



**PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE GOIÁS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DIREITO, RELAÇÕES
INTERNACIONAIS E DESENVOLVIMENTO – MESTRADO**

NUBYA CIRQUEIRA DE CASTRO

**GANHOS AMBIENTAIS E ECONÔMICOS DO SISTEMA DE
COMPENSAÇÃO DE ENERGIA NA MICROGERAÇÃO EÓLICA À LUZ
DO MODELO BRASEÓLICO**

**Goiânia
2014**

NUBYA CIRQUEIRA DE CASTRO

**GANHOS AMBIENTAIS E ECONÔMICOS DO SISTEMA DE
COMPENSAÇÃO DE ENERGIA NA MICROGERAÇÃO EÓLICA À LUZ
DO MODELO BRASEÓLICO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Direito, Relações Internacionais e Desenvolvimento da Pontifícia Universidade Católica de Goiás como requisito para a obtenção do título de Mestre em Direito, sob a orientação do Professor Doutor Jean-Marie Lambert.

**Goiânia
2014**

Dados Internacionais de Catalogação da Publicação (CIP)
(Sistema de Bibliotecas PUC Goiás)

Castro, Nubya Cirqueira de.
C355g Ganhos ambientais e econômicos do sistema de compensação
de Energia na microgeração eólica à luz do modelo braseólico
[manuscrito] / Nubya Cirqueira de Castro. – Goiânia, 2014.
146 f. : 30 cm.

Dissertação (mestrado) – Pontifícia Universidade Católica de
Goiás, Programa de Mestrado em Direito, Relações Internacionais
e Desenvolvimento, 2014.

“Orientador: Prof. Dr. Jean-Marie Lambert”.

Bibliografia.

1. Energia eólica. 2. Projeto Braseólico. I. Título.

CDU 621.548(043)

NUBYA CIRQUEIRA DE CASTRO

**GANHOS AMBIENTAIS E ECONÔMICOS DO SISTEMA DE
COMPENSAÇÃO DE ENERGIA NA MICROGERAÇÃO EÓLICA À LUZ
DO MODELO BRASEÓLICO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Direito, Relações Internacionais e Desenvolvimento da Pontifícia Universidade Católica de Goiás como requisito para a obtenção do título de Mestre em Direito, sob a orientação do Professor Doutor Jean-Marie Lambert.

Dr. Jean-Marie Lambert
Prof. Orientador e Presidente da Banca
PUC-GO

Dr. Ycarim Melgaço Barbosa
Prof. Membro da Banca
PUC-GO

Dr. Rabah Belaidi
Prof. Membro da Banca
UFG

Aos meus filhos, Vinícius e Lara, como exemplo de que a busca do conhecimento é a nossa maior riqueza.

Ao meu esposo, Sidnei, como prova de que o acreditar do outro impulsiona realizações.

Aos meus pais, como reconhecimento de que investir no ser é o melhor caminho a trilhar.

Às minhas irmãs, como partilha de mais um passo na descoberta e aprendizado do mundo.

AGRADECIMENTOS

Minha sincera gratidão aos que contribuíram para a realização deste trabalho.

Primordialmente ao meu esposo, Sidnei, companheiro de todas as horas, que viu neste desafio mais uma forma de expressar seu amor e carinho.

Aos meus filhos, Vinícius e Lara, pela compreensão dos momentos de ausência e pelas alegrias dos reencontros.

À minha mãe, Izaira, compartilhadora de desafios, pela inestimável colaboração.

Ao meu orientador, professor doutor Jean-Marie Lambert, pela acessibilidade, objetividade e preciosas trocas de conhecimento.

A todos os professores do Mestrado em Direito, Relações Internacionais e Desenvolvimento que em sala de aula, eventos extraclasse e até nos corredores, transpõem a técnica, semeando o pensar.

Aos ilustres componentes da banca pela disposição em avaliar este trabalho, experiência pessoal e profissionalmente engrandecedora.

RESUMO

Esta dissertação apresenta o projeto Braseólico, um empreendimento constituído de um aerogerador de proximidade para microgeração eólica no entorno urbano construído utilizando-se do sistema de compensação de energia, internacionalmente conhecido como *net metering*. Parte-se da hipótese de que é um negócio que traz ganhos ambientais e econômicos, perfeitamente adequado ao potencial eólico brasileiro e ao quadro regulatório nacional. Neste sentido, aborda-se o conceito, a origem e a evolução da energia eólica no mundo e no Brasil, assim como as tendências dessa modalidade energética frente à pressão global por um planeta mais sustentável. Descreve a formação da política energética brasileira, a estrutura hierárquica do sistema elétrico e analisa a Resolução Normativa 482/2012, marco legal que instaurou nacionalmente o sistema de compensação de energia elétrica para microgeração e minigeração distribuída, a partir de fontes renováveis. Por fim, explica a tecnologia inovadora do aerogerador BrasEólico para, em seguida, estudar a viabilidade econômica do projeto e concluir tratar-se de um empreendimento altamente viável.

Palavras-chave: Braseólico. Microgeração eólica. Sistema de compensação de energia. Resolução Normativa 482/2012.

ABSTRACT

This dissertation presents “Braseólico” Project, an enterprise consisted by a proximity Wind turbine to microgeneration in constructed urban surrounding, using the energy compensation mechanism, internationally known as net metering. The study launches the hypothesis that “Braseólico” Project is an energy business that brings environmental and economic gains, perfectly appropriated to Brazilian wind potential and to national regulatory framework. In this sense, deals with the concept, origin and evolution of wind energy in the world and in Brazil, and thus the tendencies of this energy source face a global pressure for a more sustainable planet. Describes the Brazilian energy policy’s formation, the hierarchical structure of electric system and analyzes the Normative Resolution 482/2012, legal framework that nationally established the electric energy’s compensation system to distributed microgeneration and minigeneration from renewable sources. Finally, explains the innovative technology of “BrasEólico” wind turbine to, subsequently, studies the project’s economic viability and concludes that the enterprise is highly viable.

Key-words: “Braseólico”. Wind microgeneration. Energy’s compensation system. Normative Resolution 482/2012.

LISTA DE ABREVIATURAS

ABCE	- Associação Brasileira de Companhias de Energia Elétrica
ABEOLICA	- Associação Brasileira de Energia Eólica
ACL	- Ambiente de Comercialização Livre
ACR	- Ambiente de Comercialização Regulada
AIE	- Agência Internacional de Energia
ANA	- Agência Nacional de Águas
ANEEL	- Agência Nacional de Energia Elétrica
ANP	- Agência Nacional de Petróleo
AWEA	- American Wind Energy Association
BEN	- Balanço Energético Nacional
BNB	- Banco do Nordeste do Brasil
BNDES	- Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
CADE	- Conselho Administrativo de Defesa Econômica
CBEE	- Centro Brasileiro de Energia Eólica
CBEM	- Centro Brasileiro de Energia e Mudança do Clima
CCC	- Conta de Consumo de Combustíveis
CCD	- Contrato de Conexão e Distribuição
CCEE	- Câmara de Comercialização de Energia Elétrica
CELPE	- Companhia Energética de Pernambuco
CEMIG	- Companhia Energética de Minas Gerais
CEPEL	- Centro de Pesquisas de Energia Elétrica
CGH	- Central Geradora Hidrelétrica
CGTEE	- Companhia de Geração Térmica de Energia Elétrica
CHESF	- Companhia Hidrelétrica do São Francisco
CMMAD	- Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento
CMSE	- Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico
CNPE	- Conselho Nacional de Política Energética
COELCE	- Companhia Energética do Ceará
COFINS	- Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social
CONAMA	- Conselho Nacional do Meio Ambiente
CONFAZ	- Conselho Nacional de Política Fazendária
CPFL	- Companhia Paulista de Força e Luz
CRESESB	- Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito
CTA	- Centro de Tecnologia Aeroespacial

CUSD	- Contrato de Uso e Distribuição
DAEE	- Departamento de Águas e Energia Elétrica
EACV	- Estudo de Avaliação do Ciclo da Vida
EIA	- Estudo de Impacto Ambiental
Eletrobras	- Centrais Elétricas Brasileiras
Eletronorte	- Centrais Elétricas do Norte do Brasil S/A
Eletrosul	- Centrais Elétricas do Sul do Brasil S/A
EPE	- Empresa de Pesquisa Energética
ERD	- Encargo de Responsabilidade da Distribuidora
EWEA	- Associação de Energia Eólica Europeia
FINAME	- Financiamento de Máquinas e Equipamentos
FNDE	- Fundo de Desenvolvimento do Nordeste
FNE	- Fundo Constitucional de Financiamento do Nordeste
FRC	- Fator de Recuperação do Capital
GW	- Gigawatt
GWh	- Gigawatt por hora
GWEC	- Conselho Global de Energia Eólica
Ibama	- Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais
ICG	- Instalação de Transmissão Compartilhada de Geradores
ICMS	- Imposto sobre Circulação de Mercadorias
IAE	- Instituto de Aeronáutica e Espaço
INSS	- Instituto Nacional de Seguridade Social
IPI	- Imposto sobre Produtos Industrializados
ITA	- Instituto Técnico Aeroespacial
KM	- Quilômetros
KV	- Kilovolt
KW	- Kilowatt
KWh	- Kilowatt por hora
KWp	- Kilowatt-pico
MJ	- Ministério da Justiça
MME	- Ministério das Minas e Energia
m/s	- metro por segundo
MUSD	- Montante de Uso do Sistema de Distribuição
MW	- Megawatts
MWh	- Megawatts por hora
Nasa	- Agência Espacial Norte-Americana
OCDE	- Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico
ONS	- Operador Nacional de Sistema

ONU	- Organização das Nações Unidas
PAC	- Programa de Aceleração do Crescimento
PCH	- Pequena Central Hidrelétrica
PDE	- Plano Decenal de Expansão de Energia
PIA	- Produtores Independentes Autônomos
PIB	- Produto Interno Bruto
PIS	- Programa de Integração Social e Formação do Servidor Público
Prodist	- Procedimento de Distribuição
Proeólica	- Programa Emergencial de Energia Eólica
Proinfa	- Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica
Reidi	- Regime Especial de Incentivos para o Desenvolvimento da Infraestrutura
REN	- Resolução Normativa
Rima	- Relatório de Impacto Ambiental
rpm	- Rotação por Minuto
Sabesp	- Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo
SDE	- Secretaria de Direito Econômico
SEAE	- Secretaria de Acompanhamento Econômico
SIN	- Sistema Interligado Nacional
SNRH	- Sistema Nacional de Recursos Hídricos
Sudene	- Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste
TCU	- Tribunal de Contas da União
TE	- Tarifa de Energia
TJLP	- Taxas de Juro de Longo Prazo
TUSD	- Tarifas de Uso do Sistema de Distribuição
TUST	- Tarifas de Uso do Sistema de Transmissão
TW	- Terawatt
TWh	- Terawatt por hora
UEEE	- Usina Experimental Elioelétrica
UF	- Unidade da Federação
UFPE	- Universidade Federal de Pernambuco
UHF	- Ultra High Frequency

LISTA DE FIGURAS

Figura 01: Órgão musical acionado pelo vento	24
Figura 02: Primeiro gerador eólico	26
Figura 03: Turbina eólica de Brush	27
Figura 04: Turbinas de Poul La Cour	28
Figura 05: Cronologia dos principais marcos no desenvolvimento da energia eólica e momento histórico associado	31
Figura 06: Geração elétrica por modalidade energética no Brasil	42
Figura 07: Mapa do potencial eólico brasileiro segregado por regiões	46
Figura 08: Potencial eólico brasileiro a 100 metros	47
Figura 09: Formação dos ventos devido ao deslocamento das massas de ar	54
Figura 10: Comportamento dos ventos quando sob influência das características do solo	56
Figura 11: Principais parte de um aerogerador	58
Figura 12: Aerogerador de eixo vertical	59
Figura 13: Aerogerador de eixo horizontal	60
Figura 14: Vista do interior da nacele, utilizando gerador convencional	61
Figura 15: Vista do interior da nacele, utilizando gerador multipolos	62
Figura 16: Detalhe do cubo pronto para a acoplagem de pás	63
Figura 17: Sistema isolado	68
Figura 18: Sistema híbrido solar-eólico	69
Figura 19: Sistema eólico conectado à rede	70
Figura 20: Projeção da evolução da capacidade instalada por fonte de geração	75
Figura 21: A cadeia industrial eólica no Brasil	76
Figura 22: Organograma do setor eólico brasileiro	88
Figura 23: Estrutura do sistema elétrico brasileiro	89
Figura 24: Estrutura e interações no sistema elétrico brasileiro	89
Figura 25: Como funciona o SIN	91
Figura 26: Mapa do SIN	92
Figura 27: Distribuição de microgeradores por Estado	111
Figura 28: Participação de microgeradores por fonte	111
Figura 29: O conceito “sanduíche”	126

Figura 30: Empilhamento modular	127
Figura 31: Rotor aberto	128
Figura 32: Rotor fechado.....	128
Figura 33: Aerogeradores BrasEólicos instalados em condomínio vertical	135

LISTA DE TABELAS

TABELA 1: Maiores produtores de energia eólica no mundo.....	32
TABELA 2: Dados do primeiro leilão de fontes alternativas realizado em junho de 2007	40
TABELA 3: Geração elétrica por modalidade energética no Brasil (GWh)	43
TABELA 4: Intensidade de ruídos	65
TABELA 5: As mudanças no setor elétrico.....	87
TABELA 6: Níveis de tensão	113
TABELA 7: Riscos próprios	132
TABELA 8: Riscos sistêmicos	132
TABELA 9: Tempo de retorno	133

SUMÁRIO

RESUMO	06
ABSTRACT	07
LISTA DE ABREVIATURAS	08
LISTA DE FIGURAS	11
LISTA DE TABELAS	13
INTRODUÇÃO	16
CAPÍTULO 1 - ENERGIA EÓLICA: conceito, histórico, fundamentos e tendências	23
1.1 - Conceito e origem	23
1.2 - Histórico no Brasil	32
1.2.1 - As primeiras turbinas eólicas e o caso de Fernando de Noronha	33
1.2.2 - Os primeiros parques eólicos	35
1.2.3 - Incentivos e leilões	37
1.2.4 - Potencial eólico brasileiro	41
1.3 - Fundamentos técnicos da energia eólica	54
1.3.1 - Fatores que influenciam o regime dos ventos	55
1.3.2 - Tipos de aerogeradores.....	57
1.3.3 - Impacto sonoro – emissão de ruídos	64
1.3.4 - Impacto visual	65
1.3.5 - Impacto sobre a fauna	66
1.3.6 - Interferências eletromagnéticas	66
1.3.7 - Configurações de sistemas eólicos	67
1.3.8 - Eficiência energética	71
1.3.9 - Custos	71
1.4 - Tendências	73
CAPÍTULO 2 - A POLÍTICA ENERGÉTICA, O SETOR ELÉTRICO BRASILEIRO E O MARCO REGULATÓRIO DA ENERGIA EÓLICA	77
2.1 - Formação da política energética	78
2.2 - O Setor Elétrico Brasileiro	85
2.2.1 - A reestruturação	85
2.2.2 - Sistema Interligado Nacional - SIN.....	89
2.2.3 - Sistemas Isolados	93
2.2.4 - Concessões, Permissões e Autorizações.....	94
2.3 - Marco Regulatório da Energia Eólica no Brasil	95

2.3.1 - O marco constitucional	96
2.3.2 - Os diplomas legais	105
2.3.3 - A Resolução 482/2012	108
CAPÍTULO 3 - O PROJETO BRASEÓLICO	124
3.1 - Aspectos técnicos	125
3.1.1 - O aerogerador	126
3.1.2 - Gerenciamento e comercialização	129
3.1.3 – Industrialização.....	130
3.2 - Encaixe no marco regulatório	130
3.3 - Viabilidade econômica	131
3.3.1 - Riscos	131
3.3.2 - Retorno	132
3.3.3 - Fontes de financiamento	134
CONSIDERAÇÕES FINAIS	136
REFERÊNCIAS.....	140

INTRODUÇÃO

Dos legados platônico (428 - 348 a.C.) e aristotélico (384 - 322 a.C.) é que surge a dissociação homem-natureza - pensamento embrionário que valorizava o homem e suas ideias em detrimento do ambiente e de seus outros componentes físicos com ou sem vida - transformando-se em pilar para o Cristianismo disseminar a visão dual de matéria e espírito, que veio a ser consolidada pelo filósofo francês René Descartes, no século XVIII.

Defendendo a separação entre a vida humana e a natureza, o fundador do cartesianismo estabeleceu um marco na concepção ocidental de que o homem é o senhor de recursos naturais e, como tal, pode deles usufruir sem limitações, ancorando o desenvolvimento do capitalismo.

Estabeleceu-se, então, o berço da degradação ambiental que marcou o processo histórico da conquista antropocêntrica da natureza. Morin (2005), filósofo francês contemporâneo, explica que as sociedades históricas agrícolas, pastoris e urbanas foram transformando a relação ecológica, imprimindo a dominância/controle no ecossistema, seguindo uma lógica emancipadora que, ao ritmo da industrialização e da propagação tecnológica, subjuga a natureza ao mesmo tempo em que dela se torna ainda mais dependente.

É nesse contexto que desaparecem de forma acelerada as florestas, grandes cursos d'água e uma infinidade de espécies animais e vegetais. À exceção de uma ou outra voz dissonante, a destruição da paisagem mundial passa a ser recepcionada como mera consequência do progresso material.

O Brasil, naturalmente, não escapou a este cenário histórico. O espírito explorador a qualquer custo dos colonizadores é relatado pelo historiador Sérgio Buarque de Holanda (1995) descrevendo o modo abusivo da produção agrária alarmantemente primitiva, extraindo do solo excessivos benefícios sem nenhum sacrifício.

Salvador (1889), conhecido como pai da historiografia brasileira, explicita a depredação ambiental no Brasil Colônia ao descrever como se deu a formação das Capitâneas e o povoamento do território brasileiro, relatando que os colonizadores queriam servir-se da terra, não como senhores, mas como usufrutuários só para dela desfrutarem e a deixarem destruída.

A lavoura à custa das florestas, práticas indiscriminadas de queimadas e a monocultura constituíram uma economia colonial que legou a visão de que os recursos naturais seriam inesgotáveis e propiciariam tanto a subsistência como o acúmulo de riquezas, embasando políticas ambientais agressivas que marcaram o desenvolvimento do Brasil.

Os níveis atuais de degradação ambiental no Brasil e no mundo provam que a conduta predatória no trato da natureza ao longo da história fincou raízes, pautou o desenvolvimento da maioria das nações e o modelo prevalece, apesar dos sinais de esgotabilidade de alguns recursos naturais e de a realidade econômica escancarar que a prosperidade conquistada a partir da exploração desmensurada do meio ambiente não foi igualmente compartilhada entre nações e tampouco entre classes sociais. Desigual também, lembra Leff (2001), é a distribuição dos custos ecológicos do desenvolvimento alcançado.

Pelizzoli (1999) chama atenção para essa noção e prática de desenvolvimento que imperou no mundo a partir da Revolução Industrial, engendrado sempre a partir da dilapidação dos recursos naturais, da acumulação de bens com uma produção inevitável de resíduos e poluentes levando a um cenário sombrio marcado pelo desequilíbrio ecológico e pela exclusão social.

Os problemas socioambientais induzem, então, ao questionamento do modelo vigente de desenvolvimento e remetem à conclusão de que este tipo de evolução não se sustenta, ou seja, o mundo promove um desenvolvimento insustentável.

Neste contexto, cresceu, nas últimas décadas, a preocupação em alcançar um estilo de desenvolvimento econômico que valorize a preservação da natureza. Hobbsbawm (2009) lembra que a percepção de que a humanidade é capaz de esgotar as reservas de alguns recursos não-renováveis é recente. Segundo o historiador britânico, ela não existia antes da década de 1970, pelo menos não em escala global.

Um marco nos acontecimentos recentes que contribuíram para essa percepção foi o Relatório de Brundtland, publicado em 1987, intitulado Nosso Futuro Comum, que consagrou o conceito de desenvolvimento sustentável. O documento concebe e propõe o desenvolvimento sustentável como “aquele que satisfaz as necessidades presentes, sem comprometer a capacidade das gerações futuras de suprir suas próprias necessidades”.

Fruto da Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento (CMMAD), promovida pela Organização das Nações Unidas (ONU) para estudos ambientais nos anos 1980 e chefiada pela primeira-ministra da Noruega, Gro Harlem Brundtland, o relatório estabelece uma nova visão na relação homem-natureza apontando tanto a esgotabilidade dos recursos naturais quanto os limites mínimo e máximo para a exploração deste patrimônio natural na busca do bem-estar da sociedade.

A sustentabilidade, assim como o desenvolvimento sustentável, dadas a abrangência prática, a complexidade e diversidades de abordagens, carecem de uma precisão conceitual – no âmbito nacional e internacional. Leff (2001) entende o desenvolvimento sustentável como aquele baseado na prudência ecológica, na justiça social e na diversidade cultural.

Sandroni (2003) restringe o conceito ao aspecto econômico ao referir-se ao desenvolvimento sustentável como o de uma empresa, região ou país. O economista define o termo como uma atividade que não esgota os recursos naturais que consome nem danifica o meio ambiente de forma a comprometer o desenvolvimento daquele setor no futuro.

Milaré (2011) concebe o desenvolvimento sustentável como transcendente ao simples crescimento econômico e que produz avanços constantes e harmonizados em sintonia com as potencialidades e limitações da Terra. Para viver de forma sustentável, na visão do jurista, é preciso aceitar a busca de harmonia com as outras pessoas e a natureza, levando-se em conta as normas do Direito Natural e do Direito Positivo.

Silva (2002) defende que sustentabilidade tem como requisito a equitativa redistribuição de resultados da produção e que o processo de crescimento econômico abranja a redução da pobreza. Ou seja, o termo atinge sua essencial configuração quando as disparidades no padrão de vida são amenizadas e as necessidades básicas da população são atendidas.

Sachs (2009) reforça este entendimento ensinando que a sustentabilidade pressupõe equilíbrio entre as dimensões econômicas, sociais e ambientais. O economista e humanista polonês reconhece como verdadeiro desenvolvimento aquele que se deu sob os padrões sustentáveis de aproveitamento dos recursos naturais, ao contrário do mau desenvolvimento, ou seja, aquele implementado sob o desfrute desmensurado da natureza e sem preocupações de alcance sociais,

levando a um crescimento que, na visão sachiana, não representa evolução. Ao contrário, pode representar, em casos extremos, o retrocesso ou a involução.

Apesar de serem objetos de amplas e diversas definições, os termos desenvolvimento sustentável e sustentabilidade não foram consagrados no Direito do Ambiente. Conforme explica Milaré (2011), nenhum instrumento legal os define explicitamente, tampouco formaliza suas características ou requisitos para que sejam aplicados.

A ausência da nomenclatura não significa, porém, que tais designações não estejam contempladas nos parâmetros e disposições legais brasileiros, abrangendo desde a Constituição Federal (art. 225) até a legislação infraconstitucional e decretos regulamentadores relativos ao meio ambiente. A própria Política Nacional do Meio Ambiente (Lei 6.938/81) e seus desdobramentos normativos corroboram a preocupação do legislador brasileiro com a sustentabilidade dos elementos do mundo natural.

O fato é que os conceitos de sustentabilidade e de desenvolvimento sustentável encontram-se em várias formulações ligados a aspectos técnicos, políticos e sociais compondo definições que alicerçam a interdependência da relação desenvolvimento-economia e ressaltando o sentido de duração, perpetuação, reprodução e renovação dos recursos oferecidos pelos ecossistemas.

Até meados do século XIX, relata Hobbsbawm (2009), ninguém se preocupava com o futuro das fontes de energia não-renováveis, como o carvão, e poucos eram os que, até o final da Segunda Guerra, temiam o esgotamento das reservas de petróleo. Após o Relatório Brundtland inscrever no livro da História que os recursos não-renováveis são finitos e que o meio ambiente pode ser modificado aliando a preservação e o desenvolvimento, os olhos da humanidade se voltaram com mais interesse para os meios renováveis de energia.

Marginalizadas do processo de crescimento a partir da Revolução Industrial, aquelas fontes de energia cujos recursos naturais são capazes de se regenerar assumiram atualmente novo status na dinâmica da interdependente economia mundial e são consideradas alternativas fundamentais para o desenvolvimento. Por isso, fontes como o sol, a água, o vento e a biomassa tornaram-se foco de estudos tecnológicos aprofundados e de investimentos que visam à consolidação de um sistema energético vinculado ao bom funcionamento dos ecossistemas.

Relatório elaborado pela Agência Internacional de Energia (AIE) em conjunto com o Banco Mundial divulgado em 29 de maio de 2013 mostra que a energia renovável responde por 18% da matriz energética mundial e aponta que 120 nações têm programas nacionais relacionados à energia limpa, além de elencar 88 países que já adotaram incentivos para estimular este tipo de produção. O mesmo documento coloca o Brasil no grupo das três nações, ao lado da China e Estados Unidos, onde mais cresce o consumo de energia renovável no mundo.

No Brasil, particularmente, as fontes renováveis compõem 42,4% da matriz energética, de acordo com o Balanço Nacional Energético 2013 (ano base 2012) divulgado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE), vinculada ao Ministério das Minas e Energia (MME). Deste montante, 15,4% provêm da biomassa da cana, 13,8% da energia hidráulica, 9,1% da lenha e carvão vegetal e 4,1% de outras fontes renováveis. Deste último percentual, 2% correspondem à geração eólica.

O documento mostra ainda que em 2012 o consumo de energia elétrica no Brasil, nas categorias residencial e comercial cresceu 3,8%, um índice maior que o incremento do Produto Interno Bruto (PIB) que naquele ano se limitou a 0,9%. É justamente na matriz elétrica brasileira que as fontes renováveis têm participação predominante, chegando a 84,5%. Deste percentual, o destaque é a fonte hidráulica (76,9%), seguida da biomassa (6,8%) e da eólica (0,9%).

Apesar de o Brasil ser internacionalmente apontado como país de crescente consumo de energia limpa e de fontes renováveis predominarem em sua matriz energética, enfrenta problemas de abastecimento no setor elétrico. Em 2012, por exemplo, registrou queda de 4,9 pontos percentuais na geração de energia hidráulica devido a problemas climáticos que baixaram os níveis de reservatórios nas hidrelétricas, provocando riscos de apagões e de racionamento. Para lidar com o problema, o governo usou as termelétricas em caráter emergencial, um recurso fóssil, poluente, e de geração mais cara.

Todo o contexto acima exposto justifica o status promissor alcançado pelo setor eólico nos planos mundial e nacional como alternativa eficiente para o uso da eletricidade a partir dos ventos, em um cenário de transição energética em direção ao baixo carbono, já que não emite poluentes nem gases de efeito estufa.

Sua principal utilização tem sido na injeção de energia elétrica em redes nacionais ou regionais, principalmente em construções em terra firme (*on-shore*). Pereira (2012) observa que, sobretudo na Europa, vem crescendo a geração nas

plataformas continentais (off-shore), além de eventuais aplicações em pequenos sistemas, alimentando ilhas e áreas isoladas.

Recentemente, começaram a ser introduzidas também a micro e minigeração eólica, dentro das cidades, no topo dos edifícios, um mercado, lembra o diretor do Centro Brasileiro de Energia e Mudança do Clima (CBEM), até há pouco tempo imaginado apenas para teto solares.

Especialistas atribuem este cenário promissor, tanto em nível mundial como no Brasil, a avanços tecnológicos estimulados por programas de incentivo implantados nos países desenvolvidos – particularmente o regime de tarifas incentivadoras (*feed-in tariffs*) compartilhadas com setores elétricos, inclusive dos países emergentes, onde os mercados crescem a ritmo acelerado.

No Brasil, as condições favoráveis de clima e relevo se somam às perspectivas de maior aproveitamento com avanços tecnológicos e descentralização de usinas geradoras. Apesar de o setor elétrico brasileiro historicamente se basear no recurso hidrelétrico, enxerga-se a complementaridade das fontes hidrelétrica-eólica como alternativa eficiente para otimizar a capacidade de armazenamento dos reservatórios brasileiros e até a possibilidade de a matriz energética brasileira ser hidro-eólica.

Medeiros (2013) destaca projeções de especialistas dando conta de que o Brasil estará entre os cinco maiores produtores de energia eólica no mundo até 2020, resultado de um conjunto de incentivos governamentais e da abundância de regiões com ventos propícios para esse fim.

Neste sentido, o presente estudo versa sobre o projeto Braseólico, um empreendimento concebido na École des Mines de Alès, na França. Trata-se de um aerogerador de proximidade cuja tecnologia inovadora é plenamente aplicável ao sistema de microgeração de energia eólica descentralizada em cenário urbano, com ganhos para ambas as partes, consumidor e sistema energético regional.

O projeto se vale do sistema de compensação de energia elétrica, conhecido internacionalmente como *net metering* e regulamentado em 2012 no Brasil. Isto significa que ele unifica gerador e consumidor em um modelo onde a energia é gerada onde é distribuída e é distribuída onde é gerada, com a vantagem de dispensar linhas de transmissão e instaurar uma relação sem movimentação financeira entre consumidor-gerador e a distribuidora. A finalidade geral do presente

trabalho é a apresentação deste projeto, provando sua factibilidade no Brasil e ainda que seus efeitos positivos ultrapassem o óbvio ganho ambiental.

Neste intento, o estudo alia no primeiro capítulo o conceito e a evolução histórica da energia eólica no mundo e no Brasil, os fundamentos técnicos da ferramenta e analisa as tendências de aplicação e de mercado desta modalidade energética. Ainda nesta parte, o estudo aborda o potencial eólico brasileiro, contemplando os incentivos oficiais ao setor, analisando o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (Proinfa) e tarifas que, em alguns países, se revestem de incentivos.

O segundo capítulo traça em linhas gerais a formação da política energética brasileira, ressaltando as escolhas históricas das fontes de energia, que hoje desenham um país dono de matriz energética predominantemente limpa, mas refém de condutas insustentáveis e do risco frequente de racionamento de energia. Em seguida, apresenta a arquitetura hierárquica do sistema elétrico brasileiro e aborda o quadro regulatório do setor eólico no Brasil. Neste segundo quesito, parte, obviamente, da Constituição Federal, atendo-se à Resolução Normativa (RN) 482/2012 que instaura o sistema de compensação de energia elétrica e estabelece as condições gerais para o acesso da microgeração e da minigeração direcionadas aos sistemas de distribuição de energia elétrica.

O terceiro capítulo esmiuça o projeto Braseólico, descrevendo tecnicamente seus componentes e o seu eventual funcionamento e analisando tanto seu encaixe no quadro regulatório nacional do setor quanto a sua viabilidade econômica. Conclui, ao final, que além de perfeitamente adequado à regulamentação do sistema energético nacional, o empreendimento é viável economicamente.

Como se trata de um projeto ainda não implantado e de tema em constante evolução como a aplicação da energia eólica, parte significativa das fontes pesquisadas são recentes e eletrônicas. Integralmente de pesquisa documental, o trabalho utilizou-se do método qualitativo e descritivo para apresentar e interpretar o objeto.

CAPÍTULO 1

ENERGIA EÓLICA: conceito, histórico, fundamentos e tendências

1.1 - Conceito e Origem

Tendo em vista tratar-se de pesquisa científica, o conveniente é alargar a amplitude do conceito, ultrapassando a descrição técnica e abordar aspectos físicos (naturais ou artificiais) e históricos que, intrincadamente vinculados, alcançam sentidos embutidos na denominação do termo pesquisado. Uma vez decifrados, esses sentidos ajudam a explicar o objeto - com a adequada precisão - e suas implicações na natureza.

Orientando-se neste sentido, esta dissertação traz a definição técnica de energia eólica aliada à trajetória da descoberta e uso desta ferramenta, formando um conjunto explicativo que, ao final, elucida a terminologia, sua função e seus efeitos cujo resultado é a plena identificação do fenômeno. Vejamos a seguir.

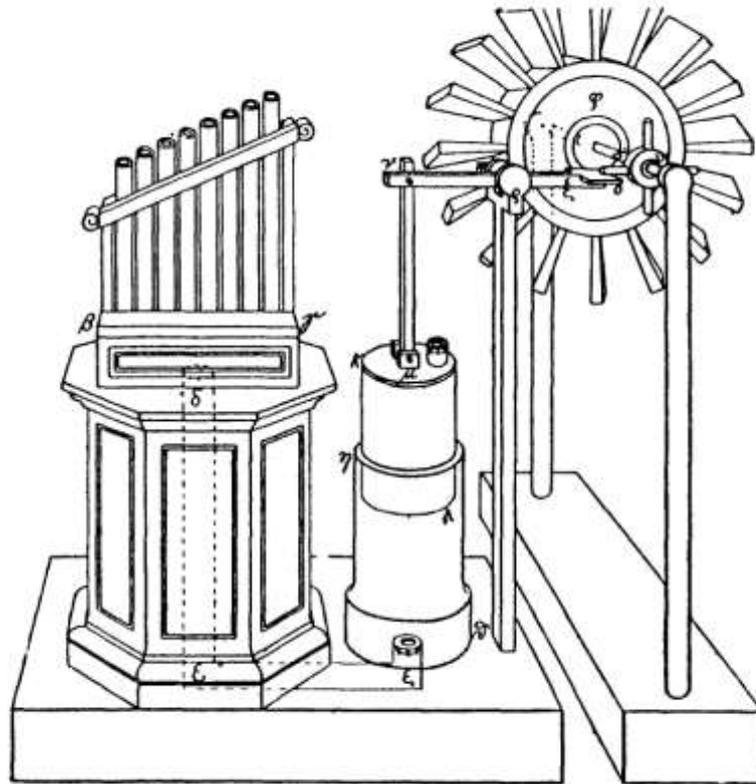
Na histórica labuta de desbravar a natureza para atender às suas necessidades, o homem viu no vento a possibilidade de transformar o movimento do ar em força motriz que contribuísse nas atividades agrícolas, poupando os esforços braçal e animal.

Nesta demanda, recorreu à energia eólica. Ela deriva da energia cinética contida nas massas de ar em movimento e seu aproveitamento ocorre por meio da conversão da energia cinética de translação em energia cinética de rotação, com o emprego de turbinas eólicas, também denominadas aerogeradores, para a geração de eletricidade, ou cataventos e moinhos, para trabalhos mecânicos como bombeamento de água.

Pinto (2013) lembra que não há precisão histórica quanto à data de origem de um dispositivo identificado como eólico. Os registros das primeiras menções ao uso da energia do vento vêm do Oriente, especificamente de países como a Índia, o Tibete, Afeganistão e Irã (antiga Pérsia).

Uma das primeiras referências remetem ao matemático e engenheiro mecânico grego Heron de Alexandria (10 d.C. - 70 d.C.) que inventou um órgão musical que funcionava acionado pelo vento (ver figura 1). É considerado um dispositivo eólico que gerava música.

Figura 01: Órgão musical acionado pelo vento



Órgão musical acionado pelo vento a partir de um eixo com pás. Modelo descrito por Heron de Alexandria.

Fonte: WOODCROFT, Bennet, 1851.

Alguns historiadores atribuem a Heron a invenção do moinho de vento, já que suas engenhocas respondiam ao movimento de pás que levantavam um pistão contido dentro de um cilindro.

Como há dificuldades referentes à procedência dos manuscritos de Heron, o título de inventor do moinho de vento atribuído a ele não é unanimidade entre historiadores e outros estudiosos. De qualquer forma, o uso do vento como força motriz em suas criações pode ter influenciado aqueles que o seguiram.

De acordo com Pinto (2013), a primeira referência registrada de um moinho de vento de verdade data da Pérsia do século VII, hoje Irã. Em resgate histórico, o autor traça a disseminação do uso do moinho de vento no mundo.

Durante o reinado do califa Umar I (633-44), moinhos de vento foram construídos para obter água destinada a irrigação e moagem de grãos. Tais moinhos podem ter sido importados para a China do Oriente Médio pelo

conquistador mongol Gêngis Khan (1162-1227). A primeira referência a um moinho de vento chinês data do ano de 1219. Durante as cruzadas que aconteceram por cerca de dois séculos a partir de 1095, os conquistadores europeus da Palestina provavelmente conheciam os moinhos de vento do Oriente Médio e importaram a tecnologia para a Europa... (PINTO, II, 8).

[...]Nos séculos XVII e XVIII, os holandeses migraram em grande número para as colônias americanas, trazendo consigo a tecnologia dos moinhos de vento, e vários foram construídos em Nova York e na Nova Inglaterra. (PINTO, II, p. 10)

Lopez (2012) aborda os aperfeiçoamentos tecnológicos dos moinhos de vento à medida em que se espalhavam geograficamente ao longo dos anos, apontando como um dos primeiros avanços à tecnologia primitiva o uso de velas de sustentação em eixo horizontal encontrados nas ilhas gregas do Mediterrâneo.

A partir do século XII, começaram a ser usados moinhos de eixo horizontal na Inglaterra, França e Holanda e o modelo disseminou pela Europa. Como boa parte do território holandês está abaixo do nível do mar, os moinhos eram eficientes para drenar as terras cobertas pelas águas. Além disso, no século XVI, eram aplicados na fabricação de papel, produção de óleos vegetais e serrarias para processamento de madeiras. Em meados do século XIX, cerca de 9.000 moinhos de ventos funcionavam plenamente na Holanda e o equipamento tinha presença significativa em outros países europeus como na Bélgica (3.000), Inglaterra (10.000) e França (650).

O desenvolvimento tecnológico dos moinhos de vento estancou com a revolução industrial e o aparecimento da máquina a vapor, mas na segunda metade do século XIX surgiu o moinho de pás múltiplas americano, considerado um dos mais importantes avanços técnicos para o aproveitamento do vento que influenciaram sobremaneira o projeto dos modernos geradores eólicos. Lopez (2012) detalha as características da ferramenta

Toda a estrutura era feita de metal e o sistema de bombeamento era executado por meio de bombas e pistões, favorecidos pelo alto torque fornecido pelo grande número de pás. Até hoje esse sistema é largamente usado para bombeamento em várias partes do mundo. (LOPEZ, II, p. 28)

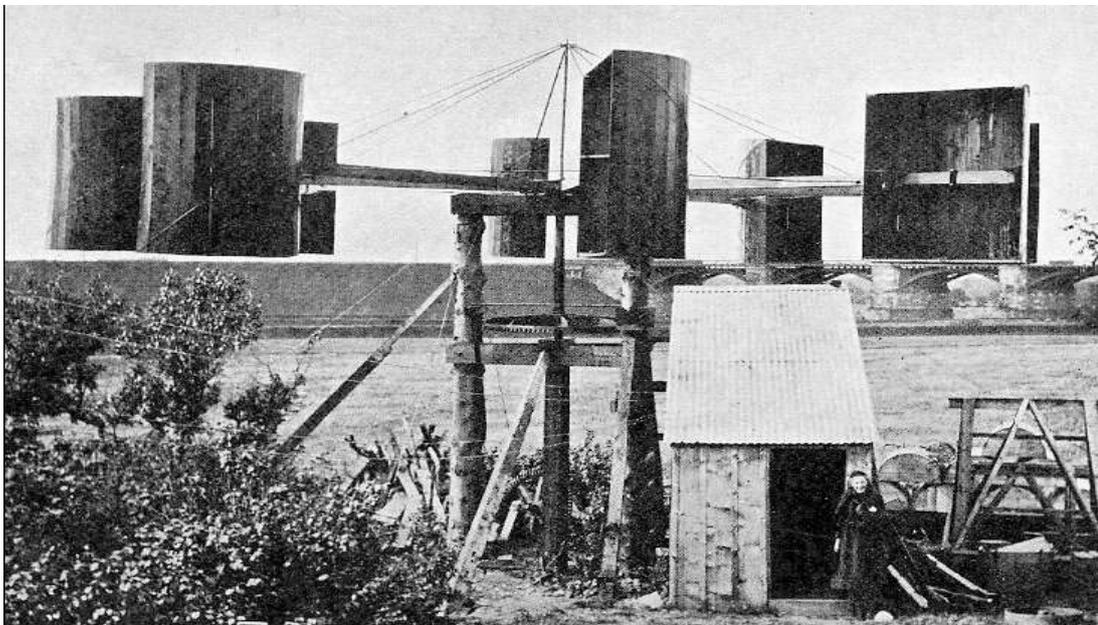
Além dos Estados Unidos, o modelo ganhou várias regiões como Austrália, Rússia, África e América Latina. Destinava-se principalmente para o bombeamento de água, principalmente nas áreas rurais. O uso efetivo e a disseminação

favoreceram aperfeiçoamentos na aerodinâmica das pás e freios hidráulicos para deter os movimentos das pás, já que embora fossem na maioria pequenos, alguns eram grandes, com pás de até 8 metros (LOPEZ, 2012 e PINTO, 2013).

Se os moinhos de vento eram eficientes mecanicamente em múltiplas funções como produção de azeite e papel, prensa de grãos e serrarias, não tardaria a aplicação do equipamento para a geração de eletricidade, utilizando-se aquela potência para iluminação e aquecimento. Ainda no século XIX, em 1887, foi construído o primeiro moinho de vento para este fim pelo engenheiro eletricitista James Blyth (1839 – 1906) em Glasgow, na Escócia.

A máquina de 10 metros de altura e eixo vertical foi instalada na casa de campo de seu inventor, carregando os acumuladores e alimentando a iluminação da residência, que se tornou a primeira casa do mundo a ter sua eletricidade fornecida pela energia eólica. Blyth só conseguiu a patente britânica de sua turbina em 1891 e um ano antes grandes turbinas de moinho de vento foram desenvolvidas na Holanda (PINTO, 2013).

Figura 02: Primeiro gerador eólico

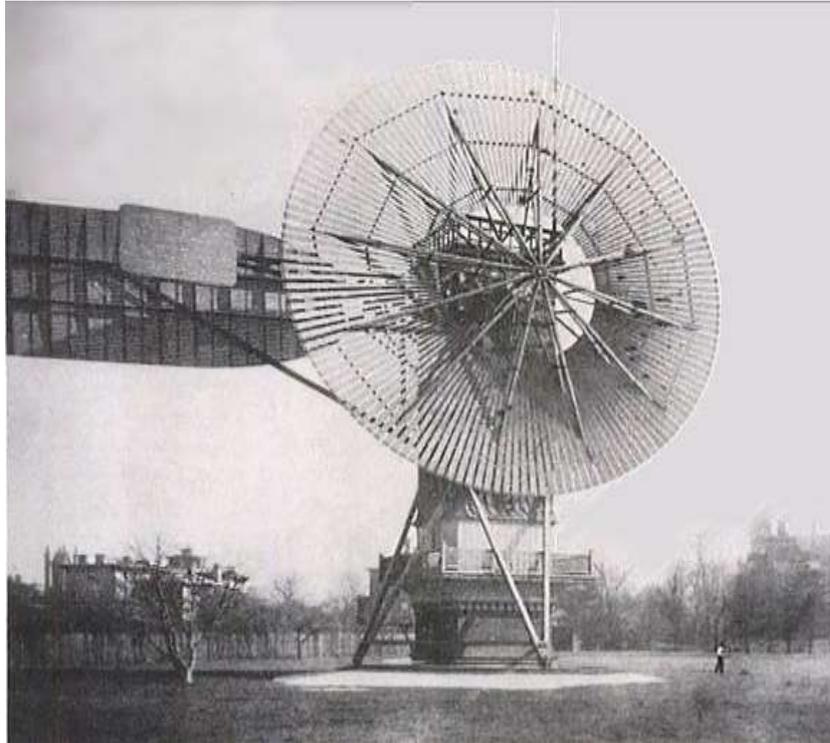


O moinho de vento de Blyth instalado em sua casa de campo na Escócia.
Fonte: Domínio público, 1891

Outro pioneiro no experimento de gerador elétrico a partir do vento foi o americano Charles Brush, em 1888. Sua casa, em Cleveland, estado americano de Ohio foi a primeira na cidade a ter as 12 baterias alimentadas pelo gerador eólico e

sua turbina foi bastante difundida nos anos seguintes. A máquina tinha eixo horizontal, 144 pás, 17 metros de diâmetro de rotor e 18,3 metros de altura da torre. Portanto, bem maior que a de Blyth, criada um ano antes.

Figura 03: Turbina eólica de Brush



Turbina criada por Brush, em Cleveland. Operou de 1888 a 1908.
Fonte: RIGHTER, Robert W. Wind Energy in America, a History, 1996.

O invento de Brush trouxe três inovações determinantes para a evolução das turbinas eólicas, conforme descreve Lopez.

Em primeiro lugar, a altura utilizada pelo invento estava dentro das categorias dos moinhos de vento utilizados para beneficiamento de grãos e bombeamento de água. Em segundo, foi introduzido um mecanismo de grande fator de multiplicação da rotação das pás (50:1) que funcionavam em dois estágios, possibilitando um máximo aproveitamento do dínamo. Em terceiro, esse invento foi a primeira e mais ambiciosa tentativa de se combinar a aerodinâmica e a estrutura dos moinhos de vento com as recentes inovações tecnológicas na produção de energia elétrica. (LOPEZ, II, p. 29)

Outro nome marcante na transição entre os moinhos de vento e a moderna tecnologia de geração eólica é o do meteorologista dinamarquês Poul la Cour. Em 1891, com fundos do governo destinados a fornecer eletricidade às áreas rurais da

Dinamarca, Cour construiu uma turbina eólica experimental que acionava um dínamo. Usou a corrente contínua gerada pela turbina para eletrólise e armazenou o hidrogênio então produzido. Até 1902, lâmpadas de gás usando este método iluminaram escolas em Askov, cidade dinamarquesa onde Cour chegou a montar oficina de testes para turbinas eólicas.

Em 1903, Cour fundou a Associação Dinamarquesa dos Engenheiros de Energia Eólica (DVES, pela sigla em dinamarquês) que oferecia cursos de treinamento para os então chamados eletricitistas do vento. Naquele ano, a Associação tinha registradas 132 pequenas plantas eólicas em operação na Dinamarca. (PINTO, 2013).

Figura 04: Turbinas de Poul La Cour



Turbinas de teste de Poul la Cour em Askov, 1897.
Fonte: Poul la Cour Museum

Enquanto a aplicação de turbinas eólicas para geração de eletricidade teve início da Dinamarca no final do século passado, outros países vinham realizando pesquisas para aproveitamento da energia eólica em geração de grandes blocos de energia. Os Estados Unidos, no entanto, difundiam o uso de aerogeradores de pequeno porte nas fazendas e residências rurais isoladas. Mas a Rússia, por sua vez, investia na conexão de aerogeradores de médio e grande porte diretamente na rede.

À medida que os experimentos evoluíam, os problemas surgiam. Aerogeradores de grande dimensão (variando entre 30 metros e 53 metros e pás com 20 metros de diâmetro), por exemplo, foram construídos na França, em 1929, e eram destruídos pelas tormentas. Esses problemas estruturais foram corrigidos e há 25 anos o país possui diversos aerogeradores com capacidade de 2.500 KW (kilowatts), diâmetro de pás de até 93 metros (Lopez, 2012).

Outro marco na evolução histórica dos aerogeradores ocorreu com a bem sucedida experiência russa de conectar um aerogerador de corrente alternada com uma usina termelétrica. O projeto foi desenvolvido em 1931 com o aerogerador Balaclava de 100 KW conectado por uma linha de transmissão de 6,3 KV (kilovolts) em 30 Km (quilômetros), a uma usina termelétrica de 20 MW (megawatts). Lopez detalha o funcionamento

O gerador e o sistema de controle ficavam no alto da torre de 30 metros e a rotação era controlada pela variação do ângulo de passo das pás. O controle da posição era feito através de uma estrutura em treliças inclinada e apoiada sobre um vagão em uma pista circular de trilhos. (LOPEZ, II, p. 30)

Com a Segunda Guerra Mundial (1939-1945) e a necessidade dos países reduzirem a dependência dos combustíveis fósseis, aumentaram o empenho e investimentos para desenvolvimento dos aerogeradores de médio e grande portes. Nos Estados Unidos, em 1941, foi criado o Smith-Putnam com 53,3 metros de diâmetro, uma torre de 33,5 metros de altura e duas pás de aço com 16 toneladas.

Para a geração elétrica, nesta experiência, foi usado um gerador síncrono¹ de 1.250 KW com rotação constante de 28 rpm (rotação por minuto), que funcionava em corrente alternada, conectado diretamente à rede elétrica local. O equipamento quebrou-se por fadiga após quatro anos de funcionamento.

Após a Segunda Guerra, grandes usinas hidrelétricas e o petróleo se transformaram nos principais alvos de investimentos, desacelerando o ritmo de desenvolvimento dos aerogeradores. Devido ao preço extremamente baixo dos combustíveis primários, a eletricidade a partir do vento não tinha chance econômica.

¹ Geradores síncronos são máquinas elétricas que trabalham com velocidade constante e igual à velocidade síncrona (do campo girante), que é uma função da frequência da tensão gerada e do número de pares de polos do rotor. São capazes de produzir tanto energia ativa como energia reativa, mediante o fornecimento de energia no eixo através de uma máquina primária e da excitação de um enrolamento de campo localizado no rotor dos mesmos. (CERPCH, Centro Nacional de Referência em Pequenas Centrais Hidrelétricas, 2013)

Embora tenham continuado, as pesquisas, se limitaram, então, ao aperfeiçoamento do sistema de geração e das pás.

Ainda assim, França e Alemanha se empenharam nos experimentos de aerogeradores conectados à rede elétrica. Entre 1958 e 1968, foram construídos diversos aerogeradores de grande porte nos dois países. Entre os principais estavam três aerogeradores franceses de eixo horizontal e três pás e um alemão cujas inovações tecnológicas influenciaram na concepção dos modelos atuais.

O equipamento alemão tinha 34 metros de diâmetro, operando com potência de 100 KW a ventos de 8 m/s (metros por segundo). Possuía rotor leve em materiais compostos, duas pás logo depois da torre, sistema de orientação amortecida por rotores laterais e torre de tubos estaiada. Por serem feitas de materiais compostos, as pás aliviaram os esforços em rolamentos, reduzindo os problemas de fadiga. Chegou a operar por mais de 4 mil horas entre 1957 e 1968 (LOPEZ, 2012).

O interesse pela energia eólica voltou a crescer nos anos 1970, especificamente após a crise energética de 1973², quando o preço do petróleo aumentou (passou de 3 dólares para 12 dólares o barril) e a oferta do produto diminuiu, evidenciando a tamanha dependência econômica dos países industrializados do Ocidente em relação às fontes primárias de energia.

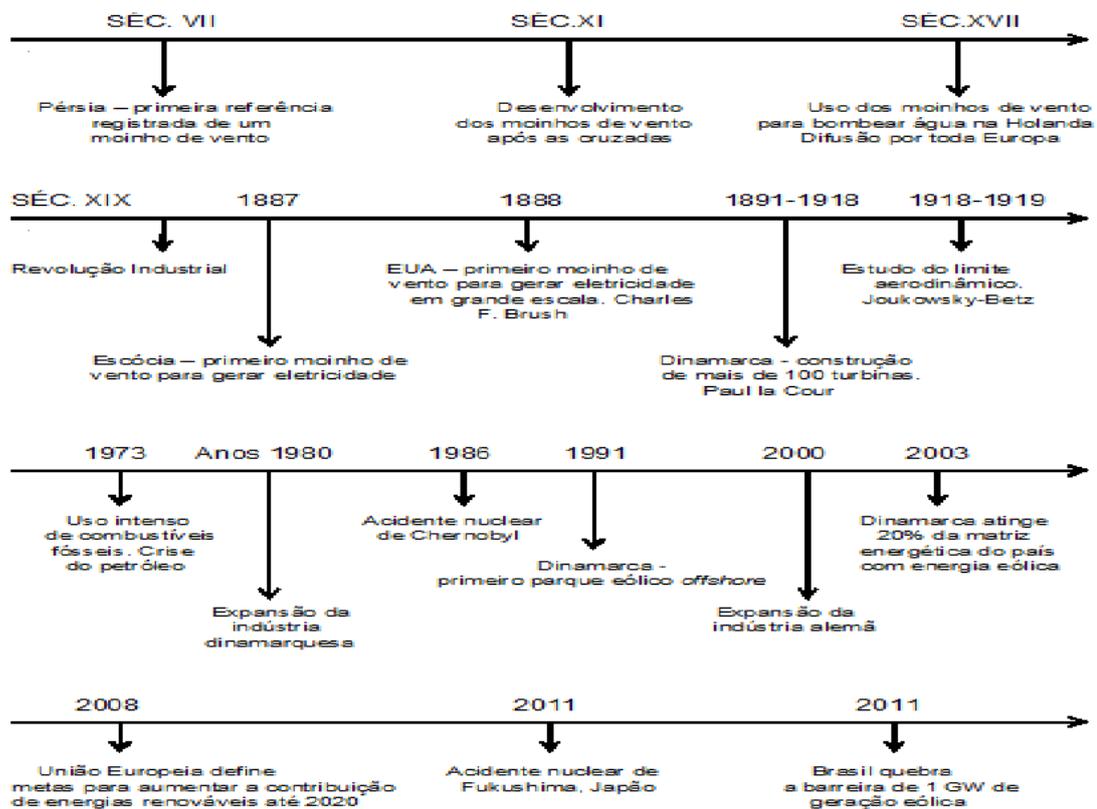
No mesmo ano, o governo americano adotou o programa oficial de energia eólica, sob a administração do Departamento de Energia com orçamento de US\$ 200 milhões. No ano seguinte, uma comissão de especialistas dinamarqueses declarou que, a partir da energia do vento, seria possível gerar 10% da necessidade de energia do país, sem comprometer a rede pública. A Dinamarca também é pioneira da energia eólica gerada sob as águas: a primeira instalação eólica offshore³ foi construída em 1991, a cerca de 1,6 quilômetro da costa dinamarquesa. (PINTO, 2013).

² Também conhecida como o primeiro choque do petróleo, já que decorreu dos sucessivos aumentos nos preços do produto decretados a partir de outubro de 1973 pelos Estados integrantes da Organização dos Países Exportadores de Petróleo (OPEP). O elemento detonador foi o conflito árabe-israelense de 1973, mas o alcance era mais amplo. Expressava o projeto dos países produtores no sentido de controlar a produção e distribuição da matéria-prima e de defender seu preço no mercado internacional. Unilateralmente, a OPEP decide aumentar em 17% o preço do petróleo e, ao mesmo tempo, reduzir mensalmente em 5% o fornecimento aos países que apoiavam Israel no conflito. Os países da OPEP viram suas receitas aumentar em US\$ 25 bilhões em 1973 e US\$ 80 bilhões em 1974. Nesse ano, o bloco dos países industrializados teve um déficit global de US\$ 11,5 bilhões e os países emergentes, um déficit de US\$ 39,8 bilhões (SANDRONI, 2003).

³ Termo da língua inglesa que literalmente quer dizer afastado da costa, ultramar. Também está relacionado com a atividade econômica operada ao largo da costa. No que concerne à energia eólica,

Do traçado histórico da evolução dos equipamentos e do sistema de geração da energia eólica, pode-se concluir que esta ferramenta se desenvolveu mundialmente sob os seguintes pilares: condições naturais favoráveis e necessidades conjunturais, as últimas relacionadas a acontecimentos e interesses políticos. Neste sentido, esboça-se a cronologia a seguir.

Figura 05: Cronologia dos principais marcos no desenvolvimento da energia eólica e momento histórico associado.



Fonte: PINTO, 2013.

A cronologia acima confirma os países expoentes do setor eólico no que concerne à tradição de investimentos e da geração de energia. Ao longo dos anos, no entanto, esta modalidade energética foi rompendo fronteiras e atraindo investimentos de diversas nações nos cinco continentes.

É o que mostra o mais recente relatório do Conselho Global de Energia Eólica (GWEC, pela sigla em inglês), divulgado em fevereiro de 2013. Além de retratar em

consiste nas instalação de equipamentos eólicos ao longo da costa marítima com o intuito de extrair energia dos ventos que sopram sobre os mares e oceanos (DICIONÁRIOS.COM e AQUA-RET, 2013)

números a capacidade instalada de cada país, o documento elenca os líderes mundiais na produção de energia eólica. Vejamos:

TABELA 1: Maiores produtores de energia eólica no mundo

	PAÍS	CAPACIDADE INSTALADA (MW)	PARTICIPAÇÃO GLOBAL*
1º	China	75,5 mil	26,8%
2º	EUA	60 mil	21,2%
3º	Alemanha	31,3 mil	11,1%
4º	Espanha	22,7 mil	8,1%
5º	Índia	18,4 mil	6,5%
6º	Reino Unido	8,4 mil	3%
7º	Itália	8,1 mil	2,9%
8º	França	7,1 mil	2,5%
9º	Canadá	6,2 mil	2,2%
10º	Portugal	4,5 mil	1,6%
11º	Dinamarca	4,1 mil	1,4%
12º	Suécia	3,7 mil	1,3%
13º	Japão	2,6 mil	0,9%
14º	Austrália	2,6 mil	0,9%
15º	Brasil	2,5 mil	0,8%

* Capacidade Global 282,4 GW

Fonte: Relatório do Conselho Global de Energia Eólica (GWEC), 2012

1.2 - Histórico no Brasil

Dono de uma das matrizes energéticas mais limpas do mundo, o Brasil desenvolveu seu sistema elétrico tendo como pilar o vasto potencial hidrelétrico, próximo das zonas geográficas em processo de industrialização e de urbanização (OLIVEIRA, 2012).

Aproveitando a topografia favorável e a abundância de rios, o país apostou nos grandes reservatórios hidrelétricos para armazenar energia em períodos de chuva favorável para abastecer o mercado na época da estiagem.

O primeiro estudo substancial do potencial eólico brasileiro ocorreu em 2001, mas a busca de novos meios de geração de energia começou em 1973, na esteira da reação mundial à crise do petróleo. Entre 1973 e 1983, O IEA/CTA (Instituto de Aeronáutica e Espaço/Centro de Tecnologia Aeroespacial construiu e testou 15 protótipos de turbinas eólicas, em São José dos Campos (SP).

Os projetos, no entanto, foram abandonados por apresentarem problemas com a durabilidade do material dos rotores, limitando o funcionamento a um período inferior a 12 meses. Mas os ensaios deram origem ao Projeto Debra, em 1981,

considerado o marco inicial da energia eólica no Brasil por incentivar a avaliação do potencial eólico para geração de energia elétrica na Região Nordeste.

Fruto de parceria dos governos brasileiro e alemão, daí a sigla Debra (junção das iniciais Deutschland e Brasil), o projeto desenvolveu turbinas com 100 KW (quilowatts) e rotores de 25 metros de diâmetro que seriam instaladas no Nordeste brasileiro. Os moldes das pás foram fabricados no CTA e encaminhados para a Alemanha em abril de 1983. Em julho de 1984 o material compôs o primeiro protótipo para testes no campo de Schnittligen, mas o projeto já havia sido cancelado no final de 1983 (PINTO, 2013).

A parceria Brasil-Alemanha rendeu estudos marcantes para o desenvolvimento da energia eólica em território brasileiro. Dados do funcionamento dos vários protótipos de turbinas eólicas de pequeno porte operados em conjunto pelo Instituto Técnico Aeroespacial (ITA) e pelo DFVLR-IBK (órgão de pesquisa aeroespacial da Alemanha), entre 1977 e 1981, em 81 estações a 10 metros de altura da Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (Sudene) possibilitaram o inventário do potencial eólico nordestino, elaborado em 1987 pela Companhia Hidrelétrica do São Francisco (Chesf).

No documento, as cidades de Macau (RN) e Caetité (BA) aparecem como tendo as maiores velocidades médias anuais (para uma medição a 10 metros de altura) de 5,5 metros por segundo (m/s) 4,3 m/s, respectivamente.

Os estados de Minas Gerais e Rio Grande do Sul também realizaram estudos de mapeamento eólico na década de 1980. Os registros de medição desta fase, no entanto, não contam com a credibilidade científica. É que, por serem realizados a 10 metros de altura, a rugosidade do terreno e outros obstáculos, mascaram boa parte dos dados, segundo especialistas.

Só na década de 1990 começaram a ser realizadas medições em alturas iguais ou superiores a 20 metros, em torres instaladas no Ceará, Bahia, Minas Gerais e Paraná.

1.2.1- As primeiras turbinas eólicas e o caso de Fernando de Noronha

O arquipélago de Fernando de Noronha tem importância singular como um dos marcos históricos da energia eólica no Brasil. Distante 545 quilômetros de

Recife e pertencente ao estado de Pernambuco, a região foi a escolhida para abrigar a primeira turbina eólica instalada no país, em julho de 1992.

Até então, a ilha tinha uma geração elétrica exclusivamente térmica⁴ (da usina termelétrica Tubarão)⁵, à base de óleo diesel. O empreendimento – parceria da Companhia Energética de Pernambuco (Celpe) com o grupo de energia eólica da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) e o Folkcenter (instituto de pesquisa dinamarquês, financiador do projeto de US\$ 250 mil) – proporcionou uma economia de 70 mil litros/ano de óleo diesel. No período de 1992 a 1995, a turbina⁶ produziu 152.926 kWh (kilowatts por hora).

Oito anos após a primeira instalação, a ilha ganhou uma segunda turbina⁷ patrocinada pela Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel), que custeou o R\$ 1,2 milhão do projeto com o apoio do Centro Brasileiro de Energia Eólica (CBEE) e do Riso National Laboratory da Dinamarca.

A ilha tornou-se, então, o maior sistema híbrido em operação na América Latina, composto por duas turbinas eólicas (75 kW e 225 kW) e a usina termelétrica de Tubarão, com potência instalada de 3 MW na época. Juntas, as duas turbinas geravam até 25% do consumo total da ilha.

Em junho de 2007, um incêndio na casa de máquinas da termelétrica Tubarão queimou três dos cinco geradores e a ilha ficou sem energia durante alguns dias até a Celpe, companhia energética responsável pela usina, enviar novos geradores em aviões da Força Aérea Brasileira (Celpe, 2007).

Mais de dois anos depois e com investimentos na faixa de R\$ 10 milhões, a usina foi reinaugurada⁸. Alguns meses antes da inauguração, porém, um raio atingiu a turbina V27, destruindo uma das pás e o gerador. A turbina foi, então,

⁴ Uma termelétrica produz energia a partir da queima de algum combustível, renovável ou não renovável.

⁵ A usina termelétrica de Tubarão dispõe de uma área capaz de receber 229 mil litros de diesel, distribuídos por sete tanques de 30 mil litros e um tanque com 19 mil litros. Usa o biodiesel com 4% de óleo vegetal, fornecido pela Petrobras Distribuidora.

⁶ A primeira turbina instalada em Fernando de Noronha tinha gerador de 75kW de potência, torre treliçada de 23 metros e 17 metros de diâmetro do rotor. A máquina tinha ainda um transformador de acoplamento à rede e cada uma das três pás, de fibra de vidro, tinha 8,5 metros de comprimento. (PINTO, 2013)

⁷ A segunda turbina instalada em Fernando de Noronha era o modelo V27 da empresa dinamarquesa Vestas, com um gerador de 225 kW, pás de 13 metros e torre de 32,46 metros de altura. A Vestas já tinha instalado 1877 dessas turbinas no mundo (PINTO, 2013)

⁸ A usina termelétrica Tubarão é considerada a mais moderna geradora de energia elétrica do Brasil, com capacidade de geração de 4.650 kW, potencial bem superior ao consumo do arquipélago. A Celpe tem cerca de 800 clientes na ilha. O maior consumidor é a Companhia de Saneamento de Pernambuco (Compesa).

desmontada. A energia eólica representava apenas 4% da energia produzida na ilha (PINTO, 2013).

O caso de Fernando de Noronha, berço da energia eólica no Brasil, torna-se emblemático ao expor a política de investimentos no setor energético no país. Restou clara a preferência do setor público em investir em energia fóssil. As duas fontes energéticas sofreram acidentes causados por força maior. A termelétrica foi recuperada e modernizada e a eólica, aposentada.

Atualmente, a demanda energética da ilha é integralmente atendida pela fonte térmica e há projetos institucionais de investimentos em fonte solar. Uma usina fotovoltaica está sendo construída em área do Comando da Aeronáutica e outra teve a construção aprovada via acordo de cooperação entre a Secretaria de Ciência e Tecnologia de Pernambuco (Sectec) e a Companhia Energética de Pernambuco (Celpe), com apoio técnico da Cooperação Alemã para o Desenvolvimento Sustentável. De acordo com o projeto, a usina custará R\$ 11 milhões e terá potência instalada de 500 KWp (kilowatt-pico), gerando 777 MWh/ano o que corresponde a 6% do consumo da ilha. (Celpe e JORNAL DA ENERGIA, 2013).

1.2.2 - Os primeiros parques eólicos

Confirmando a influência determinante da Alemanha no desenvolvimento da energia eólica no Brasil, o embrião de um parque eólico no território brasileiro é o Projeto Eldorado, fruto da parceria entre as empresas brasileiras Companhia Energética de Minas Gerais (Cemig), Companhia Energética do Ceará (Coelce), Companhia Hidrelétrica do São Francisco (Chesf) e o governo alemão.

Em 1994, a parceria viabilizou a implantação de quatro máquinas no Porto de Mucuripe, no Ceará, e outras quatro no Morro do Camelinho, em Minas Gerais⁹. Apesar de a parceria garantir um financiamento a fundo perdido do governo alemão ao brasileiro, houve problemas de manutenção com as máquinas e o projeto deixou de funcionar. No mesmo ano, porém, um outro braço do projeto, a Usina Experimental Eolioelétrica (UEEE)¹⁰ foi inaugurada na cidade mineira de Gouveia, fazendo da Cemig a primeira empresa brasileira a operar uma usina eólica. Criada

⁹ Configuração das máquinas: Em Minas Gerais, quatro Tache com 250 kW e diâmetro de rotor de 26 metros. No Ceará, quatro Tache com 300 kW e diâmetro de rotor de 33 metros (PINTO, 2013).

¹⁰ A usina contava com quatro turbinas de 250 kW, torre tubular cônica de aço de 30 metros de altura e pás com diâmetro do rotor de 26 metros (PINTO, 2013).

sem fins comerciais, a UEEE foi a primeira a fornecer energia eólica para o Sistema Elétrico Nacional.

Com ventos propícios, o Ceará instalou seus primeiros parques eólicos em 1996, após quatro anos de estudos – convênio entre a Coelce e o governo alemão - que mapearam dados sobre os ventos no estado a partir das estações anemométricas¹¹ em Fortaleza, Jericoacoara, Gijoca, Palmeiras e Beberibe. Também em 1996, a Chesf divulgou um estudo animador, apontando o potencial eólico dos estados do Ceará e Rio Grande do Norte. As simulações computacionais de curvas de desempenho de turbinas eólicas de 500 kW e 600 kW indicaram a possibilidade de geração de 9,55 TWh/ano (terawatt por hora ao ano), no Ceará e 2,96 TWh/ano no Rio Grande do Norte. Isto ocupando 10% do litoral de cada estado.

Desde 1999, o Ceará abriga os primeiros e únicos parques eólicos do mundo construídos sobre dunas. Trata-se do parque de São Gonçalo, na Praia da Taíba (capacidade de 5 MW com 10 aerogeradores de 44 metros de altura e 500 kW instalados) e do parque de Prainha, em Aquiraz (capacidade de 10 MW com 20 aerogeradores de 44 metros de altura e 500 kW de potência. Os dois fornecem 52,5 GWh/ano, valor suficiente para alimentar 6% da população de Fortaleza. Os dois empreendimentos são também os primeiros parques eólicos comerciais instalados no Brasil.

No Sul do país, o primeiro parque eólico foi instalado em 1999 na cidade de Palmas (PR) com cinco turbinas de 500 kW, fabricadas pela empresa alemã Wobben-Enercon, geradores síncronos, rotores de 40 metros de diâmetro e torre de 45 metros de altura. Em 2002, o estado de Santa Catarina inaugurou seu primeiro parque, com potência de 600 kW em Bom Jardim da Serra, também em parceria com a Wobben-Enercon.

Outro empreendimento marcante do setor eólico no Brasil ocorreu em 2003 quando a Petrobras – a maior empresa do país – começou a operar a usina de Macau, no Rio Grande do Norte. Ao custo de R\$ 6,7 milhões e com três geradores de 0,6 MW, a eólica é conectada à rede elétrica interna da Petrobras no Campo de Macau, em 13,8 kV, alimentando as plataformas Aratum 1 e Aratum 2 (PINTO, 2013).

¹¹ Estações anemométricas são dotadas de anemômetros, aparelhos que medem a velocidade e registram a direção do vento. Precedem a implantação de um parque eólico. (www.aneel.com.br)

Atualmente, o Brasil tem 2,8 MW de capacidade instalada de energia eólica em 119 parques eólicos, distribuídos por onze estados. A fonte tem 2% de participação na composição da matriz elétrica brasileira e, até 2017, esse número chegará em 6% referente a 10,3 GW de capacidade instalada. (Abeeolica, 2013).

Assim como acentou-se o crescimento de parques eólicos, o país viu crescer também modalidades menores de geração da energia derivada do vento. A mini e microgeração eólicas vem se consolidando como tendência, principalmente a partir de 2012, quando foi instituído, através da Resolução Normativa 482, o sistema de compensação de energia elétrica. A referida regulamentação será objeto do Capítulo 2 deste trabalho.

1.2.3 - Incentivos e leilões

O ano de 2001 foi um marco para o desenvolvimento das energias renováveis no Brasil. O crescimento econômico aumentava a demanda de energia elétrica e a matriz energética nacional, predominantemente hidrográfica, se mostrava insuficiente para o abastecimento. A crise culminou com o chamado apagão naquele ano, quando tornou-se inevitável o racionamento para evitar o colapso do suprimento¹².

Diante da necessidade urgente, restou ao governo federal estimular investimentos no setor. O principal deles foi o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (Proinfa), a ser pormenorizado ainda neste capítulo. Outros incentivos de caráter regulatório, fiscais ou financeiros serão abordados no subitem Potencial Eólico Brasileiro, que também integra esta parte da dissertação.

Se os projetos eólicos alavancaram com os incentivos, experimentaram também entraves na implementação, levando a uma lenta consolidação, o que levou

¹² Em julho de 2001, os consumidores foram constrangidos a reduzir o consumo habitual de energia entre 15% e 25%. Restou mudar hábitos e racionalizar o uso de eletricidade. Aqueles que não cumprissem a meta pagariam multas e a reincidência implicaria corte do abastecimento por alguns dias. Os grandes consumidores adeririam aos geradores para situações de emergência. Como as chuvas do verão de 2002 foram favoráveis, o governo suspendeu as regras do racionamento em março daquele ano. Estima-se que o consumo de energia tenha sido reduzido em cerca de 20% durante o período do racionamento. Estima-se, no entanto, a queda de 3% no ritmo de crescimento do Produto Interno Bruto (PIB) por conta da mudança no comportamento das empresas e dos consumidores. Passada a crise, a queda no consumo e a entrada em operação de novas centrais mudaram positivamente o cenário. O governo que assumiu em 2003 encontrou o sistema elétrico com cerca de 6 GW de capacidade de geração superior à demanda. (OLIVEIRA, 2012).

o governo a adquirir energia em leilões competitivos, postergando em pelo menos cinco anos a entrada de novos projetos.

O setor ficou então sem uma regulação que considerasse os aspectos específicos dessa tecnologia. A situação só foi contornada com a realização do leilão específico para eólica, em 2009, que representou um avanço nos investimentos dessa tecnologia no país.

1.2.3.1 - Proinfa

O Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (Proinfa) foi criado em 26 de abril de 2002. É coordenado pelo MME e gerenciado pela Eletrobras. A Lei 10.438 foi inspirada em legislação semelhante na Alemanha e Dinamarca com o objetivo de diversificar a matriz energética brasileira, contemplando, portanto, a participação da energia elétrica produzida através de fontes eólicas, biomassa e Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs)¹³.

O programa é dividido em duas fases: curto e longo prazo. A primeira etapa prevê a instalação de 3.300 MW igualmente previstos para eólica, biomassa e PCHs, ou seja, 1.100 MW para cada das fontes citadas. Os empreendimentos teriam que ser instalados até o último dia de 2006, mas tiveram o prazo prorrogado para 31 de dezembro de 2008 pela Lei 11.075 de 2004.

Nesse caso, toda a energia seria comprada pela Eletrobras durante 20 anos, mas 60% dos equipamentos e serviços utilizados pelo empreendedor deveriam ter origem nacional. Além disso, eles seriam limitados contratualmente por estado na taxa de 20% para geração eólica e biomassa e 15% de geração via PCH.

Na segunda fase do programa, a meta é atender 10% do consumo anual de energia elétrica no país em até 20 anos, com os prazos e resultados da primeira fase inclusos e contratos celebrados pela Eletrobras.

Para incentivar novos projetos, o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) chegou a criar um programa de apoio às concessionárias de serviços públicos de distribuição, geração e produtores independentes de energia elétrica.

¹³ As PCHs são usinas de pequeno porte com capacidade instalada maior do que 1 MW e no máximo 30 MW. Seu reservatório não pode ultrapassar os 3 km². Destinam-se à produção independente ou autoprodução de energia elétrica. São regulamentadas pela resolução 394 de 4 de dezembro de 1998. (ANEEL, 2013)

Um dos requisitos é que o empreendedor tenha capital próprio igual ou maior do que 30% do investimento no empreendimento. A instituição financeira o restante, com prazo de amortização de até 10 anos e carência de até 6 meses após a entrada em operação do projeto.

Em 2008, o BNDES aumentou para 80% a participação no financiamento, ampliando para 20 anos o período de amortização e juros de 10 a 14%, dependendo da região e do tamanho da empresa. Ao final de 2008, dos 54 parques eólicos previstos, 41 entraram em operação, 11 estavam em construção, e dois continuavam projeto.

Sem conseguir cumprir os prazos estabelecidos, os empreendedores eólicos se queixavam de algumas dificuldades na primeira fase do programa, como limites financeiros, a exigência de que 60% dos equipamentos e serviços envolvidos nos projetos fossem nacionais e até a falta de know how de agentes financeiros ao lidar com o setor.

Assim, na segunda fase do Proinfa, foi abolida a taxa de 15% pela importação das turbinas eólicas, já que os dois únicos fabricantes instalados no Brasil – Wobben e Impsa – não tinham capacidade de suprir a demanda.

Como na primeira fase os prazos do Proinfa não foram rigorosamente cumpridos, o governo brasileiro precisou contratar demanda de energia e recorreu ao sistema de leilões, dando início a mais um marco na história do desenvolvimento da energia eólica no país.

1.2.3.2 - Leilões

O primeiro leilão exclusivo para fontes alternativas aconteceu em 2007 e foi destinado para fontes eólicas, PCHs e biomassa, com o objetivo de atender o mercado das distribuidoras para 2010. Fontes eólicas e biomassa partiram de um preço inicial de 140 R\$/MWh ao lado do teto inicial de 135 R\$/MWh para as PCHs. Dos 2.803 MW habilitados tecnicamente pela EPE, 939 MW vieram de fontes eólicas. O resultado, conferimos na tabela a seguir.

TABELA 2: Dados do primeiro leilão de fontes alternativas realizado em junho de 2007

FONTE	QUANTIDADE DE EMPREENDIMENTOS	POTÊNCIA HABILITADA (MW)
Eólica	9	939
PCH	54	844
BIOMASSA	24	1019
TOTAL BRASIL	87	2802

Fonte: EPE

A partir da tabela acima, nota-se que a fonte eólica não se mostrou muito competitiva. O Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social explicou em seu documento de avaliação no ano seguinte (BNDES, 2008) que o objetivo principal do leilão foi negociar energia para PCH com outorga da Aneel.

Isto porque a agência estava preocupada com o baixo interesse dos agentes de geração em iniciar a construção desses tipos de usinas, alegando não haver compradores para a energia que seria gerada. O documento esclarece que havia também interesse em incluir a energia eólica, uma vez que seria a primeira oportunidade para este tipo de geração após o Proinfa. (PEREIRA, 2012).

O primeiro leilão exclusivamente para fonte eólica aconteceu em dezembro de 2009, com contratos de 20 anos e previsão de entrega da energia em meados de 2012. E surpreendeu sobretudo pelo deságio de 21,49% conseguido em relação ao preço-teto de R\$ 189,00/MWh estabelecido pelo governo.

Foram contratados 71 empreendimentos, totalizando 1805,7 MW, distribuídos entre cinco estados: Bahia, Ceará, Rio Grande do Norte, Rio Grande do Sul e Sergipe, a um preço médio de venda de R\$ 148,39/MWh. (EPE, 2009). Estimou-se na época que o montante financeiro transacionado alcançaria R\$ 19,59 bilhões ao final do período de vigência dos contratos de 20 anos. (PEREIRA, 2012).

O sucesso levou a nova rodada em 2010. Cerca de 13 mil MW foram registrados para concorrer, sinalizando o grande volume de projetos represados. Com os projetos contratados neste leilão, dois novos fabricantes iniciaram suas instalações no Brasil, a espanhola Gamesa e a francesa Alstom. Até então, o Brasil contava apenas com a alemã Wobben e a argentina Impsa.

A energia eólica se destacou em mais dois leilões ocorridos em 2010. Foram contratados 70 empreendimentos eólicos em quatro estados (Bahia, Ceará, Rio Grande do Norte e Rio Grande do Sul), somando uma potência instalada de 2.047,8

MW. O preço médio dos 70 empreendimentos ficou em R\$ 130,86 o KW. Foi um patamar surpreendentemente baixo.

Mas o preço caíria ainda mais no leilão de 2011, quando a energia eólica concorreu com todas as demais fontes, inclusive gás natural, biomassa e PCHs. Ainda assim, mostrou-se a mais competitiva. PEREIRA (2012) ressalta que este leilão estabeleceu um novo paradigma de preço de energia. E o destaque, segundo o diretor do Centro Brasileiro de Energia e Mudança do Clima (CBEM), foi o preço da energia eólica a R\$ 99,58/MWh (US\$ 0,63/kW/h), menor que o preço da energia do gás natural a R\$ 103,26/MWh.

Esse resultado colocaria a energia eólica entre as alternativas de menor custo para a produção de energia elétrica no Brasil, provavelmente só maior do que os maiores projetos hidrelétricos. (PEREIRA, I, p. 145)

O autor reconhece a eficiência do expediente dos leilões para fazer baratear o preço da energia eólica oferecida, principalmente no Brasil, e destaca o papel fundamental dos incentivos chamados *feed-in-tariffs*¹⁴ concedidos nos países desenvolvidos à indústria, que viabilizam os ganhos de produtividade, estimulando o aperfeiçoamento tecnológico.

Na visão do especialista, a crise internacional deflagrada em 2008 fez com que esses ganhos que beneficiavam basicamente a indústria manufatureira fossem compartilhados e transferidos para a indústria da energia elétrica, “a fim de evitar a ociosidade de uma indústria extremamente competitiva”.

1.2.4 - Potencial eólico brasileiro

Uma das grandes vantagens da geração de eletricidade por meio dos ventos no Brasil é que ela pode servir como fonte complementar à modalidade hidrelétrica, preferida historicamente para gerar energia. Lopez (2012) observa que essa potencial complementaridade se evidencia principalmente no Nordeste onde,

¹⁴ Também chamado de regime de tarifas incentivadas. Trata-se de política econômica para promover investimentos na produção de fontes de energia renovável. Utiliza-se de contratos de longa duração, que garantem preço de custo aos produtores. Assim, estes são protegidos dos riscos inerentes ao processo produtivo, o que permite maior geração e diversidade deste tipo de energia. A primeira experiência de *feed-in-tariffs* foi implementada durante o governo de Jimmy Carter (EUA), nos anos 1970. A Agência Nacional de Energia foi encarregada de incentivar a geração de recursos renováveis como a energia solar e a eólica. Desde então, este regime tem se espalhado pelo mundo e incide notadamente na Alemanha, Espanha e outros países da Europa. (www.investopedia.com, 2013)

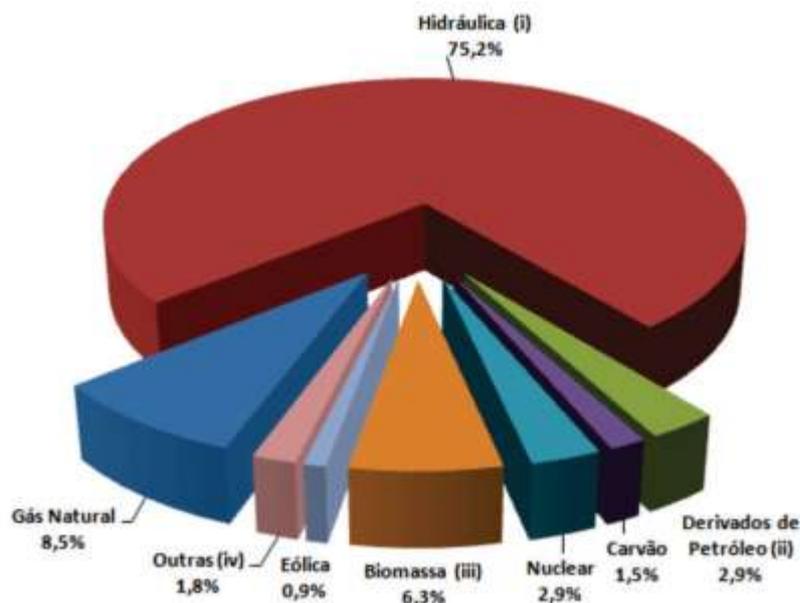
durante o período de seca do segundo semestre, os ventos são mais favoráveis à produção de energia eólica, ao contrário dos primeiros seis meses do ano, quando as chuvas mais frequentes podem manter os reservatórios das hidrelétricas em níveis adequados ao seu funcionamento.

Além de economizar as reservas hídricas, o autor destaca a vantagem de a eólica poder sanar o problema da distância dos centros consumidores da costa leste dos transmissores de energia, já que o potencial hídrico do país se desloca para o norte.

A geração de eletricidade a partir da fonte eólica, embora ainda represente modesta participação na matriz (1%), manteve o forte ritmo de expansão que vem registrando nos últimos anos, atingindo 5,1 TWh em 2012, quase o dobro do montante gerado no ano anterior.

Em 2012, a geração de eletricidade a partir da fonte eólica atingiu 5,1 TWh, quase o dobro do montante gerado no ano anterior. A participação da modalidade na matriz é de modesto 0,9% (EPE, 2013), mas vem mantendo um forte ritmo de expansão nos últimos anos (EPE, 2013) conforme mostram, respectivamente, a figura 6 e a tabela 3, exibidas a seguir.

Figura 06: Geração elétrica por modalidade energética no Brasil – participação (%)



Nota:

I) Inclui autoprodução

II) Derivados de petróleo: óleo diesel e óleo combustível

III) Biomassa: lenha, bagaço de cana e lixívia

IV) Outras: recuperações, gás de coqueira e outros secundários

Fonte: Balanço Energético Nacional (BEN) 2013; Elaboração: EPE

TABELA 3: Geração elétrica por modalidade energética no Brasil (GWh)

	2008	2009	2010	2011	2012	Δ% (2012/11)	Part. % (2012)
Total	463.120	462.976	515.799	531.758	552.498	3,9	100,0
Gás Natural	28.778	13.182	36.476	25.095	46.760	86,3	8,5
Hidráulica (I)	369.556	389.858	403.290	428.333	415.342	-3,0	75,2
Derivados do Petróleo (II)	15.628	12.549	16.065	12.239	16.214	32,5	2,9
Carvão	6.730	5.416	8.263	6.485	8.422	29,9	1,5
Nuclear	13.969	12.957	14.523	15.659	16.038	2,4	2,9
Biomassa (III)	19.199	20.572	31.523	31.633	34.662	9,6	6,3
Eólica	1.183	1.238	2.177	2.705	5.050	86,7	0,9
Outras (IV)	8.076	7.205	3.481	9.609	10.010	4,2	1,8

Nota:

I) Inclui autoprodução

II) Derivados de petróleo: óleo diesel e óleo combustível

III) Biomassa: lenha, bagaço de cana e lixívia

IV) Outras: recuperações, gás de coqueira e outros secundários

Fonte: Balanço Energético Nacional (BEN) 2013; Elaboração: EPE

1.2.4.1 - Atlas do Potencial Eólico Brasileiro

O mapeamento do potencial eólico brasileiro, conforme mencionado no item 1.2 deste capítulo, iniciou-se nos anos 1970, mas foi em 2001, a partir dos estudos do Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (Cepel, ligado ao MME e à Eletrobras) que foi publicado o Atlas do Potencial Eólico Brasileiro. O Cepel utilizou o MesoMap¹⁵, um sistema abrangente de software que simula a dinâmica dos ventos, com variáveis meteorológicas correlatadas a partir da amostragem de um banco de dados validado para o período 1982/1999.

O atlas brasileiro indica um potencial estimado de 143,47 GW, permitindo uma geração anual de 272,220 TWh/ano de ventos de velocidade média anual a

¹⁵ Trata-se de um conjunto integrado de modelos de simulação atmosférica, bases de dados meteorológicos e geográficos, redes de computadores e sistemas de armazenamento. Desenvolveu-se com o apoio técnico do New York State Energy Research and Development Authority (Nysrda) e do Departamento de Energia Americano. O sistema inclui condicionantes geográficas, como o relevo, a rugosidade induzida por classes de vegetação e uso do solo, as interações térmicas entre a superfície terrestre e a atmosfera, inclusive efeitos do vapor de água presente. Os resultados das simulações são apresentados em mapas temáticos que representam os regimes médios de vento (velocidade, direções predominantes e parâmetros estatísticos de Weibull. Este parâmetro, por sua vez é o da escala de distribuição contínua, no qual a função é representada por uma reta. A distribuição é usada em estudos de tempo de vida de equipamentos e estimativa de falhas) e fluxos de potência eólica na altura de 50 metros, na resolução horizontal de 1 km x 1 km, para todo o país. (Wikipédia e Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito - Cresesb)

partir de 7 m/s (metros por segundo), considerando uma área equivalente a 0,8% do território nacional, aproximadamente 71.735 km².

O mapeamento mostra o potencial do vento nas cinco regiões do país e as áreas mais propícias para a geração de eletricidade a partir do vento. Os mais promissores locais para a geração de energia eólica no Brasil, de acordo com o atlas, são o litoral do Rio Grande do Norte e Ceará e litoral do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, assim como algumas áreas de Minas Gerais e na Região Centro-Oeste, na fronteira com o Paraguai. Vejamos, em detalhe, a seguir.

1.2.4.1.1 - Região Norte

Na bacia amazônica, as velocidades médias anuais do vento são baixas e não superiores a 3,5 m/s. Isso ocorre devido ao percurso do vento sobre as florestas densas. Há velocidades maiores na fronteira de Roraima com a Venezuela por conta da maior altitude da região (1.000 a 2.000 metros), onde escoamentos alcançam de 8 a 10 m/s de média anual, numa superfície de baixa rugosidade. Na costa litorânea, a combinação dos ventos alísios de leste e brisas terrestres e marinhas produz velocidade média anual de 5 a 7,5 m/s. O vento decresce rapidamente à proporção que se desloca para o interior, principalmente por causa do aumento do atrito, da rugosidade da superfície e da diminuição da contribuição das brisas marinhas.

1.2.4.1.2 - Região Nordeste

A combinação dos ventos alísios do leste com as brisas terrestres e marinhas beneficia os estados do Maranhão, Piauí, Ceará e Rio Grande do Norte, que registram médias anuais na faixa de 6 m/s a 9 m/s. O litoral que se estende da Paraíba à Bahia apresenta velocidades de 3,5 m/s a 6 m/s. As áreas de serras e chapadas a partir da costa do Rio Grande do Norte têm média de ventos anuais de 6,5 a 8 m/s nas áreas mais elevadas da Chapada da Diamantina. Na parte nordeste do planalto central, na margem esquerda da bacia do Rio São Francisco, os ventos estão na faixa de 4 a 6 m/s.

1.2.4.1.3 - Região Centro-Oeste

Apresenta ventos na faixa de 3 a 4 m/s (parte norte) e 5 a 6 m/s (parte sul). Próximo à fronteira com o Paraguai, as médias anuais sobem para até 7 m/s por conta da compressão sofrida pelos ventos por causa do escoamento a áreas elevadas.

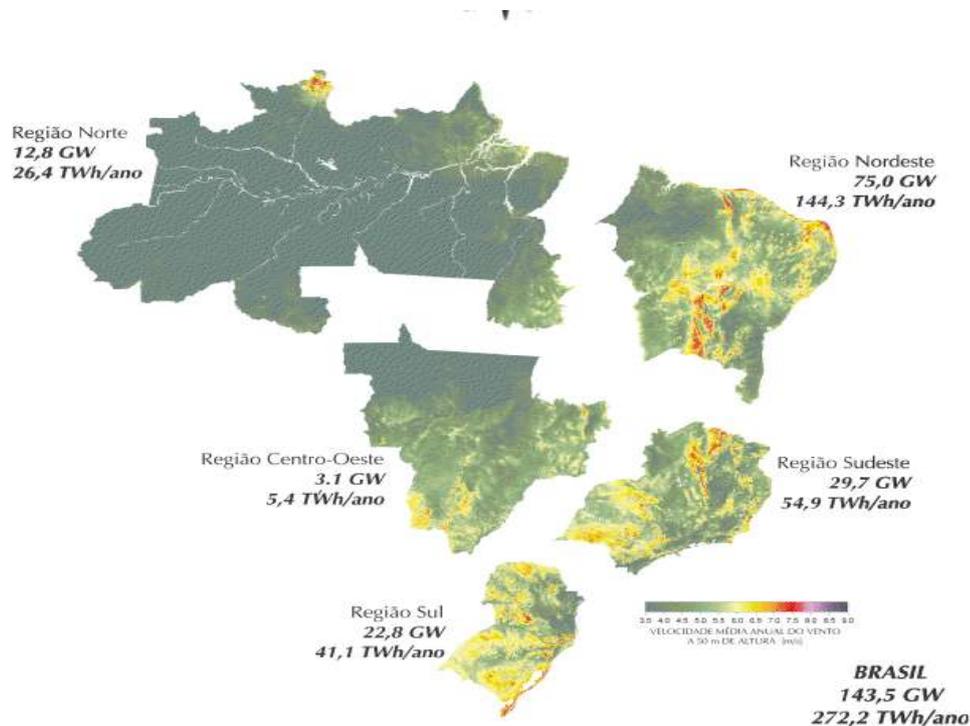
1.2.4.1.4 - Região Sudeste

Os ventos no litoral estão na faixa de 3,5 a 6 m/s, excetuando-se apenas o sul do Espírito Santo e o nordeste do Rio de Janeiro, com média anual de 7,5 m/s. No interior da região, as áreas que se estendem ao longo da costa, até 1.000 km desta, têm média de ventos anuais na faixa de 6,5 a 8 m/s nas áreas mais elevadas da serra do Espinhaço. Isso ocorre por conta do efeito de compressão vertical do escoamento quando ultrapassa a barreira das serras. Ao sul desta região, as velocidades estão na faixa de 5,5 a 6,5 m/s sobre grandes áreas, sendo fortemente influenciado pela topografia.

1.2.4.1.5 - Região Sul

Grandes áreas registram velocidades de 5,5 a 6,5 m/s, sob influência das características de relevo e de terreno. Nos planaltos de baixa rugosidade e nas áreas mais elevadas ocorrem ventos mais intensos que alcançam de 7 a 8 m/s. No litoral sul, há os ventos leste-nordeste, acentuados pelas brisas marinhas, que impõem uma média de velocidade na faixa de 7 m/s.

Figura 07: Mapa do potencial eólico brasileiro segregado por regiões



Fonte: MME, Eletrobras e Cepel (2013)

Especialistas já consideram o atlas de 2001 defasado, sobretudo porque na sua elaboração foram levados em conta os ventos da altura de 50 metros acima do nível do mar (baseados nos aerogeradores disponíveis comercialmente na época), descontando relevo e depressões.

Lopez (2012) argumenta que existem atualmente equipamentos com capacidade para considerar ventos entre 90 e 100 metros de altura em relação ao solo (atualmente tem-se 100 metros como padrão de altura do rotor). Os novos dados, segundo o autor, elevariam o potencial brasileiro a pelo menos 250 GW. Pereira (2012) fala em potencial nacional próximo de 500 GW, quando da atualização do atlas.

Pinto (2013) lembra que o Diário Oficial da União de 3 de fevereiro de 2010 cita uma verba de R\$ 647.920,20 destinada a apoiar as atividades necessárias para a implementação do novo Atlas do Potencial Eólico Brasileiro, em um contrato entre o Cepel e a Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio).

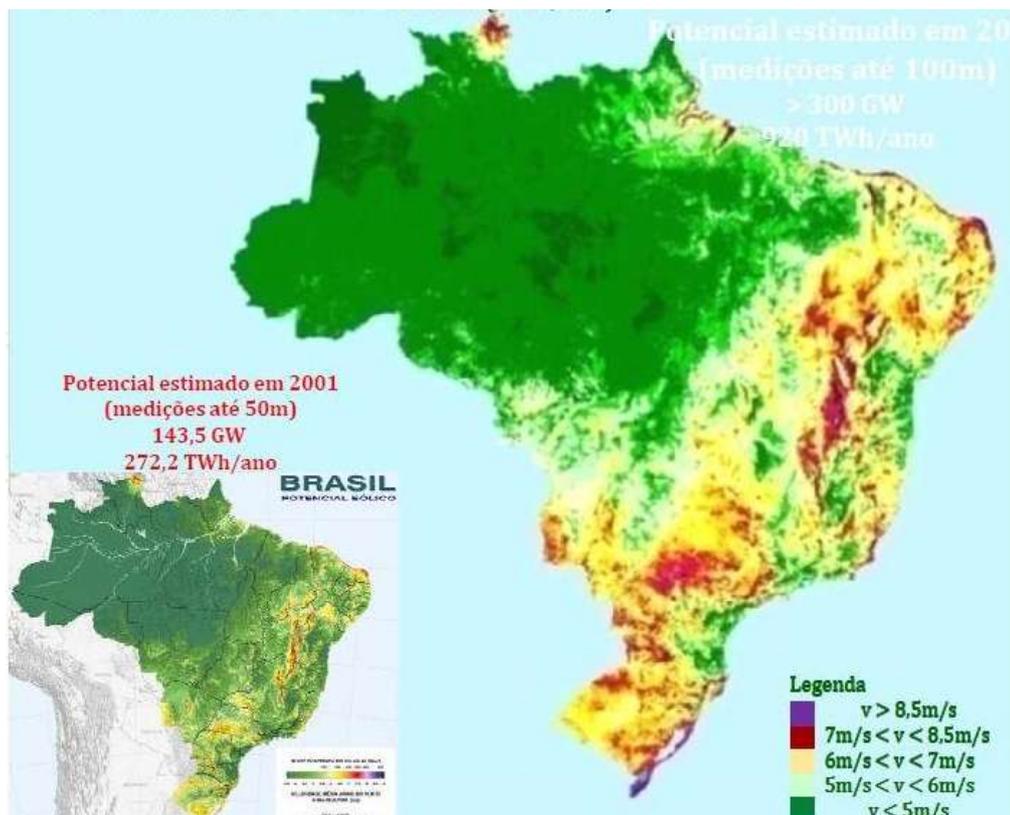
O evento WindPower 2011, sediado no Brasil, demonstrou que estudos já esboçaram uma atualização. A EPE apresentou na ocasião um mapeamento,

indicando que o potencial nacional seria superior a 300 GW. Este estudo já considerava os ventos à altura de 100 metros acima do nível do mar.

O resultado é a figura 08, que mostra um crescimento da velocidade média das regiões que já se mostravam promissoras quais sejam o litoral do Ceará e Rio Grande do Norte, região central da Bahia, norte de Minas Gerais e litoral do Rio Grande do Sul. E mostra ainda novas fronteiras eólicas como o estado do Piauí, o oeste dos estados de São Paulo, Paraná e Santa Catarina, e até algum potencial no Mato Grosso do Sul, além do nordeste de Roraima, que já aparecia no mapa anterior.

Vários estados brasileiros¹⁶ patrocinaram a elaboração de seus próprios atlas, utilizando o modelo do Atlas nacional. Alguns, porém, ainda carecem atualizar os dados coletados sobre os ventos a 50 metros de altura.

Figura 08: Potencial eólico brasileiro a 100 metros



Fontes: Atlas do Potencial Eólico Brasileiro (CEPEL, 2001)
Atlas do Potencial Eólico Brasileiro – Preliminar (CEPEL, 2010)

¹⁶ O site do Cepel (<http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/index.php?task=livro&cid=1>) agrega os inventários dos potenciais eólicos de nove estados: Alagoas, Bahia, Ceará, Espírito Santo, Minas Gerais, Paraná, Rio de Janeiro, Rio Grande do Norte e Rio Grande do Sul.

1.2.4.2 - Outros incentivos

Afora os aspectos técnicos abordados nos itens acima, podemos dizer que o potencial eólico brasileiro depende também dos aspectos políticos. Neste sentido, importam primordialmente os incentivos. Estes viabilizam investimentos e facilitam a difusão desta modalidade de energia renovável. Historicamente, o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (Proinfa) – tratado no item 1.2.3.1 deste capítulo - é o mais importante no desenvolvimento das energias renováveis.

O Proinfa é um marco como incentivo regulatório dentro do setor elétrico, mas existem os incentivos fiscais ou financeiros, com condições de financiamento facilitadas pelo Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) e Banco do Nordeste do Brasil (BNB).

Pereira (2011) lembra que os estados também têm criado incentivos fiscais, com facilidades de desoneração do Imposto sobre Circulação de Mercadorias (ICMS) estadual na aquisição de bens destinados ao ativo fixo ou deferimento na aquisição interna de insumos, e dilatação de prazo de pagamento de parcelas do saldo devedor mensal do ICMS.

Neste contexto, cabe a classificação pormenorizada a seguir entre incentivos regulatórios, fiscais e facilidades de financiamento.

1.2.4.2.1 - Incentivos regulatórios

Seguem em detalhes alguns incentivos criados para dinamizar o funcionamento do setor de fontes renováveis, incluindo a energia eólica, sem ferir a regulamentação específica deste segmento econômico.

1.2.4.2.1.1 - Redução das Tarifas de Uso de Sistemas de Transmissão (Tust) e Distribuição (Tusd)

Foi estabelecido pela Lei nº 10.762/2003 e regulamentada pelas Resoluções nº 077/2004 e nº 271/2007 da Aneel. O percentual de redução a ser aplicado é fixado pela Aneel, não pode ser inferior a 50%, mas pode alcançar até 100% das tarifas de uso dos sistemas elétricos de transmissão e de distribuição. O percentual

incide tanto na produção como no consumo da energia comercializado pelos aproveitamentos. Para ter direito ao benefício, os projetos devem utilizar fontes eólica, solar, biomassa e cogeração qualificada, cuja potência injetada no sistema seja menor ou igual a 30 mil kW.

Se os empreendimentos funcionarem interligados, têm os benefícios da operação interligada, incluindo o mecanismo de realocação de energia entre usinas, e podem comercializar energia com consumidor ou conjunto de consumidores com carga igual ou maior do que 500 kW.

Se forem empreendimentos isolados, podem comercializar energia com consumidor ou conjunto de consumidores com carga igual ou maior do que 50 kW. Os custos de equipamentos e instalações necessários à conexão bem como os custos adicionais de mediação são de inteira responsabilidade do agente gerador.

1.2.4.2.1.2 - Instalações de Transmissão Compartilhada de Geradores (ICG)

Regulamentado pelo Decreto nº 6460/2008, visa possibilitar o acesso de mais de uma unidade de geração distribuída em um mesmo ponto de conexão da rede básica, e representa um passo fundamental para eliminar ou minimizar conflitos de interesse entre agentes setoriais.

A legislação define as instalações de geração compartilhada como de interesse exclusivo de centrais de geração com base em fonte eólica, biomassa ou pequenas centrais hidrelétricas, não integrantes das respectivas concessões, que são conectadas à rede básica.

A lei determina também que são de propriedade da concessionária de transmissão. Esta responde pela instalação e manutenção, mediante o pagamento dos devidos encargos.

As ICGs são regulamentadas pela Resolução Normativa Aneel nº 320/2008, que as classifica como:

Instalações de transmissão, não integrantes da Rede Básica, destinadas ao acesso de centrais de geração em caráter compartilhado à Rede Básica definidas por chamada pública a ser realizada pela Aneel e licitadas em conjunto com as instalações de Rede Básica para duas ou mais centrais de geração. (Art. 2º, & 1º)

A regulamentação das ICGs exige que elas devem ser definidas com base em chamada pública realizada pela Aneel, diante do aporte de garantias financeiras dos interessados que desejarem o acesso. A agência é responsável pelos prazos e condições para a transferência das ICGs às concessionárias ou permissionárias locais de distribuição.

Segundo Pereira (2012), esse expediente diminui as incertezas quanto ao número de usinas que serão incorporadas ao sistema, favorecendo análises mais realistas do planejamento de transmissão.

Um ponto negativo desse incentivo é ressaltado pelo autor. Trata-se dos custos de acesso, que são - tanto no caso da conexão à rede de transmissão (Rede Básica) como à rede de distribuição - do acessante. Isto, segundo Pereira, pode inviabilizar a implantação de vários projetos. Mas a ICG permite o rateio entre geradores, o que reduz o custo de acesso para o empreendedor. Para que seja configurada uma ICG, lembra Pereira, é preciso o interesse de pelo menos dois projetos para conexão em uma determinada subestação.

1.2.4.2.2 - Incentivos fiscais

Importam agora os expedientes adotados para estimular o setor eólico através das tarifas, ou seja, de benefícios tributários. Vejamos.

1.2.4.2.2.1 - Regime Especial de Incentivos para o Desenvolvimento da Infraestrutura (Reidi)

O Reidi foi criado para beneficiar pessoas jurídicas que tenham projetos aprovados para implantação de obras de infraestrutura, incluindo os de energia. Trata-se da Lei nº 11.488/2007 que estabeleceu descontos nas tarifas de transmissão e distribuição para projetos eólicos.

Destacam-se como principais incentivos dessa lei a suspensão do pagamento do Programa de Integração Social e Formação do Servidor Público (PIS) e Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social (Cofins) sobre:

- a) venda ou importação de máquinas, aparelhos, instrumentos e equipamentos novos, bem como de materiais de construção utilizados ou incorporados às obras de infraestrutura;
- b) a venda e importação de serviços igualmente utilizados em projetos de infraestrutura de longo prazo.

Outros benefícios tributários que não se aplicam apenas aos projetos habilitados ao Reidi são:

- a) a recuperação acelerada dos créditos de PIS/Pasep e Cofins em edificações, reduzindo de cinco anos para 24 meses o prazo para a apropriação dos créditos dessas contribuições, desde que sejam incorporadas ao ativo imobilizado, conferindo às obras civis o mesmo tratamento que já beneficiava máquinas e equipamentos;
- b) a ampliação do prazo de recolhimento das contribuições para o INSS, para o PIS/Pasep e da Cofins e do imposto de renda retido na fonte, incidente sobre juros de comissões relativos a créditos obtidos no exterior para financiamento de exportações.

Para o setor de energia elétrica, os procedimentos e requisitos para o enquadramento ao Reidi de projetos de geração e transmissão estão previstos na Portaria MME nº 319/2008. A condução do processo fica a cargo da Aneel.

Mesmo aqueles projetos que ainda não tiverem contrato com o poder público podem ser habilitados, assim como os que participaram dos Leilões ou Chamadas Públicas, inclusive aqueles com contratos firmados com agentes de distribuição ou que façam parte do Proinfa.

1.2.4.2.2.2 - Imposto sobre Produtos Industrializados (IPI)

Desde 2009, os aerogeradores são tributados à alíquota zero de IPI, (Decreto 6.890/2009 – Anexo II) ao passo que o Imposto de Importação incide a uma alíquota de 14% sobre estes equipamentos (Resolução 37, de 18 de junho de 2009 – Camex). O propósito do governo federal é incentivar a produção nacional desses bens de capital.

A justificativa para a medida, adotada por prazo indeterminado, é de que a indústria nacional de aerogeradores não teria condições de competitividade frente à concorrência externa. Por outro lado, espera-se que ela não se converta numa reserva de mercado, degenerando para a ineficiência, mas sim numa ação que atraia novos fabricantes para o setor.

1.2.4.2.3 - Imposto Sobre a Circulação de Mercadorias e Serviços de Transportes e Telecomunicações (ICMS)

Por força do Convênio Confaz¹⁷ 101/97, desde dezembro de 1997, o equipamento e suas peças e componentes destinados à produção de energia eólica estão isentos do ICMS, tributo de maior peso na carga tributária nacional, de competência dos estados e que incidem a uma alíquota média de 17 a 18%.

Em 2011, os estados decidiram prorrogar a isenção para até 31 de dezembro de 2015 (Convênio ICMS 75/2011). São alcançados pelo benefício itens como aerogeradores, torres de suporte, pás e a própria turbina.

Um fato curioso ocorreu no Estado de São Paulo, dada a ação do Fisco que, interpretando restritivamente a norma, acatava a isenção apenas para os componentes e não para a turbina em si, alegando que esta já não seria um componente, conseqüentemente lavrando vários autos. Entretanto, o TIT (Tribunal de Impostos e Taxas – instância recursal administrativa) pacificou a questão em favor do contribuinte.

Alguns estados concedem incentivos locais visando a atração de empreendimentos voltados à indústria da energia eólica. Naturalmente, são incentivos voltados aos elos da cadeia não alcançados pelo benefício maior que é a isenção dada aos componentes de geração.

Atualmente, a legislação de São Paulo, além do benefício do Convênio ICMS 101/97, suspende o Imposto no despacho aduaneiro nas operações de importação de matéria-prima e material intermediário destinados à Produção de Energia Eólica (Decreto 57.142/2001). Também é concedido tratamento similar nas aquisições internas dessas matérias primas e materiais, com o imposto sendo diferido para a

¹⁷ O Conselho Nacional de Política Fazendária é o órgão técnico presidido pelo Ministério da Fazenda onde os estados adotam decisões relativas ao ICMS.

próxima etapa do processo produtivo. Como as saídas dos produtos industrializados é isenta, toda a cadeia produtiva acaba incentivada. (Artigo 400-H do RICMS/SP)

1.2.4.2.4 - Financiamento incentivado

Os projetos de geração de energia eólica no Brasil contam, desde 2004, no âmbito do Proinfa, com financiamentos do BNDES em condições bastante facilitadas. O banco de fomento participa com até 80% do orçamento do projeto a taxa de juros de 3,5% ao ano mais a variação da Taxa de Juros de Longo Prazo (TJLP), com prazo de pagamento na ordem de 10 anos. Em valores de hoje, o custo total do financiamento estaria em torno de 8,5% a.a. Entretanto, considerando-se uma meta de inflação de 5,5%, o juro real cai para 3,5%.

Para as linhas de financiamento captadas diretamente no BNDES, o valor mínimo da operação é de R\$ 10 milhões. Para acessar a linha Finame, que disponibiliza valores menores, os empreendedores podem recorrer às instituições financeiras credenciadas pelo banco de fomento.

Há condições mais especiais ainda para alguns projetos de energia eólica, com taxa de remuneração de apenas 0,9% ao ano, a menor taxa disponível hoje no Brasil e que representa, na verdade, juro altamente subsidiado.

Pereira (2012) considera que essas condições especiais de financiamento explicam, em grande parte, o sucesso do setor. “Pode-se afirmar que o BNDES tem contribuído para tornar a energia eólica mais viável no Brasil”.

Citando D’Oliveira¹⁸, o autor destaca que num intervalo de sete anos, terminado em 2010, o BNDES havia acumulado uma carteira de financiamento direcionado à energia eólica na ordem de R\$ 4,1 bilhões para a geração de 1,16 GW; já em 2011, os financiamentos haviam saltado para R\$ 9,3 bilhões visando uma capacidade instalada de 3,21 GW.

Além do BNDES, outra instituição de fomento que financia projetos de energia eólica é o Banco do Nordeste do Brasil (BNB), que opera as linhas do Fundo de Desenvolvimento do Nordeste (FNDE) e do Fundo Constitucional de Financiamento do Nordeste (FNE). No exercício de 2011, a instituição disponibilizou R\$ 471 milhões para essa fonte de energia. O custo financeiro está em torno de 8,5% a.a.

¹⁸ D’OLIVEIRA, L. A. S. **O BNDES e a energia eólica**. Comunicação apresentada na Brasil Windpower 2011. Conference and Exhibition. Rio de Janeiro, 29 a 31 de agosto de 2011.

1.3- Fundamentos técnicos da energia eólica

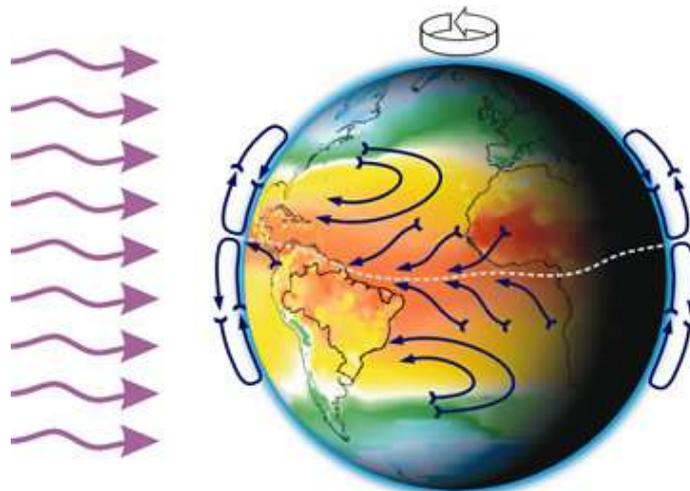
O breve histórico e a contextualização do desenvolvimento da energia eólica no mundo e no Brasil expostos acima, deixam claro que a tecnologia de aproveitamento do vento para a produção de energia em muito evoluiu e alcançou um grau ímpar de importância para o crescimento econômico e preservação de recursos naturais de várias nações.

Contudo, para que produza seus efeitos, essa fonte depende da perfeita combinação de recursos naturais com elementos técnicos fundamentais a serem observados para alcançar a plena eficiência. O recurso principal, não há como negar, é o vento. E a engrenagem capaz de transformar o vento em energia requer uma integração de equipamentos em funções alinhadas com recursos outros como o relevo, a altura, a rugosidade e os obstáculos.

Dutra (2001) esclarece os mecanismos de geração dos ventos conceituando a energia eólica como aquela proveniente do Sol, já que os ventos são causados pelo aquecimento diferenciado da atmosfera. O autor atribui a não uniformidade do aquecimento da atmosfera à orientação dos raios solares e aos movimentos da Terra. E detalha assim o mecanismo representado na figura 09:

As regiões tropicais, que recebem os raios solares quase que perpendicularmente, são mais aquecidas do que as regiões polares. Conseqüentemente, o ar quente que se encontra nas baixas altitudes das regiões tropicais tende a subir, sendo substituído por uma massa de ar mais frio que se desloca das regiões polares. O deslocamento de massas de ar determina a formação dos ventos. (DUTRA, II, p. 18)

Figura 09: Formação dos ventos devido ao deslocamento das massas de ar



Fonte: Cepel, 2001

Incidem sobre o globo terrestre os ventos que jamais param de “soprar”, pois derivam de dois fenômenos constantes na natureza, que são o aquecimento no equador e o resfriamento nos polos. Estes são chamados de ventos planetários e são assim classificados:

- a) Alísios: ventos que sopram dos trópicos para o equador, em baixas altitudes;
- b) Contra-alísios: ventos que sopram do equador para os polos, em altas altitudes;
- c) Ventos do oeste: ventos que sopram dos trópicos para os polos;
- d) Polares: ventos frios que sopram dos polos para as zonas temperadas.

1.3.1 - Fatores que influenciam o regime dos ventos

Para entender o funcionamento da energia eólica, importa conhecer também os fatores que influenciam o regime dos ventos. O principal deles é a variação da velocidade do vento ao longo do tempo.

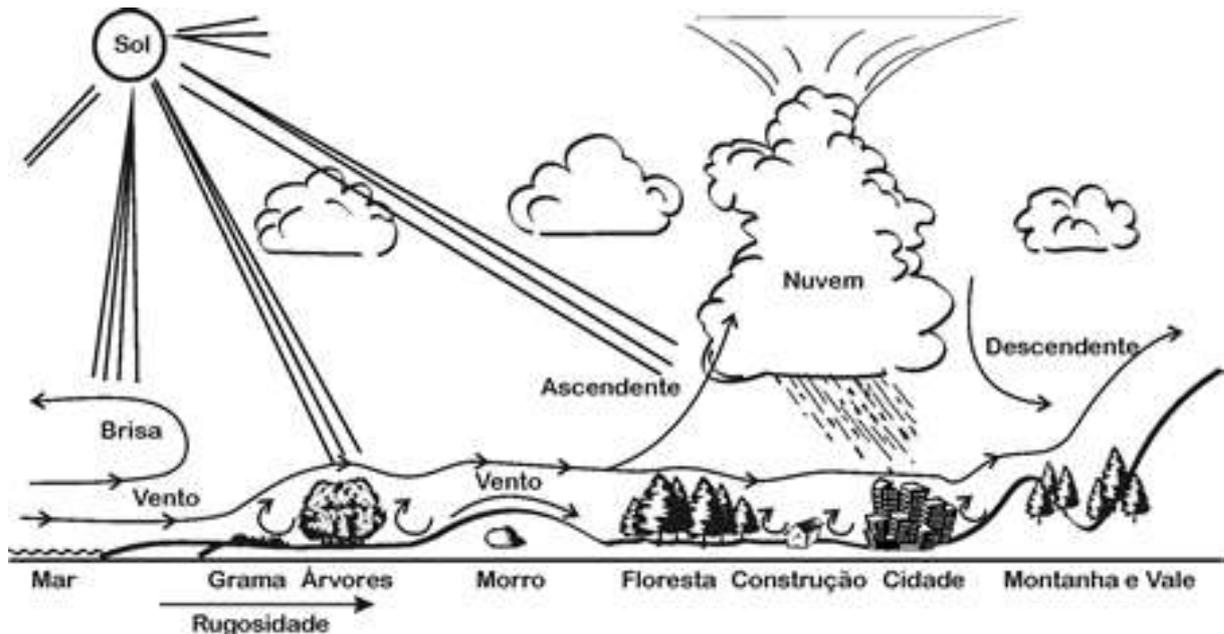
Outro fator determinante são as características topográficas da região. Isto porque, explica Dutra, “em uma determinada área podem ocorrer diferenças de velocidade, ocasionando a redução ou aceleração na velocidade do vento”. A altura também exerce influência significativa, já que é capaz de alterar a velocidade do vento.

Os procedimentos mais adequados para avaliação de um local no qual se deseja instalar turbinas eólicas são a observação dos parâmetros regionais que influenciam nas condições do vento. Dutra lembra que a velocidade do vento pode variar significativamente em curtas distâncias, “algumas centenas de metros” e destaca os principais pontos a serem levados em consideração.

- a) Variação da velocidade com a altura;
- b) A rugosidade do terreno, que é caracterizada pela vegetação, utilização da terra e construções;
- c) Relevo que pode causar efeito de aceleração ou desaceleração no escoamento do ar. (DUTRA, II, p. 21)

Para uma análise mais acurada, o autor recomenda uma visita ao local para avaliar e modelar a rugosidade e os obstáculos, estudo de mapas topográficos e uso de imagens aéreas e dados de satélite.

Figura 10: Comportamento dos ventos quando sob influência das características do solo



Fonte: Atlas Eólico do Brasil, 1998

Lopez (2012) ressalta que apesar de a formação do vento ocorrer de forma desigual por conta do aquecimento não uniforme da superfície terrestre, suas velocidades e direções apresentam tendências sazonais e diurnas bem definidas. E complementa:

O vento pode variar no intervalo de horas ou dias, porém, em termos estatísticos, tenderá a um regime diurno predominante, regido por influências locais (microescala) e regionais (mesoescala). No intervalo de meses ou anos, os regimes de vento passam a apresentar notável regularidade, tendo um regime sazonal bem definido ao longo do ano. Ao longo de décadas, em geral, as velocidades médias anuais apresentam variações inferiores a 10% da média de longo prazo. (LOPEZ, II, p. 36)

O autor observa ainda que em alturas de interesse para o aproveitamento energético, a partir de 100 metros, por exemplo, o vento é afetado de modo

acentuado pelas condições de relevo e de rugosidade aerodinâmica do terreno, presença de obstáculos e estabilidade térmica vertical.

O maior conhecimento sobre os mecanismos do vento permite a melhor escolha dos equipamentos para a produção de energia eólica. Para a instalação de uma turbina eólica, por exemplo, é importante verificar as características do vento em todas as direções com relação ao local determinado.

Lopez (2012) ensina que a principal característica a ser determinada é a variação da velocidade do vento no tempo, pois ela pode variar ao longo do dia, do mês, do ano e até ao longo dos anos. In verbis

Na grande maioria dos casos (em torno de 90%) pode haver uma variação de até 10% entre o valor médio anual e a média de longo prazo da velocidade do vento. Ao longo de um ano, o vento também varia, entretanto, esta variação é sazonal, apresentando o mesmo comportamento para períodos iguais de anos diferentes. O vento também experimenta variações horárias ao longo do dia, assim como variações importantes e não determinísticas, e seu estudo é feito por meio de análise probabilística. (LOPEZ, II, p. 40)

Da variação da velocidade do vento decorre ainda outro fator determinante para o bom funcionamento de um projeto eólico, a turbulência. Esta se refere às flutuações na velocidade do vento em uma escala de tempo relativamente rápida, geralmente menos do que 10 minutos. (PINTO, 2013).

Como se trata de um processo complexo, não pode ser representado simplesmente em termos de equações determinísticas. Na prática, ressalta Lopez (2012), configura-se um processo caótico, pois quaisquer diferenças nas condições iniciais podem resultar em grandes desvios após um tempo relativamente curto. Assim, resume o autor

A intensidade da turbulência depende da rugosidade da superfície terrestre, altura acima do solo e topografia do terreno, das árvores, construções e do comportamento térmico da atmosfera. (LOPEZ, II, p. 43)

1.3.2 - Tipos de aerogeradores

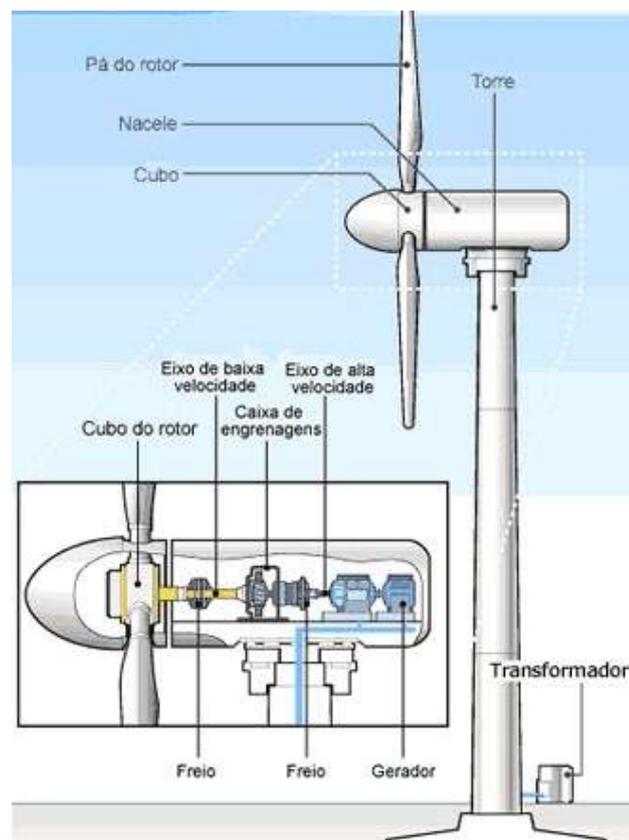
Como já mencionado acima, o bom funcionamento do projeto eólico requer a fina sintonia entre os equipamentos e os recursos naturais disponíveis, sendo os últimos envolvidos em condições variáveis que demandam adaptações diversas. A

complexidade da combinação de fatores para a eficiente produção de energia exige atenção na escolha dos equipamentos e na perfeita integração de suas funcionalidades.

Nesta seara, o aerogerador é o principal deles. Em se tratando de pesquisa científica, como é o caso desta dissertação, cabe agora a seguinte definição, ilustrada, na sequência, pela figura 11

Chama-se aerogerador o equipamento destinado a gerar energia elétrica a partir da energia fornecida pelo vento. A energia cinética do vento movimenta a turbina, que produz energia mecânica, transmitindo-a ao gerador, que por sua vez faz a conversão de energia mecânica em elétrica (PINTO, IX, p. 157)

Figura 11: Principais partes de um aerogerador



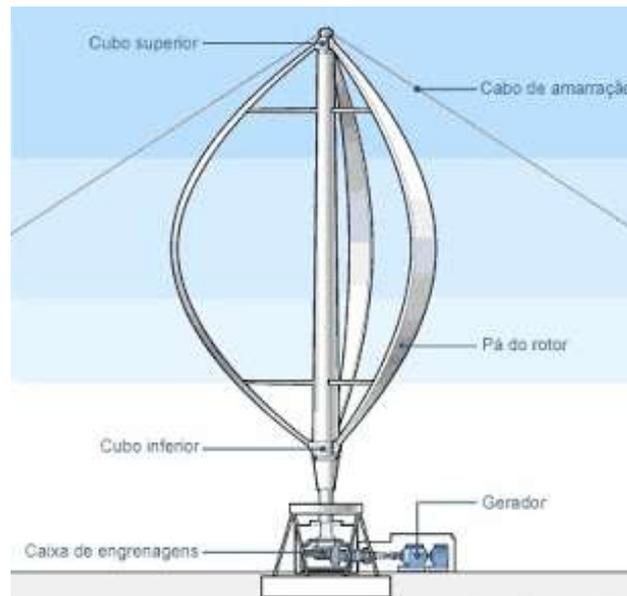
Fonte: science.howstuffworks.com, 2006

1.3.2.1 - Rotores de eixo vertical

Os rotores de eixo vertical não necessitam de mecanismos de acompanhamento para variações da direção do vento, o que é vantajoso por reduzir

a complexidade do projeto. Segundo Dutra (2010), eles podem ser movidos pelas chamadas forças de sustentação (lift) e por forças de arrasto (drag)¹⁹. A figura 12 mostra modelo constituído de lâminas curvas (pode ter até três) de perfil aerodinâmico, atadas pelas pontas ao eixo vertical.

Figura 12: Aerogerador de eixo vertical



Fonte: science.howstuffworks.com, 2006

1.3.2.2 - Rotores de eixo horizontal

Os rotores de eixo horizontal são os mundialmente mais utilizados, movidos por forças de sustentação (lift) e de arrasto (drag). Os que giram predominantemente sob efeito da força de sustentação são mais potentes do que aqueles que se movimentam sob efeito da força de arrasto, para uma mesma velocidade do vento.

Isto explica porque os aerogeradores convencionais são predominantemente movidos pela força de sustentação. Dutra (2010) observa que os rotores devem possuir mecanismos que permitam que o disco formado pelo movimento das pás esteja sempre em posição perpendicular ao vento. Os rotores, complementa o autor, podem ser constituídos de uma pá e contrapeso, duas pás ou múltiplas pás.

¹⁹ Quando um corpo obstrui o movimento do vento, as forças aerodinâmicas de sustentação atuam perpendicularmente ao escoamento. E as de arrasto atuam na direção do escoamento. Ambas são proporcionais ao quadrado da velocidade relativa do vento. As de sustentação dependem da geometria do corpo de ataque (formado entre a velocidade relativa do vento e o eixo do corpo). (DUTRA, 2010)

As pás, por sua vez, podem ter formas variadas e ser compostas de materiais diversos. Geralmente utiliza-se pás rígidas de madeira, alumínio ou fibra de vidro reforçada.

Figura 13: Aerogerador de eixo horizontal



Fonte: Cresesb, 2010

Dutra (2010) observa que os rotores mais utilizados para geração de energia elétrica são os de eixo horizontal do tipo hélice, normalmente compostos de 3 pás ou em alguns casos (velocidades médias muito altas e possibilidade de geração de maior ruído acústico) 1 ou 2 pás.

1.3.2.2.1 - Componentes de um aerogerador de eixo horizontal

Já ilustradas na figura 11, as principais partes de um aerogerador são, de forma geral, a torre, a nacelle e o rotor. Os aerogeradores são diferenciados pelo tamanho e formato da nacelle, pela presença ou não de uma caixa multiplicadora e pelo tipo de gerador utilizado (convencional ou multipolos). Seguem detalhes de cada componente.

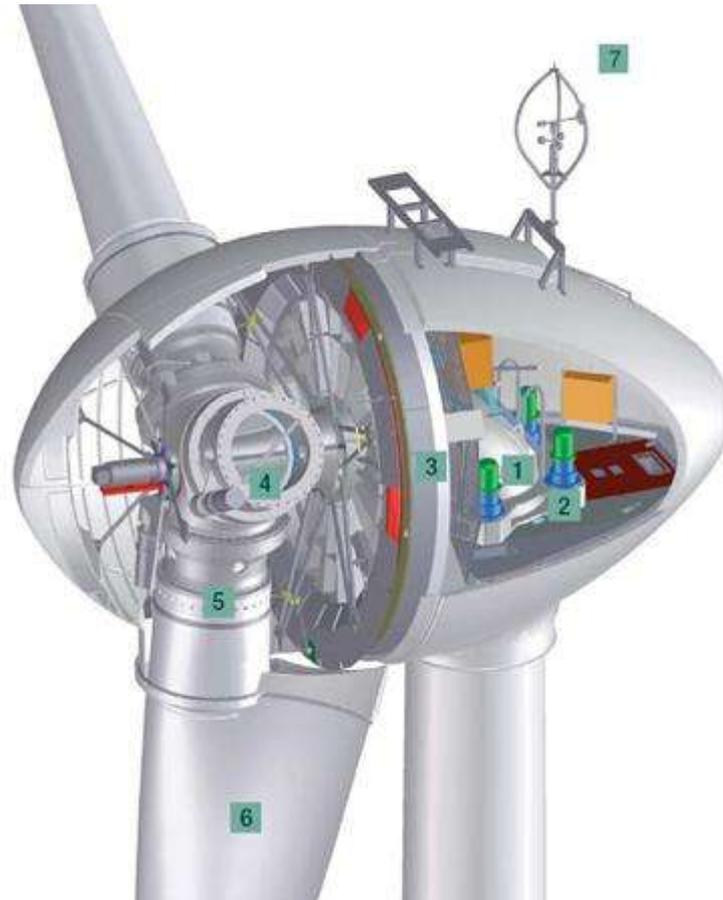
1.3.2.2.1.1 - Nacele

É a estrutura montada sobre a torre onde ficam o gerador e a caixa de acoplamento, também chamada caixa de engrenagens. Pinto (2013) explica que dentro da nacele há um sistema de direção que, através de um motor, é responsável por colocar a turbina na direção do vento. A caixa de engrenagens requer refrigeração e lubrificação e é um componente desnecessário quando o acoplamento da turbina-gerador é direto. Há alterações na nacele quando o gerador utilizado é o convencional ou o multipolos (figuras 14 e 15). Sob a nacele, estão os medidores da velocidade do vento (anemômetro) e da sua direção (biruta, também chamada de windvane), que transmitem os dados para o sistema de controle montado na base da torre.

Figura 14: Vista do interior da nacele utilizando gerador convencional



Figura 15: Vista do interior da nacele utilizando gerador multipolos



Fonte: Enercon, 2006

1. Apoio principal da nacele
2. Motores de orientação da nacele
3. Gerador em anel (multipolos)
4. Fixador das pás ao eixo
5. Cubo do rotor
6. Pás
7. Sensores de direção e velocidade do vento

1.3.2.2.1.2 - Pás e cubo

São as estruturas movimentadas pelo vento, convertendo parte de sua energia cinética em trabalho mecânico. Inicialmente construídas de alumínio, hoje são feitas em fibra de vidro e reforçadas em epóxi e/ou madeira. São fixadas ao cubo e podem ter rolamentos.

O cubo é a estrutura na qual são fixadas as pás. É construído em aço ou liga metálica de alta resistência e também acomoda os mecanismos e motores para o ajuste do ângulo de ataque de todas as pás.

Figura 16: Detalhe do cubo pronto para a acoplagem de pás



Fonte: TAYLOR, 2008

1.3.2.2.1.3 - Caixa de engrenagens ou de transmissão

Faz a sintonia correta entre a baixa velocidade da turbina e a alta velocidade do gerador. Muitos fabricantes incluem a caixa de transmissão em seus aerogeradores. Outros, não. Há vantagens e desvantagens nos dois casos. Quando não há a caixa de engrenagens, é necessário usar geradores multipolos de baixa velocidade e grandes dimensões.

1.3.2.2.1.4 - Gerador

É o responsável pela geração da energia elétrica propriamente dita. A integração de geradores no sistema de conversão eólica é considerada problemática e Dutra elenca as razões

- a) variações na velocidade do vento (extensa faixa de rotações por minuto para a geração);
- b) variações do torque de entrada (uma vez que variações na velocidade do vento induzem variações de potência disponível no eixo);
- c) exigência de frequência e tensão constante na energia final produzida;
- d) dificuldade de instalação, operação e manutenção devido ao isolamento geográfico de tais sistemas, sobretudo em caso de pequena escala de produção (isto é, necessitam ter alta confiabilidade). (DUTRA, IV, p.35)

O mercado oferece atualmente vários tipos de geradores para incorporação no sistema de conversão eólica. Como todos trazem vantagens e desvantagens, Dutra (2010) alerta para análise criteriosa quando da incorporação ao sistema.

1.3.2.2.1.4 - Torre

É a estrutura de sustentação e posiciona o rotor a uma altura adequada ao seu funcionamento. O metal tubular ou concreto substituíram o metal treliçado, do qual era feita antigamente. Podem ser ou não sustentadas por cabos tensores. Suportam peso elevado, já que o geradores ganham cada vez mais potência e, com as pás, aumentam a carga da nacele.

1.3.3 - Impacto sonoro - emissão de ruídos

A emissão de ruídos é uma característica intrínseca ao do sistema de produção de energia eólica e chega a ser apontada por alguns como uma desvantagem desta modalidade energética. Lopez (2012) explica que a emissão de ruídos nos aerogeradores provém do funcionamento mecânico e dos efeitos aerodinâmicos. Nos aerogeradores de médio e grande porte (com diâmetro do rotor superior a 20 metros), os efeitos aerodinâmicos são os que mais contribuem para a emissão de ruídos.

O ruído mecânico, detalha o autor, é proveniente principalmente da caixa de engrenagens que multiplica a rotação das pás para o gerador. O conjunto de engrenagens funciona na faixa de 1.000 a 1.500 rotações por minuto (rpm), em que toda a vibração da caixa é transmitida para as paredes da nacele. A transmissão de ruído pode ser ocasionada também pela própria torre, através dos contatos dessa com a nacele.

Para amenizar o inconveniente dos ruídos, López sugere uma alternativa e uma perspectiva. A primeira, já disponível, é a dispensa da caixa de engrenagens (como já abordado no subitem 1.3.2.2.1.3) utilizando um gerador elétrico multipolo conectado diretamente ao eixo das pás.

Já a perspectiva sugerida pelo autor são as pesquisas em andamento sobre novos modelos de pás, procurando um máximo aproveitamento aerodinâmico com redução de ruído.

Normalmente, os ruídos decrescem de 50 dB junto ao aerogerador para 35 dB a uma distância de 450 metros (tabela 4). Fisiologicamente, lembra Lopez, o sistema auditivo é afetado de forma importante para ambientes com ruídos acima de 65 dB. Mas valores acima de 30 dB podem provocar efeitos psíquicos sobre o ser humano. O recomendado é um nível de ruído inferior a 40 dB, correspondente a uma distância de 200 metros dos aerogeradores. Lopez ressalta que esse é o afastamento mínimo entre as usina eólicas e os locais habitados exigido pelas normas europeias.

TABELA 04: Intensidade de ruídos

TIPO DE RUÍDO	INTENSIDADE MÉDIA [dB]
Queda de folhas na terra	<10
Falar em voz baixa	25
Quarto de dormir	30
Turbina eólica	45
Casa	55
Escritório	65
Interior automóvel	75
Música estereofônica	92
Indústria	100
Furadeira pneumática	122
Avião a jato	145

Fonte: American Wind Energy Association - AWEA

1.3.4 – Impacto visual

No caso da energia eólica, é maior o impacto visual no caso dos parques eólicos, que alteram de maneira importante a paisagem. Lopez destaca este fator como altamente subjetivo. Alguns veem aquele conjunto de turbinas como algo positivo pelo fato de produzir energia limpa, outros reagem negativamente diante do cenário natural alterado pelo complexo das torres e suas pás, simetricamente distribuídas.

Pesquisas realizadas próximo a parques eólicos operantes na Europa e Estados Unidos mostram que a maioria das pessoas vê o complexo como algo interessante. Lopez traz alguns números dos estudos realizados pela Embrace Wind, apontando que 80% do público aprova os sistemas eólicos, menos de 10% são contra e o restante é indeciso.

Pinto (2013) destaca que para amenizar o efeito visual, costuma-se pintar as turbinas eólicas da mesma cor da paisagem local. O autor lembra que o efeito cíclico

da sombra das pás em movimento pode trazer incômodo aos que residem perto de uma turbina eólica. Por isso, a importância de atentar para a distância dessas residências e a orientação da influência solar.

1.3.5 - Impacto sobre a fauna

Nesta seara, o principal impacto das usinas eólicas é sobre as aves. Mas, observa Pinto (2013), o impacto total em pássaros, morcegos e outros animais é extremamente baixo se comparado ao de outras atividades. O autor destaca dois pontos a serem analisados na questão ambiental das aves:

- a) os efeitos sobre as populações de pássaros das mortes provocadas por turbinas eólicas.
- b) a violação de trajetórias de migração de pássaros.

É fato que o desenvolvimento da energia eólica pode afetar os pássaros de diversas maneiras, como alteração do habitat de migração, colisões e eletrocussões.

No entanto, Pinto pontua dois benefícios que o desenvolvimento eólico pode trazer para os pássaros:

- a) proteção da terra contra mais perdas do habitat
- b) proteção dos pássaros contra a perseguição indiscriminada

Lopez lembra que o pior caso de colisão de pássaros em turbinas eólicas decorreu de um erro do projeto. Em 1993, 269 turbinas estavam em operação perto de Tarifa, na Espanha, onde mais 2.000 seriam instaladas. Ocorre que o local integra a principal rota de migração dos pássaros da Europa Ocidental.

1.3.6 – Interferências eletromagnéticas

Turbinas eólicas podem interferir nas transmissões de ondas eletromagnéticas. A interferência é concentrada em pequenas áreas, por isso aquelas encontradas em rotas de navegação ou de links de rádio podem ser evitadas com a escolha de um local apropriado para a turbina.

O mesmo, porém, não acontece no caso da recepção pública de TV e rádio, já que elas estão mais espalhadas. Pinto (2013) reproduz as conclusões das experiências realizadas pela Agência Espacial Norte-Americana (Nasa), variando os tamanhos das turbinas e a distância entre estas e as residências.

- a) o sinal direto da estação de TV pode ser perturbado pelo giro das pás se a turbina eólica estiver posicionada diretamente em linha com o receptor. Esse efeito é extremamente acentuado na faixa UHF (ultra-high frequency).
- b) a interferência é causada pela turbina ao refletir o sinal, de modo que os receptores localizados em um ângulo correspondente de reflexão recebam um segundo e não desejado sinal. Esse efeito, que também é produzido por outras grandes construções, provoca as conhecidas imagens fantasmas na TV analógica, quando o rotor está girando. As TVs digitais não sofrem tal efeito (PINTO, XII, p. 229)

Os estudos da Nasa mostraram essencialmente que as intensidades e os efeitos da interferência dependiam do conceito técnico das turbinas e da topografia de cada local. Veio também a conclusão de que o desenho das pás do rotor é que tem maior influência no caso de interferência pois, nos experimentos, as pás constituídas, parcial ou totalmente, de aço causaram maior interferência. Já as feitas de madeira ou fibra de vidro provaram ser menos interferentes.

1.3.7 - Configurações de sistemas eólicos

A produção de eletricidade a partir da energia eólica pode ser feita por pequenas instalações autônomas ou conectadas à rede, e as grandes instalações conectadas à rede.

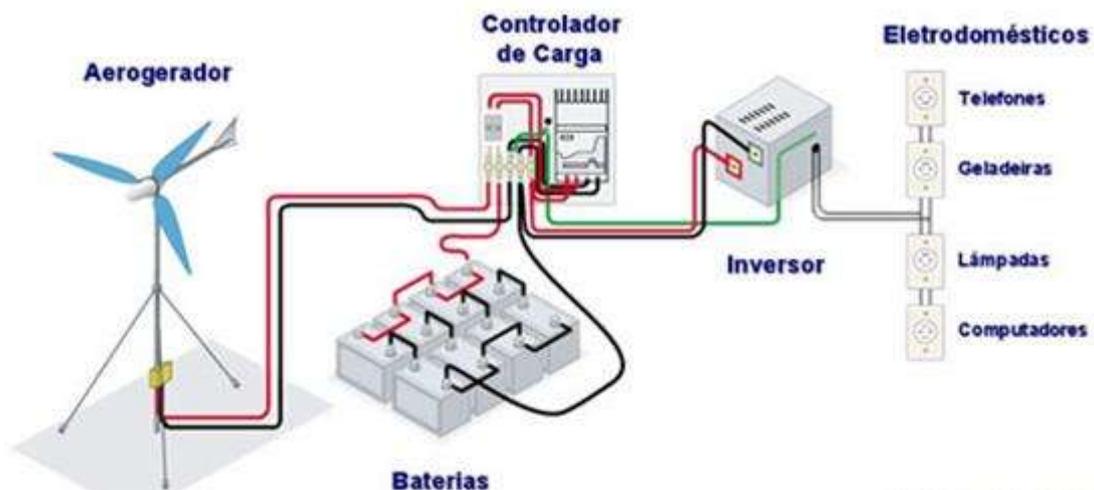
Ou seja, o aproveitamento da energia pode ocorrer através de sistemas isolados, sistemas híbridos ou sistemas interligados à rede elétrica, com suas respectivas configurações. Basicamente, os sistemas precisam de unidades de controle de potência e, em alguns casos, de unidades de armazenamento. Vejamos os detalhes.

1.3.7.1 - Sistemas isolados

Em geral, utilizam alguma forma de armazenamento de energia, que pode ser feito por meio de baterias para alimentar aparelhos elétricos ou na forma de energia gravitacional para armazenar a água bombeada em reservatórios para a utilização posterior. Estes necessitam de um dispositivo para controlar sua carga e descarga.

Os que não necessitam de armazenamento dispensam o uso do dispositivo, como aqueles sistemas diretos para irrigação onde toda a água bombeada é imediatamente consumida.

Figura 17: Sistema isolado



Fonte: Cresesb, 2005

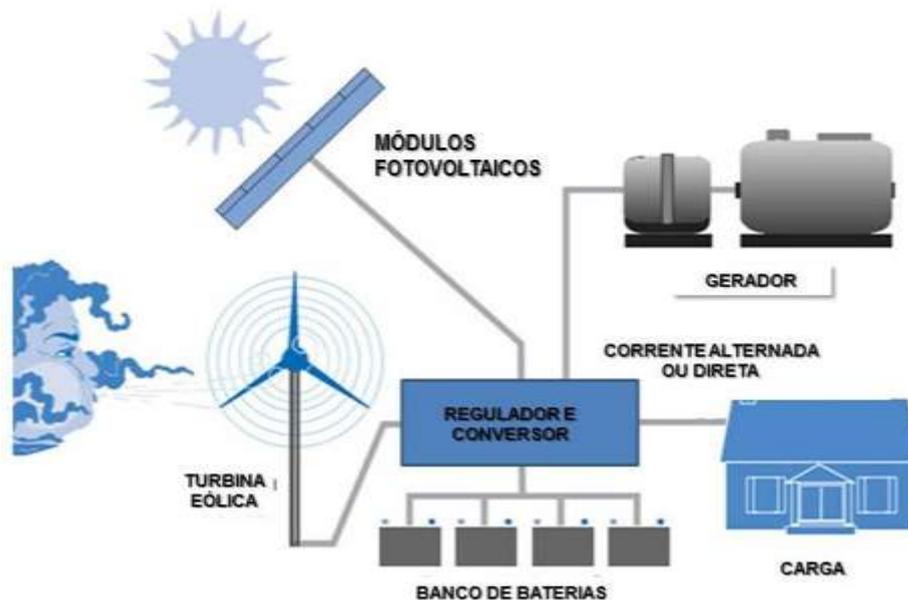
Como mostra a figura acima, o sistema isolado requer um controlador de carga, instrumento fundamental para não deixar que haja danos à bateria por sobrecarga ou descarga profunda. É usado em sistemas de pequeno porte nos quais os aparelhos utilizados operam com baixa tensão e corrente contínua.

O inversor é necessário para alimentação de equipamentos que operam com corrente alternada e geralmente incorpora um seguidor do ponto de máxima potência necessário para otimização da potência produzida. É usado quando o objetivo é a alimentação de eletrodomésticos convencionais.

1.3.7.2 - Sistemas híbridos

São aqueles que apresentam duas ou mais fontes de geração de energia, por exemplo, turbinas eólicas, geração diesel, módulos fotovoltaicos, entre outras. Lopez (2012) lembra que se trata de um sistema mais complexo por combinar várias formas de geração de energia, exigindo a otimização do uso de cada uma das fontes. Requer, portanto, o controle de todas as fontes para que haja máxima eficiência na entrega da energia para o usuário.

Figura 18: Sistema híbrido solar-eólico



Fonte: www.albertcampi.me (2012)

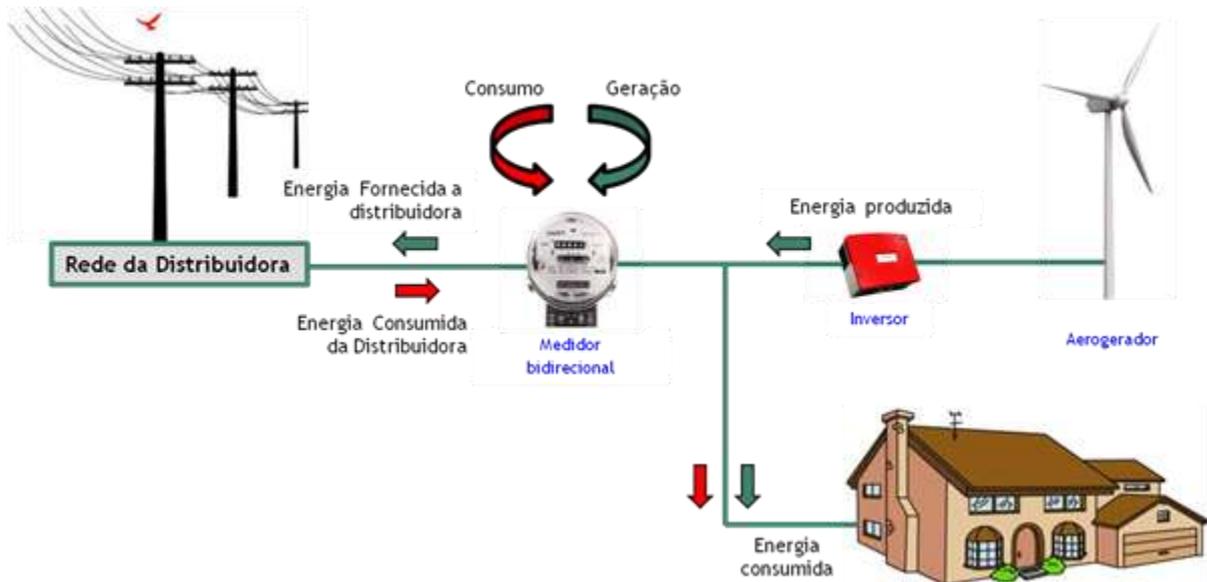
Como ilustra a figura acima, o sistema híbrido demanda inversores, pois trabalha com cargas de corrente alternada. Geralmente, é utilizado em sistemas de médio e grande porte para atender a um número maior de usuários.

1.3.7.3 - Sistemas interligados à rede elétrica

Estes não necessitam de sistemas de armazenamento de energia, pois toda a geração é entregue diretamente à rede elétrica. Representam uma fonte complementar ao sistema elétrico de grande porte ao qual estão interligados.

O complexo é interligado a inversores para permitir que a energia gerada seja lançada diretamente na rede. Estes devem satisfazer às exigências de qualidade e segurança para que a rede não seja afetada.

Figura 19: Sistema eólico conectado à rede



Fonte: Viridian – www.agenciaeverest.com.br

Um sistema conectado à rede pode trabalhar em três condições:

- abastecimento simples da rede. É o caso de plantas eólicas que funcionam como usina de qualquer outra fonte de energia.
- abastecimento da rede e recebimento de energia da rede, dependendo da necessidade. Nos períodos de pouco vento, por exemplo, o sistema de uma casa consome mais energia do que gera e conta com a energia da rede. Quando gera mais do que consome, fornece sua energia à rede.
- abastecimento pela rede quando a produção não suprir a demanda. Nesse caso, a energia produzida tem um fim específico e nunca é fornecida à rede.

A esta altura do estudo, vale ressaltar que é nessa configuração de sistema eólico que se encaixa o projeto Braseólico, objeto deste trabalho. Como já mencionado na Introdução, o capítulo 3 traz os pormenores desta proposta de

empreendimento, detalhando inclusive outros quesitos técnicos, fundamentais para o entendimento do projeto.

1.3.8 - Eficiência energética

A energia eólica produz eletricidade a partir da energia cinética do vento, sem produzir diretamente qualquer poluição ou emissão de CO₂. Mas isso não significa que ela é livre de contaminação, já que no processo de fabricação das turbinas há emissão de gases poluentes. Deve-se considerar que há um impacto ambiental também quanto ao destino final quando se encerra o ciclo de vida destes equipamentos.

No entanto, especialistas defendem que há uma compensação em todo esse processo. Nas palavras de López

A turbina eólica produz, em seis meses, energia elétrica limpa o suficiente para compensar todas as emissões de gases geradas durante a sua fabricação e instalação. E produzirá durante 20 a 25 anos. Em caso de desativação, a área pode ser restaurada a baixos custos financeiros e ambientais. (LOPEZ, II, p. 50)

Nesta seara, Pinto (2013) cita o Estudo de Avaliação do Ciclo de Vida (EACV), lembrando que este pode ser usado também para definir o chamado tempo de retorno energético (payback time), que é o tempo de uso necessário para pagar pela energia gasta na fabricação da unidade. O autor ressalta, no entanto, que dentre os EACVs há um bom número deles relacionados às energias renováveis que não analisam em detalhes o EACV de uma turbina eólica.

Para atestar a eficiência da energia eólica, Lopez parte para o cálculo do fator de carga, que corresponde à produção máxima teórica. No caso da fonte eólica, o autor informa que os sistemas atuais alcançam atualmente 30% de fator de carga, enquanto as centrais de energia convencionais atingem uma média de 50%.

1.3.9 - Custos

Os custos da turbina eólica e, por consequência, os custos da produção de energia têm diminuído de forma constante desde o início dos anos 1980, na

avaliação de Pinto (2013), que explica assim o principal fator de composição do custo de produção

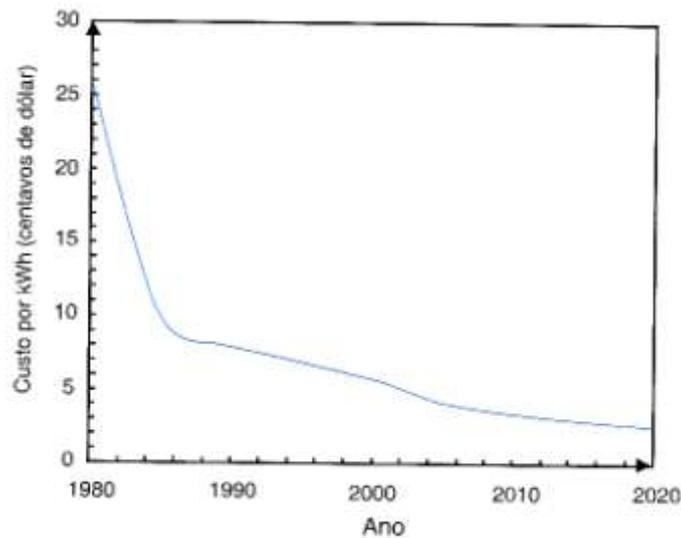
O custo de capital nos projetos de energia eólica é dominado pelo custo da turbina eólica em si. Uma turbina eólica instalada na Europa tem um custo total de investimento ao redor de \$ 1730/kW. O custo total por kW de capacidade eólica instalada varia significativamente de país para país. (PINTO, XVI, p. 265)

O autor observa que o terreno é o segundo fator preponderante na composição de custos de um projeto eólico. Nos Estados Unidos, cita, o aluguel e os royalties pagos aos proprietários variam de 3 mil a 5 mil dólares por ano e por turbina. O preço exato dependerá dos recursos do vento no local da instalação e da facilidade ou não do acesso à rede elétrica.

Os gastos com operação e manutenção constituem uma parte considerável do custo total anual da turbina, que nos primeiros dois anos de vida útil é geralmente coberta pela garantia do fabricante. Segundo Pinto (2013), esses gastos podem facilmente chegar a 25% do percentual total do custo por kW produzido ao longo da vida útil da turbina.

Estes gastos estão relacionados com custo de alguns componentes como seguro, manutenção regular, administração, peças de substituição e reparos. O autor lembra que embora as turbinas sejam projetadas para um período de vida de 20 anos, há caixas de engrenagens que apresentaram falhas dentro de 5 anos de operação. A substituição desta sai a cerca de 10% do custo da construção e instalação da turbina eólica, o que afetará negativamente a estimativa do rendimento do projeto.

Por outro lado, Lopez (2012) assinala que considerando as principais fontes de eletricidade na matriz energética brasileira, ao longo da vida útil dos projetos, os custos de operação e manutenção, no caso da eólica, diminuem pelo fato de o “combustível” (vento) utilizado ser gratuito.

Gráfico 01: Histórico do custo da energia eólica

Fonte: Mathew (2006)

O gráfico acima que o custo por kW da eletricidade gerada pelo vento caiu de 26 centavos em 1980 para perto de 5 centavos em 2005 (valores em dólar). O declínio é mais forte de 1980 a 1985, período correspondente à entrada no mercado de turbinas de tamanho maiores. Projeções indicam que o custo cairá ainda mais, indo a 2,6 centavos por kWh por volta de 2020.

1.4 - Tendências

É clara a tendência mundial de incorporação de fontes renováveis conectadas ao sistema de distribuição de energia elétrica. Pinto (2013) destaca que entre as renováveis a energia eólica é que mais cresce no mundo e representa uma alternativa consolidada.

Instituições envolvidas neste ramo projetam que o investimento mundial no setor eólico deve passar dos US\$ 16 bilhões de 2006 para US\$ 60 bilhões por volta de 2020. A Associação de Energia Eólica Europeia (EWEA), por exemplo, estima que a capacidade do potencial eólico instalado alcance 180 GW perto de 2020, valor equivalente a mais de 12% da demanda de eletricidade na Europa.

O Conselho Mundial de Energia Eólica (Global Wind Energy Council – GWEC) através de seu mais recente relatório anual, o Global Wind Report 2012 (divulgado em abril de 2013), que é uma atualização das previsões para o mercado eólico nos próximos cinco anos (2013-2017), aponta que a taxa anualizada de

crescimento acumulado deve ficar em 12,89% em média, com crescimento anual de 8,9%.

Para 2014, a previsão é de instalação de 45,3 GW, com alta de 14,4% sobre 2013. A expectativa do conselho é que a fonte eólica chegue a uma capacidade instalada de 536 GW em 2017, contra 282,6 GW no ano passado. De acordo com o documento, a Ásia continuará sendo o maior mercado para energia eólica, liderado pela China.

A Europa, que teve um ano excepcional em 2012, com a instalação de 12,74 GW, chegando a 110 GW de capacidade, deve ter, conforme o relatório, ano difícil em 2014, com instalação de menos capacidade que em 2012. Os EUA, por sua vez, apresentariam redução de um terço com relação aos 13 GW instalados em 2012, por conta de impasses sobre o incentivo fiscal para a fonte.

No documento, o Brasil reitera sua posição de líder regional do setor na América Latina, depois de ter operacionalizado 12 GW em 2012. O relatório lembra, no entanto, as dificuldades enfrentadas no país em 2012 com relação à falta de linhas de transmissão, a revisão das regras do Finame²⁰ e os seguidos adiamentos dos leilões.

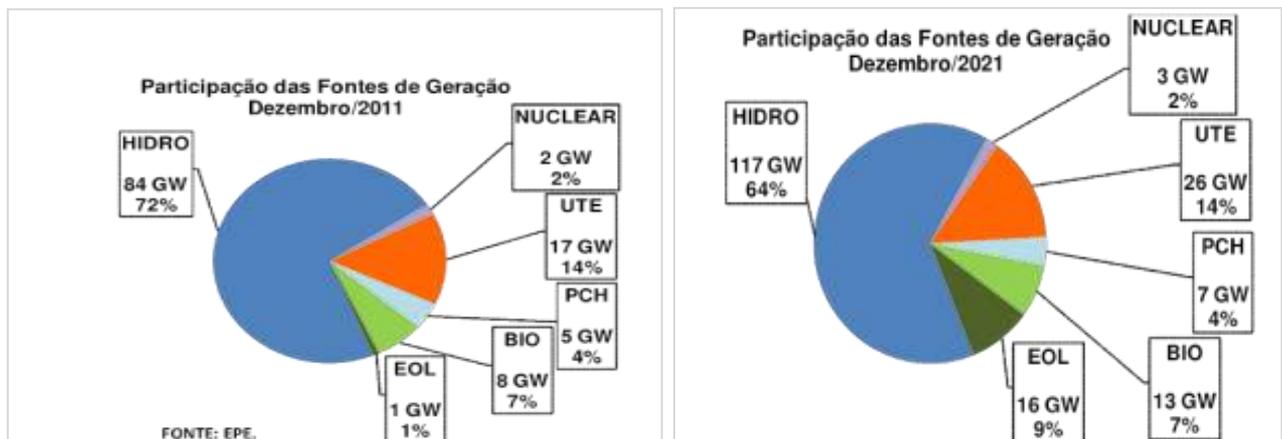
Ainda assim, o GWEC mostra otimismo sobre o Brasil, prevendo que no biênio 2013-2014, devem ser investidos no país cerca de US\$ 8,5 bilhões para instalação de pouco mais de 5 GW.

No mais recente Plano Decenal de Expansão de Energia (PDE 2011), elaborado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE), é possível observar (figura 20) o crescimento expressivo da energia eólica que representava 1% da matriz de geração elétrica em 2011, ante a uma previsão de alcançar 9% desta matriz em 2021.

Vale observar que a fonte hídrica continuará sendo, embora com menos representatividade, a maior geradora de energia elétrica. É claramente perceptível que a menor representatividade da hídrica (de 72% em 2011 para 64% em 2021) coincide com a expansão da fonte eólica, imprimindo consistência à perspectiva da complementaridade de ambas na matriz energética brasileira.

²⁰ Financiamento de Máquinas e Equipamentos. É uma linha de financiamento com recursos e taxas do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social. É destinado a empresas localizadas em qualquer parte do país para compra de máquinas e equipamentos nacionais novos, com índice de nacionalização igual ou superior a 60%. (www.bndes.gov.br)

Figura 20 - Projeção da evolução da capacidade instalada por fonte de geração (GW e %)



Conforme mencionado no item 1.2.4.1 deste capítulo, a região Nordeste é a mais favorável para a produção da energia eólica no Brasil. Como as fontes hídricas e térmicas, predominantes na matriz, estão concentradas no sul e sudeste do país, é de se esperar investimentos privados e políticas públicas de incentivo ao desenvolvimento eólico nordestino, para a diversificação regional da matriz energética nacional.

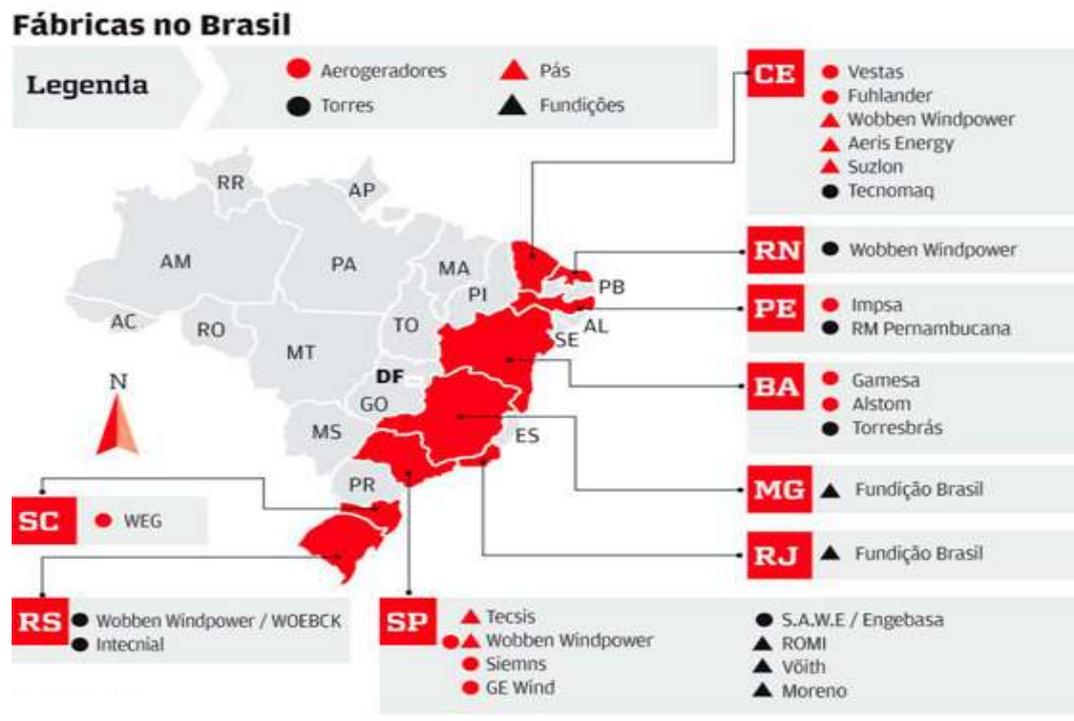
Melo (2012) elenca outros fatores que justificam o foco no potencial eólico do Nordeste. São eles

- a) a evidente oportunidade de redução das desigualdades sociais que imperam na região;
- b) a perspectiva apontada pelo Plano Decenal de Expansão de Energia 2021 de que a população nordestina alcance 57 milhões e 207 mil pessoas em 2021 representado mais de um quarto de toda a população brasileira;
- c) tendência de aumento do consumo de energia elétrica no subsistema da região Nordeste;
- d) alto índice de perdas no subsistema; (MELO, III, p. 81)

Paralelamente à evolução do mercado de energia eólica surge a cadeia de fornecimento voltada para o setor. Antes o impulso das indústrias era atribuído à exigência do índice de nacionalização das turbinas eólicas imposto pela lei do Proinfa e, depois, como condição para maior participação do BNDES no financiamento dos projetos. Pereira (2012) descreve a consolidação do atrativo nacional para o setor eólico

Também contribuiu para essa explosão o desaquecimento do mercado eólico com a crise financeira, sobretudo nos Estados Unidos e na Europa, que faz com os principais fabricantes internacionais se sintam compelidos a instalar suas linhas de montagem no país, um dos mercados que mais crescem no mundo, atrás apenas dos mercados chinês e indiano, embora estes sejam muito pautados pelos fabricantes nacionais. (PEREIRA, II, p. 152)

Figura 21: A cadeia industrial eólica no Brasil



Fonte: Abeólica

CAPÍTULO 2

A POLÍTICA ENERGÉTICA, O SETOR ELÉTRICO BRASILEIRO E O MARCO REGULATÓRIO DA ENERGIA EÓLICA

Quando se considera a evolução da energia eólica no Brasil, o potencial eólico do país e o fato de que um mercado eólico originou-se por aqui mais recentemente do que em outras regiões do mundo – conforme exposto no capítulo anterior – inevitavelmente surgem questionamentos sobre fatores de natureza político-energética e regulatória, determinantes para o avanço do setor.

Estes são vistos por diversos especialistas e instituições nacionais e internacionais ligadas ao ramo, como limitadores do desenvolvimento desta modalidade energética em contraposição às condições naturais que favorecem a capacidade eólica brasileira.

A abordagem adequada desta questão requer esmiuçar a formação do setor elétrico brasileiro e a análise do marco regulatório da energia eólica no âmbito nacional. Não sem antes, porém, traçar a estratégia da política energética historicamente adotada pelo país que se caracteriza por combinar condutas sustentáveis e insustentáveis, ao ponto de se destacar atualmente como titular de uma matriz predominantemente renovável e ter de conviver anualmente com o risco de racionamento de energia elétrica, vulnerabilizando-se, apesar de ser classificado como a sétima maior economia do mundo²¹.

Assim, conheceremos como o país traçou seu perfil energético, a estrutura institucional do setor elétrico e as diretrizes legais que regem o campo das energias renováveis, particularmente as que influenciam o segmento eólico.

O objetivo principal deste capítulo, portanto, é retratar a conjuntura do segmento no Brasil a partir do quadro regulatório e da estrutura à qual a regulamentação é aplicada, visando alcançar com fidelidade o panorama eólico nacional.

Para tanto, divide-se este capítulo em três partes, a primeira que tratará em linhas gerais da formação da política energética do Brasil, a segunda que abordará a arquitetura do sistema elétrico nacional e a terceira que abrangerá os aspectos

²¹ Classificação constante no Relatório do Banco Mundial, divulgado em 20 de abril de 2014. À frente do Brasil constam EUA, China, Índia, Japão, Alemanha e Rússia. Dados disponíveis em <http://data.worldbank.org/sites/default/files/wdi-2014-ch4.pdf>

legais do setor eólico, partindo, naturalmente, da Constituição Federal e abrangendo o marco normativo que regula as atividades do ramo no país.

Levando-se em conta o tema desse trabalho, indispensável se torna a abordagem clara e aprofundada da Resolução 482/2012 que instaura o sistema de compensação de energia elétrica e estabelece as condições gerais para o acesso da microgeração e da minigeração direcionadas aos sistemas de distribuição desta energia. Então, vejamos.

2.1 - Formação da política energética

Assim como historicamente o homem se viu mais potente ao descobrir e dominar o fogo e outros meios naturais que geravam energia, as nações também se valiam de mais potência à medida que descobriam e exploravam seus recursos energéticos. Assim, a disponibilidade e o domínio desses recursos eram elementos hierarquizadores do poder entre os países.

Ou seja, os recursos energéticos representavam a via de transformação de recursos de poder em poder concreto. Poderoso era o país com capacidade dinâmica de aproveitar recursos naturais, humanos, políticos ou energéticos para deles extrair maior potencial econômico, militar ou ideológico.

A estreita ligação entre energia e poder, na qual a primeira credencia o segundo no contexto de uma nação é clara na abordagem de Lucas Kerr de Oliveira.

Destaca-se que a maior parte dos mecanismos que permitem transformar recursos de poder de qualquer natureza, em capacidades específicas de exercício do poder ou poder concreto, especialmente os mecanismos que envolvem atividades produtivas, depende do uso de energia para o seu funcionamento. Desta forma, a Estratégia de uma potência envolve não apenas o planejamento e esforço para constituir e manter um grande poder militar, mas também para ampliar a eficiência da transformação de recursos de poder em poder concreto e garantir a sustentabilidade deste processo ao longo do tempo, mesmo diante das pressões da competição internacional. (OLIVEIRA, I, p. 39)

Para o Brasil, explorar os recursos naturais para angariar poder representou não somente a busca do desenvolvimento e da riqueza, mas também o principal meio de enfrentamento da dependência que o condiciona historicamente. Assim explica Celso Furtado

O desenvolvimento industrial firmado no mercado interno tornou possível um grau crescente de autonomia no plano das decisões que comanda a vida econômica nacional. Esta autonomia poderia haver sido cortada, caso os setores básicos da atividade econômica houvessem sido subordinados, desde o início, aos grupos concorrentes que dominam o mercado internacional. Entretanto, acertadas e oportunas decisões dotaram o país de autonomia em setores que, por sua posição estratégica, condicionam o processo de desenvolvimento econômico nacional, tais como a siderurgia e a indústria petrolífera. (FURTADO, 1962, p. 111-112)

Segundo o autor, o elemento fundamental que define o poder de uma grande nação é a capacidade de controle da tecnologia. Neste sentido, ele enumera cinco recursos de poder, essenciais para a sustentação política.

a) O controle da tecnologia, b) o controle das finanças, c) o controle dos mercados, d) o controle do acesso às fontes de recursos não-renováveis e e) o controle de acesso à mão-de-obra barata. Estes recursos, reunidos em quantidades ponderáveis e/ou combinados em doses diversas, originam posições de força, que ocupam os Estados e os grandes grupos econômicos na luta pela apropriação do excedente gerado pela economia internacional. Essas posições de força são de peso diferente e em seu relacionamento tendem a ordenar-se, produzindo uma estrutura. (FURTADO, 1978, p. 115-116)

Por óbvio, essas categorias de poder se combinam diferentemente no caso de cada nação. No brasileiro, em particular, os itens a e d explicam a escolha histórica do País pela exploração de seus recursos petrolíferos, optando pela fonte suja e pela construção de hidrelétricas, elegendo uma fonte limpa.

Ao longo de seu desenvolvimento, o Brasil tem buscado a autossuficiência energética. Nos últimos 60 anos, a estratégia foi a construção de grandes hidrelétricas, o aumento da produção petrolífera e investimentos crescentes em biocombustíveis.

Baruf, Moutinho e Ide apontam os quatro principais aspectos desta busca, a partir da crise petrolífera nos anos 1970.

O Brasil voltou-se para políticas que privilegiaram a autossuficiência energética, incluindo: i) o crescimento da exploração e produção de petróleo doméstico; ii) a construção de grandes hidrelétricas, com sua integração

através de um sistema interligado de transmissão cobrindo as principais regiões do país; iii) o programa nuclear (que visava a construção de grandes termelétricas operando na base); e iv) o programa do álcool combustível. (BARUF, MOUTINHO e IDE, 2006, p. 186)

No caso das hidrelétricas, culmina atualmente a polêmica sobre a expansão do parque hidrelétrico deslocando-se para a Amazônia, com intervenções de forte impacto ambiental, vide a celeuma sobre a Usina de Belo Monte²² e questionamentos sobre o elevado risco de perda, dada a grande distância a ser percorrida pela energia até o consumidor em outras regiões do país, cortando a Floresta Amazônica.

No caso da produção petrolífera, predomina hoje a expectativa de exploração do pré-sal²³, a descoberta que sacudiu a política energética nacional e tem concentrado os investimentos, evidenciando a postura governamental de dar prioridade à fonte não renovável e deixar a renovável, como os biocombustíveis, por exemplo, em segundo plano.

O maior desafio do Brasil hoje no campo energético está em tirar do Pré-Sal o petróleo e o gás que farão do País o sexto maior detentor de reservas do mundo, a maior fora do Oriente Médio. Os estudos já disponíveis mostram que serão necessários US\$ 600 bilhões para extrair a maior parte do petróleo que se suspeita existir na ultraprofundidade²⁴.

²² A polêmica em torno da construção da Usina de Belo Monte na Bacia do Rio Xingu, na parte paraense, já dura mais de 20 anos. Entre muitas idas e vindas, a hidrelétrica de Belo Monte, hoje considerada a maior obra do Programa de Aceleração do Crescimento (PAC) do governo federal, vem sendo alvo de intensos debates na região, desde 2009, quando foi apresentado o novo Estudo de Impacto Ambiental (EIA) intensificando-se a partir de fevereiro de 2010, quando o MMA concedeu a licença ambiental prévia para a sua construção. A cronologia das idas e vindas sobre a Usina de Belo Monte, de 1998 a 2014, pode ser conferida em <http://www.socioambiental.org>

²³Pré-sal é o nome dado às reservas de hidrocarbonetos em rochas calcárias que se localizam abaixo de camadas de sal. É o óleo (petróleo) descoberto em camadas de 5 a 7 mil metros de profundidade abaixo do nível do mar. É uma camada de aproximadamente 800 quilômetros de extensão por 200 quilômetros de largura, que vai do litoral de Santa Catarina ao litoral do Espírito Santo. Vários campos e poços de petróleo e gás natural já foram descobertos na camada pré-sal, entre eles estão o Tupi, Guará, Bem-te-vi, Carioca, Júpiter e Iara. Tupi é o principal campo de petróleo descoberto, tem uma reserva estimada pela Petrobras entre 5 bilhões e 8 bilhões de barris de petróleo, sendo considerado uma das maiores descobertas do mundo dos últimos anos. A previsão é de que a participação do pré-sal na produção de petróleo passará dos atuais 2% para 18% em 2015 e para 40,5% em 2020, de acordo com o Plano de Negócios 2011-2015 da Petrobras. Atualmente, são utilizadas 15 sondas de perfuração equipadas para trabalhar em lâmina d'água acima de 2.000 metros de profundidade. Em 2020, esse número chegará a 65. Atualmente, são disponibilizados 287 barcos de apoio. O objetivo da empresa é atingir 568 barcos em 2020. (www.petrobras.org.br)

²⁴ De acordo com o estudo, os US\$ 600 bilhões estariam assim divididos: US\$ 20 bilhões em pesquisas sísmicas, US\$ 180 bilhões em instalações submarinas, US\$ 50 bilhões em equipamentos

Entretanto, questões melindrosas alimentam a polêmica em torno do projeto. A primeira delas diz respeito à tecnologia adequada para extrair de forma proveitosa o petróleo e o gás da camada pré-sal. A segunda tem a ver com o alto investimento que toda a exploração demandará. E a terceira envolve a destinação das receitas advindas do pré-sal.

Diante da previsão do investimento de mais de R\$ 0,5 trilhão necessário para extrair todo o combustível, a Petrobras anuncia atualmente ter desenvolvido tecnologia própria e atuação em parcerias com fornecedores, universidades e centros de pesquisa para a extração de 411 mil barris por dia (até maio de 2014) da província pré-sal²⁵. Isto representa, de acordo com a Petrobras, cerca de 20% do total da produção e em 2018 deverá chegar a 52% da produção de petróleo da companhia. Naquele ano, a empresa projeta ter acumulado US\$ 102 bilhões de investimento no projeto.

Aos questionamentos sobre se vale a pena tamanho investimento em um projeto de energia não-renovável, a Petrobras apresenta o que considera a principal conquista do projeto: atingir 500 mil barris por dia apenas oito anos após a primeira descoberta na região, ocorrida em 2006, e contando com somente 25 poços produtores.

De fato, é um bom resultado quando se leva em conta que foram necessários 31 anos para a empresa alcançar a marca de 500 mil barris diários, o que ocorreu no ano de 1984, com a contribuição de 4.108 poços produtores. A Bacia de Campos, por sua vez, levou 21 anos para alcançar este mesmo patamar, contando com 411 poços produtores.

O governo brasileiro anunciou que as receitas obtidas com os combustíveis extraídos do pré-sal serão destinadas majoritariamente à educação e a programas de combate à pobreza. Em setembro de 2013, foi sancionada a Lei dos Royalties do Petróleo (12.858/2013) que destina 75% dos royalties do petróleo para a educação e

submarinos, US\$ 125 bilhões em perfuração, US\$ 125 bilhões em plataformas e US\$ 100 bilhões em outros gastos. O estudo está disponível em <http://fatos.edados.blogspetrobras.com.br/category/respostas-a-imprensa/page/20>.

²⁵ Dados disponíveis em www.petrobras.com.br/pt/nossasatividades/areas-de-atuacao/exploracao-e-producao

25% para a saúde. O texto ainda prevê que 50% do Fundo Social do Pré-Sal²⁶ também devem ir para as áreas da educação e saúde.

Na matriz de energia elétrica, destaca-se a dependência excessiva, e planejada, da fonte hidrelétrica. Apesar de a fonte ser renovável e eficiente, a dependência excessiva torna a geração de energia menos segura, já que a faz refém do regime pluviométrico.

Para aumentar a confiabilidade do sistema, foram construídas centrais térmicas para gerar energia complementar à geração hidrelétrica nos períodos de pluviometria muito desfavorável. Esta situação já submeteu, no ano de 2001, toda a sociedade brasileira ao racionamento, já abordado no capítulo anterior.

E o risco de um novo racionamento ressurgiu a cada época de estiagem em que baixam os níveis dos reservatórios e alternam-se na mídia reportagens exibindo o declínio das águas e as declarações de autoridades governamentais descartando as possibilidades de novo apagão e de imposição de medidas para racionalizar o uso de eletricidade.

Em 2014, o País assiste à maior crise hídrica na história do sistema Cantareira, que fornece água para 9 milhões de pessoas na Grande São Paulo e para as bacias dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí. Desde maio, o abastecimento em parte do estado de São Paulo passou a depender da reserva técnica ou volume morto - água que fica abaixo do nível de bombeamento. A situação crítica levou a Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (Sabesp) a solicitar à Agência Nacional de Águas (ANA) e ao Departamento de Águas e Energia Elétrica (Daee) autorização para ampliar a retirada de água da reserva técnica.

Oliveira (2012) tece crítica à metodologia de planejamento da expansão do sistema elétrico brasileiro. Para o autor, a metodologia atual “permanece fundada em critérios estabelecidos no início da segunda metade do século XX, quando o Brasil iniciava seu processo de industrialização e urbanização”.

Entretanto, o estudioso reconhece o mérito do último Plano Decenal de Energia, o PDE 2011-2020, ter sido elaborado tendo como diretriz a priorização das fontes renováveis de energia em seu programa de expansão. Mas ressalva:

²⁶ Criado em 2010, o Fundo Social é um fundo soberano, destinado a receber a parcela dos recursos do pré-sal que cabem ao governo federal, como royalties e participações especiais. Por lei, o fundo deveria ser uma poupança do governo para quando o dinheiro do petróleo diminuir, que ajudaria a financiar o desenvolvimento do país e serviria ainda para reduzir os efeitos de uma possível "enxurrada" de dólares no país por conta da exportação do petróleo do pré-sal. (www.g1.globo.com)

Para garantir a confiabilidade do suprimento do sistema elétrico, o plano propõe que a instalação de hidrelétricas na Amazônia – onde a construção de grandes reservatórios é ambientalmente inaceitável – seja acelerada. (OLIVEIRA, 2012, p.83)

O autor lembra ainda a existência de estudos climáticos sugerindo alterações significativas na pluviometria da Amazônia, com períodos de estiagem longos e profundos, evidenciando, portanto, os riscos significativos embutidos na proposta do PDE para a expansão do sistema elétrico.

Oliveira defende a valorização do potencial eólico principalmente nas regiões Nordeste e Sul e lembra sugestão da Associação Brasileira de Energia Eólica (Abeeólica) de incorporação de pelo menos 2 GW de capacidade eólica anuais até o final da década, para dar sustentação ao desenvolvimento da capacitação tecnológica e industrial brasileiras. “A adoção dessa meta no plano de expansão setorial levaria o parque instalado eólico dos atuais 5,1 GW para aproximadamente 23 GW, o dobro da capacidade instalada eólica proposta no PDE”.

A expansão eólica e conseqüente complementaridade entre a sazonalidades eólica e hidrelétrica traria, segundo o autor, duas vantagens essenciais. Reduziria a necessidade de geração termelétrica para garantir a confiabilidade do sistema elétrico e postergaria a contratação de novas hidrelétricas na Amazônia, poupando o território de ocupação descontrolada e desmatamento desmedido. Além disso, potencializaria as condições privilegiadas do Brasil para construir uma economia de baixo carbono.

Na prática, o tema energia eólica tem se tornado imperativo no Brasil diante das frequentes anomalias da hidrologia. Em agosto, na cerimônia de abertura do Brasil Windpower 2014 – evento do setor de energia eólica – no Rio de Janeiro, o presidente da Empresa de Pesquisa Energética (EPE), Maurício Tolmasquim, confirmou a importância da diversificação da matriz energética, de torná-la menos dependente da hidreletricidade. Segundo ele, em dez anos, a projeção é que a energia eólica, que atualmente responde por 2% do total da capacidade instalada no Brasil, chegue a 11%.²⁷

Diversificar matrizes energéticas tem sido medida contingencial para diversos países nas últimas décadas diante da escassez de alguns recursos naturais, de

²⁷ http://www.em.com.br/app/noticia/economia/2014/08/26/internas_economia,562623/tolmasquim-diz-que-reservatorios-estao-acima-do-nivel-de-2001.shtml. Acesso em agosto de 2014

crises políticas e financeiras envolvendo os grandes produtores mundiais de petróleo e até de riscos oferecidos para a saúde pública por algumas fontes de energia.

A fonte nuclear, por exemplo, voltou a ser alvo de críticas rigorosas após o acidente na usina japonesa de Fukushima, em 2011²⁸. O exemplo mais contundente no cenário internacional partiu da Alemanha, onde a fonte nuclear era responsável por 17,7% da matriz energética do país naquele ano. O governo alemão anunciou que o programa nuclear do país seria completamente desativado até 2022. Ao anunciar a decisão, a chanceler Angela Merkel ressaltou a capacidade do país de promover transformações eficientes rumo às energias renováveis “com as oportunidades de desenvolver novas tecnologias e novos empregos”.

A História reserva também o exemplo da Dinamarca, outro país que consolidou sua economia via energia não renovável (petróleo e carvão), mas que fez da crise do petróleo nos anos 1970 a oportunidade de aperfeiçoar suas experiências no campo eólico. A nação é pioneira neste segmento, conforme demonstrado no capítulo anterior.

Apesar de ter fontes consideráveis de petróleo e gás natural no Mar do Norte e chegar a produzir mais de 200 mil barris por dia, a Dinamarca concentrou investimentos em energias renováveis (cerca de 6,5 bilhões de euros), e integrou a fonte eólica à rede elétrica nacional²⁹.

Em dezembro de 2013 o país atingiu um feito histórico. A energia eólica garantiu cerca de 55% de toda a eletricidade consumida no país. Foi a primeira vez que um país recebeu mais da metade de sua energia a partir de fonte eólica em um mês inteiro, segundo o Energinet.dk, principal operador de rede da Dinamarca.

Exemplos como o da Alemanha e da Dinamarca foram abordados neste estudo a título de demonstração da possibilidade real de diversificação da matriz energética rumo à energia limpa, eficiente e segura, sem comprometimento do crescimento econômico e do desenvolvimento de uma nação.

²⁸ Em 11 de março de 2011, as instalações da central nuclear de Fukushima Daiichi foram arrasadas por uma onda de quase 15 metros de altura, após um terremoto de 9 graus na Escala Richter atingir o Japão e desencadear um tsunami em todo o litoral. Houve perda total dos quatro reatores que tiveram seus núcleos derretidos e houve liberação de radioatividade. As populações próximas tiveram de ser removidas em caráter emergencial, com o país devastado pelo tremor. No fim de 2011, as restrições de acesso às cinco áreas evacuadas num raio entre 10 quilômetros e 20 quilômetros foram canceladas, com a população autorizada a voltar a suas casas. (www.eletronuclear.gov.br)

²⁹ Dados disponíveis em [DenmarkinveststhemostincleanenergyperGDP – Youolivebranch.org](http://DenmarkinveststhemostincleanenergyperGDP-Youolivebranch.org)

2.2 - O Setor Elétrico Brasileiro

Antes de expor a atual arquitetura hierárquica do setor elétrico brasileiro, cabe um breve histórico das mudanças recentes aplicadas ao segmento como um todo.

2.2.1 - A reestruturação

Na década de 1970, o setor elétrico enfrentou uma séria crise econômica motivada por dois fatores básicos: endividamento externo e o esgotamento do financiamento estatal para a expansão do segmento. Este cenário forçou o governo a promover uma reestruturação.

Um longo processo iniciou-se, então, com privatizações de empresas distribuidoras e, já na década de 1990, prosseguiu com a criação de novos organismos como a Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel) e o Operador Nacional de Sistema (ONS).

Chegou-se, então, ao denominado Novo Modelo do Setor Elétrico Brasileiro, que parte, hierarquicamente, do Ministério das Minas e Energia (MME), passando por órgãos como a Aneel, o ONS, a Eletrobras (Sociedade de Economia Mista) e a Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE)³⁰.

As mudanças, por óbvio, foram além da mera troca de siglas. Com a criação da Aneel, em 1996, envolvendo a privatização das companhias operadoras, determinou-se que a exploração hidráulica do potencial brasileiro se desse através de concorrência ou leilão, em que o maior valor oferecido determinaria o vencedor.

Em 2004, veio a segunda grande alteração. Foi criada a Empresa de Pesquisa Energética (EPE) – através da Lei 10.847 – para desenvolver os estudos necessários para a expansão do setor elétrico. A Lei 10.848 e o Decreto nº 5.163 também integram o arcabouço que introduziu o novo modelo do setor, com as seguintes metas principais:

³⁰ A Aneel sucedeu o Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica (DNAEE), o ONS substituiu o Grupo de Controle de Operações Integradas (GCOI, subordinado à Eletrobras). A CCEE substituiu o Mercado Atacadista de Energia Elétrica (MAE).

- a) garantir a segurança no suprimento de energia;
- b) promover a modicidade tarifária, ou seja, assegurar que mesmo garantindo a remuneração dos agentes envolvidos na cadeia produtiva, os preços sejam sempre justos e acessíveis ao consumidor;
- c) promover a inserção social, com o Programa Luz para Todos;

Outra grande novidade do novo modelo do setor elétrico foi a instituição de dois ambientes para a celebração de contratos de compra e venda de energia elétrica, o Ambiente de Contratação Regulada (ACR) e o Ambiente de Contratação Livre (ACL). Os detalhes:

- a) Ambiente de Contratação Regulada (ACR): exclusivo para empresas geradoras e distribuidoras.
- b) Ambiente de Contratação Livre (ACL): empresas geradoras e comercializadoras, além de importadores, exportadores e consumidores livres. Vendedores e compradores negociam entre si as cláusulas do contrato (preço, prazo e condições de entrega). A parte que compra a energia é dada por consumidores cuja demanda seja maior que 500 kW, sendo destinada a uso próprio. (CCEE, 2013)

Com o objetivo de alcançar a modicidade tarifária, foram instituídos no modelo atual os leilões - que funcionam como instrumento de compra de energia elétrica pelas distribuidoras no ambiente regulado. Os leilões são realizados pela CCEE, por delegação da Aneel, e utilizam o critério de menor tarifa, visando a redução do custo de aquisição da energia elétrica a ser repassada aos consumidores cativos. (CCEE, 2013)

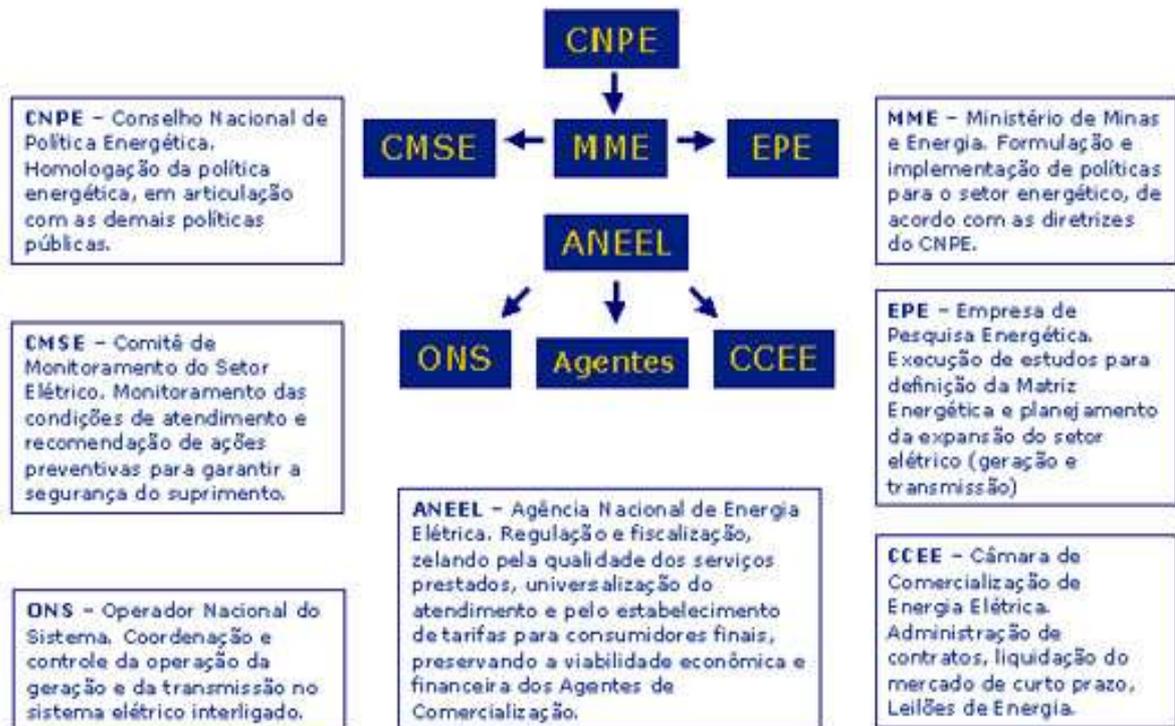
Na prática, o sistema funciona assim: os agentes do setor recebem a concessão para atuar nas áreas de geração, transmissão e distribuição, como também podem atuar como autoprodutores, produtores independentes, comercializadores ou consumidores livres. A tabela 5 esquematiza as mudanças ocorridas. Em seguida, a figura 22 apresenta o modelo do setor elétrico brasileiro, com suas devidas ramificações.

TABELA 5: As mudanças no setor elétrico

MODELO ANTIGO ATÉ 1995	MODELO LIVRE MERCADO 1995 A 2003	NOVO MODELO 2004
Financiamento através de recursos públicos	Financiamento através de recursos públicos e privados	Financiamento através de recursos públicos e privados
Empresas verticalizadas	Empresas divididas por atividade: G, T, D e C.	Empresas divididas por atividade: G, T, D, C, importação e exportação
Empresas predominantemente estatais	Abertura e ênfase na privatização das empresas	Convivência entre empresas estatais e privadas
Monopólios	Competição na geração e comercialização	Competição na geração e comercialização
Consumidores cativos	Consumidores livres e cativos	Consumidores livres e cativos
Tarifas reguladas em todos os segmentos	Preços livremente negociados na geração e comercialização	No ambiente livre: Preços livremente negociados na geração e comercialização. No ambiente regulado: leilão e licitação pela menor tarifa
Mercado regulado	Mercado livre	Convivência entre mercados livre e regulado
Planejamento determinativo: grupo coordenador do planejamento dos sistemas elétricos - GCPS	Planejamento indicativo pelo Conselho Nacional de Política Energética – CNPE	Planejamento pela Empresa de Pesquisa Energética – EPE
Contratação: 100% do mercado	Contratação: 85% do mercado (até agosto/2003) e 95% do mercado (até dezembro/2004)	Contratação: 100% do mercado + reserva
Sobras/déficits do balanço energético rateados entre compradores	Sobras/déficits do balanço energético liquidados no MAE	Sobra/déficits do balanço energético liquidados na CCEE, Mecanismos de Compensação de Sobras e Déficit (MCSD) para as distribuidoras.

Fonte: CCEE

Figura 22: Organograma do setor elétrico brasileiro

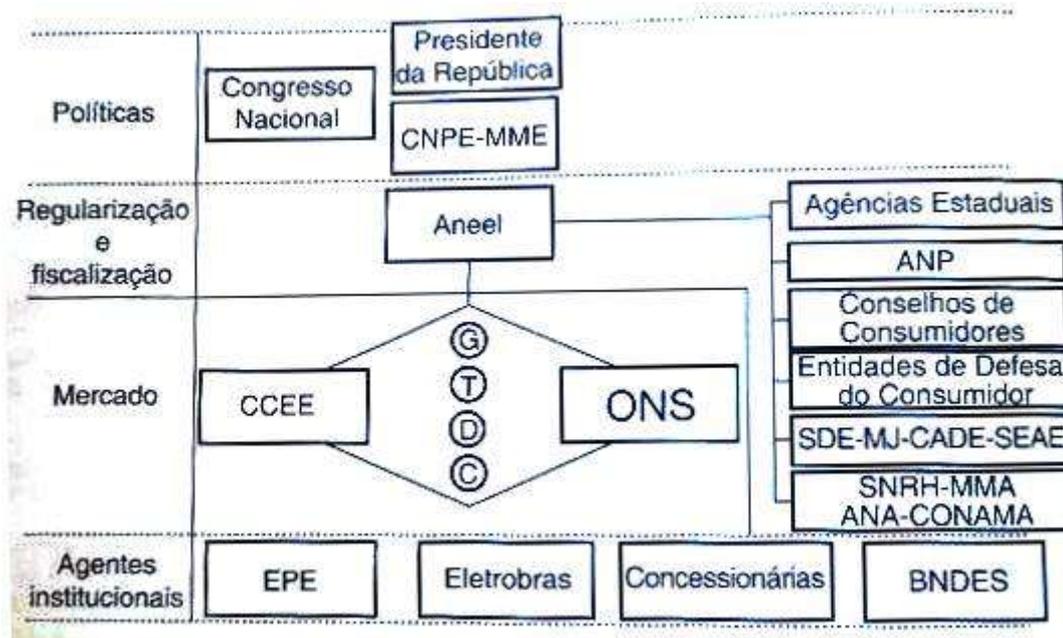


Fonte: Aneel

Na estrutura do setor elétrico brasileiro, quem controla boa parte dos sistemas de geração e transmissão é a Eletrobras, através de seis subsidiárias, quais sejam: Chesf, Furnas, Eletrosul, Eletronorte, Companhia de Geração Térmica de Energia Elétrica (CGTEE) e Eletronuclear.

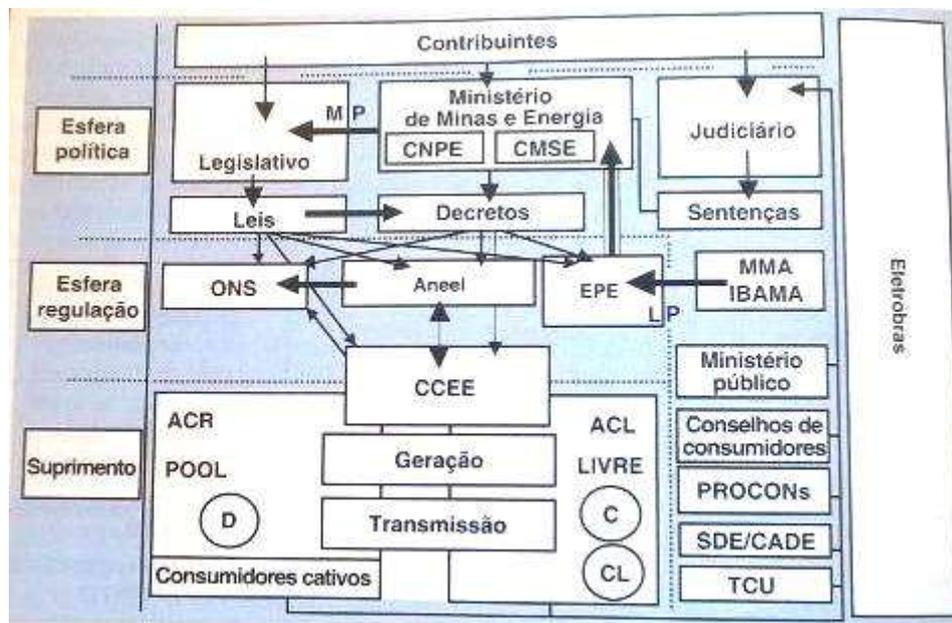
Abaixo, a figura 23 mostra toda a estrutura do sistema elétrico brasileiro com os quatro agentes de mercado envolvidos: Geradores (G), Transmissores (T), Distribuidores (D) e Comercializadores (C). A figura 24, por sua vez, retrata em mais detalhes toda a estrutura do sistema elétrico brasileiro, indicando as devidas interações.

Figura 23: Estrutura do sistema elétrico brasileiro



Fonte: Aneel

Figura 24: Estrutura e interações no sistema elétrico brasileiro



Fonte: MME – ABCE

2.2.2 - Sistema Interligado Nacional - SIN

A estratégia de interligação do sistema elétrico brasileiro obedece ao critério da sazonalidade dos rios, possibilitando permutar os excedentes de energia elétrica

durante o período de cheias em cada região. É no âmbito do ONS que essa interligação é controlada, através do Sistema Interligado Nacional (SIN). Eis a definição institucional

Com tamanho e características que permitem considerá-lo único em âmbito mundial, o sistema de produção e transmissão de energia elétrica do Brasil é um sistema hidrotérmico de grande porte, com forte predominância de usinas hidrelétricas e com múltiplos proprietários. O Sistema Interligado Nacional é formado pelas empresas das regiões Sul, Sudeste, Centro-Oeste, Nordeste e parte da região Norte. Apenas 1,7% da energia requerida pelo país encontra-se fora do SIN, em pequenos sistemas isolados localizados principalmente na região amazônica. (ONS, 2013)

Geopoliticamente, o SIN é dividido em quatro subsistemas (Sul, Sudeste, Nordeste e Norte) que, mesmo interligados, possuem características próprias de operação e planejamento. Abaixo, a divisão

- a) Subsistema Sudeste/Centro Oeste - abrange as regiões Sudeste e Centro-Oeste do país, com a exceção do estado do Mato Grosso do Sul
- b) Subsistema Sul - abrange a região Sul do país, além do estado do Mato Grosso do Sul;
- c) Subsistema Nordeste- abrange a região Nordeste do país, com a exceção do estado do Maranhão;
- d) Subsistema Norte - abrange parte dos estados do Pará, Tocantins, Maranhão, Rondônia e Acre;
- e) Sistemas isolados da Amazônia.

A título de exemplo, a usina de Itaipu atende aos subsistemas Sudeste/Centro-Oeste e Sul, enquanto a usina de Tucuruí atende ao subsistema Norte, com destaque em especial para os estados do Pará, Tocantins e Maranhão

O Subsistema Nordeste é atendido principalmente pelas usinas do Complexo Hidrelétrico de Paulo Afonso, além das usinas de Xingó, Luiz Gonzaga e Sobradinho.

Pinto (2013) explica que o SIN é dimensionado de acordo com um esquema de segurança denominado N-1, que se baseia no funcionamento do sistema, mesmo com a eventual falta de um elemento.

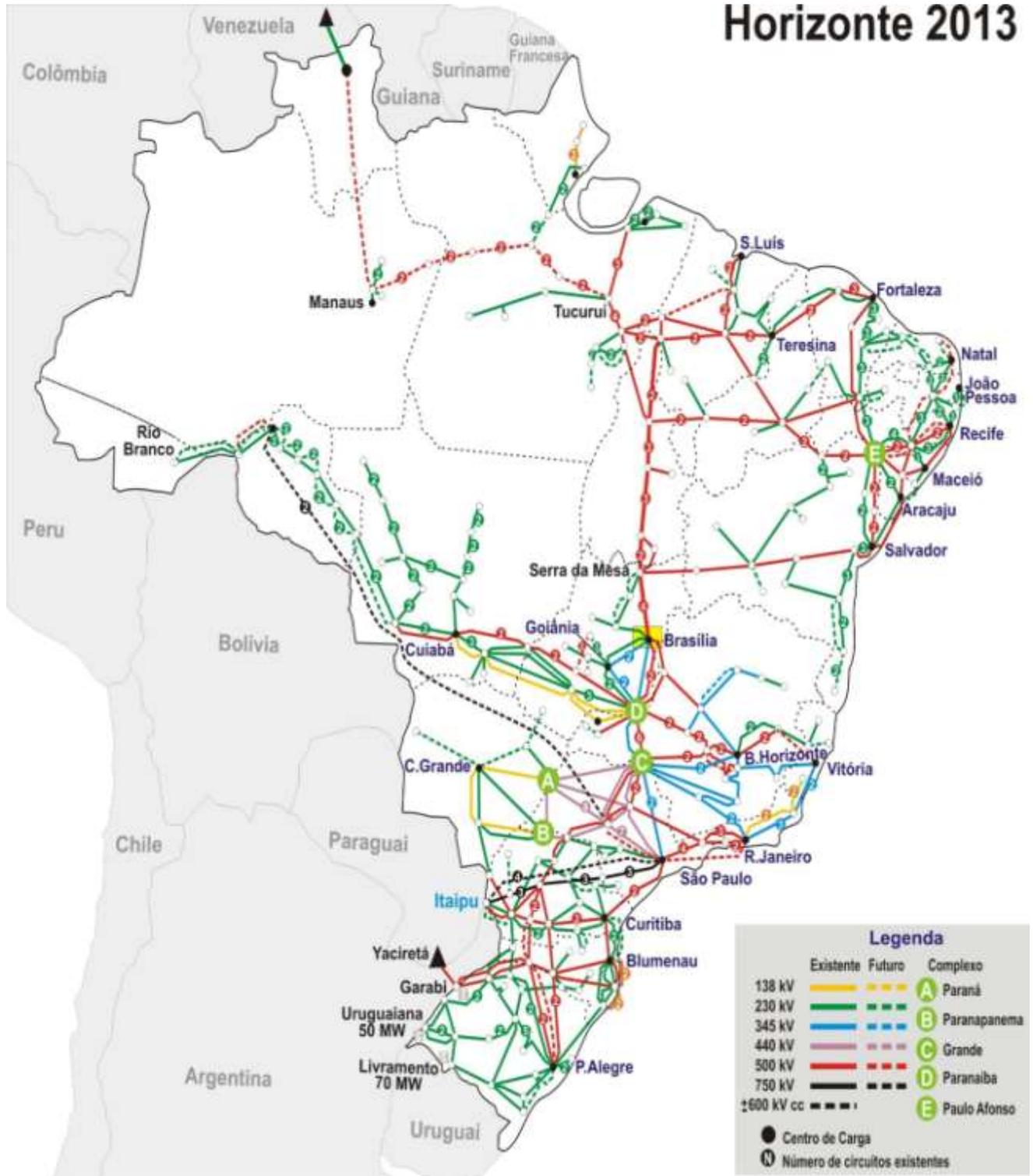
Isso quer dizer, explica o autor, que mesmo que aconteça uma contingência simples (perda de um elemento), o sistema deve ter condições de continuar sua operação sem que ~p SIN



Fonte: www.aguarani.com.br

Figura 26: Mapa do SIN

Horizonte 2013



Fonte: ONS

Como o SIN é predominantemente hidrelétrico, tem cerca de 65% de sua capacidade de armazenamento localizada no chamado Quadrilátero dos Reservatórios, compreendendo parte dos estados de Minas Gerais, Goiás e São Paulo, ao longo de uma das áreas onde se concentram as bacias de quatro grandes

rios: São Francisco, Grande, Tocantins e Paranaíba. O SIN é, portanto, essencialmente dependente das chuvas. Onde, quando e quanto chove são questões primordiais para o sistema.

2.2.3 - Sistemas Isolados

Há ainda os sistemas que não estão conectados ao SIN, os chamados sistemas isolados. Estes são compreendidos pelos estados do Amazonas, Amapá, Roraima³¹, parte do Pará (exceto Belém), Mato Grosso e a Ilha de Fernando de Noronha³².

Estes são abastecidos por usinas térmicas movidas a diesel e óleo combustível e em menor escala por PCHs, CGHs³³ e termelétricas movidas a biomassa. Por conta das características predominantemente térmicas, esses sistemas possuem custos de geração maiores, além de terem dificuldades na administração do abastecimento, o que provoca o frete dos combustíveis.

Esse maior custo levou o governo brasileiro a adotar a Conta de Consumo de Combustíveis (CCC), que é um encargo do setor elétrico nacional cobrado nas tarifas de distribuição e de uso do sistema de transmissão e distribuição (TUST e TUSD).

A CCC foi criada em 1991 e chegou a ser alvo de polêmica nacional. Ocorre que essa conta é paga por todos os consumidores do país, e alguns consumidores, fora dos sistemas isolados, argumentam que não deveriam pagar tal tributo, pois trata-se da “conta dos outros”.

O argumento do governo, no entanto, é o de que os habitantes dos sistemas isolados não têm acesso à energia convencional hidrelétrica do SIN, que é cerca de três a quatro vezes mais barata que as das termelétricas da Região Norte.

A decisão de que os custos dos combustíveis para geração térmica nos sistemas isolados seriam divididos por todos os concessionários de distribuição (e

³¹ A capital de Roraima, Boa Vista e seus arredores são abastecidos pela Venezuela. (Aneel, 2013)

³² Os mais recentes interligados ao SIN são a comunidade de Batavo, em Balsas, no Maranhão e a Ilha de Camamu, na Bahia, em 2008 e os estados do Acre e Rondônia, em 2009. Estes últimos são dispostos juridicamente pela Medida Provisória nº 466 de 20/07/2009. (Aneel, 2013)

³³ As Centrais Geradoras Hidrelétricas (CGHs) são usinas com potência instalada de até 1.000 kW (1 MW). São, portanto, menores do que as PCHs, que são assim classificadas por possuir potência instalada superior a 1 MW e igual ou inferior a 30 MW e com reservatório com área igual ou inferior a 3 km². (Aneel, 2013)

tal encargo repassado para os consumidores) foi tomada em 1991 pela Portaria nº 179 do Ministério da Infraestrutura.

Os recursos da CCC são administrados pela Eletrobras, e os valores das cotas anuais de consumo de combustíveis (recolhido mensalmente nas contas de luz pelas distribuidoras de energia elétrica) são fixados pela Aneel. (PINTO, 2013).

2.2.4 - Concessões, Permissões e Autorizações

Após conhecer a conformação hierárquica do sistema elétrico brasileiro, cabe alargar o foco e contemplar algumas normas que regem o funcionamento da arquitetura exposta acima.

A Constituição Federal prevê que o desenvolvimento, uso e venda de energia elétrica podem ser efetuados diretamente pelo governo federal, ou indiretamente, por meio de outorga de concessões, permissões ou autorizações. Historicamente, dominam o setor brasileiro as concessionárias de geração, transmissão e distribuição controladas pelos governos federais ou estaduais. (CPFL ENERGIA, 2013).

As empresas ou consórcios que pretenderem construir ou operar instalações de geração, transmissão ou distribuição de energia elétrica no Brasil deverão solicitar a outorga de concessão, permissão ou autorização, conforme o caso, ao MME ou à Aneel, na posição de representantes do governo federal.

As concessões conferem direitos para gerar, transmitir ou distribuir energia elétrica na respectiva área de concessão durante um período determinado (ao contrário de permissões ou autorizações, que podem ser revogadas a qualquer tempo a critério do MME, em consulta com a Aneel).

O período tem geralmente a duração de 35 anos para novas concessões de geração e de 30 anos para novas concessões de transmissão ou distribuição. Uma concessão existente pode ser renovada a critério do poder concedente. (CPFL Energia e ANEEL, 2013).

O instituto das permissões possui uso restrito. É concedido a cooperativas rurais de geração de energia, que fornecem energia aos seus membros e ocasionalmente a consumidores que não fazem parte da cooperativa, em áreas normalmente não atendidas por grandes distribuidoras.

Já as autorizações não requerem processo de licitação pública. Como exceção à regra geral, autorizações podem também ser outorgadas a produtores de energia potenciais após processos de licitação para a compra de energia conduzidos pela Aneel.

Os produtores de energia independentes ou autogeradores³⁴ detêm uma autorização, e não uma concessão, nos moldes convencionais. Isto porque eles não recebem concessões de serviço público ou permissões para a prestação de serviço público. A eles são concedidas autorizações ou concessões específicas para explorar os recursos que lhes permitem produzir, usar ou vender energia elétrica. Cada autorização concedida a um produtor de energia independente ou um autogerador de energia estabelece os direitos e deveres da empresa autorizada.

Nesse caso, a empresa autorizada, tem direito de pedir à Aneel que realize desapropriações em seu benefício, sujeita-se à fiscalização das autoridades reguladoras da Aneel e à aprovação prévia da Aneel em caso de alteração de controle. A Aneel tem o dever de indenizar a empresa autorizada caso rompa unilateralmente o contrato.

2.3 - Marco Regulatório da Energia Eólica no Brasil

O objetivo neste subitem é esmiuçar o marco normativo do setor eólico no arcabouço legal brasileiro partindo, naturalmente, da Constituição Federal e seus princípios aplicáveis às energias renováveis visto que a nossa Carta Magna não trata literal e especificamente da fonte eólica.

Infraconstitucionalmente, em seguida, serão lembrados os primeiros diplomas legais que se aplicam à geração eólica, prosseguindo em uma cronologia do conjunto de normas do setor.

³⁴ A Lei 10.848, de 15 de março de 2004, que autoriza a comercialização de energia elétrica Produtores Independentes de Energia e Autoprodutores da seguinte forma: os primeiros são pessoa jurídica ou empresas reunidas em consórcio que recebem concessão ou autorização do Poder Concedente, para produzir energia elétrica destinada ao comércio de toda ou parte da energia produzida, por sua conta e risco. Os Autoprodutores são pessoa física ou jurídica ou ainda empresas reunidas em consórcio que recebam concessão ou autorização para produzir energia elétrica destinada ao seu uso exclusivo, podendo, eventualmente, com autorização da Aneel, comercializar o excedente da energia gerada. Aos Produtores Independentes e autogeradores não são concedidos os direitos de monopólio e não estão sujeitos a controles de preços, com exceção de casos específicos. (Energybras e CPFL Energia, 2013)

Finalmente, o foco será a Resolução 482/2012 que define as regras do sistema de compensação de energia elétrica e regulamenta o acesso da microgeração e da minigeração canalizadas para os sistemas de distribuição.

2.3.1 - O marco constitucional

Como já mencionado, a Constituição Federal de 1988 não contempla em termos literais o desenvolvimento sustentável, tampouco a geração eólica. No entanto, a Carta Magna se destaca como eminentemente ambientalista, principalmente por ter sido a primeira, na história do país, a tratar deliberadamente da questão ambiental.

Silva (2003) ressalta a superação histórica, já que as Constituições anteriores ignoraram o tema e apenas da Carta de 1946 foi possível extrair “orientação protecionista sobre a saúde e a competência da União para legislar sobre águas, florestas, caça e pesca, que possibilitavam a elaboração de leis protetoras como o Código Florestal e os Códigos da Saúde Pública, de Água e de Pesca”. O autor emenda

Pode-se dizer que é uma Constituição eminentemente ambientalista. Assumiu o tratamento da matéria em termos amplos e modernos. Traz um capítulo específico sobre meio ambiente, inserido no título da “Ordem Social” (Capítulo VI do Título VIII). Mas a questão permeia todo o seu texto, correlacionada com os temas fundamentais da ordem constitucional. (SILVA, IV, p. 46)

O constitucionalista realça o fato de que o meio ambiente tem expressão explícita na Carta, mostrando-se “ao pesquisador com mais clareza”. Nesta perspectiva, o destaque é, por óbvio, o artigo 225 reproduzido a seguir

Artigo 225 – Todos têm o direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações. (CF, 1988)

Silva lembra que há outros dispositivos em que os valores ambientais “se apresentam sob o véu de outros objetos da normatividade constitucional”. O que, observa o autor, demanda pesquisa atenta da Constituição.

Ao que parece, foi o que fizeram pesquisadores da Global Wind Energy Council (GWEC) que, no documento Análise do Marco Regulatório da Energia Eólica no Brasil (2011), não se prendem a nomenclaturas e apontam desdobramentos para a geração eólica em preceitos constitucionais de matéria energética, embora haja menção apenas aos “potenciais de energia hidráulica”, como no artigo 20, inciso VIII: “VIII – os potenciais de energia hidráulica;” (CF, 1988)

O documento reconhece que não existem muitas referências constitucionais explícitas a outros recursos energéticos no país, entretanto, a Carta Magna proclama um regime comum de competências em matéria de proteção ambiental que alcança projetos de geração eólica, e que se estende também à alçada legislativa. Por exemplo, o artigo 23. Vejamos

Artigo 23 – É competência comum da União, dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios:

VI – proteger o meio ambiente e combater a poluição em qualquer uma de suas formas;

XI – registrar, acompanhar e fiscalizar as concessões de direitos de pesquisa e exploração de recursos hídricos e minerais em seus territórios;

Nesta esteira, o artigo 24 dispõe que compete à União, aos Estados e ao Distrito Federal legislar concorrentemente sobre:

VI – florestas, caça, pesca, fauna, conservação da natureza, defesa dos recursos naturais, proteção do meio ambiente e controle da poluição.

§ 1º - No âmbito da legislação concorrente, a competência da União limitar-se-á a estabelecer normas gerais.

§ 2º - A competência da União para legislar sobre normas gerais não exclui a competência suplementar dos Estados.

§ 3º - Inexistindo lei federal sobre normas gerais, os Estados exercerão a competência legislativa plena, para atender a suas peculiaridades.

§ 4º - A superveniência de lei federal sobre normas gerais suspende a eficácia da lei estadual, no que lhe for contrário.

Deliberadamente, esta dissertação foge à ordem sequencial dos artigos constitucionais e apresenta neste estágio os artigos 20, 21 e 22, justamente para ressaltar o caráter diferencial imposto por este trio normativo ao privilegiar (embora sem exclusividade) a União como detentora (artigo 20), administradora (artigo 21) e regulamentadora (artigo 22) dos potenciais energéticos da Nação.

Então vejamos: “Artigo 20 – São bens da União: VIII – os potenciais de energia hidráulica;

Embora privilegie a União, este preceito legal estabelece a co-participação das instituições da União e dos entes federativos nos resultados da exploração destes recursos. In verbis

§ 1º É assegurada, nos termos da lei, aos Estados, ao Distrito Federal e aos Municípios, bem como a órgãos da administração direta da União, participação no resultado da exploração de petróleo ou gás natural, de recursos hídricos para fins de geração de energia elétrica e de outros recursos minerais no respectivo território, plataforma continental, mar territorial ou zona econômica exclusiva, ou compensação financeira por essa exploração.

Artigo 21 – Compete à União:

XII – explorar, diretamente ou mediante autorização, concessão ou permissão:

b) os serviços e instalações de energia elétrica e o aproveitamento energético dos cursos de água, em articulação com os Estados onde se situam os potenciais hidroenergéticos;

Artigo 22 – Compete privativamente à União legislar sobre:

IV – águas, energia, informática, telecomunicações e radiodifusão;

Parágrafo único. Lei complementar poderá autorizar os Estados a legislar sobre questões específicas das matérias relacionadas neste artigo.

Diante dos dispositivos acima expostos, é perceptível que a Constituição contempla apenas a fonte hídrica em suas linhas, atribuindo à União a competência para legislar sobre a matéria, mas de forma interpretativa pode-se notar cinco princípios constitucionais consagrados no texto e estes se aplicam ao desenvolvimento da fonte eólica na matriz energética do Brasil. São eles

- a) princípio do ambiente ecologicamente equilibrado
- b) princípio do desenvolvimento sustentável
- c) princípio da prevenção
- d) princípio da participação e cooperação
- e) princípio do poluidor-pagador

Dado o caráter científico deste estudo, antes de nos atermos a cada um destes princípios para uma percepção mais apurada da abrangência, ainda que indireta, da energia eólica na Constituição brasileira, convém abordar o que significa princípio no âmbito do Direito. Ainda que sucinta, esta abordagem é de grande valia,

pois visa a facilitar a identificação de algo contemplado, embora de modo não literal, em um ordenamento jurídico.

Cretella Junior (1989) apega-se à raiz latina para definir a palavra princípio como “aquilo que se torna primeiro, designando início, começo, ponto de partida”. Princípios de uma ciência, segundo o autor, “são as proposições básicas fundamentais, típicas, que condicionam todas as estruturas subsequentes”.

Na definição do jurista Celso Antônio Bandeira de Mello (2011), o termo princípio aparece como

... mandamento nuclear de um sistema, verdadeiro alicerce dele, disposição fundamental que se irradia sobre diferentes normas compondo-lhes o espírito e servindo de critério para sua exata compreensão e inteligência exatamente por definir a lógica e a racionalidade do sistema normativo, no que lhe confere a tônica e lhe dá sentido harmônico. É o conhecimento dos princípios que preside a inteligência das diferentes partes componentes do todo unitário que há por nome sistema jurídico positivo”. (MELLO, 2011, p. 996 e 997)

O princípio jurídico embute uma grande generalidade e, por conta disso, na lição de Carraza (1998), “é um enunciado lógico implícito ou explícito que ocupa posição de preeminência nos vastos quadrantes da ciência jurídica e por isso mesmo vincula de modo inexorável o entendimento e a aplicação das normas jurídicas que com ele se conectam”.

Para Canotilho (1999), os princípios desempenham um papel mediato, ao servirem como critério de interpretação e de integração do sistema jurídico, e um papel imediato ao serem aplicados diretamente a uma relação jurídica. O autor elenca três funções principais dos princípios, quais sejam:

- a) impedir o surgimento de regras que lhes sejam contrárias;
- b) compatibilizar a interpretação das regras;
- c) dirimir diretamente o caso concreto frente à ausência de outras regras;

Vimos, portanto, que no universo jurídico os princípios funcionam como vetores que orientam o intérprete em sua atividade hermenêutica ou, em outras palavras, orientam o pesquisador em sua atividade de descoberta, ainda que esta requeira aplicação extensiva ou comparativa de fenômenos distintos para atingir postulados conclusivos.

Isto posto, abordemos então, os princípios concernentes à energia eólica na Constituição brasileira.

2.3.1.1 - Princípio do ambiente ecologicamente equilibrado

Este princípio fundamenta-se no reconhecimento do direito a um meio ambiente sadio que, por sua vez, configura-se como extensão do direito à vida e compõe o quadro de direitos fundamentais incorporados nos textos constitucionais de vários Estados Democráticos de Direito.

Reale Junior (2005) o vê como “valor que, como os da pessoa humana e da democracia, se universalizou como expressão da própria experiência social e como tamanha força, que já atua como se fosse inato, estável e definitivo, não sujeito à erosão do tempo”.

Foi reconhecido pela Conferência das Nações Unidas sobre o Ambiente Humano, de 1972, que no Princípio 1 estabeleceu: “O homem tem o direito fundamental à liberdade, à igualdade, e ao desfrute de adequadas condições de vida em um meio ambiente cuja qualidade lhe permita levar uma vida digna e gozar de bem-estar e tem a solene obrigação de proteger e melhorar esse meio para as gerações presentes e futuras”.

Foi ainda reafirmado pela Declaração do Rio sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, de 1992, também como Princípio 1: “Os seres humanos estão no centro das preocupações com o desenvolvimento sustentável. Têm direito a uma vida saudável e produtiva, em harmonia com a natureza”.

Mais adiante, em 1997, a Carta da Terra³⁵ o contemplou no Princípio 4: “Estabelecer justiça e defender sem discriminação o direito de todas as pessoas à vida, à liberdade e à segurança dentro de um ambiente adequado à saúde humana e ao bem-estar espiritual”.

Toda a trajetória nacional de consolidação, por óbvio, só foi possível por conta da configuração deste princípio no artigo 225 da Constituição Federal de 1998 (já reproduzido no item 2.2.1), que ascendeu o princípio do ambiente ecologicamente equilibrado ao posto de direito fundamental da pessoa humana.

³⁵ A Carta da Terra é resultado do evento conhecido como Forum Rio + 5, realizado no Rio de Janeiro em 1997, com o objetivo de avaliar o resultado da Política Ambiental nos cinco anos seguintes à Conferência sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, também conhecida como Eco 92.

O cenário exposto impõe conceber que a geração eólica espelha este princípio já que se trata de atividade energética de baixo impacto ambiental, cujos efeitos contemplam os fins previstos em toda a configuração, normativa ou não, que o rege.

2.3.1.2 - Princípio do desenvolvimento sustentável

O termo foi cunhado pela primeira vez em 1987 quando a Organização das Nações Unidas (ONU) criou a Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (WCDE, pela sigla em inglês). Presidida pela ex-ministra norueguesa GroHarlemBrundtland, a comissão coordenou debates mundiais sobre meio ambiente e produziu o relatório final intitulado Nosso Futuro Comum.

Este documento traz o termo desenvolvimento sustentável, apresentando-o como “aquele que atende às necessidades do presente sem comprometer a possibilidade de as gerações futuras atenderem a suas próprias necessidades”.

Dada a abrangência deste significado, o termo passou a integrar vários documentos sobre o meio ambiente e a ser contemplado, ainda que não literalmente, em vários textos legais ao redor do mundo.

Em 1992, integrou a Declaração do Rio como meta a ser buscada e respeitada por todos os países, com os seguintes dizeres

Para alcançar o desenvolvimento sustentável, a proteção ambiental constituirá parte integrante do processo de desenvolvimento e não pode ser considerada isoladamente deste. (DECLARAÇÃO DO RIO SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO, Princípio 4, 1992)

Como carrega um significado abrangente, o termo é presença constante nas agendas e debates atuais, associado a dimensões variadas como políticas, sociais, econômicas, científicas, tecnológicas, jurídicas, culturais, educacionais e ambientais.

A Constituição brasileira ao proclamar no artigo 225 “todos têm direito a um meio ambiente ecologicamente equilibrado”, incute não somente a ideia de preservação para contemplar os que estão já usufruindo dos recursos naturais, mas também a de conservar esses recursos para os que ainda nascerão e deles desfrutarão. Nessa determinação estão essencialmente presentes o conceito de

desenvolvimento sustentável e todas as implicações inerentes ao conceito, elevando-o ao status de princípio.

Neste sentido, podemos afirmar que a fonte eólica está representada no princípio do desenvolvimento sustentável, considerando tratar-se de energia limpa que não polui e tem como matéria-prima um recurso natural essencialmente renovável.

A fonte eólica adequa-se, assim, tanto ao setor público com políticas que visam a proteção ambiental quanto ao setor privado com investidores dispostos a fomentar ações preservacionistas, ambos impulsionados pela sociedade que a cada dia demanda mais fortemente que o crescimento econômico não destrua o meio ambiente.

2.3.1.2 - Princípio da Prevenção

Essencial no Direito Ambiental, este princípio aplica-se quando o perigo de dano é certo e quando se tem elementos seguros para afirmar que uma determinada atividade é efetivamente perigosa. O princípio ganha ainda mais importância quando se leva em conta o fato de que nem todo dano ambiental é passível de recomposição. Neste sentido, Milaré averba

Sua atenção está voltada para momento anterior à da consumação do dano – o do mero risco. Ou seja, diante da pouca valia da simples reparação, sempre incerta e, quando possível, excessivamente onerosa, a prevenção é a melhor, quando não a única, solução. (MILARÉ, 2012, III p. 1070)

Na prática, portanto, o objetivo é impedir a ocorrência de danos ao meio ambiente, através de medidas acautelatórias, antes da instalação de empreendimentos que guardem potencial agressão à natureza.

Encaixam-se nesse quesito empreendimentos energéticos de fontes renováveis, caso dos eólicos, que devem atenção aos instrumentos administrativos disponíveis para a implementação do princípio da prevenção, que são as licenças ambientais. Já no quadro normativo, os estudos ambientais representam o princípio da prevenção.

E estão assim previstos

Artigo 225 – Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações.

§ 1º - Para assegurar a efetividade desse direito, incumbe ao Poder Público:

IV – exigir, na forma da lei, para instalação de obra ou atividade potencialmente causadora de significativa degradação do meio ambiente, estudo prévio de impacto ambiental, a que se dará publicidade;

É bom ressaltar que a expressão “significativa degradação” pode ter diferentes interpretações. No geral, um parque eólico é visto como de baixo impacto ambiental. Mas essa imagem não livra empreendimentos eólicos da exigência do Estudo de Impacto Ambiental (EIA) nem do relatório posterior, o Relatório de Impacto Ambiental (Rima), instituídos pela Resolução 001/86 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama).

Isto porque qualquer ação econômica fruto de intervenção ao meio ambiente deve estar sujeita a um licenciamento ambiental, seguindo determinação da Política Ambiental Brasileira.

Pelo exposto, resta clara a interlocução entre o princípio da prevenção e a energia eólica, ambas as características - acauteladora, do primeiro, e renovável da segunda -, prezam pelo equilíbrio ambiental e pela qualidade de vida.

2.3.1.3 - Princípio da Participação e Cooperação

O Princípio da Participação e Cooperação configura-se, no âmbito nacional, no caput artigo 225 da Constituição Federal, quando este determina ser dever tanto do Poder Público como da coletividade a defesa e preservação do meio ambiente.

A previsão legal consubstancia a ideia de que a resolução de problemas ambientais requer fundamentalmente a cooperação entre o Estado – via seus diversos entes em âmbitos federal, estadual e municipal - e a sociedade, através da participação de diferentes grupos.

A Declaração do Rio também espelha esta ideia:

Princípio 10 - A melhor maneira de tratar as questões ambientais é assegurar a participação, no nível apropriado, de todos os cidadãos interessados. No nível nacional, cada indivíduo terá acesso adequado às informações relativas ao meio ambiente de que disponham as autoridades públicas, inclusive informações acerca de materiais e atividades perigosas em suas comunidades, bem como a oportunidade de participar dos processos decisórios. Os Estados irão facilitar e estimular a conscientização

e a participação popular, colocando as informações à disposição de todos. Será proporcionado o acesso efetivo a mecanismos judiciais e administrativos, inclusive no que se refere à compensação e reparação de danos. (DECLARAÇÃO DO RIO, 1992)

À luz do exposto, conclui-se que este princípio encontra ressonância na geração eólica ao considerarmos o caráter preservacionista desta e os caminhos demandados para o seu desenvolvimento, que envolvem ações governamentais nas esferas federal, estadual e municipal – desde as burocráticas, como licenciamentos até políticas de incentivos a proponentes privados do setor. Está configurada, portanto, a cooperação e participação Estado-sociedade para a viabilização da geração eólica.

2.3.1.4 - Princípio do Poluidor-pagador

Este princípio está contemplado no parágrafo 3º do artigo 225 da Constituição Federal, que determina

§ 3º - As condutas e atividades lesivas ao meio ambiente sujeitarão os infratores, pessoas físicas ou jurídicas, a sanções penais e administrativas, independentemente da obrigação de reparar os danos causados.

Machado (2001) lembra que o princípio do poluidor-pagador foi introduzido pela Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) em 26 de maio de 1972 por meio da Recomendação C(72) 128 do Conselho Diretor, que trata da relação entre as políticas ambiental e econômica.

O princípio está previsto também na segunda parte do inciso VII do art. 4º da Lei nº 6.938/81 ao determinar que a Política Nacional do Meio Ambiente visará à imposição ao usuário de contribuição pela utilização de recursos ambientais com fins econômicos.

A conexão entre o princípio do poluidor-pagador e a geração eólica é indireta. Para melhor compreensão deste aspecto, tomemos a visão geral de que a poluição dos recursos ambientais – especialmente aqueles mais abundantes na natureza como água, solo e o ar é normalmente custeada pelo Estado.

Isto representa, para muitos, um subsídio à atividade poluidora, pois força o Poder público a bancar os gastos para sanar ou amenizar os efeitos da poluição. O

que, na prática, configura-se em duplo prejuízo para a coletividade que, além de ter de arcar com os efeitos da poluição, vê o dinheiro público investido em algo cujo lucro não foi socializado.

Neste sentido, Antunes (2005) esclarece

O objetivo do princípio do poluidor-pagador é evitar que ocorra a simples privatização dos lucros e a socialização dos prejuízos dentro de uma determinada atividade econômica. (ANTUNES, 2005, p. 38)

Pragmaticamente, portanto, a implementação deste princípio estimula a introdução e desenvolvimento de tecnologias energéticas menos poluentes na matriz brasileira. Daí a conexão com a geração eólica.

2.3.2 - Os diplomas legais

Assim como a Constituição Federal não traz a fonte eólica em suas linhas, os primeiros diplomas legais do setor elétrico brasileiro que se aplicam a esta fonte também não a contemplaram especificamente ou sequer fixaram qualquer restrição a ela.

Pereira (2012) rememora que estes estão contidos na Lei nº 9.074/1995, que criou as figuras do Produtor Independente de Energia e do Consumidor Livre, e no Decreto nº 2.003/1996, que regulamentou a Lei. Eis o artigo específico

Artigo 11- Considera-se produtor independente de energia elétrica a pessoa jurídica ou empresas reunidas em consórcio que recebam concessão ou autorização do poder concedente, para produzir energia elétrica destinada ao comércio de toda ou parte da energia produzida, por sua conta e risco.

Parágrafo único - O Produtor Independente de energia elétrica estará sujeito às regras de comercialização regulada ou livre, atendido ao disposto nesta Lei, na legislação em vigor e no contrato de concessão ou no ato de autorização, sendo-lhe assegurado o direito de acesso à rede das concessionárias e permissionárias do serviço público de distribuição e das concessionárias do serviço público de transmissão. (Redação dada pela Lei nº 11.943, de 2009).

Abaixo o artigo específico do Decreto nº 2.003/1996 que regulamentou a Lei nº 9.074/1995

Artigo 2º - Para fins do disposto neste Decreto, considera-se:

I - Produtor Independente de Energia Elétrica, a pessoa jurídica ou empresas reunidas em consórcio que recebam concessão ou autorização para produzir energia elétrica destinada ao comércio de toda ou parte da energia produzida, por sua conta e risco;

II - Autoprodutor de Energia Elétrica, a pessoa física ou jurídica ou empresas reunidas em consórcio que recebam concessão ou autorização para produzir energia elétrica destinada ao seu uso exclusivo.

Para ilustrar o afirmado acima, reproduzimos o artigo seguinte que especifica a única modalidade de energia renovável prevista no Decreto, a hidráulica.

Artigo 3º - Dependem de concessão de uso de bem público, precedida de licitação:

I - o aproveitamento de potencial hidráulico de potência superior a 1.000 kW, por produtor independente;

II - o aproveitamento de potencial hidráulico de potência superior a 10.000 kW, por autoprodutor.

A primeira referência específica à geração eólica a surgir na regulação brasileira se deu com a Resolução Aneel nº 112/1999, que estabeleceu “os requisitos necessários à obtenção de Registro de Autorização para a implantação, ampliação ou repotenciação de centrais geradoras, termelétricas, eólicas e de outras fontes alternativas de energia”.

A resolução, observa Pereira, prevê que o agente produtor (pessoa física, jurídica ou consórcio) tanto pode gerar energia para comercialização de forma independente, quanto para uso próprio.

Em 2008, a Resolução Aneel nº 345 determinou que, quando a central pertencesse a agente autorizado, deveria se submeter aos requisitos de planejamento, implantação, conexão e responsabilidades previstos nos Procedimentos de Rede e/ou nos Procedimentos de Distribuição quanto ao acesso aos sistemas de transmissão e distribuição.

Quanto aos custos, também houve previsão legal. Em 1999, a Resolução Aneel nº 233 estabeleceu os valores-teto de repasse dos custos de geração de energia para as tarifas de fornecimento para diversas fontes de geração, inclusive a eólica.

Isto, segundo Pereira, para permitir a competitividade de compra e venda de energia também pelas fontes não convencionais. Esta resolução, porém, foi revogada em 2001 e não chegou a contemplar qualquer projeto eólico neste período. Pereira esclarece que os valores normativos “tinham sido claramente muito baixos”.

Ainda em 2001, outro fracasso. Por meio da Resolução da Câmara de Gestão da Crise de Energia Elétrica, foi criado o Programa Emergencial de Energia Eólica (Proeólica), com o objetivo de viabilizar a implantação de 1,05 mil MW, o que não se concretizou.

Somente em 2002, com a Lei nº 10.438/2002 (modificada pelas leis nº 10.762/2003 e nº 11.075/2004) que foi instituído o primeiro incentivo à geração de energia com fonte eólica, pela criação do Programa de Incentivo às Fontes Eólicas, o Proinfa - já tratado em detalhes neste trabalho no Capítulo 1, por ter se constituído em um marco regulatório na história do desenvolvimento da energia eólica no Brasil.

No entanto, cabe lembrar, a esta altura do estudo, que o objetivo do programa era aumentar a participação no Sistema Elétrico Interligado Nacional (SIN), da energia elétrica produzida com a fonte eólica mais PCH e biomassa, por meio de projetos de Produtores Independentes Autônomos (PIA)³⁶.

Resumidamente, recapitulamos que a lei do Proinfa previa a implantação do programa em duas etapas. Na primeira, deviam ser contratados projetos com até 3,3 mil MW de potência instalada até 2006, divididos igualmente entre as três fontes incentivadas: 1,1 mil MW de eólica, 1,1 mil MW de PCHs e 1,1 mil MW de biomassa. Posteriormente, este prazo foi estendido para 2008 e, subseqüentemente, prorrogada para 2010, pela Lei nº 11.943 de 28 de maio de 2009.

Na segunda fase, ficou estabelecido que, uma vez atingida a meta da primeira etapa, o desenvolvimento do programa seria realizado de modo que a geração de energia com essas fontes viesse a atender a 10% do consumo de energia elétrica no país, meta a ser alcançada no prazo de 20 anos.

Isto se daria por meio de uma programação anual de compra, para que estas fontes atendessem o mínimo de 15% do incremento anual da energia elétrica a ser fornecida ao mercado nacional. Mas esta etapa foi definitivamente congelada pelo governo. (PEREIRA, 2012)

Com o congelamento do Proinfa e em decorrência do novo modelo do setor elétrico reformulado pela Lei nº 10.848/2004 e Decreto nº 5.163/2004, foram

³⁶ Produtor Independente Autônomo é definido como “sociedade, não sendo ela própria concessionária de qualquer espécie, não é controlada ou coligada de concessionária de serviço público ou de uso do bem público de geração, transmissão ou distribuição de energia elétrica, nem de seus controladores ou de outra sociedade controlada ou coligada com o controlador comum”. (Redação dada pela Lei 10.762/2003).

estabelecidas novas regras para a comercialização de energia elétrica e a outorga de concessões e autorizações.

A lei determinou que na expansão do parque gerador e dos sistemas de transmissão associados, agentes privados e públicos de distribuição deveriam estabelecer os quantitativos de energia elétrica a serem contratados em pool, por meio de leilões.

Assim, o sistema de contratação de novos empreendimentos de geração de energia elétrica passou a ser realizado via leilões de energia – leilões reversos – em que os vencedores são aqueles que oferecem a energia elétrica a menor preço.

Nesta fase, importa também ressaltar que o tema Leilões também foi tratado com detalhes no Capítulo 1 deste trabalho, por representar um contexto importante na trajetória brasileira da energia eólica. Coube a menção acima para melhor contextualizar como se deu o marco regulatório deste quesito.

2.3.3 - A Resolução 482/2012

O desempenho das energias renováveis no Brasil vem surpreendendo o setor elétrico e demandando não somente ações governamentais de incentivo, como também adequações legais que coadunem com a dinâmica de evolução do setor, justamente no momento histórico em que o país apresenta níveis consistentes de crescimento e de inclusão social, que fazem aumentar a cobrança por um sistema energético maior e mais eficiente.

No que tange à energia eólica, como vimos, o setor tem superado previsões e apresentado perspectivas alentadoras de complementaridade à fonte hídrica na matriz energética nacional.

Nesse contexto caracterizado por crescimento econômico e aumento de demanda energética, foi inserido, em 2012, um marco regulatório que coaduna com a tendência recente da microgeração e minigeração de energia elétrica a partir de fontes renováveis.

Trata-se da Resolução 482 publicada pela Aneel em 17 de abril de 2012 estabelecendo as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída e criando o sistema de compensação de energia.

Antes de detalhar as regras determinadas pela resolução, convém reproduzir definições fundamentais trazidas nas linhas do próprio dispositivo infralegal, quais

sejam microgeração distribuída, minigeração distribuída e sistema de compensação de energia elétrica.

Art. 2º - Para efeitos desta Resolução, ficam adotadas as seguintes definições:

I - microgeração distribuída: central geradora de energia elétrica, com potência instalada menor ou igual a 100 kW e que utilize fontes com base em energia hidráulica, solar, eólica, biomassa ou cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras;

II - minigeração distribuída: central geradora de energia elétrica, com potência instalada superior a 100 kW e menor ou igual a 1 MW para fontes com base em energia hidráulica, solar, eólica, biomassa ou cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras;

III - sistema de compensação de energia elétrica: sistema no qual a energia ativa injetada por unidade consumidora com microgeração distribuída ou minigeração distribuída é cedida, por meio de empréstimo gratuito, à distribuidora local e posteriormente compensada com o consumo de energia elétrica ativa dessa mesma unidade consumidora ou de outra unidade consumidora de mesma titularidade da unidade consumidora onde os créditos foram gerados, desde que possua o mesmo Cadastro de Pessoa Física (CPF) ou Cadastro de Pessoa Jurídica (CNPJ) junto ao Ministério da Fazenda. (Redação dada pela REN ANEEL 517, de 11.12.2012.)

Com base nas definições acima expostas, fica clara a base de funcionamento do conjunto arquitetado pela Aneel. O Sistema de Compensação é um arranjo no qual a energia ativa injetada por unidade consumidora com microgeração ou minigeração distribuída é cedida à distribuidora local e posteriormente compensada com o consumo de energia elétrica ativa³⁷ dessa mesma unidade consumidora ou de outra unidade consumidora de mesma titularidade.

Esse sistema é também conhecido pelo termo em inglês *netmetering*. Nele, um consumidor de energia elétrica instala pequenos geradores em sua unidade consumidora (como, por exemplo, painéis solares fotovoltaicos e pequenas turbinas eólicas) e a energia gerada é usada para abater o consumo de energia elétrica da unidade.

Quando a geração for maior que o consumo, o saldo positivo de energia poderá ser utilizado para abater o consumo em outro posto tarifário ou na fatura do mês subsequente. Os créditos de energia gerados continuam válidos por 36 meses.

³⁷ Energia ativa – é responsável pela realização do trabalho. É ela que faz os motores girarem no trabalho do dia a dia. É medida em KWh.

Energia reativa - não é responsável direta pela realização do trabalho, mas é importante para criar o fluxo magnético nas bobinas dos equipamentos, para que os eixos dos motores possam girar. É medida em kvarh, que vem a ser a sigla para energia reativa indutiva consumida durante o intervalo de faturamento. (<https://agenciavirtual.light.com.br>)

Há ainda a possibilidade de o consumidor utilizar esses créditos em outra unidade (desde que as duas unidades consumidoras estejam na mesma área de concessão e sejam do mesmo titular). Se o consumo for maior do que a geração, o consumidor pagará apenas a diferença entre a energia consumida e a gerada.

Como se trata de um sistema de engenhoso funcionamento, ao criar a Resolução 482, a Administração recorreu a outros dispositivos já em vigor a fim de dar operacionalidade à norma infralegal.

São eles a Resolução 414/2010 que estabelece as condições gerais de fornecimento de energia elétrica, consolidando direitos e deveres dos consumidores³⁸ e a Seção 3.7 do Módulo 3 do Procedimento de Distribuição (Prodist)³⁹, que, por sua vez, traz as normas que disciplinam o relacionamento entre as distribuidoras de energia elétrica e demais agentes (unidades consumidoras e centrais geradores) conectados aos sistemas de distribuição, que incluem redes e linhas em tensão inferior a 230 quilovolts (kV).

É a partir deste conjunto de dispositivos que detalharemos o sistema nos subitens a seguir.

2.3.3.1 - Aspectos técnicos

Importam aqui os comentários e artigos da Resolução 482/2012 que tratam da operacionalização do sistema

2.3.3.1.1 - Acesso aos Sistemas de Distribuição

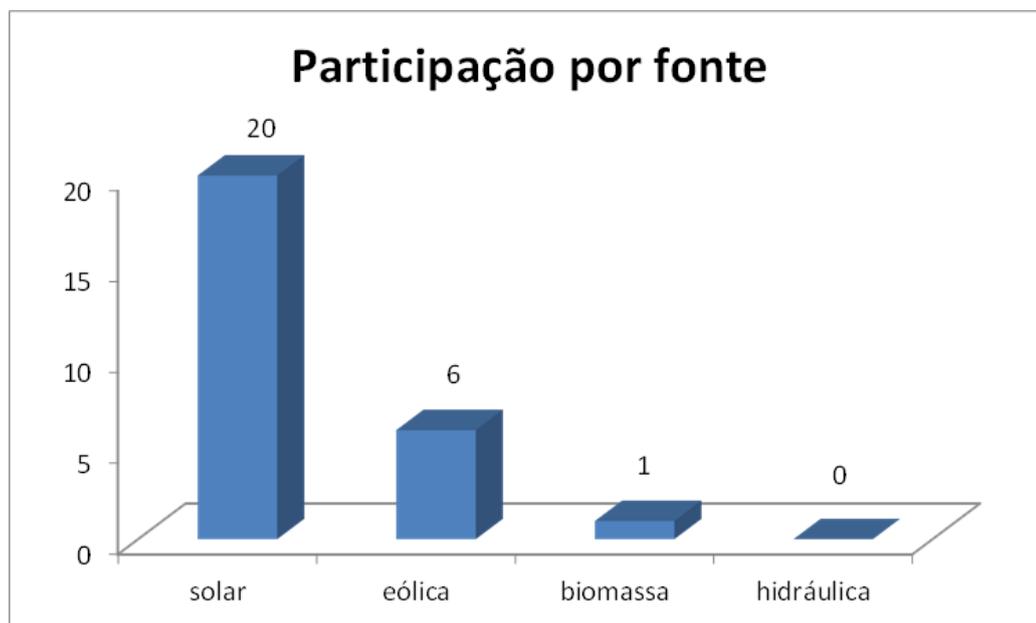
Conforme determinado noParágrafo 1ºdo artigo 3º da Resolução 482, as distribuidoras de energia elétrica tiveram até dezembro de 2012 para adequar seus sistemas comerciais e as normas técnicas para viabilizar o acesso de microgeração e minigeração distribuída. Atualmente, há 31 microgeradores conectados à rede das distribuidoras e participantes do sistema de compensação de energia. No entanto, a Aneel contabiliza 27 microgeradores registrados. As figuras a seguir ilustram a participação por fonte e a distribuição por Estado destes 27 microgeradores.

³⁸ A norma foi organizada para servir como um guia ao consumidor e traz as definições dos termos usados ao longo do texto e trata, dentre outros, de aspectos relativos à classificação e à titularidade de unidades consumidoras, de prazos para ligação, das modalidades tarifárias, dos contratos, dos procedimentos para leitura e faturamento, de procedimentos irregulares e do ressarcimento por danos elétricos. (Aneel, 2013)

³⁹ Disponível em www.aneel.gov.br/.../2011/.../minuta_secao_3.7_modulo_3_prodist.pdf.

Figura 27: Distribuição de microgeradores por Estado

Fonte: Aneel/novembro de 2013

Figura 28: Participação de microgeradores por fonte

Fonte: Aneel/novembro de 2013

A prática das concessionárias tem sido disponibilizar em seus sites o formulário de solicitação de acesso ao sistema de compensação aos clientes interessados em gerar energia elétrica. Após preenchido, o formulário é analisado e, em até 30 dias, é emitido um parecer de acesso.

O acordo de operação, que consiste no procedimento de como operar o sistema interligado à rede daquela concessionária, é celebrado no prazo de até 90 dias. Os passos seguintes são a vistoria e a emissão de relatório da inspeção, nos prazos de 30 a 15 dias, respectivamente. Finalmente, a aprovação do ponto de conexão sai em 7 dias. Todos esses prazos estão previstos na Resolução 482/2012.

A Aneel esclarece que a distribuidora não pode alegar risco da redução da flexibilidade de operação para impedir a conexão de um micro ou minigerador. Quando da conexão de unidades de geração distribuída ao sistema, cabe à distribuidora, na qualidade de responsável por garantir a prestação dos serviços públicos de distribuição de energia elétrica com qualidade e confiabilidade, encontrar soluções técnica e economicamente mais razoáveis para conexão dos geradores e atendimento eficiente aos demais consumidores. (Aneel, 2012)

2.3.3.1.2 - Contrato de geração é dispensado

Como visto acima, a Resolução 482 dispensa os mini e microgeradores distribuídos participantes do sistema de compensação de assinar contratos de geração (artigo 4º). Isto por conta da compensação porque as centrais geradoras que não participam do sistema são obrigadas a assinar os chamados Contrato de Uso e Distribuição (CUSD) e Contrato de Conexão e Distribuição (CCD).

2.3.3.1.3 - Níveis de tensão

Para definição da tensão de conexão da unidade consumidora com micro ou minigeração devem ser obedecidas as disposições dos artigos 12 e 13 da Resolução 414/2010. Ei-los

Artigo 12 – Compete à distribuidora informar ao interessado a tensão de fornecimento para a unidade consumidora, com observância dos seguintes critérios:

I – tensão secundária em rede aérea: quando a carga instalada na unidade consumidora for igual ou inferior a 75 kW;

II – tensão secundária em sistema subterrâneo: até o limite de carga instalada conforme padrão de atendimento da distribuidora;

III – tensão primária de distribuição inferior a 69 kV: quando a carga instalada na unidade consumidora for superior a 75 kW e a demanda a ser contratada pelo interessado, para o fornecimento, for igual ou inferior a 2.500 kW; e

IV – tensão primária de distribuição igual ou superior a 69 kV: quando a demanda a ser contratada pelo interessado, para o fornecimento for superior a 2.500 kW.

§ 1º Quando se tratar de unidade consumidora do grupo A, a informação referida no *caput* deve ser efetuada por escrito.⁴⁰

Além disso, deve-se considerar as faixas de potência indicadas na tabela 6, que reproduz a tabela 1 da Seção 3.7 do Módulo 3 do PRODIST. Vejamos:

TABELA 6: Níveis de tensão

Potência instalada	Nível de Tensão de Conexão
< 10 kW	Baixa Tensão (monofásico)
10 a 100 KW	Baixa Tensão (trifásico)
100 a 500 KW	Baixa Tensão (trifásico)/ Média Tensão
500 KW a 1MW	Média Tensão

Fonte: Aneel

No entanto, conforme nota da tabela 1, a quantidade de fases e o nível de tensão de conexão da central geradora serão definidos pela distribuidora em função das limitações técnicas justificáveis da rede, obedecida a Resolução nº 414/2010.

2.3.3.1.4 - Sistema de compensação

É este o elemento-chave da mini e microgeração distribuídas tratadas na Resolução 482, que regulamenta o intercâmbio de energia, viabilizando o empréstimo gratuito da energia gerada pelo mini ou microgerador para a distribuidora quando a geração for maior do que o consumo – criando, portanto, o crédito - e a distribuição pela concessionária da energia correspondente ao crédito acumulado pelo mini ou microgerador, com prazo de 36 meses de validade.

Este caminho de mão dupla percorrido pela energia, guarnecido por detalhes técnicos e jurídicos, em que o gerador também é consumidor e em que a distribuidora se dispõe da energia gerada, a Aneel denominou sistema de compensação.

Na Resolução 482, ele está explicitado no artigo 6º, § 1º, que prevê inclusive o prazo de validade do crédito energético do consumidor.

⁴⁰ A Aneel classifica os consumidores do grupo A como aqueles atendidos pela rede de alta tensão, de 2,3 a 230 kV; e os do grupo B como aqueles atendidos pela rede de tensão inferior a 2,3 kV.

Artigo 6º - O consumidor poderá aderir ao sistema de compensação de energia elétrica, observadas as disposições desta Resolução. (Redação dada pela REN ANEEL 517, de 11.12.2012.)

§1º Para fins de compensação, a energia ativa injetada no sistema de distribuição pela unidade consumidora, será cedida a título de empréstimo gratuito para a distribuidora, passando a unidade consumidora a ter um crédito em quantidade de energia ativa a ser consumida por um prazo de 36 (trinta e seis) meses. (Incluído pela REN ANEEL 517, de 11.12.2012.)

O leque de compensação é abrangente. Se a unidade consumidora não conseguir ter compensado o montante de energia ativa injetada, os créditos poderão ser utilizados para compensar o consumo de outras unidades, desde que estas pertençam ao mesmo CPF ou CNPJ. O disposto:

IV - os montantes de energia ativa injetada que não tenham sido compensados na própria unidade consumidora poderão ser utilizados para compensar o consumo de outras unidades previamente cadastradas para esse fim e atendidas pela mesma distribuidora, cujo titular seja o mesmo da unidade com sistema de compensação de energia elétrica, possuidor do mesmo Cadastro de Pessoa Física (CPF) ou Cadastro de Pessoa Jurídica (CNPJ) junto ao Ministério da Fazenda. (Redação dada pela REN ANEEL 517, de 11.12.2012.)

V - o consumidor deverá definir a ordem de prioridade das unidades consumidoras participantes do sistema de compensação de energia elétrica, devendo a unidade consumidora onde se encontra instalada a geração ser a primeira a ter seu consumo compensado. (Redação dada pela REN ANEEL 517, de 11.12.2012.)

VI - em cada unidade consumidora participante do sistema de compensação de energia elétrica, a compensação deve se dar primeiramente no posto tarifário em que ocorreu a geração e, posteriormente, nos demais postos tarifários, devendo ser observada a relação entre os valores das tarifas de energia – TE para diferentes postos tarifários de uma mesma unidade consumidora, conforme definição da Resolução Normativa nº 414, de 9 de setembro de 2010, se houver. (Redação dada pela REN ANEEL 517, de 11.12.2012.)

VII - os créditos de energia ativa resultantes após compensação em todos os postos tarifários e em todas as demais unidades consumidoras, conforme incisos II a VI, expirarão 36 (trinta e seis) meses após a data do faturamento e serão revertidos em prol da modicidade tarifária sem que o consumidor faça jus a qualquer forma de compensação após esse prazo.

VIII - eventuais créditos de energia ativa existentes no momento do encerramento da relação contratual do consumidor serão revertidos em prol da modicidade tarifária sem que o consumidor faça jus a qualquer forma de compensação. (Redação dada pela REN ANEEL 517, de 11.12.2012.)

2.3.3.1.4 – Medição

A Resolução 482 prevê que a adequação do sistema de medição é de responsabilidade do mini ou microgerador, inclusive os custos, e não da

distribuidora. A esta cabe operar e cuidar da manutenção do sistema e arcar com custos apenas em caso de substituição ou adequação.

A responsabilidade pelo custo e pela montagem do sistema de medição é do interessado, mas a instalação deve ser feita pela distribuidora. Para montar o sistema, o micro ou minigerador deve obedecer às especificações técnicas previstas no Prodist.

Estas e outras determinações estão detalhadas nos artigos 8, 9 e 10, dispostos a seguir

Artigo 8 - Os custos referentes à adequação do sistema de medição, necessário para implantar o sistema de compensação de energia elétrica, são de responsabilidade do interessado.

§1º O custo de adequação a que se refere o caput é a diferença entre o custo dos componentes do sistema de medição requerido para o sistema de compensação de energia elétrica e o custo do medidor convencional utilizado em unidades consumidoras do mesmo nível de tensão.

§2º O sistema de medição deve observar as especificações técnicas do PRODIST e ser instalado pela distribuidora, que deve cobrar dos interessados o custo de adequação. (Redação dada pela REN ANEEL 517, de 11.12.2012.)

§ 3º O sistema de medição deve ser registrado no ativo imobilizado em serviço, devendo a parcela de responsabilidade de o interessado ser contabilizada em contrapartida do Subgrupo Obrigações Vinculadas à Concessão do Serviço Público de Energia Elétrica. (Redação dada pela REN ANEEL 517, de 11.12.2012.)

Art. 9º Após a adequação do sistema de medição, a distribuidora será responsável pela sua operação e manutenção, incluindo os custos de eventual substituição ou adequação.

Art. 10. A distribuidora deverá adequar o sistema de medição dentro do prazo para realização da vistoria e ligação das instalações e iniciar o sistema de compensação de energia elétrica assim que for aprovado o ponto de conexão, conforme procedimentos e prazos estabelecidos na seção 3.7 do Módulo 3 do PRODIST.

Um equipamento fundamental no sistema de medição é o relógio bidirecional, que permite o cômputo da energia gerada e consumida em um mesmo equipamento.

Mas a Aneel admite que no caso de conexão na baixa tensão a medição bidirecional pode ser realizada por meio de dois medidores unidirecionais. Um para aferir a energia elétrica ativa consumida e outro para a gerada. Seguindo, desta forma, o determinado no item 7.1.1, Seção 3.7, Módulo 3 do Prodist.

Note-se que, na existência de equipamento bidirecional, o sistema de medição bidirecional a que se refere o item 7.1 da Seção 3.7 pode ser implementado com uso de um único medidor, desde que essa seja a opção de menor custo global(Aneel, 2012).

2.3.3.2 – Aspectos financeiros

Cabe agora a abordagem dos fatores custo e faturamento do sistema de compensação de energia por mini ou microgeração distribuída.

2.3.3.2.1 – Custos

Como a iniciativa de instalação da micro ou minigeração distribuída deve ser do consumidor, a Aneel não estabelece custos de geradores e eventuais financiamentos.

De acordo com as orientações da Aneel, a análise de custo/benefício a ser realizada pelo consumidor para instalação de tais geradores deve ser pautada individualmente, já que cada caso envolve características bem particulares, tais como:

- a) Tipo da fonte de energia (além de painéis solares, há diversas outras opções como turbinas eólicas, geradores a biomassa, hidrelétricas bem pequenas etc.);
- b) Processo e classe da unidade consumidora (se há algum processo produtivo ou se existem insumos disponíveis, como biomassa, dejetos animais, potencial hidráulico etc.);
- c) Tecnologia e tipo dos equipamentos de geração;
- d) Porte da unidade consumidora e da central geradora a ser instalada (potência instalada tanto da carga quanto da geração);
- e) Localização (rural/urbana);
- f) Tarifa de energia elétrica à qual a unidade consumidora está submetida;
- g) Condições de financiamento e pagamento de cada projeto;
- h) Se existem outras unidades consumidoras que poderão usufruir dos créditos do sistema de compensação de energia elétrica;

Vale ressaltar que os custos de eventuais ampliações ou reforços no sistema de distribuição em função exclusivamente da conexão de microgeração ou minigeração distribuída participante do sistema de compensação de energia elétrica

são arcados integralmente pela distribuidora acessada, conforme prevê o artigo 5º da Resolução 482, que segue

Artigo 5º - Quando da conexão de nova unidade consumidora com microgeração ou minigeração distribuída, ou no caso do § 2º do art. 4º, aplicam-se as regras de participação financeira do consumidor definidas em regulamento específico. (Redação dada pela REN ANEEL 517, de 11.12.2012.)

Daí deduz-se que como a micro ou minigeração distribuída é conectada à rede por meio de uma unidade consumidora, o tratamento regulatório acerca das responsabilidades para conexão é similar àquele dado a unidades consumidoras convencionais.

Portanto, aplica-se o princípio da Participação Financeira, regulamentado na Seção X do Capítulo III das Condições Gerais de Fornecimento na Resolução 414/2010. Confirmamos

Seção X - Das Obras com Participação Financeira do Consumidor

Artigo 42 - Para o atendimento às solicitações de aumento de carga ou conexão de unidade consumidora que não se enquadrem nas situações previstas nos arts. 40, 41 e 44, deve ser calculado o encargo de responsabilidade da distribuidora, assim como a eventual participação financeira do consumidor, conforme disposições contidas nesta Resolução, observadas ainda as seguintes condições:

I - a execução da obra pela distribuidora deve ser precedida da assinatura de contrato específico com o interessado, no qual devem estar discriminadas as etapas e o prazo de implementação das obras, as condições de pagamento da participação financeira do consumidor, além de outras condições vinculadas ao atendimento; II - é assegurada ao interessado a opção pelo pagamento parcelado da participação financeira de sua responsabilidade, de acordo com as etapas e o prazo de implementação da obra, observado o respectivo cronograma físico-financeiro;

III - no caso de solicitações de atendimento para unidades consumidoras com tensão maior que 2,3 kV, a execução da obra pela distribuidora deve ser precedida da assinatura, pelo interessado e pela distribuidora, conforme o caso, do Contrato de Fornecimento ou do Contrato de Conexão ao Sistema de Distribuição – CCD e do Contrato de Uso do Sistema de Distribuição – CUSD; e

IV - os bens e instalações oriundos das obras, de que trata este artigo, devem ser cadastrados e incorporados ao Ativo Imobilizado em Serviço da distribuidora na respectiva conclusão, tendo como referência a data de energização da rede, contabilizando-se os valores da correspondente

participação financeira do consumidor conforme disposto no Manual de Contabilidade do Serviço Público de Energia Elétrica.

Artigo 43 - A participação financeira do consumidor é a diferença positiva entre o custo da obra proporcionalizado nos termos deste artigo e o encargo de responsabilidade da distribuidora.

§ 1º O custo da obra deve considerar os critérios de mínimo dimensionamento técnico possível e menor custo global, observadas as normas e padrões a que se referem a alínea “a” do inciso I do art. 27 e os padrões de qualidade da prestação do serviço e de investimento prudente definidos pela ANEEL.

§ 2º Caso a distribuidora ou o interessado opte por realizar obras com dimensões maiores do que as necessárias para o atendimento ou que garantam níveis de qualidade de fornecimento superiores aos especificados na respectiva regulamentação, o custo adicional deverá ser arcado integralmente pelo optante, devendo ser discriminados e justificados os custos adicionais.

§ 3º A distribuidora deve proporcionalizar individualmente todos os itens do orçamento da alternativa de menor custo, que impliquem reserva de capacidade no sistema, como condutores, transformadores de força/distribuição, reguladores de tensão, bancos de capacitores e reatores, entre outros, considerando a relação entre o MUSD a ser atendido ou acrescido e a demanda disponibilizada pelo item do orçamento.

§ 4º A proporcionalização de que trata o § 3º não se aplica a mão-de-obra, estruturas, postes, torres, bem como materiais, equipamentos, instalações e serviços não relacionados diretamente com a disponibilização de reserva de capacidade ao sistema.

§ 5º O encargo de responsabilidade da distribuidora, denominado ERD, é determinado pela seguinte equação:

$$ERD = MUSD_{ERD} \times K,$$

Onde:

$MUSD_{ERD}$ = montante de uso do sistema de distribuição a ser atendido ou acrescido para o cálculo do ERD, em quilowatt (kW);

K = fator de cálculo do ERD, calculado pela seguinte equação:

$$K = 12 \times (TUSD \text{ Fio } B_{FP}) \times (1 - \alpha) \times \frac{1}{FRC}$$

Onde:

“TUSD Fio B_{FP} = a parcela da TUSD no posto tarifário fora de ponta, composta pelos custos regulatórios decorrentes do uso dos ativos de propriedade da própria distribuidora, que remunera o investimento, o custo de operação e manutenção e a depreciação dos ativos, em Reais por quilowatt (R\$/kW);” (Redação dada pela Resolução Normativa ANEEL nº 479, de 03.04.2012)

α = relação entre os custos de operação e manutenção, vinculados diretamente à prestação do serviço de distribuição de energia elétrica, como pessoal, material, serviços de terceiros e outras despesas, e os custos gerenciáveis totais da distribuidora – Parcela B, definidos na última revisão tarifária; e

FRC = o fator de recuperação do capital que traz a valor presente a receita uniforme prevista, sendo obtido pela equação:

$$FRC = \frac{(1+i)^n \times i}{(1+i)^n - 1},$$

Onde:

i = a taxa de retorno adequada de investimentos, definida pelo Custo Médio Ponderado do Capital (WACC), estabelecido na última revisão tarifária, acrescido da carga tributária, sendo obtido pela equação:

$$i = WACC / (1 - \text{carga tributária})$$

n = o período de vida útil, em anos, associado à taxa de depreciação percentual anual “ d ” definida na última revisão tarifária, sendo obtido pela equação:” Redação dada pela Resolução Normativa ANEEL nº 479, de 03.04.2012)

$$n = \frac{100}{d}$$

“§ 6º Para unidade consumidora com faturamento pelo grupo A, o $MUSD_{ERD}$ é a demanda contratada, se enquadrada na modalidade tarifária convencional binômica ou horária verde, a demanda contratada no posto tarifário fora de ponta, se enquadrada na modalidade tarifária horária azul ou o valor do uso contratado para seguimento fora de ponta, devendo ser feita a média ponderada caso tenham sido contratados valores mensais diferenciados.” (Redação dada pela Resolução Normativa ANEEL nº 479, de 03.04.2012)

§ 7º Para unidade consumidora com faturamento pelo grupo B, o $MUSD_{ERD}$ é a demanda obtida por meio da aplicação, sobre a carga instalada prevista, do fator de demanda da correspondente atividade dentro da sua classe principal, segundo a classificação do art. 5º, conforme a média verificada em outras unidades consumidoras atendidas pela distribuidora ou, caso não seja possível, do fator de demanda típico adotado nas normas e padrões a que se referem a alínea “a” do inciso I do art. 27.

§ 8º Todos os componentes necessários para o cálculo do ERD são estabelecidos pela ANEEL, quando da publicação da Resolução Homologatória referente a cada revisão ou reajuste tarifário das distribuidoras.

“§ 9º Aos valores da TUSD Fio B, devem ser aplicados os descontos previstos na regulamentação referentes a cada classe ou subclasse de unidade consumidora, observado o disposto no § 1º do art. 109.

§ 10. A média ponderada de que trata o § 6º deve considerar o período de vida útil “ n ” utilizado no cálculo do encargo de responsabilidade da distribuidora.” (Redação dada pela Resolução Normativa ANEEL nº 479, de 03.04.2012).

2.3.3.2.2 - Faturamento

O sistema de compensação de energia tem seu modo de faturamento estabelecido no artigo 7º da Resolução Normativa nº 482/2012, que determina a seguinte utilização:

- a) A energia ativa gerada em determinado posto horário deve ser utilizada para compensar a energia ativa consumida nesse mesmo período.
- b) Havendo excedente, os créditos de energia ativa devem ser utilizados para compensar o consumo em outro posto horário, na mesma unidade consumidora e no mesmo ciclo de faturamento.
- c) Restando créditos, o excedente deve ser utilizado para abater o consumo de energia ativa em outra unidade consumidora escolhida em que a energia foi gerada e no mesmo ciclo de faturamento pelo consumidor, no mesmo posto horário.
- d) O eventual excedente após aplicação do item anterior deve ser utilizado para abater o consumo da unidade consumidora escolhida pelo consumidor e referenciada no item **c**, no mesmo ciclo de faturamento, mas em outro posto horário.
- e) Caso ainda haja excedente, o processo descrito nos itens **c** e **d** deve ser repetido para as demais unidades consumidoras cadastradas previamente pelo consumidor, obedecida a ordem de prioridade escolhida por ele.
- f) Após aplicação do item **e**, até o esgotamento das unidades consumidoras cadastradas, caso ainda existam créditos de energia ativa, o procedimento descrito nos itens **a** até **e** deve ser repetido nessa ordem para os ciclos de faturamento posteriores, obedecido o limite de 36 meses de validade dos créditos.
- g) Eventuais créditos de energia ativa existentes no momento do encerramento da relação contratual do consumidor serão revertidos em prol da modicidade tarifária sem que o consumidor faça jus a qualquer forma de compensação.
- h) A fatura deverá conter a informação de eventual saldo positivo de energia ativa para o ciclo subsequente em quilowatt-hora (kWh), por posto tarifário, quando for o caso, e também o total de créditos que expirarão no próximo ciclo. (Incluído pela REN ANEEL 517, de 11.12.2012.)
- i) Os montantes líquidos apurados no sistema de compensação de energia elétrica serão considerados no cálculo da sobrecontratação de energia para efeitos tarifários, sem reflexos na Câmara de Comercialização de Energia Elétrica – CCEE, devendo ser registrados contabilmente, pela distribuidora, conforme disposto no Manual de Contabilidade do Serviço Público de Energia Elétrica. (Incluído pela REN ANEEL 517, de 11.12.2012.)
- j) Para as unidades consumidoras atendidas em tensão primária com equipamentos de medição instalados no secundário dos transformadores deverá ser deduzida a perda por transformação da energia injetada por essa unidade consumidora, nos termos do art. 94 da Resolução Normativa nº 414, de 9 de setembro de 2010. (Incluído pela REN ANEEL 517, de 11.12.2012.)

Afora as formas previstas anteriormente, aplica-se de modo complementar as disposições da Resolução Normativa nº 414/2010.

Caso haja impedimento de acesso ao medidor, o faturamento será efetuado aplicando o disposto no artigo 87 da Resolução 414/2010, ou seja, de maneira geral, pela média aritmética dos valores faturados nos últimos 12 meses.

Adicionalmente, o inciso II do art. 7º da Resolução 482/2012 determina que o faturamento referente à unidade consumidora integrante do sistema de compensação de energia deve se dar pela diferença entre a energia consumida e a injetada. Portanto, no caso de impedimento de acesso, a média deve ser realizada pelos valores líquidos (consumo subtraído da injeção).

Em caso de irregularidade na medição do consumo, a recuperação da receita deve ser realizada levando-se em consideração os consumos conforme disposto no artigo 130 da Resolução 414/2010. Ei-lo

Artigo 130 - Comprovado o procedimento irregular, para proceder à recuperação da receita, a distribuidora deve apurar as diferenças entre os valores efetivamente faturados e aqueles apurados por meio de um dos critérios descritos nos incisos a seguir, aplicáveis de forma sucessiva, sem prejuízo do disposto nos arts. 131 e 170:

I – utilização do consumo apurado por medição fiscalizadora, proporcionalizado em 30 dias, desde que utilizada para caracterização da irregularidade, segundo a alínea “a” do inciso V do § 1º do art. 129;

II – aplicação do fator de correção obtido por meio de aferição do erro de medição causado pelo emprego de procedimentos irregulares, desde que os selos e lacres, a tampa e a base do medidor estejam intactos;

III – utilização da média dos 3 (três) maiores valores disponíveis de consumo mensal de energia elétrica, proporcionalizados em 30 dias, e de demanda de potências ativas e reativas excedentes, ocorridos em até 12 (doze) ciclos completos de medição regular, imediatamente anteriores ao início da irregularidade;

IV – determinação dos consumos de energia elétrica e das demandas de potências ativas e reativas excedentes, por meio da carga desviada, quando identificada, ou por meio da carga instalada, verificada no momento da constatação da irregularidade, aplicando-se para a classe residencial o tempo médio e a frequência de utilização de cada carga; e, para as demais classes, os fatores de carga e de demanda, obtidos a partir de outras unidades consumidoras com atividades similares; ou

V – utilização dos valores máximos de consumo de energia elétrica, proporcionalizado em 30 (trinta) dias, e das demandas de potência ativa e reativa excedentes, dentre os ocorridos nos 3 (três) ciclos imediatamente posteriores à regularização da medição.

“Parágrafo único. Se o histórico de consumo ou demanda de potência ativa da unidade consumidora variar, a cada 12 (doze) ciclos completos de

faturamento, em valor igual ou inferior a 40% (quarenta por cento) para a relação entre a soma dos 4 (quatro) menores e a soma dos 4 (quatro) maiores consumos de energia elétrica ativa, nos 36 (trinta e seis) ciclos completos de faturamento anteriores à data do início da irregularidade, a utilização dos critérios de apuração para recuperação da receita deve levar em consideração tal condição.” (Redação dada pela Resolução Normativa ANEEL nº 479, de 03.04.2012)

Adicionalmente, para unidades consumidoras que possuam micro ou minigeração distribuída, os créditos de energia ativa gerados no período irregular não poderão ser utilizados no sistema de compensação de energia (parágrafo único, art. 12, Resolução Normativa nº 482/2012), ensejando a necessidade de revisão no faturamento de todas as demais unidades consumidoras que tenham porventura recebido créditos de energia da unidade em que fora detectado o procedimento irregular.

2.3.3.2 - Responsabilidade por dano

Em caso de dano ao sistema elétrico, aplicam-se para a mini ou microgeração incentivada praticamente as mesmas normas que regem este quesito para os geradores convencionais. Tanto é assim que neste ponto o redator da Resolução 482/2012 mais uma vez se valeu da complementaridade da Resolução 414/2010.

Portanto, no dano comprovadamente ocasionado por mini ou microgerador no sistema de compensação de energia, aplica-se dois artigos da Resolução 414/2010. São eles o 164 (caput e inciso II) e o 170, este último valendo para eventual inobservância do mini ou microgerador às normas da distribuidora local. Na sequência, os respectivos artigos

Artigo 164 - “Quando o consumidor utilizar em sua unidade consumidora, à revelia da distribuidora, carga ou geração susceptível de provocar distúrbios ou danos ao sistema elétrico de distribuição, ou ainda a instalações e equipamentos elétricos de outros consumidores, a distribuidora deve exigir o cumprimento das seguintes medidas:” (Redação dada pela Resolução Normativa ANEEL nº 479, de 03.04.2012)

II – ressarcimento à distribuidora de indenizações por danos a equipamentos elétricos acarretados a outros consumidores, que, comprovadamente, tenham decorrido do uso da carga ou geração provocadora dos distúrbios.” (Redação dada pela Resolução Normativa ANEEL nº 479, de 03.04.2012)

Artigo 170 - A distribuidora deve suspender imediatamente o fornecimento quando for constatada deficiência técnica ou de segurança na unidade consumidora que caracterize risco iminente de danos a pessoas, bens ou ao funcionamento do sistema elétrico.

§ 1º - Incorrem na hipótese prevista no caput.

I - o descumprimento do disposto no art. 165, quando caracterizado que o aumento de carga prejudica o atendimento a outras unidades consumidoras; e” (Redação dada pela Resolução Normativa ANEEL nº 479, de 03.04.2012)

II - a prática dos procedimentos descritos no art. 129, quando não seja possível a verificação e regularização imediata do padrão técnico e de segurança pertinente.

§ 2º - Nas hipóteses de que tratam os incisos I e II do § 1º, a distribuidora deve informar o motivo da suspensão ao consumidor, de forma escrita, específica e com entrega comprovada, sem prejuízo do disposto no § 3º do art. 173.

Com a detalhada e criteriosa abordagem da Resolução 482/2012 realizada acima, consideramos completa a abrangência do marco regulatório da energia eólica no Brasil. Adicionalmente, damos por fielmente traçado neste capítulo o panorama eólico brasileiro, com suas especificidades encaixadas na estrutura do sistema elétrico nacional.

CAPÍTULO 3

O PROJETO BRASEÓLICO

O percurso no Brasil do desenvolvimento das energias renováveis - particularmente da modalidade eólica - pautado pela combinação de fatores como crescimento econômico, aumento da demanda energética, pressões social e política por um planeta sustentável e alto custo da energia fez sobressair nacionalmente uma tendência já despertada em outros países, a microgeração e a minigeração de energia elétrica.

Consumidores perceberam que a partir do vento, do sol, da biomassa e até de pequenas quedas d'água, é possível gerar a energia para o próprio uso. Se a geração for conectada à rede elétrica é possível fornecer a energia não consumida, abrindo caminho para um crédito quando da utilização da energia da rede pelo consumidor.

Estava, em linhas gerais, criado o sistema de compensação da micro e minigeração distribuídas. Mas tal sistema não contava com qualquer respaldo legal, já que a regulamentação nacional só contemplava a geração centralizada e com a clara diferenciação entre gerador e consumidor. Ele foi regulamentado no Brasil em 17 de abril de 2012 com a Resolução Normativa 482, instituída pela Aneel, conforme esmiuçado no capítulo anterior.

A regulamentação de um sistema que só existia na teoria foi a senha para que projetos ganhassem o papel, esboçando a viabilidade prática e as vantagens econômicas desta tendência que especialistas em energia e meio ambiente consideram irreversível.

É o caso do Projeto Braseólico, sobre o qual versa este trabalho. Trata-se de um projeto de geração de energia elétrica via aerogerador de proximidade, denominado BrasEólico, para microgeração descentralizada no entorno urbano construído.

É um projeto intelectualmente concebido pelo engenheiro francês Hugues Boyenval, na École des Mines de Alès⁴¹, na França. No Brasil, o projeto é controlado

⁴¹ A École des Mines de Alès é uma universidade de Tecnologia e Engenharia francesa criada em 1843 pelo Rei Luis XVI. É uma instituição pública tutelada pelo Ministério da Indústria. É uma das componentes do GEM (Grupo de Universidades de Engenharia, pela sigla em francês) ao lado da

pela sociedade comercial BrasEólica Ltda⁴², que tem contrato de concessão exclusiva de produção/comercialização do produto e sua tecnologia.

O projeto BrasEólico apresenta inovações tecnológicas determinantes para a eficiência da distribuição da energia elétrica, já que traz diferenciações que abrangem desde o modelo do aerogerador, o modo de dispô-lo para funcionamento e a proximidade da fonte geradora, dispensando gastos com linhas de transmissão e abortando perdas de transporte e riscos de sobrecarga, já que a energia é distribuída onde é gerada e é gerada onde é distribuída.

Como o projeto contempla a microgeração descentralizada no entorno urbano construído, foi idealizado visando condomínios verticais ou horizontais como nichos mercadológicos. Embora inovador, o projeto BrasEólico porta um sistema singular que será esmiuçado em seus diversos aspectos neste capítulo.

Primeiramente, abordaremos as facetas técnica e operacional do projeto para, em seguida, analisar e comprovar a sua viabilidade econômica. A este ponto, importa ressaltar que as referidas abordagens se aterão aos dados disponíveis, já que como ainda não há local específico para instalação do BrasEólico, alguns elementos concretos estarão ausentes nas análises. Isto, no entanto, não compromete a credibilidade dos estudos que aqui serão apresentados.

3.1 - Aspectos técnicos

Apresentaremos agora as características físicas e operacionais do projeto Braseólico. Como desdobramento natural desta abordagem, sobressairão os avanços tecnológicos que superam gargalos operacionais de outros modelos, evidenciando a sua consonância com a eficiência energética via fonte limpa e, por consequência, com o desenvolvimento sustentável.

Mines Paris Tech, Albi-Carmaux, Douai, Nantes, Saint-Étienne e Nancy. As pesquisas desenvolvidas pelo grupo contribuem para as inovações tecnológicas e desenvolvimento industrial da França. Desde 1999, a École des Mines de Alès elegeu focar suas pesquisas em três áreas centrais: Cultura e Empreendedorismo, Tecnologia de Incubadora e Parcerias com Polos Tecnológicos. Abrange os seguintes campos de estudo: Engenharia Civil, Engenharia de Materiais e Mecânica, Gestão de Riscos e Meio Ambiente e Engenharia de Sistemas e Produção.

⁴² A BrasEólica Ltda é uma sociedade comercial voltada para a fabricação, venda, instalação e manutenção de microgeradores de proximidade sediada na Estrada dos Colibris nº 285, Parque dos Cisnes, Goiânia, Goiás, e inscrita no CNPJ nº 08.999.696/0001-13.

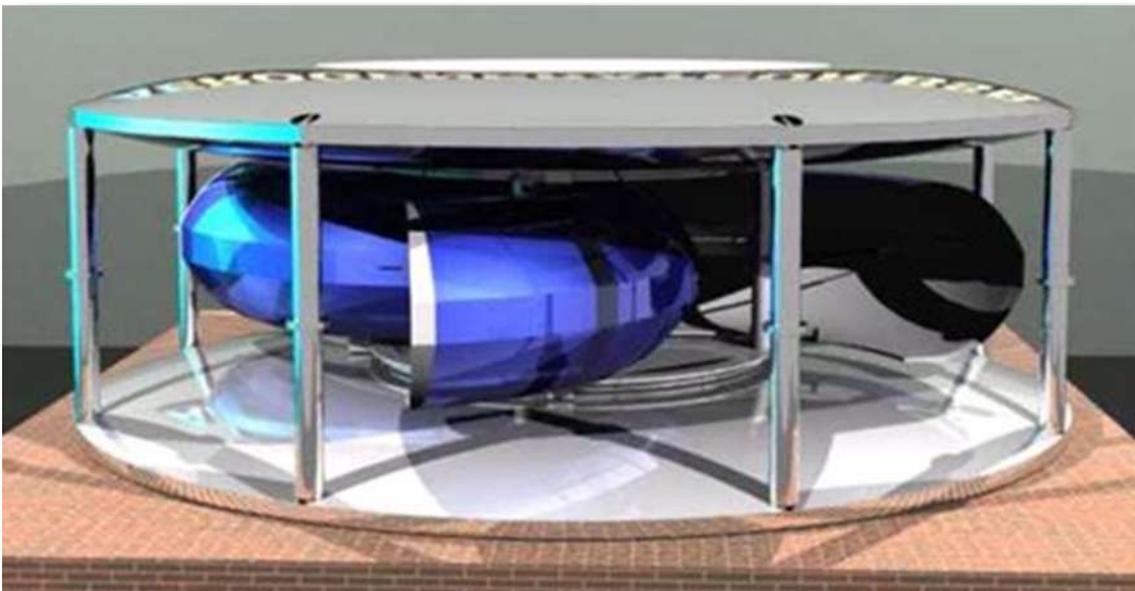
3.1.1 – O aerogerador

O aerogerador de proximidade BrasEólico foi concebido para funcionar no sistema interligado à rede elétrica, utilizando o sistema de compensação de energia. Trata-se de um equipamento de eixo vertical, mas que foge ao formato tradicional, buscando mais eficiência na captura do vento, potencializando, portanto, sua capacidade de geração.

Esta presteza é alcançada graças à superação de uma deficiência técnica do modelo convencional de aerogeradores de eixo vertical. Normalmente, os equipamentos tradicionais apresentam oscilação significativa devido à falta de apoios superior e inferior. Esta falha, vale ressaltar, leva a outros gargalos como emissão expressiva de ruídos e a própria vulnerabilidade do equipamento.

Neste quesito, o BrasEólico inova no formato trazendo o conceito “sanduíche”, ou seja, pás côncavas estabilizadas entre mesas paralelas, que constituem suportes inferior e superior, conferindo maior estabilidade ao equipamento. O modelo, na figura abaixo:

Figura 29: O conceito “sanduíche”



Fonte: Braseólica Ltda

O modelo é composto por estator⁴³ de alumínio mecano-soldado⁴⁴, rotor⁴⁵ com quatro pás de poliéster (ou alumínio), alternador⁴⁶, inversor⁴⁷ e demais componentes de inversão da corrente elétrica bem como sistema eletrônico de fechamento/abertura do rotor. Esta composição o faz leve, proporcionando arrancada imediata ao menor deslocamento de ar e aceitando amplo ajuste de capacidade por empilhamento modular, o que pode ser observado na figura 30, a seguir.

Figura 30: Empilhamento modular



Fonte: Braseólica Ltda

Um outro quesito que posiciona o aerogerador de proximidade BrasEólico à frente do seu tempo é sua geometria variável que permite a abertura e o fechamento

⁴³ Estator é a parte de um gerador elétrico fixo à carcaça que conduz o fluxo magnético para transformar a energia cinética do rotor, ou seja, é capaz de induzir no rotor uma corrente elétrica. (Wikipédia/2014)

⁴⁴ O conceito mecano-soldado tem sido aplicado pela usinagem para garantir maior qualidade do material, otimizando o controle das variáveis de fabricação. Substituto do conceito monobloco, o mecano-soldado permite fundir uma peça no formato de um disco que é torneado e posteriormente fresado. Como as peças são feitas em partes – que depois de usinadas são soldadas – o acesso das ferramentas de corte é facilitado, possibilitando o acesso total ao rotor, ao contrário do que ocorre com o sistema monobloco. (O Mundo da Usinagem – Publicação da Divisão Coromant da Sandvik do Brasil ISSN 1518-6091 RG. BN 217.147 – Ed. 4. 2005 nº 24) Disponível em www.omundodausinagem.com.br/pdf/24.pdf

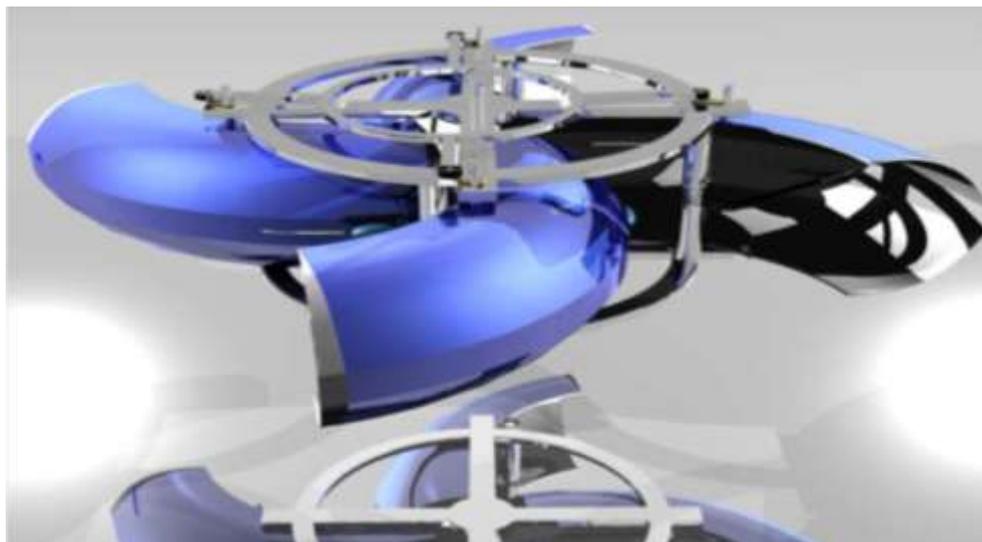
⁴⁵ Rotor é o componente que gira (rota) em um gerador elétrico. Em uma turbina eólica, o rotor é onde ocorre a conversão da potência cinética em potência mecânica no eixo da turbina. (Wikipédia/2014)

⁴⁶ Alternador é a ferramenta que transforma a energia mecânica em energia elétrica. É utilizado em equipamentos diversos desde geradores de energia portáteis, automóveis até usinas hidrelétricas ou eólicas. (Wikipédia/2014)

⁴⁷ Inversor é um dispositivo elétrico ou eletromecânico capaz de converter um sinal elétrico CC (corrente contínua) em um sinal elétrico CA (corrente alternada). Entre as aplicações mais bem-sucedidas estão as que envolvem energia solar e eólica, tanto no fornecimento aos consumidores locais (na própria residência) como na interligação com as concessionárias de energia elétrica. (Wikipédia/2014)

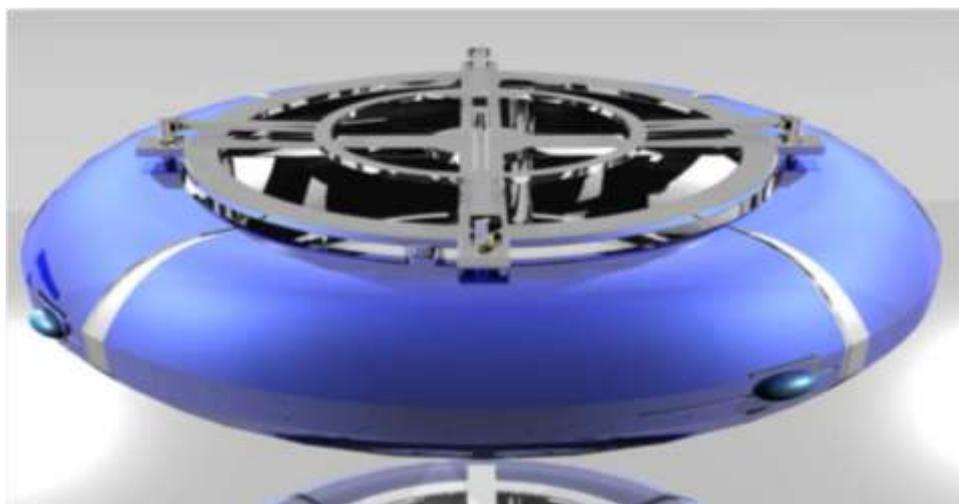
do rotor por comando eletrônico, dependendo das alterações do clima. Por exemplo, o rotor permanece aberto em condições de normalidade, conforme a figura 31 e se fecha em caso de tempestade para prevenir estragos, como mostra a figura 32. Eilas.

Figura 31: Rotor aberto



Fonte: Braseólica Ltda

Figura 32: Rotor fechado



Fonte: Braseólica Ltda

A vida útil média do aerogerador BrasEólico como um todo é de 30 anos. Fator que perfaz uma relação custo/rendimento que alcança índices máximos de otimização com um equipamento de 8 metros de diâmetro e potência nominal de 60 KWh.

A título de exemplo prático, tomemos as regiões costeiras do Nordeste brasileiro – uma das mais propícias para a geração eólica, conforme demonstrado no Capítulo 1 – a relação entre a potência nominal instalada e energia firme efetivamente gerada é de ¼. Contando com a irregularidade dos ventos, portanto, deve-se instalar 60 KWh para garantir uma geração média de 15 KWh.

3.1.2 - Gerenciamento e comercialização

O empreendimento Braseólico demandou a estruturação da entidade comercial de objeto social amplo denominada Braseólica Ltda para exercer a função de gestão da iniciativa cabendo-lhe buscar e selecionar fornecedores, clientela e colaboradores, assim como firmar e administrar os contratos de terceirização industrial, comercial ou administrativa e gerir a rede múltipla que se formar para o pleno funcionamento do empreendimento no Brasil.

A licença exclusiva de exploração do projeto é resultado, conforme mencionado acima, de contrato firmado entre a Braseólica Ltda e outra sociedade comercial de direito francês, que detém a propriedade exclusiva do empreendimento.

Conforme pactuado, a remuneração da licença far-se-á sob a forma de royalties que não excederão 3% do faturamento bruto das atividades industriais computados sobre os preços de venda Ex-Works⁴⁸ e excluindo da base de cálculo qualquer rendimento associado à cadeia comercial subsequente.

Caberá à Braseólica Ltda financiar o projeto e os custos relacionados com recursos próprios e empréstimos externos, firmando contratos com prestadores de serviços (escritórios de advocacia, bancos, empresas de contabilidade, etc.) para garantir o complexo de atividades gerenciais.

Foi acordado, ainda, que serão firmados contratos trabalhistas, porém, em número reduzido. Em suma, caberão à Braseólica Ltda – que faturará em nome próprio - os riscos comercial e financeiro para o exercício das atividades de compra

⁴⁸ A expressão Ex-Works (e a sua sigla EXW) faz parte do conjunto de termos utilizados no comércio internacional (os chamados incoterms) e normalizados pela convenção da ONU para contratos de comércio internacional de bens. Configura-se quando o exportador encerra sua participação no negócio quando acondiciona a mercadoria na embalagem de transporte (caixa, saco, etc.) e a disponibiliza, no prazo estabelecido, no seu próprio estabelecimento. O comprador assume todos os custos e riscos envolvidos no transporte da mercadoria do local de origem até o de destino. (www.comxport.com/dic/incoterms/pt/exw.htm)

e venda relacionadas ao projeto. Isto, por óbvio, sem prejuízo da contratação dos devidos seguros.

3.1.3 – Industrialização

A industrialização do aerogerador de proximidade BrasEólico é relativamente simples e não requer especialidades que a indústria nacional não domine satisfatoriamente. A Braseólica Ltda decidiu pela terceirização e conta com a colaboração da Fundação Criciúma Ltda – Fundicril -⁴⁹ que dispõe das capacidades e do espaço industrial para atuar como principal contratante de produção.

As funções de comercialização, instalação e manutenção de sistemas, por sua vez, serão oportunamente atendidas por credenciamento de empreiteiros e agentes regionais.

3.2 – Encaixe no marco regulatório

Como o projeto Braseólico contempla a microgeração distribuída via aerogerador de proximidade, é perfeito o seu encaixe no marco regulatório nacional do setor, qual seja a Resolução Normativa 482/2012, criteriosamente abordada no Capítulo 2.

Os aspectos técnicos abordados acima e a análise dos aspectos legais realizada no capítulo anterior não deixam dúvidas de que há um casamento entre o funcionamento do projeto e as condições gerais estabelecidas pela RN que regulamentou o acesso da microgeração e minigeração distribuída, criando o sistema de compensação de energia.

Imposições da referida resolução como, por exemplo, a obrigatoriedade de as distribuidoras de energia elétrica adequarem seus sistemas comerciais e normas técnicas para viabilizar o acesso da microgeração e minigeração distribuída, dá ao projeto Braseólico as condições ideais de implementação e pleno funcionamento nas regiões propícias à geração eólica no território nacional.

⁴⁹ A Fundicril é uma indústria de máquinas pesadas e equipamentos em geral que presta serviço de fundição e usinagem nas ligas de bronze, aço carbono, aço inox, ferro fundido e alumínio. Atende setores automobilístico, de alimentação, mineração e agrícola. Com sede em Criciúma (SC), possui representantes também na Bahia, São Paulo, Paraná e Rio Grande do Sul. As demais regiões do Brasil são atendidas pela matriz. (www.fundicril.com.br)

Podemos considerar, portanto, que juridicamente o projeto está plenamente garantido para operacionalização no Brasil.

3.3 - Viabilidade Econômica

Destaque-se que o presente trabalho não busca demonstrar a viabilidade econômica da fabricação do aerogerador BrasEólico, mas sim da viabilidade econômica do equipamento, levando-se em conta seus custos e retornos. Por óbvio, tal demonstração não pode passar ao largo de conceitos e princípios inerentes ao mundo dos negócios, emprestados de outras áreas do conhecimento como administração, economia e finanças, sem perder de vista o arcabouço jurídico-regulatório do setor.

O custo do aerogerador com 8 metros de diâmetro e potência nominal de 60 KWh, assegurando a geração média de 15 KWh, já instalado é de R\$ 183.400,00. Portanto, o cálculo da viabilidade levará em conta este valor e o preço da energia.

3.3.1 – Riscos

Um dos passos primordiais na determinação do sucesso de qualquer empreendimento está, certamente, na mensuração dos seus riscos conferindo, assim, confiança a todos os outros passos a serem dados bem como credibilidade às informações transmitidas sobre o projeto.

Para Bonomi e Malvessi (2004), uma das formas de classificação de risco é a sua divisão em dois grandes grupos: o sistêmico e o próprio. O primeiro grupo diz respeito aos sistemas econômico, político ou social no qual está inserido o projeto; o segundo está relacionado à própria atividade ou ao projeto em si. Trazendo a classificação de Bonomi e Malvesi para a realidade do aerogerador BrasEólico poderíamos fazer a seguinte avaliação, presente na tabela a seguir:

TABELA 7: Riscos próprios

RISCOS PRÓPRIOS	GRADUAÇÃO	JUSTIFICATIVA
Ambientais, de patrimônio, e de responsabilidade civil	Baixo	Trata-se de uma operação com reduzido impacto e baixo investimento patrimonial. Consequentemente importa em pouca probabilidade de responsabilização do empreendedor por perdas em qualquer esfera, inclusive civil.
Abastecimento de fornecedores	Médio	A graduação deste risco está diretamente ligada ao fabricante do equipamento e ao serviço de pós venda e manutenção. Poderá ser minimizado em função da qualidade do fabricante, contratos garantindo fornecimento de peças de reposição e da formação de equipes de manutenção
Operacionais: preços de materiais e salários	Muito baixo	A vida útil do equipamento é bastante elevada e não demanda mão de obra na sua operação

Fonte: autora

Quanto aos riscos sistêmicos podemos apontar os financeiros e os de ordem política. Vejamos na tabela abaixo.

TABELA 8: Riscos sistêmicos

RISCOS SISTEMICOS	GRADUAÇÃO	JUSTIFICATIVA
Financeiros: taxas de juros, câmbio, disponibilidade de crédito e inadimplência	Baixo	Todas essas variáveis estarão dadas quando da implantação do projeto. Ainda que a aquisição do equipamento se dê mediante financiamento, todos os custos incorridos na linha de crédito serão definidos em contrato. Já o risco de inadimplência é praticamente inexistente, posto que o destinatário do produto “energia” é o próprio fornecedor desse insumo, numa relação de empréstimo garantida por contrato previsto em norma regulatória federal.
Políticos: Risco País, reputação e regulamentação	Baixo	O Brasil é um país politicamente estável, constituído de poderes independentes, dispondo de amplo marco regulatório sobre o setor energético, incluindo o da microgeração distribuída.

Fonte: autora

3.3.2 - Retorno

Existem inúmeras fórmulas de avaliação de investimentos e elaboração de orçamento de capital. No presente trabalho optou-se pelo chamado período de *payback*, que na definição de Weston e Brigham (2000) é “o número esperado de anos exigido para recuperar o investimento original” e, conforme lembram, foi o primeiro método formal para a avaliação de projetos.

O processo é simples – somam-se os fluxos futuros de caixa para cada ano, até que o custo inicial do projeto de capital seja pelo menos coberto. O tempo total, incluindo-se a fração de um ano se apropriado, constitui o período de *payback*. (WESTON e BRIGHAM, XIV, p. 531)

Observando-se essa metodologia, quanto mais baixo for o *payback*, melhor. Nesse sentido, diante de mais de uma opção de investimento, uma corporação pode “desempatar” o jogo simplesmente observando o tempo que o projeto demandará para retornar os recursos nele aplicados. Conforme veremos, o aerogerador de proximidade Braseólico enquadra-se num *payback* consideravelmente baixo.

Para alcançar tais conclusões foram tomados como variáveis o custo de implantação de um aerogerador Braseólico e o preço da energia paga pelos consumidores residenciais nas principais praças onde a qualidade e a intensidade dos ventos mostraram-se favoráveis à instalação do equipamento, conforme mostra a tabela 9.

Posto tratar-se de uma operação de empréstimo não oneroso, os cálculos estão levando em conta que a transferência da energia no sentido gerador-distribuidora se dará sem ônus tributário, daí a decisão de considerar os valores a serem percebidos pelo empreendedor como livre de impostos.

TABELA 9: Tempo de retorno

PAYBACK					
	Local	Energia/ Tarifa	Energia/ Preço ao consumidor residencial	Aerogerador BrasEólico / Rendimentos Financeiros Anuais	Payback
1	São Luís	0,4465	0,685	131800	2,0
2	Salvador	0,404	0,62	57800	5,1
3	Belém	0,395	0,606	131800	2,3
4	João Pessoa	0,387	0,5968	112315	2,7
5	Vitória	0,384	0,5896	57800	5,4
6	Maceió	0,3694	0,5668	101780	3,2
7	Fortaleza	0,3638	0,5582	131800	2,5
8	Natal	0,3637	0,5581	131800	2,5
9	Recife	0,3613	0,5544	131800	2,5
10	Aracaju	0,3537	0,5427	112315	3,0
11					
12	Porto Alegre	0,3314	0,5084	131800	2,7
13					
14	Macapá	0,1973	0,3027	131800	4,6

Fonte: BrasEólica Ltda.

Importa destacar ainda na definição do preço final a inexistência de custos relacionados à transmissão da energia, isso porque a geração se dará no mesmo ambiente do consumo, suprimindo gastos consideráveis no transporte da força elétrica e também as perdas inerentes à transmissão. Dessa forma, ainda que devolva ao microgerador a energia emprestada, nas mesmas bases que recebeu, a empresa distribuidora estará percebendo considerável lucro na operação, mediante a supressão de tais custos.

Considerando o quadro acima, temos um *payback* médio de aproximadamente três anos, para uma perspectiva de vida útil de 30 anos do aerogerador. Portanto, considerando-se um quadro de riscos baixos conforme já demonstrado e uma perspectiva de retorno do investimento num prazo relativamente curto, podemos assegurar que, do ponto de vista financeiro, trata-se de um projeto altamente viável.

Para o Estado Brasileiro também se revela uma alternativa altamente interessante, além das já destacadas vantagens da energia limpa. Quanto maior for a conversão de simples consumidores em consumidor-gerador estarão sendo aliviadas as pressões por equipamentos de transmissão de energia, com suas monumentais linhas e toda a infraestrutura ao seu redor.

3.3.3 - Fontes de financiamento

Conforme destacado no Capítulo 1, há no Brasil várias alternativas de financiamento de projetos de geração de energia eólica, alguns com custo altamente subsidiado, destaque para as linhas do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), com opções para projetos de vários portes, desde que enquadráveis ao Proinfa.

Os juros nominais são de aproximadamente 8,5% ao ano, de modo que a taxa real fica em torno de 3,5%, considerando-se uma inflação na ordem de 5% anualizada. Os projetos que demandam investimentos acima de R\$ 10 milhões são negociados diretamente no banco de fomento. Valores abaixo deste montante, nas instituições credenciadas. No campo oficial, além da linha BNDES há também disponibilidade de recursos no Banco do Nordeste do Brasil – BNB, com custos similares.

Mas em se tratando de um negócio inovador e de geração de energia limpa, não podemos esquecer as alternativas de captação de recursos internacionais, tanto na forma de financiamento quanto no aporte direto de recursos, na qualidade de empreendedor. Em que pese uma complexidade adicional nesse tipo de operação, decorrente de fatores como variação de câmbio e estruturação de contratos e garantias, as oportunidades estão abertas.

Nesse sentido, destaca Tápias (2004):

Num empreendimento existem vários tipos de risco. Uns são políticos, outros de engenharia, outros de dificuldades de operacionalidade. Entretanto, apesar dos riscos, sempre existe disponibilidade de vários tipos de capital para assumi-los por uma remuneração compensadora. São agências multilaterais, bancos de fomento, seguradoras, fundos de pensão, instituições financeiras privadas, empresários e especialmente investidores financeiros. Portanto, para cada tipo de risco há sempre alguém disposto a assumi-lo, desde que o conheça, possa avaliá-lo com precisão e seja remunerado adequadamente. (TÁPIAS, I, p. 14)

Após as análises técnica e econômica realizadas acima julgamos que a Resolução 482/2012 chancela jurídica e tecnicamente a viabilidade da implementação do projeto Braseólico e a sua factibilidade trará um aperfeiçoamento do modelo de microgeração descentralizada via sistema de compensação, configurando um complexo de vantagens para gerador, consumidor, distribuidor e, conseqüentemente, todo o sistema elétrico brasileiro. Automaticamente, por óbvio, o grande beneficiado será o meio ambiente.

Diante do exposto, consideramos plenamente possível e vantajoso que figura como a apresentada a seguir seja, em breve, parte da realidade de diversas cidades brasileiras.

Figura 33: Aerogeradores BrasEólicos instalados em condomínio vertical



Fonte: Braseólica Ltda

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O rastreamento histórico realizado nesta pesquisa sobre a trajetória da energia eólica mostra que a evolução desta modalidade energética se deu na alternância de períodos favoráveis e desfavoráveis ao seu desenvolvimento, ao sabor das circunstâncias economicamente determinantes. Emerge, do resgate deste passado, uma evidência - a energia proveniente do vento nunca encontrou momento tão propício à sua consolidação como fonte limpa e eficiente quanto o atual.

Ecoa nos mais diversos pontos do planeta o clamor por um mundo menos dependente dos combustíveis fósseis e por um desenvolvimento sustentável, ou seja, aquele que leve ao crescimento econômico com menor desgaste dos recursos naturais e maior inclusão social, em nome da qualidade de vida das gerações futuras.

As fontes renováveis portam o status de apostas seguras da economia atual rumo ao futuro energético do planeta. Dentre elas, a vertente eólica é a que apresenta maior crescimento e já é uma realidade importante tanto para países desenvolvidos quanto para emergentes.

O Conselho Mundial de Energia Eólica (Global Wind Energy Council – GWEC) prevê para 2014 a instalação de 45,3 GW, com alta de 14,4% sobre 2013. De acordo com o mais recente relatório do GWEC, a Ásia continuará sendo o maior mercado para a energia eólica, liderado pela China, e na América Latina, o líder é o Brasil. A previsão do Conselho Mundial é de que sejam investidos até o fim deste ano no país cerca de US\$ 8,5 bilhões para instalação de pouco mais de 5 GW.

O otimismo é compactuado nacionalmente, pois no Plano Decenal de Energia (PDE 2011), elaborado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE) – ligada ao Ministério das Minas e Energia (MME) -, a participação da energia eólica na matriz energética sai do 1% em 2011 e alcança os 9% em 2021. Afora as conjecturas, estatísticas da Associação Brasileira de Energia Eólica (Abeeólica) mostram que a geração eólica é a fonte que mais cresceu no país em participação nos leilões de energia desde 2009. Em 2013, foram contratados 2,3 mil MW, um “recorde”, nas palavras da presidente da Abeeólica, Elbia Melo. Segundo ela declarou ao jornal O Estado de S. Paulo em 12 de janeiro deste ano, o Brasil fechou 2013 com 3,6 mil

MW de capacidade instalada – 3% da matriz elétrica. Até março, seriam 7 mil MW e, em 2018, 13 mil MW – 8% da matriz.

O bom desempenho da eólica nos leilões, além de demonstrar preços competitivos, incrementou a cadeia produtiva, impulsionando a instalação de indústrias destes equipamentos. Somado a esses fatores, como vimos no decorrer deste estudo, os progressos tecnológicos do setor não param. Torres foram aperfeiçoadas – passaram de 50 metros para 100 metros de altura, por exemplo, visando maior eficiência.

O impulso à expansão da energia eólica no Brasil se deve à junção de três motivos primordiais: i) desde a crise econômica de 2008, Estados Unidos e Europa reduziram os investimentos em fontes renováveis levando investidores a aportarem recursos em projetos no Brasil, país internacionalmente reconhecido como de excelente potencial eólico; ii) com maiores investimentos, a cadeia produtiva se aperfeiçoou e, numa via de mão dupla, aproveitou-se do desenvolvimento tecnológico do setor que, por sua vez, aprimorou avanços para atender à crescente demanda de produção; iii) aperfeiçoamentos regulatórios foram realizados diante da dinâmica deste cenário promissor que leva, naturalmente, a novas e diversas tendências;

Dentre as tendências que ganharam força em âmbito nacional estão a minigeração e microgeração de energia elétrica a partir da fonte eólica, seguindo movimentos semelhantes adotados em outros países. Consumidores passaram a gerar energia e almejam conectá-la à rede elétrica, possibilitando usá-la como backup nos momentos de ventos mais calmos e até negociar a geração que excedesse o autoconsumo, adotando o sistema conhecido internacionalmente como *net metering*. Para isso, faltava a regra jurídica.

Daí surge um importante aperfeiçoamento regulatório, a Resolução Normativa 482 de 17 de abril de 2012 - instituída pela Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel) - que criou o sistema de compensação de energia elétrica e estabeleceu as regras para o acesso da microgeração e minigeração direcionada ao sistema de distribuição desta energia, a partir de fontes renováveis.

Alguns especialistas enxergam na micro e minigeração de energia elétrica uma tendência irreversível com a possibilidade de em 20 ou 30 anos ultrapassar a produção de energia convencional. Vários fatores podem contribuir para que esta perspectiva se concretize, como a economia relativa a gastos com energia, maior

eficiência no abastecimento e a possibilidade de, em poucos anos, lucrar com a negociação da energia excedente produzida.

Plenamente compatível com este contexto, aparece o projeto Braseólico, apresentado em detalhes neste trabalho. O aerogerador de proximidade, concebido na École de Mines de Alès, na França, é ideal para funcionamento no entorno urbano construído, usufruindo do sistema de compensação de energia elétrica a partir da microgeração.

Ele propicia a coincidência geográfica entre geração e carga, ou seja, a distribuição da energia onde ela é gerada e a geração onde a energia é distribuída, dispensando a rede de transmissão e abortando perdas, uma vez que os excessos na produção entram na rede pública e retornam ao consumidor/gerador na forma de crédito.

O aerogerador BrasEólico possui um sistema singelo, mas inovador, de funcionamento e tem em condomínios horizontais ou verticais o seu nicho mercadológico. De eixo vertical, o BrasEólico inova no formato ao possibilitar o acomodamento das suas quatro pás côncavas entre suportes paralelos, evitando oscilações e ruídos e permitindo o empilhamento dos módulos. Com armação de alumínio e alternador de última geração, o aerogerador é leve e tem arrancada imediata ao menor deslocamento de ar, potencializando sua capacidade.

Com vida útil média de 30 anos, a relação custo-rendimento do BrasEólico alcança índices máximos de otimização com equipamento padronizado de 8 metros de diâmetro e potência nominal de 60 KWh, perfazendo uma geração média de 15 KWh.

Após apresentar estes e outros aspectos estruturais, coube ao estudo avaliar a compatibilidade técnico-econômica do projeto Braseólico. Para isso, foram combinados os fatores clássicos como a classificação de riscos, o tempo de retorno do investimento – o chamado *payback* – e as possibilidades de financiamento incentivado. Tudo, obviamente, baseado no custo do equipamento já instalado e no preço da energia, levando-se em conta regiões brasileiras onde o vento é mais competitivo.

Neste processo, o estudo demonstrou um quadro de riscos baixo e um tempo de retorno relativamente curto – cerca de três anos – para um equipamento de vida útil média de 30 anos. Assegura-se, assim, que do ponto de vista financeiro, o projeto Braseólico é altamente viável.

Suas vantagens específicas se estendem ao Estado brasileiro, que poupará gastos com equipamentos de transmissão e verá crescer o número de consumidores-geradores de uma energia de preço cada dia mais competitivo e que não emite poluentes nem gera gases de efeito estufa.

Um cenário amplamente sustentável que se casa perfeitamente com a expectativa da complementaridade entre as fontes eólica e hidrelétrica na matriz energética brasileira, uma tendência já considerada irreversível por especialistas do setor, dado o contraponto sazonal entre as duas fontes, ou seja, no período do ano em que não há muita chuva e o nível dos reservatórios diminui, cresce a intensidade dos ventos.

Diante de todo o contexto acima exposto, podemos afirmar que a implementação do projeto Braseólico trará inegáveis ganhos ambientais e econômicos, fortalecendo o consumidor e o sistema energético nacional e consolidando o país na já destacada posição internacional de titular de uma matriz energética cada vez mais limpa.

REFERÊNCIAS

1. Referências Bibliográficas

ANTUNES, Paulo de Bessa. **Política Nacional do Meio Ambiente – PNMA: Comentários à Lei 6.938, de 31 de agosto de 1981**. Rio de Janeiro: Lumen Juris, 2005.

BARUF, Clara Bonomi, MOUTINHO, Edmilson dos Santos e IDE, Cristiane Reis. **Autosuficiência Energética e Desenvolvimento: o comércio de gás natural entre Brasil e Bolívia**. Cadenos Prolam/USP, volume 2, ano 5, 2006. Disponível em http://www.usp.br/prolam/downloads/2006_2_6.pdf

BAETZ, Juergen. **Germany decides to abandon nuclear power by 2022**. Associated Press, 2011. Disponível em <http://www.businessweek.com/ap/financialnews/D9NHTJM02.htm>. Acesso em agosto de 2014.

BONOMI, Claudio A. MALVESSI, Oscar. **Project Finance no Brasil – Fundamentos e Estudos de Casos. Introdução de Alcides Lopes Tápias**. 2ª ed. São Paulo: Atlas, 2004.

BRUNTLAND, Gro Harlem. **Nosso Futuro Comum**. Fundação Getúlio Vargas, 1991.

CANOTILHO, J. J. Gomes. **Direito Constitucional e Teoria da Constituição**. Coimbra: Almedina, 1999.

CARRAZA, Roque Antonio. **Curso de Direito Constitucional Tributário**. 11ª ed. São Paulo: Malheiros, 1998.

CRETELLA, José Junior. **Comentários à Constituição brasileira de 1988**. Rio de Janeiro: Forense Universitária, 1989.

DAMODARAN, Aswath. **Avaliação de Investimentos: Ferramentas e Técnicas para a Determinação do Valor de Qualquer Ativo**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2005.

DESCARTES, René. **Discurso do Método – Regras para a Direção do Espírito**. Tradução: Pietro Nassetti. São Paulo: Martin Claret, 2002.

DIÁRIO DO NORDESTE. **Microgeração pode ultrapassar a convencional**. Disponível em <http://diariodonordeste.globo.com/materia.asp?codigo=1329633#sthash.04jcgp4E.dpuf>. Acesso em janeiro de 2014.

DUTRA, Ricardo Marques. **Energia Eólica – Princípios e Tecnologias**. Cresesb – Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito. Rio de Janeiro: CEPEL, 2010.

_____. **Viabilidade Técnico-Econômica da Energia Eólica face ao Novo Marco Regulatório do Setor Elétrico Brasileiro**. Dissertação de M.Sc., Programa de Planejamento Energético. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 2001.

FURTADO, Celso. **A Pré-Revolução Brasileira**. Rio de Janeiro: Fundo de Cultura, 1962.

_____. **Criatividade e Dependência na Civilização Industrial**. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1978.

GIPE, Paul. **Wind Power – Renewable energy for home, farm and business**. Vermont: Chelsea Green Publishing Company, 2003.

GLOBAL TRACKING FRAMEWORK. Chapter 4: Renewable Energy. p. 193
Disponível em <http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/globaltrackingframework.pdf>. Acesso em setembro de 2013.

GLOBO.COM – **Série de entraves limita uso da energia eólica no Brasil**. Disponível em <http://g1.globo.com/brasil/noticia/2013/06>. Acesso em setembro de 2013.

HAU, E. **Wind Turbines: Fundamentals, Technologies, Application, Economics**. 2ª ed. Berlim: Springer, 2006.

HOBBSBAWM, Eric J. **O Novo Século – Entrevista a Antonio Polito**. Companhia das Letras: São Paulo. 2009.

HOLANDA, Sérgio Buarque de. **Raízes do Brasil**. 26ª ed. Companhia das Letras: São Paulo. 1995.

JORNAL DA ENERGIA. **Neoenergia firma acordo para instalar usina solar em Fernando de Noronha**. Disponível em http://www.jornaldaenergia.com.br/ler_noticia.php?id_noticia=13563&id_secao=8. Acesso em outubro de 2013.

LEFF, Enrique. **Epistemologia Ambiental**. Cortez: São Paulo. 2001.

KNIGHT, Ben. **Merkel shuts down seven nuclear reactors**. Associated Press, 2011. Deutsche Welle. Disponível em <http://www.dw.de/merkel-shuts-down-seven-nuclear-reactors/a-14912184>. Acesso em agosto de 2014.

LÓPEZ, José Maria Escudero. **Manual de Energía Eólica – Colección energías renovables**. 2ª ed. Ediciones Mundi-Prensa: Madri. 2003.

LOPEZ, Ricardo Aldabó. **Energia Eólica**. 2ª ed. Artliber: São Paulo. 2012.

MACHADO, Paulo Affonso Leme. **Direito Ambiental Brasileiro**. 9ª ed. São Paulo: Malheiros, 2001.

MELLO, Celso Antônio Bandeira de. **Curso de Direito Administrativo**. 28ª ed. São Paulo: Malheiros, 2011.

MELO, Marcelo Silva de Matos. **Energia Eólica: Aspectos Técnicos e Econômicos**. Dissertação de M.Sc., Programa de Planejamento Energético. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 2012.

MILARÉ, Édis. **Direito do ambiente: a gestão ambiental em foco: doutrina jurisprudência, glossário**. 7. ed. rev., atual. e reform. - São Paulo: Editora Revista dos Tribunais, 2011.

MORIN, Edgar. **O Método II: a vida da vida**. Porto Alegre: Sulina, 2005.

O ESTADO DE S. PAULO. **A turma do ITA revoluciona a energia**. Disponível em <http://www.estadao.com.br/noticias/impreso,a-turma-do-ita-revoluciona-a-energia-,1117544,0.htm>. Acesso em janeiro de 2014.

OLIVEIRA, Adilson de. **Planejamento elétrico: uma agenda amigável com a natureza**. In: VEIGA, José Eli da. (org.) **Energia eólica**. Senac: São Paulo. 2012.

OLIVEIRA, Lucas Kerr de. **Energia como Recurso de Poder na Política Internacional: Geopolítica, Estratégia e o Papel do Centro de Decisão Energética**. Tese de Doutorado, Programa de Ciência Política. Porto Alegre: UFRGS, 2012.

PELIZZOLI, M.L. **A Emergência do Paradigma Ecológico – Reflexões ético-filosóficas para o século XXI**. Vozes: Petrópolis (RJ). 1999.

PEREIRA, Osvaldo Soliano. **Energia eólica: segunda fonte de energia elétrica do Brasil**. In: VEIGA, José Eli da. (org.) **Energia eólica**. Senac: São Paulo. 2012.

PINTO, Milton de Oliveira. **Fundamentos da energia eólica**. LTC: Rio de Janeiro. 2013.

REALE, Miguel. **A Constituição e o direito civil**. O Estado de S. Paulo, p. A-2. In: MILARÉ, Édis. **Direito do ambiente: a gestão ambiental em foco: doutrina jurisprudência, glossário**. 7. ed. rev., atual. e reform. - São Paulo: Editora Revista dos Tribunais, 2011.

REIS, Lineu Belico dos. SANTOS, Eldis Camargo. **Energia elétrica e sustentabilidade: aspectos tecnológicos, socioambientais e legais**. 2ª ed. rev., e atual. – Manole: São Paulo, 2014.

ROHATGI, J.S., NELSOIN, V. **Wind Characteristics – An Analysis for the Generation of Wind Power**. Canyon: West Texas A&M University, 1994.

RÜNCOS, F. **Gerador Eólico**. Santa Catarina: UFSC, 2000. Disponível em <http://www.ufsc.br/wmadmni\dat\depto\fredemar\matda\texto\trgerel.doc>. Acesso em outubro de 2013.

SACHS, Ignacy. **Caminhos para o Desenvolvimento Sustentável**. Garamond: Rio de Janeiro. 2009.

SALVADOR, Frei Vicente do. **Historia do Brazil**. Biblioteca Nacional: Rio de Janeiro. 1889, p.7. Disponível em <http://purl.pt/154/1/P39.html>. Acesso em Agosto de 2013.

SANDRONI, Paulo. **Novíssimo Dicionário de Economia**. 11ª ed. Best Seller: São Paulo. 2003.

SIGH, V.; FEHRS, J. **The work that goes into renewable energy. Renewable Energy Policy Project**. Disponível em http://www.repp.org/articles/static/1/binaries/LABOR_FINAL_REV.pdf, 2001

SILVA, José Afonso da. **Direito Ambiental Constitucional**. 4ª ed. Malheiros: São Paulo. 2002.

STENKJAER, Nicolj. **Denmark's Electricity History**. Nordic Folkecenter for Renewable Energy. Disponível em http://www.folkecenter.net/gb/documentation/dk_elhistory/

TERRA. Carta da. Disponível em www.cartadaterrabrasil.org. Acesso em novembro de 2013.

TUNDISI, Helena da Silva Freire. **Usos de energia: alternativas para o século XXI**. 16ª ed. Atual: São Paulo, 2013.

VALOR ECONÔMICO. **Energia Eólica – Análise Setorial**. 1ª edição setorial. São Paulo. 2013

WESTON, J. Fred. BRIGHAM, Eugene F. **Fundamentos da Administração Financeira**. 10ª ed. São Paulo: Pearson Makron Books, 2000.

2 – Referências institucionais

ABEEOLICA – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA EÓLICA. **Boletim Mensal de Dados do Setor Eólico – Julho 2013**. São Paulo: ABEEOLICA, 2013.

ANEEL – AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Perguntas e Respostas sobre a aplicação da Resolução Normativa nº 482/2012**. Disponível em www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/FAQ_482_18-12-2012.pdf. Acesso em novembro de 2013.

BRASEÓLICA LTDA. **Prospecto de Negócio. Aerogerador de proximidade BrasEólico. Microgeração Eólica Descentralizada no Entorno Urbano Construído**. Goiânia, 2013

CCEE – CÂMARA DE COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA. **Ambiente Livre e Ambiente Regulado**. São Paulo: CCEE, 2013. Disponível em <http://ccee.org.br> Acesso em novembro de 2013.

CEPEL – CENTRO DE PESQUISAS DE ENERGIA ELÉTRICA. **Atlas do Potencial Eólico Brasileiro**. Rio de Janeiro: CEPEL, 2001.

CERNE – CENTRO DE ESTRATÉGIAS EM RECURSOS NATURAIS E ENERGIA. **A Indústria dos Ventos e o Rio Grande do Norte – Brasil – 2013**. Rio de Janeiro: CERNE, 2013.

CMMD – COMISSÃO MUNDIAL SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO. **Nosso Futuro Comum**. 2ª ed. Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas, 1991.

CNUMAD – CONFERÊNCIA DAS NAÇÕES UNIDAS SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO. **Rio Declaration on Environment and Development** (1992). Rio de Janeiro, United Nations.

COSERN – COMPANHIA ENERGÉTICA DO RIO GRANDE DO NORTE. GRUPO NEOENERGIA. **Microgeração distribuída é realidade em Pernambuco**. Disponível em <http://www.cosern.com.br/Noticias/Pages/Microgeracao-distribuida-e-realidade-em-pernambuco.aspx>. Acesso em novembro de 2013.

CPFL ENERGIA – COMPANHIA PAULISTA DE FORÇA E LUZ. **Concessões, Permissões e Autorizações**. São Paulo: CPFL, 2013. Disponível em <http://cpfl.riweb.com.br> Acesso em novembro de 2013.

EPE – EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balço Energético Nacional – BEN 2013. Relatório Síntese**. Disponível em https://ben.epe.gov.br/downloads/Síntese%20do%20Relatório%20Final_2013_Web.pdf. Acesso em setembro de 2013.

GWEC – Global Wind Energy Council. **Análise do Marco Regulatório para Geração Eólica no Brasil**. Disponível em http://gwec.net/wp-content/uploads/2012/06/Brazil_report_2011.pdf. Acesso em novembro de 2013.

_____. **Global Wind Statistics 2012**. p.4. Disponível em http://www.gwec.net/.../GWEC-PRstats-2012_english.pdf. Acesso em outubro de 2013.

MMA – MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Declaração de Estocolmo**. Disponível em: www.mma.gov.br/estruturas/agenda21/arquivos/estocolmo.doc Acesso em novembro de 2013.

VIRIDIAN – **Tecnologia/Energia Eólica**. Disponível em <http://www.viridian.com.br>. Acesso em novembro de 2013.

WCED – WORLD COMMISSION ON ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT. ***Our common Future***. Oxford: Oxford University Press, 1987.

3 – Referências legislativas

Constituição da República Federativa do Brasil. **Constituição 1988: Texto Constitucional de 5 de outubro de 1988 com as alterações adotadas pelas Emendas Constitucionais nº 1 a 6/94**. Brasília: Senado Federal, Subsecretaria de Edições Técnicas, 2000.

Decreto nº 2.003, de 10 de setembro de 1.996. Regulamenta a produção de energia elétrica por Produtor Independente e por Autoprodutor e dá outras providências. Disponível em http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/D2003.htm. Acesso em novembro de 2013.

Lei nº 9.074, de 7 de julho de 1.995. Estabelece normas para outorga e prorrogações das concessões e permissões de serviços públicos e dá outras providências. Disponível em http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9074cons.htm. Acesso em novembro de 2013.

Lei nº 12.858, de 9 de setembro de 2.013. Dispõe sobre a destinação para as áreas de educação e saúde de parcela da participação no resultado ou da compensação financeira pela exploração de petróleo e gás natural, com a finalidade de cumprimento da meta prevista no inciso VI do caput do art. 214 e no art. 196 da Constituição Federal; altera a Lei 7.990, de 28 de dezembro de 1989; e dá outras providências. Disponível em http://planalto.gov.br/ccivil_03/Ato2011-2014/2013/Lei/L12858.htm. Acesso em agosto de 2014.

Procedimento de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – Prodist, Módulo 3, Seção 3.7. Disponível em www.aneel.gov.br/.../2011/.../minuta_secao_3.7_modulo_3_prodist.pdf. Acesso em novembro de 2013.

Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012. Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências. Disponível em www.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf. Acesso em novembro de 2013.

Resolução Normativa nº 414, de 9 de setembro de 2010. Estabelece as Condições Gerais de Fornecimento de Energia Elétrica de forma atualizada e consolidada. Disponível em www.aneel.gov.br/.../livros/REN_414_2010_atual_REN_499_2012.pdf. Acesso em novembro de 2013.