, mas para a geração de energia e o bolso do consumidor, visto que a utilização dessas usinas depende da importação de combustíveis fósseis com preços de *commodities* altamente voláteis, o que encarece o custo da energia, e quem paga esse custo é o consumidor final.

Soma-se a isso, a dependência do Estado na importação de energia elétrica de outros estados. A maior parte da demanda de energia elétrica do Ceará é suprida pela Companhia Hidro Elétrica do São Francisco (CHESF) por meio da geração nas usinas hidrelétricas de Sobradinho, Itaparica, Paulo Afonso e Xingó, além da Usina Hidrelétrica de Tucuruí, no Pará, mais de 1000 km de extensão de linhas de transmissão até a ponta de consumo (CEARÁ, 2010; NETO, 2010).

Conforme o que foi dito no tópico anterior, foi a carência e a dependência do Estado por energia, bem como seu clima privilegiado, que levou o governo cearense a buscar por fontes alternativas que pudessem atender à necessidade da demanda, bem como aos interesses em desenvolvimento industrial e sustentável. Com isso, em outubro de 2005, o Governo Estadual

publicou o decreto que dispunha sobre o Programa de Desenvolvimento da Cadeia Produtiva Geradora de Energia Eólica – PROEÓLICA, bem como sobre o Fundo de Desenvolvimento Industrial do Ceará – FDI, que juntos buscavam a autossuficiência de energia no Estado através de incentivos fiscais destinados à atração de novas modalidades de investimentos industriais integradas à cadeia produtiva do setor eólico (CEARÁ, 2005; FERREIRA, 2008).

O desenvolvimento da energia eólica no Estado tem proporcionado um grande desenvolvimento no setor energético. Com os investimentos e incentivos na área, o governo tem conseguido atrair indústrias de base do setor ao longo dos últimos anos. Essas indústrias, além de fornecerem equipamentos para parques eólicos, desenvolvem trabalhadores, geram empregos, trazem impostos e benefícios sociais para a região. Isso tudo faz com que o ciclo de desenvolvimento permaneça constante.

Cerca de R\$ 38.000,00 por MW são pagos anualmente no Ceará para empresas locais por mercadorias (materiais, ferramentas e equipamentos de construção e manutenção, alimentação, vestuário, equipamento de segurança, entre outros artigos) e serviços (suporte contábil, bancário, jurídico e outros), como resultado de projetos de energia eólica (CEARÁ, 2010).

Segundo o Mapa Territorial de Parques Eólicos do Ceará, um projeto de 50 MW no estado cria de 800 a 1200 empregos em tempo integral durante a fase de construção:

As vagas tipicamente incluem gerenciamento de construção, eletricitistas, operadores de equipamento pesado, seguranças e serviços gerais para montagem e construção civil. O número de vagas que podem ser preenchidas por pessoal/local depende das qualificações da população local e das políticas e localização da construção ou da empreiteira contratada. A Suzlon, por exemplo, um grande fabricante de turbinas eólicas e desenvolvedor na Índia, que possui parques eólicos no Ceará, utiliza mão de obra indiana para virtualmente quase todas as atividades de construção e mão de obra local para 25% da força de trabalho na construção (CEARÁ, 2010, p. 60).

Ainda segundo o mapa, nas etapas de O&M, o número de empregos também depende do tamanho do projeto, tipos de turbinas e práticas trabalhistas locais. As turbinas eólicas normalmente têm manutenção regular programada a cada seis meses. No Ceará, cada serviço programado geralmente requer duas pessoas por um período de 8 horas para turbinas entre 500 kW e 1000 kW. O treinamento especializado em turbinas frequentemente é fornecido pelo fabricante de turbinas e pode consistir em trabalho em sala de aula, experiência prática em linhas de montagem de turbinas e experiência de campo em montagem de turbinas, o que traz benefícios de aprendizagem permanente para os trabalhadores locais. Na indústria, o emprego resultante da

fabricação de componentes pode ser significativa. Estima-se que um fabricante de torres de turbinas eólicas localizado em Fortaleza, produzindo 200 torres de 75 a 85 metros, gere anualmente emprego para 250 trabalhadores de fábrica, aproximadamente 1 emprego por torre por ano (CEARÁ, 2010).

Conforme destaca Neto (2010), para alavancar os investimentos destinados ao setor, o governo local tem procurado oferecer um ambiente propício para implantação de novos projetos no Estado, imprimindo uma política de estreito relacionamento institucional com entes envolvidos com o setor elétrico, tais como: Ministério de Minas e Energia, ELETROBRÁS, Empresa de Pesquisa Energética, Ministério de Ciência e Tecnologia, Ministério do Meio Ambiente, universidades, institutos de pesquisa, associações e prefeituras municipais.

A Agência de Desenvolvimento do Ceará (ADECE) é quem cumpre o papel de atrair os investimentos no Estado, mais especificamente, é ela quem executa a política de desenvolvimento econômico, industrial, comercial, de serviços, agropecuário e de base tecnológica em consonância com a política de desenvolvimento econômico do Ceará, estabelecida pelo Conselho Estadual de Desenvolvimento Econômico (CEDE). Todavia, a política de energia do Governo do Ceará é uma atribuição da Secretaria de Infraestrutura (SEINFRA), a quem compete viabilizar e coordenar a gestão de programas e sua execução, com vistas ao desenvolvimento sustentável do Estado do Ceará (NETO, 2010).

(...) Governo do Estado do Ceará entende que a exploração de energia de fontes renováveis é uma alternativa viável para a expansão da oferta energética, sendo oportuna para o desenvolvimento sustentável do Estado, para a minimização dos efeitos causados pelas emissões de gases que provocam o efeito estufa e para a diversificação da matriz elétrica nacional (NETO, 2010, p. 124).

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento continuado das tecnologias de geração de energias renováveis, bem como o processo de acúmulo de aprendizagem técnica dos processos de produção, aliados aos programas dos governos, às políticas econômicas e às expectativas de redução dos problemas ambientais são o motor para a evolução da energia eólica e das demais fontes de energias alternativas renováveis.

No mundo, a energia eólica apresenta um dos melhores resultados de investimento e acúmulo de capacidade instalada. Os dados apresentados evidenciam tal fato. Os países desenvolvidos garantem cada vez mais a produção de energias alternativas e renováveis. Os emergentes não se afastam dessa tendência global, garantindo uma participação cada vez maior no acúmulo de capacidade e conhecimento tecnológico. Países como China, Índia, Brasil e México investem cada vez mais no setor eólico e se tornam destaque na produção e geração de energias renováveis.

O governo brasileiro está inserido no processo de geração da energia eólica como o agente central que impulsiona o desenvolvimento dessa fonte em todo o país através das políticas de financiamento e investimento em infraestrutura, atraindo empresas para o setor. Os governos estaduais são aqueles que trabalham em parceria com o governo federal em busca das boas práticas energéticas e do desenvolvimento econômico em cada região.

Embora a capacidade instalada de energia eólica esteja crescendo à taxas otimistas em todo o país, em particular, no Estado do Ceará, é necessário que haja um maior empenho por meio de programas governamentais que estabeleçam a energia eólica não somente como uma política, mas como uma prática sustentável de longo prazo. O país precisa de um projeto de desenvolvimento capaz de abraçar sobretudo as fontes renováveis alternativas, a fim de alcançar as metas de redução dos problemas ambientais e sociais, pois essas energias alternativas geram emprego, renda, desenvolvimento tecnológico, diversificação industrial e redução dos gases que aumentam o efeito estufa.

A cadeia produtiva já está instalada no país, inclusive no Estado. Resultado que as políticas de financiamento e incentivo ao uso da fonte estão dando o retorno esperado. Gigantes montadoras de aerogeradores já fabricam turbinas no país e no Estado, fabricantes de torres e pás se destacam no mercado internacional, além de toda uma indústria voltada para suprir as demandas do



mercado de energia eólica, desde siderúrgicas, extrativa mineral e cimento, até as hoteleiras e de alimentos, gerando emprego e renda local.

Entre as barreiras tecnológicas e tarifárias, muitas já foram superadas, seja com o acúmulo de conhecimento, seja com a importação de máquinas e equipamentos mais modernos e mais potentes, seja com a frequência cada vez maior e mais regular com que ocorrem os leilões de energia especiais para as fontes renováveis, colocando a fonte eólica entre as mais competitivas do mercado de energia e ganhando cada vez mais espaço.

Os ventos são uma alternativa ao uso da água como matéria prima na geração de energia. Além de uma fonte substituta das fontes fósseis tradicionais como carvão, gás ou petróleo, altamente poluentes e voláteis. A região do nordeste do Brasil é um excelente sítio de exploração da energia proveniente da força dos ventos. A complementaridade sazonal do sistema hídrico-eólico e todos os demais benefícios econômicos e sociais dessa relação são a base que sustenta o argumento em favor dos investimentos e incentivos em geração de energia eólica.

O potencial do Ceará para exploração da fonte eólica deve ser levado em consideração nas políticas de desenvolvimento econômico. A geração eólica traz benefícios sociais e ambientais para o Estado, visto a escassez local de fontes primárias de energias tradicionais, como a hidrelétrica. Optar por fontes fósseis, embora supra a demanda por energia, possui um custo social e ambiental elevado, devido às consequências do aquecimento global.

Por fim, o potencial financeiro de investimento no setor eólico é da ordem de bilhões de reais, proporcionando mais recursos e desenvolvimento no setor que ainda é incipiente, embora todo o crescimento registrado nos últimos anos. As estimativas de investimento para os próximos anos evidenciam o caráter otimista que a fonte representa, tendo ainda um enorme potencial para exploração *onshore* no Estado do Ceará e em todo o país. Isso sem contar com o grande potencial *offshore* que o país possui.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL, ABDI. **Mapeamento da Cadeia Produtiva da Indústria Eólica no Brasil**. Brasília, 2014.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, ANEEL. **Atlas de energia elétrica do Brasil**. 1ª edição. Brasília. 2002.

\_\_\_\_\_. **Atlas de energia elétrica do Brasil**. 2ª edição. Brasília. 2005.

\_\_\_\_\_. **Atlas de energia elétrica do Brasil**. 3ª edição. Brasília. 2008.

\_\_\_\_\_. **Banco de Informações de Geração, BIG**. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>>. Acesso em: 23 de fevereiro de 2016.

AMARANTE *et al.* **Atlas do potencial eólico brasileiro**. Brasília, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA EÓLICA, ABEEÓLICA. **Boletim de Dados – Janeiro de 2016**. Disponível em: <<http://www.portalabeeolica.org.br/index.php/dados.html>>. Acesso em: 23 de fevereiro de 2016.

BRASIL. Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 02 set. 1981. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=313>>. Acesso em: 21 de julho de 2016.

\_\_\_\_\_. Resolução CONAMA nº 001, de 23 de janeiro de 1986. Dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para a avaliação de impacto ambiental. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Seção 1, p. 2.548-2.549, Poder Executivo, Brasília, DF, 17 fev. 1986. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=23>>. Acesso em 22 de julho de 2016.

\_\_\_\_\_. Resolução CONAMA nº 237, de 19 de dezembro de 1997. Dispõe sobre a revisão e complementação dos procedimentos e critérios utilizados para o licenciamento ambiental. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, nº 247, Seção 1, p. 30.841-30.843, Poder Executivo, Brasília, DF, 22 dez. 1997. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=237>>. Acesso em 22 de julho de 2016.

\_\_\_\_\_. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. **Estimativas Anuais de Emissões de Gases de Efeito Estufa no Brasil**. Brasília, 2013.

\_\_\_\_\_. **Programa de Aceleração do Crescimento 2 (PAC 2)**. 11º balanço, 2011-2014. 2014. Disponível em: <<http://www.pac.gov.br/sobre-o-pac/publicacoesnacionais>>. Acesso em: 23 de fevereiro de 2016.

CAMARGO, A. S. G. **Análise da operação das Usinas Eólicas de Camelinho e Palmas e avaliação do potencial eólico de localidades no Paraná**. 2005. Dissertação (Mestrado em Tecnologia), CEFET-PR, Curitiba.

CEARÁ. Decreto nº 27.951, de 10 de outubro de 2005. **Dispõe Sobre o Programa de Desenvolvimento da Cadeia Produtiva Geradora de Energia Eólica - PROEÓLICA**. Disponível em: <<http://www.cede.ce.gov.br/leis-e-decretos-fdi>>. Acesso em: 23 de fevereiro de 2016.

\_\_\_\_\_. Conselho Estadual de Desenvolvimento Econômico, CEDE, **Energia Eólica Atração de Investimentos no Estado do Ceará**. Fortaleza, 2009.

\_\_\_\_\_. Conselho Estadual de Desenvolvimento Econômico, CEDE, Atração de investimentos do Estado do Ceará, **Mapa Territorial de Parques Eólicos**. Fortaleza, dez. 2010.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA, CNI. **Matriz energética: cenários, oportunidades e desafios**. 82 p. Brasília, 2007.

\_\_\_\_\_. **Energia Eólica: Panorama mundial e perspectivas no Brasil**, Conselho Temático de Infra-estrutura. Brasília, 2008. Disponível em: <<http://www.portaldaindustria.com.br/>>. Acesso em: 23 de fevereiro de 2016.

DUTRA, Ricardo Marques; TOLMASQUIM, Maurício Tiomno. **Estudo de viabilidade econômica para projetos eólicos com base no novo contexto do setor elétrico**. Revista Brasileira de Energia, v. 9, pp. 135-158, 2002.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, EPE. **Proposta para a Expansão da Geração Eólica no Brasil**. Nota Técnica PRE 01/2009-R0. Rio de Janeiro, 09 de fevereiro de 2009.

\_\_\_\_\_. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2023**. Brasília: MME/EPE, dezembro de 2014.

FERREIRA, Henrique Tavares. **Energia Eólica: Barreiras à sua participação no setor elétrico brasileiro**. 2008. 111 p. Dissertação (Programa de Pós-graduação em Energia) – EP/FEA/IEE/IF da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2008.

FILHO, Wilson Pereira Barbosa; AZEVEDO, Abílio Cesar Soares de. **Impactos ambientais em usinas eólicas**. Mai. 2013.

GANNOUM, Élbis Silva. **O Desenvolvimento da indústria de Energia Eólica no Brasil: aspectos de inserção, consolidação e sustentabilidade**. Cadernos Adenauer XV, nº3, p. 57-71. 2014.

GLOBAL WIND ENERGY COUNCIL, GWEC. **Global Wind 2010 Report**. 2011.

\_\_\_\_\_. **Global Wind Energy Outlook 2012**, nov. 2012.

\_\_\_\_\_. **Global Wind Energy Outlook 2014**, out. 2014.

\_\_\_\_\_. **Global Wind Statistics 2014**, fev. 2015. Disponível em: <[http://www.gwec.net/wp-content/uploads/2015/02/GWEC\\_GlobalWindStats2014\\_FINAL\\_10.2.2015.pdf](http://www.gwec.net/wp-content/uploads/2015/02/GWEC_GlobalWindStats2014_FINAL_10.2.2015.pdf)>. Acesso em 18 de julho de 2016.

GOLDENBERG, José; PRADO, Luiz Tadeu Siqueira. **Reforma e crise do setor elétrico no período FHC**. Tempo Social, São Paulo, v. 15, n. 2, p. 219-235, nov. 2003.

GREENPEACE. **[R]Evolução Energética: A Caminho Do Desenvolvimento Limpo**. GWEC. 2013.

HOPPE, Letícia; ALVIM, Augusto Mussi; KETZER, João Marcelo. **Energia limpa com diversificação da matriz energética através da produção de gás a partir do armazenamento geológico de CO<sub>2</sub>**. IV Mostra de Pesquisa da Pós-Graduação – PUCRS, 2009.

INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ, IPECE, **Ceará em números 2014**. Fortaleza, 2015.

\_\_\_\_\_. IPECE Conjuntura, **Boletim de Conjuntura Econômica Cearense – 4º Trimestre de 2015**. Fortaleza, mar. 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, IBGE. **Projeção da População**, 2016. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/apps/populacao/projecao/index.html>>. Acesso em 15 de julho de 2016.

INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY, IRENA. **Renewable Power Generation Costs in 2014**. 2015.

JUNFENG *et al.* **China Wind Power Report 2007**. China, 2007.

LAGE, Elisa Salomão; PROCESSI, Lucas Duarte. **Panorama do setor de energia eólica**. Revista do BNDES n.º. 39, junho, 2013.

LAZARD. **Lazard's Levelized Cost Of Energy Analysis**. Versão 8.0. Setembro, 2014.

NASCIMENTO, Thiago Cavalcante; MENDONÇA, Andréa Torres Barros B. de; CUNHA, Sieglinde Kindl. **Inovação e sustentabilidade na produção de energia: o caso do sistema setorial de energia eólica no Brasil**. Cadernos EBAPE.BR, v. 10, n.º 3, artigo 9, Rio de Janeiro, Set. 2012.

MELO, Elbia. **Fonte eólica de energia: aspectos de inserção, tecnologia e competitividade**. Estudos Avançados, São Paulo, v. 27, n. 77, p. 125-142, 2013.

NETO, Hildeberto Barroso. **Avaliação do processo de implementação do Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia - PROINFA, no Estado do Ceará: a utilização da fonte eólica**. 2010. 186 P. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Avaliação de Políticas Públicas). Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, Ceará, 2010.

PIRES, Adriano; HOLTZ, Abel. CENTRO BRASILEIRO DE INFRAESTRUTURA. **Sistema Elétrico Brasileiro Expansão Hidrotérmica Leilões de Energia Elétrica Regionais e por Fonte**. Agosto, 2012.

PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O MEIO AMBIENTE, PNUMA. **Empregos verdes: Trabalho decente em um mundo sustentável e com baixas emissões de carbono**. Setembro de 2008. Disponível em: <[www.unep.org/civil\\_society/Publications/index.asp](http://www.unep.org/civil_society/Publications/index.asp)>. Acesso em 23 de fevereiro de 2016.

PROTOCOLO DE QUITO. C&T Brasil. Disponível em: <[http://www.mct.gov.br/upd\\_blob/0012/12425.pdf](http://www.mct.gov.br/upd_blob/0012/12425.pdf)>. Acesso em 23 de fevereiro de 2016.

REN21. **Renewables 2015 Global Status Report**. Paris, França. 2015.

RIBEIRO, Gilmar Lopes. **Parques eólicos - Impactos socioambientais provocados na região da praia do Cumbe, no município de Aracati Ceará**. 2012. Tese (Doutorado). Instituto de Geociências e Ciências Exatas do Câmpus de Rio Claro. Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho. Rio Claro. São Paulo. 2013.

SETER, Wellington Henrique. **Geração eólica e atratividade financeira: uma análise crítica a partir dos empreendimentos comercializados no novo ambiente de contratação**. 2011. Dissertação (Programa de Pós-graduação em Administração) – Universidade Federal do Rio de Janeiro. Instituto COPEAD de Administração. Rio de Janeiro, 2011.

SCHOR, Juliana Melcop de Castro. **Energia Eólica Offshore: Possibilidade Econômico-Regulatória**. XVI Congresso Brasileiro de Energia. Rio de Janeiro, out. 2015.

SCHULTZ, D. J. *et al.* **Sistemas Complementares de Energia Eólica e Hidráulica no Brasil**. Espaço Energia. Revista técnico-científica da área de energia. Número 03. Outubro, 2005. Disponível em: <<http://www.espacoenergia.com.br/browseissues.htm>>. Acesso em 18 de julho de 2016.

SIMAS, Moana Silva. **Energia eólica e desenvolvimento sustentável no Brasil: Estimativa da geração de empregos por meio de uma matriz insumo-produto ampliada**. 2012. 220 p. Dissertação (Programa de Pós-graduação em Energia) – EP/FEA/IEE/IF da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2012.

SIMAS, Moana; PACCA, Sérgio. **Energia eólica, geração de empregos e desenvolvimento sustentável**. Estudos Avançados, São Paulo, v. 27, n. 77, p. 99-115, 2013.

SOUZA, André Delgado de. **Avaliação da energia eólica para o desenvolvimento sustentável diante das mudanças climáticas no nordeste do Brasil**. 2010. 168 p. Dissertação (Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil) – Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Pernambuco, 2010.

SOUZA *et al.* **Manual de orientações para projetos de pesquisa**. Fundação Escola Técnica Liberato Salzano Vieira da Cunha, Hamburgo, 2013.

SUPERINTENDÊNCIA ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE DO CEARÁ, SEMACE. **Checklists**. 2016. Disponível em: <<http://www.semace.ce.gov.br/educacao-ambiental-2/checklists-e-modelos-de-documentos/checklists/>>. Acesso em: 06 de julho de 2016.

TRAPP, Beatriz Cristina. **Análise de viabilidade de uma fazenda eólica offshore no Rio Grande do Sul**. 2009, 20 p. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

WORLD WIDE FUND FOR NATURE – BRASIL, WWF. **Além de grandes hidrelétricas: Políticas para fontes renováveis de energia elétrica no Brasil**. Brasília, 2012.

YAMAMOTO, Sandro. **Com a força dos ventos a gente vai mais longe. FIESP – 13º Encontro Internacional de Energia. Perspectivas e Oportunidades da Energia Eólica.** São Paulo, SP: Associação Brasileira de Energia Eólica. 2012. Disponível em: <<http://www.fiesp.com.br/energia/apresentacoes/sala01/07.08/0830-Elbia-Mello-sub-Sandro-Yamamoto.pdf>>. Acesso em: 17 de julho de 2016.