

# Guia do Setor Eólico do Rio Grande do Norte

*Mercado - Prospecção - Construção e Montagem,  
Operação e Manutenção - Barreiras e Perspectivas*



## **Autores**

Clóvis Bôsko Mendonça Oliveira / UFRN  
Renato Samuel Barbosa de Araújo / IFRN

## **Coautores**

Darlan Emanuel Silva dos Santos / CTGAS-ER  
Érika Christiane Correia de Lima / CTGAS-ER  
Neilton Fidelis da Silva / COPPE-UFRJ

## **Realização:**



# Guia do Setor Eólico do Rio Grande do Norte

*Clóvis Bôsko Mendonça Oliveira*  
*Renato Samuel Barbosa de Araújo*

## Realização:

SEBRAE RN  
FIERN / CTGAS-ER  
BANCO DO NORDESTE DO BRASIL - BNB



## Uma Publicação:



Natal, 2015

**Realização**

Fundação de Apoio à Educação e ao Desenvolvimento do RN - FUNCERN  
Núcleo de Estudos e Pesquisas em Tecnologia e Gestão na Indústria e Serviços -  
TGIS/IFRN  
Grupo de Pesquisa Otimização e Supervisão de Sistemas Industriais - OSSEI/UFRN

**Autores**

**Clóvis Bôsko Mendonça Oliveira**  
**Renato Samuel Barbosa de Araújo**

**Coautores**

Darlan Emanuel Silva dos Santos  
Érika Christiane Correia de Lima  
Neilton Fidelis da Silva

**Publicação**

Grupos de Pesquisa TGIS/IFRN e OSSEI/UFRN

Divisão de Serviços Técnicos

Catálogo de publicação na fonte

IFRN / Biblioteca Sebastião Fernandes

**G943 Guia do Setor Eólico do Rio Grande do Norte./ Clóvis Bosco  
Mendonça Oliveira...[et al] – Natal : IFRN, 2015.  
205P.; ii. Color.**

**ISBN 978-85-8333-121-6 ISBN 978-85-919770-0-0**

**1.Energia eólica. 2. Setor eólico – Rio Grande do Norte. 3. Fonte  
de energia alternativa. 4. Energia sustentável. I. Oliveira, Clóvis Bôsko  
Mendonça.**

**CDU 621.548**

# Guia do Setor Eólico do Rio Grande do Norte

© 2015 Núcleos de Estudo e Pesquisa TGIS do IFRN e OSSEI da UFRN

Todos os direitos reservados. Esta publicação não poderá ser reproduzida ou transmitida, sem prévia autorização, por escrito, da TGIS e do OSSEI, Grupos de Pesquisa do IFRN e da UFRN, respectivamente.

## Coordenador

Renato Samuel Barbosa de Araújo

Clóvis Bôsko Mendonça Oliveira

## Edição e Revisão

Clóvis Bôsko Mendonça Oliveira

Renato Samuel Barbosa de Araújo

Francisco Alan da Silva Monteiro

Gilzemberg Nunes de Sousa

Maria Josenice Severino de Pinho

Amanda Braga Avolio

## Projeto Gráfico, Diagramação, Ilustração Capas e Divisórias Internas

Núcleo de Estudo e Pesquisa TGIS/IFRN

2015

Direitos exclusivos dos Grupos de Pesquisa TGIS/IFRN e OSSEI/UFRN, SEBRAE/RN,

BNB e FIERN/CTGAS-ER

## Realização:





# Guia do Setor Eólico do Rio Grande do Norte

## Prefácio SEBRAE-RN

*O Rio Grande do Norte é surpreendente. Na segunda metade do século XX a riqueza, que se escondia no subsolo, jorrou sob a forma de petróleo. No início do século XXI o fluxo se inverteu e agora são os ventos que apontam para o progresso e o desenvolvimento deste Estado. Duas fontes bem distintas de riquezas e um mesmo produto final: energia.*

*Extraír de cada fonte a força capaz de aquecer, mover e iluminar as civilizações com a máxima eficácia tem sido uma tarefa desafiadora, que os homens vêm executando a cada dia com maior perfeição. Em que pese as guerras que foram (e ainda são) causadas pela posse ou o domínio das principais fontes energéticas, seu uso racional e sustentável está ligado ao desenvolvimento de todas as civilizações.*

*A eólica é uma opção que, atualmente, congrega em sua defesa esmagadora parcela da população, tendo em vista que é renovável, limpa, com baixo impacto ambiental e boa eficiência energética, além de gerar benefícios que vão muito além da geração de energia. Quando o SEBRAE/RN se junta ao Banco do Nordeste do Brasil e à Federação das Indústrias do RN/CTGás na edição do “Guia do Setor Eólico do Rio Grande do Norte”, tem como premissa básica apoiar a geração de novos empreendimentos produtivos, que criem as oportunidades de desenvolvimento de que tanto carece a população potiguar. Emprego, renda e trabalho digno são as principais demandas, todas baseadas na disponibilidade de energia, ela própria geradora do progresso.*

*As excelentes perspectivas que se abrem a este Estado no tocante à geração de energia eólica, vêm acompanhadas de alguns alertas sobre a necessidade de capacitação, seja de pessoas ou de empresas. O novo filão de riqueza será repartido entre aqueles que estejam preparados para executar trabalhos com qualidade, suprimindo a grande empresa eólica das carências que ela terá em certos serviços especializados. Estudos e projetos, medições atmosféricas, fornecimento de refeições e hospedagem, logística de transporte, certificações e manutenção, o leque é grande e desafiador. Cabe ao técnico, ao engenheiro e ao empresário e a tantos outros profissionais e empreendedores estarem atentos e qualificados para a grande festa do trabalho. Que bons ventos soprem para os negócios potiguares.*

**José Ferreira de Melo Neto**

**Diretor Superintendente do SEBRAE/RN**

## Realização:



# Guia do Setor Eólico do Rio Grande do Norte

## Prefácio FIERN

### A Energia que renova a Indústria

*É com imensa satisfação que a Federação das Indústrias do Estado do Rio Grande do Norte, em parceria com CTGAS/ER, o Banco do Nordeste do Brasil e o SEBRAE/RN, entrega à sociedade norte-rio-grandense o primeiro Guia do Setor Eólico do Estado. Trata-se de um trabalho onde várias instituições se unem com o objetivo principal de retratar um setor em crescimento, importantíssimo para o Rio Grande do Norte, por colocar o Estado na vanguarda nacional na produção de uma fonte de energia renovável, principalmente em um momento em que o País atravessa uma crise de abastecimento no setor elétrico.*

*É importante ressaltar que o desenvolvimento e a utilização de fontes de energias impactam positivamente na economia e no progresso das nações. No entanto, as energias mais utilizadas na atualidade são esgotáveis e mesmo com todo o avanço tecnológico já disponível é preciso olhar para o futuro e para uma fonte de energia de potencial inesgotável que, aliada à tecnologia, possa ampliar a capacidade produtiva do mundo atual e fazer jus ao que muitos historiadores denominam hoje de terceira revolução industrial.*

*Sendo o Rio Grande do Norte o Estado brasileiro com maior capacidade instalada de energia gerada por parques eólicos, a Federação das Indústrias do Estado do Rio Grande do Norte vem aumentando o investimento em educação profissional, desenvolvimento tecnológico e prestação de serviços para atender as necessidades desse setor, notadamente através do seu Centro de Tecnologias de Gás e Energias Renováveis – CTGÁS/ER, parceria SENAI e Petrobras, que investe não apenas na capacitação de mão-de-obra, mas também no desenvolvimento de novas tecnologias com vistas a criar uma base de conhecimento robusto para o segmento. Com a ampliação da capacidade energética do Estado e com os grandes investimentos privados que virão, inclusive, na produção de componentes e centros de serviços para o setor, a Federação, se prepara para receber o ISI – Instituto Senai de Inovação, o que contribuirá para consolidar o Rio Grande do Norte como referência nacional e internacional no segmento em energias renováveis.*

**Amaro Sales de Araújo**  
Presidente do Sistema FIERN

### Realização:



# Guia do Setor Eólico do Rio Grande do Norte

## Prefácio BNB

*O Guia do Setor Eólico do Rio Grande do Norte é uma obra que faz jus ao potencial eólico do Estado. Ao disponibilizar informações relevantes sobre o setor eólico no Mundo, no Brasil e, de modo especial, no Rio Grande do Norte, o Guia constitui um importante instrumento para nortear as ações governamentais e a tomada de decisão de empreendedores interessados em investir na cadeia produtiva dessa fonte energética. Essa obra representa uma importante contribuição em prol do setor eólico do Brasil, porquanto reúne, em um único compêndio, detalhadas informações organizadas em cinco capítulos: Mercado, Prospecção, Construção e Montagem, Operação e Manutenção e Barreiras e Perspectivas para a atividade.*

*Em face os avanços, a energia eólica representa atualmente a segunda fonte mais competitiva nos leilões promovidos pela ANEEL, perdendo apenas para as usinas hidrelétricas de grande porte. No entanto, caso fossem incluídos no cômputo dos custos de geração o valor correspondente às externalidades negativas, provavelmente a fonte eólica seria a mais competitiva atualmente. Contudo, em futuro breve, face à diminuição dos custos de implantação, ao aumento da eficiência e à utilização de equipamentos cada vez mais potentes, espera-se que a fonte eólica se torne a mais competitiva dentre todas as alternativas de geração elétrica. Independente disso, é fato que os estados nordestinos, a exemplo do Rio Grande do Norte e do Ceará, estão se tornando exportadores líquidos de energia elétrica, graças ao aproveitamento da força dos ventos que sopram em seus territórios, notadamente na área litorânea. Há apenas três décadas, certamente poucas pessoas apostariam nessa possibilidade, que a cada dia se torna mais realidade.*

*Por fim, conclui-se que a geração de energia elétrica a partir da fonte eólica constitui importante cadeia produtiva de bens e serviços que cria riquezas que são compartilhadas por vários segmentos da sociedade. Além disso, a fonte eólica representa uma alternativa de geração de energia elétrica desejável no mundo atual, por ser limpa, renovável e provocar reduzidos impactos ambientais. Para o Rio Grande do Norte e para a maioria dos estados nordestinos, a fonte eólica se reveste de importância capital, porquanto permitirá transformá-los, em futuro não tão distante, em exportadores líquidos de energia elétrica.*

**Francisco Diniz Bezerra**

**Eng. Civil. Mestre em Engenharia de Produção**

**Escritório Técnico de Estudos Econômicos do Nordeste – ETENE**

**Banco do Nordeste do Brasil S/A**

### Realização:



# Guia do Setor Eólico do Rio Grande do Norte

## CTGAS-ER

*O Centro de Tecnologias do Gás & Energias Renováveis (CTGAS-ER), agente atuante no desenvolvimento desse mercado, tanto no Rio Grande do Norte quanto no Brasil, e nós como colaboradores deste Centro, nos sentimos honrados em participar do trabalho proposto pelos autores e em escrevermos o prefácio deste Guia, entendendo a importância da divulgação desta informação como vetor de subsídio ao desenvolvimento desse mercado no Rio Grande do Norte e no Brasil.*

*O presente Guia, documento produzido com esmero e dedicação ao longo de mais de um ano de trabalho, representa uma síntese com assuntos de grande interesse para o setor de Energia Eólica no estado do Rio Grande do Norte, abordando o papel de destaque que o setor eólico vem desempenhando na matriz energética brasileira, diante da necessidade de sua expansão e diversificação. A continuação da leitura também oferece um resumo das atividades de interesse técnico que vão desde as atividades relativas à prospecção de áreas de estudo, onde descreve as principais etapas do processo de escolha de áreas, incluindo a utilização de ferramentas que utilizam Sistemas de Informação Geográfica (SIG) que podem apoiar a tomada de decisão a partir da análise integrada de impactos ambientais, caracterização terreno e do recurso eólico, infraestrutura de acesso e escoamento da energia produzida, entre outros; passando pela construção e montagem dos parques, através de uma visão abrangente e de leitura simples sobre os processos envolvidos nessa etapa, quando se observa maior demanda por mão-de-obra local, incluindo uma análise sobre a etapa de operação e manutenção dos parques, com ênfase nos tipos de manutenção aplicadas aos aerogeradores e à subestação coletora.*

*De acordo com a proposta do Guia, ao final de cada capítulo é apresentado um quadro resumo do potencial de fornecimento local de bens e serviços, onde as diversas atividades mapeadas em cada etapa (prospecção, construção e montagem, operação e manutenção) são classificadas numa escala que vai de “Muito Baixo” a “Muito Alto” quanto ao potencial de fornecimento local. Esse mapeamento, feito de forma detalhada, se apresenta como uma importante ferramenta para mercado local, pois mapeia e identifica as possibilidades reais de negócios nesse setor, incluindo as necessidades de capacitação da mão de obra, ampliando as possibilidades de fornecimento desse serviço ao mercado para atender a demanda atualmente imposta. O último capítulo faz uma análise de todas as etapas listadas, indicando as principais barreiras e perspectivas para o desenvolvimento dessa indústria, identificando as oportunidades para atuação de empresas locais e a oportunidade de desenvolvimento da economia do Rio Grande do Norte.*

*Nesse contexto, o Guia atinge grupos de leitores distintos, sejam eles analistas de mercado, com o mapeamento de um mercado que está inserido no Rio Grande do Norte e em amplo desenvolvimento; engenheiros e técnicos, com interesse em informações técnicas das etapas de desenvolvimento de um projeto eólico; empresários norte-rio-grandenses que desejam ampliar suas atividades; e por último, o público geral com interesse em conhecer mais desse novo vetor de desenvolvimento para o estado, e assim poder influenciar positivamente seus representantes políticos, sinalizando oportunidades para o setor de prestação de bens e serviços do estado do Rio Grande do Norte, num trabalho inédito e de grande relevância.*

**Eng. Especialista Darlan Emanuel Silva dos Santos**

**M.Sc. Eng. Érika Christiane Correia de Lima**

**Realização:**



# Guia do Setor Eólico do Rio Grande do Norte

## Agradecimento

Este Guia é resultado de uma parceria concebida pela Superintendência do SEBRAE-RN, na pessoa do Dr. José Ferreira de Melo Neto (Zeca Melo), que articulou junto a FIERN, na Gestão do Presidente Flávio Azevedo e na continuidade com o Dr. Amaro Sales. Associou-se a esta iniciativa o Banco do Nordeste do Brasil, no Rio Grande do Norte, à época do Superintendente José Maria Vilar da Silva.

No transcorrer da realização do trabalho verificou-se a necessidade de incorporação ao processo de profissionais do CT GAS-ER, que contribuíram de forma fundamental para que os conhecimentos produzidos ganhassem ainda mais relevo. Ao ponto de assinarem a coautoria deste Guia.

Somam-se aos parceiros supracitados o apoio da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, do Instituto Federal do Rio Grande do Norte e da Fundação de Apoio à Educação e ao Desenvolvimento Tecnológico do Rio Grande do Norte - FUNCERN.

As empresas, instituições e profissionais que permitiram o acesso a informações qualificadas e experiências vivenciadas e apresentadas neste documento, o que imprimiu uma perspectiva mais próxima possível da realidade do setor.

Aos familiares que compreenderam e apoiaram os autores, em suas viagens, reuniões, e muitas horas ausentes do convívio para tornar possível a produção deste Guia, que apesar de focar no Rio Grande do Norte ganhou um caráter de representação do setor no país.

Os Autores.

### Realização:



# Guia do Setor Eólico do Rio Grande do Norte

## Apresentação

*O Guia do Setor Eólico do Rio Grande do Norte reúne, em suas páginas, um conjunto de conhecimentos, experiências e reflexões acerca do mercado de energia eólica no Estado. O Guia foi elaborado com base em referências documentais e entrevistas com empresários, diretores de empresas, engenheiros e técnicos, além de representantes de instituições nacionais e internacionais, que atuam no ramo da geração de energia elétrica.*

*No Guia, são apontados, para o leitor, os principais desafios nas etapas de prospecção de empreendimentos, construção e montagem, manutenção e operação das usinas eólicas. O trabalho contempla aspectos tecnológicos, mas focaliza as atividades pertinentes à cadeia produtiva do segmento, sobretudo, as articulações entre fornecedores e demandantes de bens e serviços passíveis de oferta por empresas do Estado.*

*As oportunidades verificadas durante o estudo estão distribuídas de forma distinta por etapas do ciclo de vida do empreendimento, que vão desde a prospecção até a fase na qual predominam as atividades de operação e manutenção. Essas oportunidades estão associadas à demanda por bens e serviços como: serviços de medição de ventos, equipamentos técnicos para monitoramento atmosférico, estudos topográficos, equipamentos e serviços de montagem do sistema de controle e automação das subestações, serviços logísticos, serviços de alimentação, construção de linhas de transmissão, estudos de impactos à rede acessada, sistemas de manutenção planejada em parques eólicos maduros, serviços de qualificação de recursos humanos em nível de auxiliar técnico, técnico, de graduação e pós-graduação, dentre outras demandas apresentadas nos capítulos associados às etapas do empreendimento.*

*O Guia sinaliza de forma mais objetiva em quais fases dos empreendimentos eólicos localizam-se as oportunidades de negócio mais promissoras para os empreendedores do Estado. Destaca os principais produtos e serviços da indústria, comércio e de formação de recursos humanos demandados, especificamente, para atender às necessidades do setor de energia eólica e as possíveis relações empresariais entre instituições públicas e privadas que delinearão os contornos da cadeia produtiva eólica no Rio Grande do Norte.*

*Em fase das diferentes especificidades do perfil das atividades inerentes às etapas de prospecção, construção e manutenção e operação de parques eólicos, o Guia organiza-se em três capítulos, um para cada fase, antecedidos de um capítulo inicial que contextualiza as atuais e futuras condições do mercado de energia eólica no país, contextualizando-o com as demais fontes primárias de energia e também com as condições de demanda por energia no Brasil. Por fim, o Guia traz um capítulo indicando perspectivas e barreiras da cadeia eólica no Rio Grande do Norte.*

### Realização:



## **Guia do Setor Eólico do Rio Grande do Norte**

**Mercado**

**Prospecção**

**Construção e Montagem**

**Operação e Manutenção**

**Barreiras e Perspectivas**



## Mercado

### Sumário

<b>1 - Cenários do Mercado de Energia Eólica no Brasil.....</b>	<b>18</b>
<b>1.1 A Crise na Expansão do Setor Elétrico: O Desabastecimento de 2001 .....</b>	<b>18</b>
<b>1.2 Matriz de Geração Eólica .....</b>	<b>25</b>
1.2.1 Energia Eólica no Mundo .....	25
1.2.2 Energia Eólica na Matriz Elétrica Nacional .....	27
<b>1.2.2.1 Os Desafios Associados aos Empreendimentos de Parques Eólicos .....</b>	<b>29</b>
<b>1.3 Distribuição dos Empreendimentos Eólicos.....</b>	<b>30</b>
<b>1.4 O Valor do MWh Negociado .....</b>	<b>31</b>
<b>1.5 Políticas Públicas de Incentivo ao Mercado de Energia Eólica.....</b>	<b>33</b>
<b>1.5.1 Proeólica.....</b>	<b>33</b>
<b>1.5.2 Proinfa .....</b>	<b>33</b>
<b>1.5.3 Leilões de Energia.....</b>	<b>40</b>
1.5.3.1 Modelos de Contrato .....	41
1.5.3.2 Resultados de Leilões de Energia com a possibilidade de participação de produtores eólicos .....	44
<b>1.6 Considerações a respeito das condições de mercado .....</b>	<b>56</b>

### Realização:





## Prospecção

### Sumário

<b>2 - A Etapa de Prospecção de Viabilidade de Parques Eólicos - Oportunidades e Barreiras .....</b>	<b>59</b>
<b>2.1 Impacto Ambiental .....</b>	<b>60</b>
2.1.1 Licenciamento Ambiental.....	60
2.1.2 Estudo de Impacto Ambiental/Relatório de Impacto Ambiental-EIA/RIMA .....	61
<b>2.2 Sondagem Georreferenciada .....</b>	<b>64</b>
<b>2.3 Instrumentação .....</b>	<b>65</b>
2.3.1 Instrumento de Medição.....	65
<b>2.3.1.1 Anemômetro .....</b>	<b>67</b>
<b>2.3.1.2 Wind Vane.....</b>	<b>69</b>
<b>2.3.1.3 Termohigrômetro e barômetro .....</b>	<b>69</b>
2.3.2 Torres de Monitoramento.....	70
2.3.3 Calibração de anemômetros .....	75
<b>2.4 Estudo de Sondagem do Solo .....</b>	<b>77</b>
2.4.1 Sondagem do Solo.....	77
<b>2.4.1.1 Métodos de investigação indiretos ou geofísicos .....</b>	<b>78</b>
<b>2.4.1.2 Métodos de investigação diretos.....</b>	<b>78</b>
<b>2.5 Conexão à rede.....</b>	<b>81</b>
<b>2.6 Considerações a Respeito das Condições de Mercado para a Fase de Prospecção.....</b>	<b>84</b>
<b>2.7 Quadro resumo das potencialidades a curto prazo associadas ao fornecimento de bens e serviços aos empreendimentos eólicos na fase de Prospecção.....</b>	<b>87</b>

### Realização:

## Construção e Montagem

### Sumário

<b>3 - A Etapa de Construção de Parques Eólicos - Oportunidades e Barreiras .....</b>	<b>90</b>
<b>3.1 Principais Etapas de Construção de uma Central Eólica .....</b>	<b>95</b>
3.1.1 Estrada de Acesso.....	95
3.1.2 Drenagem Pluvial.....	100
3.1.3 Canteiro de Obras e Pátio de Estocagem .....	100
3.1.4 Limpeza, Terraplanagem e Aterros .....	103
3.1.5 Abertura de Vala.....	104
3.1.6 Fundação - Construção das Bases dos Aero geradores .....	105
3.1.7 Montagem dos Aero geradores .....	111
3.1.8 Montagem de Rede de Distribuição.....	117
3.1.9 Montagem da Subestação, Casa de Comando e Área de Gerência.....	118
3.1.10 Montagem da Linha de Transmissão .....	118
<b>3.2 Quadro resumo das potencialidades a curto prazo associadas ao fornecimento de bens e serviços aos empreendedores eólicos na fase de construção. ....</b>	<b>120</b>
<b>3.3 Capacitação .....</b>	<b>124</b>

### Realização:



## Operação e Manutenção

### Sumário

<b>4 - A Etapa de Manutenção e Operação de Parques Eólicos - Oportunidades e Barreiras .....</b>	<b>130</b>
<b>4.1 Custos da Manutenção.....</b>	<b>131</b>
4.1.1 Peças de Reposição e Equipamentos de Manutenção .....	132
<b>4.2 Tipos de Manutenção Aplicadas a Aerogeradores .....</b>	<b>132</b>
4.2.1 Manutenção Corretiva .....	134
<b>4.2.1.1 Principais Avarias em Aerogeradores.....</b>	<b>135</b>
4.2.2 Manutenção Preventiva.....	137
4.2.3 Manutenção Preditiva .....	141
<b>4.2.3.1 Inspeções .....</b>	<b>141</b>
<b>4.2.3.2 Monitoramento de Condições .....</b>	<b>142</b>
4.2.3.2.1 Análise de Vibrações .....	142
4.2.3.2.2 Detecção de Partículas no Óleo .....	143
4.2.3.2.3 Detecção de Deformação das Pás .....	143
4.2.3.2.4 Métodos Baseados em SCADA .....	144
<b>4.3 Formação de Pessoal.....</b>	<b>145</b>
<b>4.4 Segurança .....</b>	<b>147</b>
<b>4.5 Detalhamento das Atividades de Manutenção .....</b>	<b>148</b>
4.5.1 Manutenção Mecânica .....	149
4.5.2 Vibrações e Diagnóstico de Vibrações .....	150
4.5.3 Inspeções Visuais e por Ruído.....	151

### Realização:

## Operação e Manutenção

### Sumário

4.5.3.1 Inspeções na Caixa Multiplicadora .....	152
4.5.3.2 Inspeções no Gerador .....	153
4.5.3.3 Inspeções na Nacele .....	153
4.5.3.4 Inspeções nas Pás .....	154
4.5.3.5 Inspeção no sistema hidráulico .....	155
4.5.3.6 Inspeção no sistema de pitch eletromecânico .....	155
4.5.3.7 Inspeção nos sensores e cabos .....	155
4.5.3.8 Monitoramento .....	155
4.5.4 Componentes mais susceptíveis à manutenção .....	156
4.5.4.1 Gerador .....	157
4.5.5 Manutenção Elétrica .....	158
4.5.5.1 Falhas no Gerador .....	159
4.5.5.2 Subestação e Rede Elétrica .....	160
4.5.6 Comunicação e Controle .....	161
4.6 Quadro resumo das potencialidades a curto prazo associadas ao fornecimento de bens e serviços aos empreendimentos eólicos na fase de Operação e Manutenção .....	162

### Realização:



## Barreiras e Perspectivas

### Sumário

<b>5 - Cadeia Produtiva do Mercado de Parques Eólicos - Oportunidades e Barreiras.....</b>	<b>168</b>
<b>5.1 Etapa de Prospecção de Parques Eólicos .....</b>	<b>169</b>
5.1.1 Cadeia Produtiva de Prospecção .....	169
<b>5.2 Etapa de Construção de Parques Eólicos.....</b>	<b>172</b>
5.2.1 Cadeia Produtiva de Construção.....	173
<b>5.3 Etapa de Manutenção e Operação de Parques Eólicos .....</b>	<b>178</b>
5.3.1 Cadeia Produtiva de Manutenção e Operação.....	180
<b>Referências .....</b>	<b>191</b>
<b>Anexo A - Guia de Empresas do Setor Eólico .....</b>	<b>198</b>
<b>Anexo B - Mapas do Potencial Eólico.....</b>	<b>202</b>

### Realização:



# Mercado

---

## 1. Cenários do Mercado de Energia Eólica no Brasil

### 1.1 A Crise na Expansão do Setor Elétrico: o Desabastecimento de 2001.

No ano de 2001, o Brasil enfrentou uma severa restrição no abastecimento de energia elétrica em seu território. Com uma matriz elétrica predominantemente hídrica – à época, as usinas hidrelétricas respondiam, e ainda respondem, por grande parte da capacidade instalada - o país viu seus reservatórios atingirem níveis inferiores àqueles considerados seguros. Creditou-se a situação estabelecida a um descompasso entre a taxa de crescimento da demanda e oferta.

A evolução do consumo e capacidade instalada do parque gerador brasileiro, entre os anos de 1980 e 2000, registraram uma taxa de crescimento do consumo superior às taxas de expansão do setor, agravando-se as diferenças no início dos anos 1990 e tornando-se crítica no final dessa mesma década. Na década de 1990, o consumo de eletricidade cresceu a uma taxa média de 4,1% ao ano, paralelamente ao crescimento da capacidade de produção de apenas 3,3% no mesmo período. A Figura 01 apresenta como se deu a evolução da oferta e demanda no período de 1980 a 2000 no Brasil.

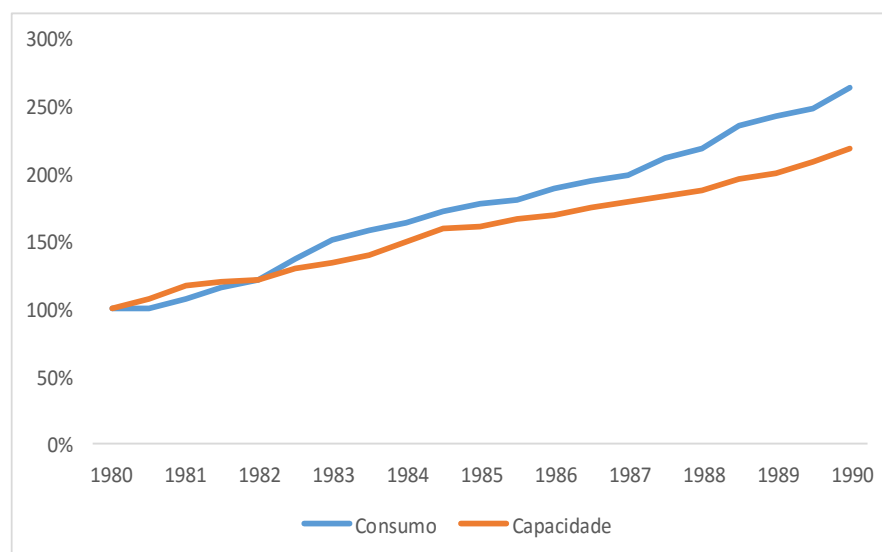


Figura 01 - Capacidade e Consumo de Eletricidade - 1980 – 2000. Fonte: BEN, 2012.

O modelo de mercado implementado no setor elétrico, no final dos anos 1990, enfrentou dificuldades em sua consolidação. A esperada eficiência econômica através da competição e a expansão por intervenção do setor privado, presente nos pressupostos básicos da reforma do setor, não ocorreram na velocidade desejada. O que se verificou foi um descompasso entre a taxa de crescimento da demanda e oferta, tendo sido constatado que não se investiu na expansão do sistema de geração e transmissão no mesmo ritmo do exigido pelo crescimento da demanda. Os investidores mantiveram-se em posição de espera, alegando, para isso, a existência de inúmeras incertezas quanto ao funcionamento do mercado.

Já no ano de 2000, um estudo efetivado pelo Instituto Virtual Internacional de Mudanças Globais IVIG/COPPE apontava como real e iminente uma crise no abastecimento, fruto de um aumento no risco de déficit, passando de 5% para mais de 15%, devido à falta de investimento em geração, contrariando a expectativa de um fluxo de investimentos estrangeiros para a expansão do setor (ROSA, 2000). Some-se a essas questões o aumento da população, como pode ser visto na Figura 02, a seguir:

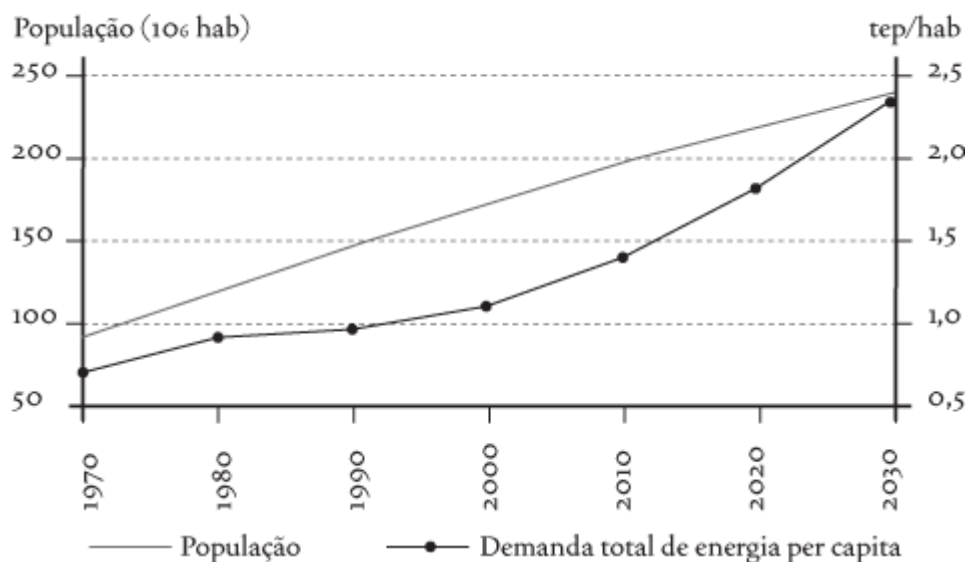


Figura 02 – Evolução da População e da demanda de Energia per capita - 1970 – 2030. Fonte: EPE, 2012.

A crise no abastecimento do setor elétrico se concretizou já no primeiro semestre de 2001, fazendo com que o governo instituisse, em março de 2001, a Câmara de Gestão da Crise de Energia Elétrica (GCE), objetivando administrar os programas de ajuste da demanda energética, coordenar os esforços para o aumento da oferta de energia elétrica e propor e implementar medidas de caráter emergencial, necessárias na situação hidrológica vivenciada. Na Figura 03, verifica-se que as taxas de cresci-



mento econômico, entre 1990 e 2010 apresentaram valores crescentes e, nesse mesmo período, o crescimento da demanda aumentou proporcionalmente.

A infraestrutura de geração e da transmissão de energia, todavia não acompanhou o crescimento do período.

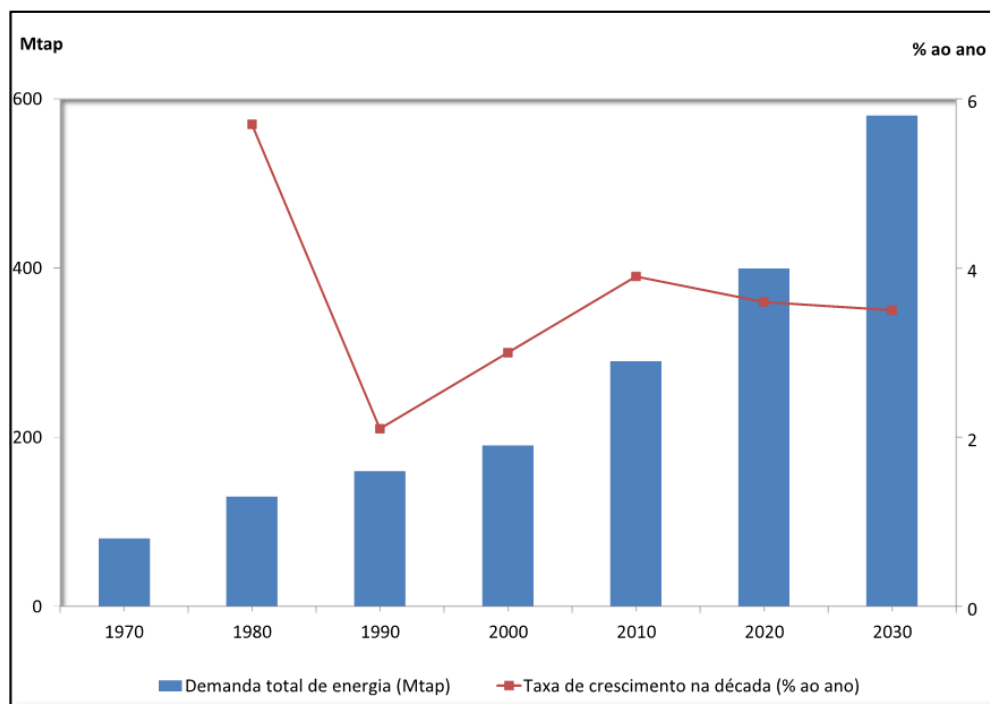


Figura 03 – Evolução da demanda de Energia e da taxa de Crescimento Econômico Brasil - 1970 – 2030.  
Fonte: EPE2012.

Como medida emergencial, instituiu-se um Programa de Racionamento de energia elétrica, procurando fazer com que todos os consumidores de energia elétrica cujo consumo mensal fosse situado acima de 100 kWh reduzissem seus consumos em 20%. O racionamento vigorou no período de 1º de junho de 2001 a 28 de fevereiro de 2002.

Com o não comparecimento da iniciativa privada na expansão do parque gerador, o Governo Federal voltou a atuar na expansão do sistema. Através do Ministério de Minas e Energia, elaborou um plano emergencial para garantir o aumento no volume da geração – Programa Prioritário de Termelétrica (PPT) via construção de 49 termelétricas, a maioria usando como combustível o gás natural.

O Programa Prioritário de Termelétrica contava com inúmeros atrativos destinados ao setor privado, como forma de possibilitar a sua execução pelo mesmo em uma associação com a Petrobras e financiamento do BNDES e Eletrobras. As vantagens concedidas pelo governo como forma de atração de investimento para programa

não foram capazes de vencer a desconfiança dos investidores. As termelétricas viabilizadas foram, na verdade, fruto de ações diretas da Petrobras.

A Câmara de Gestão da Crise de Energia Elétrica tinha, ainda, como tarefa aperfeiçoar o modelo de reforma adotado. Para isso, criou o Comitê de Revitalização do Modelo do Setor Elétrico, que buscou soluções para um melhor funcionamento do mercado preservando a filosofia inicial da reforma: a implementação da competição no âmbito da geração e da comercialização, e o apoio do capital privado para a expansão do sistema.

O ambiente de crise foi favorável à adoção de medidas de incentivo a novos projetos de grandes hidrelétricas e fomento de outros produtores que operassem a partir de fontes renováveis, como PCHs – Pequenas Centrais Hidrelétricas e Parques Eólicos.

O ambiente de flexibilização do mercado de energia elétrica levado a cabo no país e, paradoxalmente, o endurecimento de uma crise no abastecimento serviram de condutor do aumento de interesse dos investidores em promover ações que viabilizassem o aproveitamento do elevado potencial eólico brasileiro.

Nesse sentido, a Resolução nº 24, de 2001, da Câmara de Gestão da Crise de Energia Elétrica - GCE, criou o Programa Emergencial de Energia Eólica - Proeólica -, objetivando promover o aproveitamento dessa fonte de energia como alternativa de desenvolvimento energético, econômico, social e ambiental por meio de ações que pudessem viabilizar, até dezembro de 2003, a implantação de 1.050 MW de geração de energia elétrica a partir da energia eólica, o equivalente a 50 vezes a capacidade instalada, àquela época, com essa tecnologia no país. O programa previa incentivos que asseguravam, por quinze anos, a compra, pela Eletrobras da energia produzida pelas Usinas Eólicas que entrassem em operação até dezembro de 2003.

Somada a crise no abastecimento elétrico nacional, porém ainda sob o impacto do apagão de 2001, no ano de 2002, tem-se a o lançamento do Programa de Incentivo às Fontes Renováveis de Energia Elétrica – o Proinfa, criado pela Lei nº 10.438, de 26 de abril de 2002, e alterado pela Lei 10.762, de 11 de novembro de 2003, com o objetivo de aumentar a participação da energia elétrica produzida por empreendimentos de Produtores Independentes Autônomos, com base em fontes eólicas, pequenas centrais

hidrelétricas e biomassa. A evolução da estrutura da oferta de energia no Brasil, entre 1970 e 2030, é apresentada na figura 04 e os custos de referência de investimentos para geração de energia elétrica encontram-se no quadro 01 a seguir:

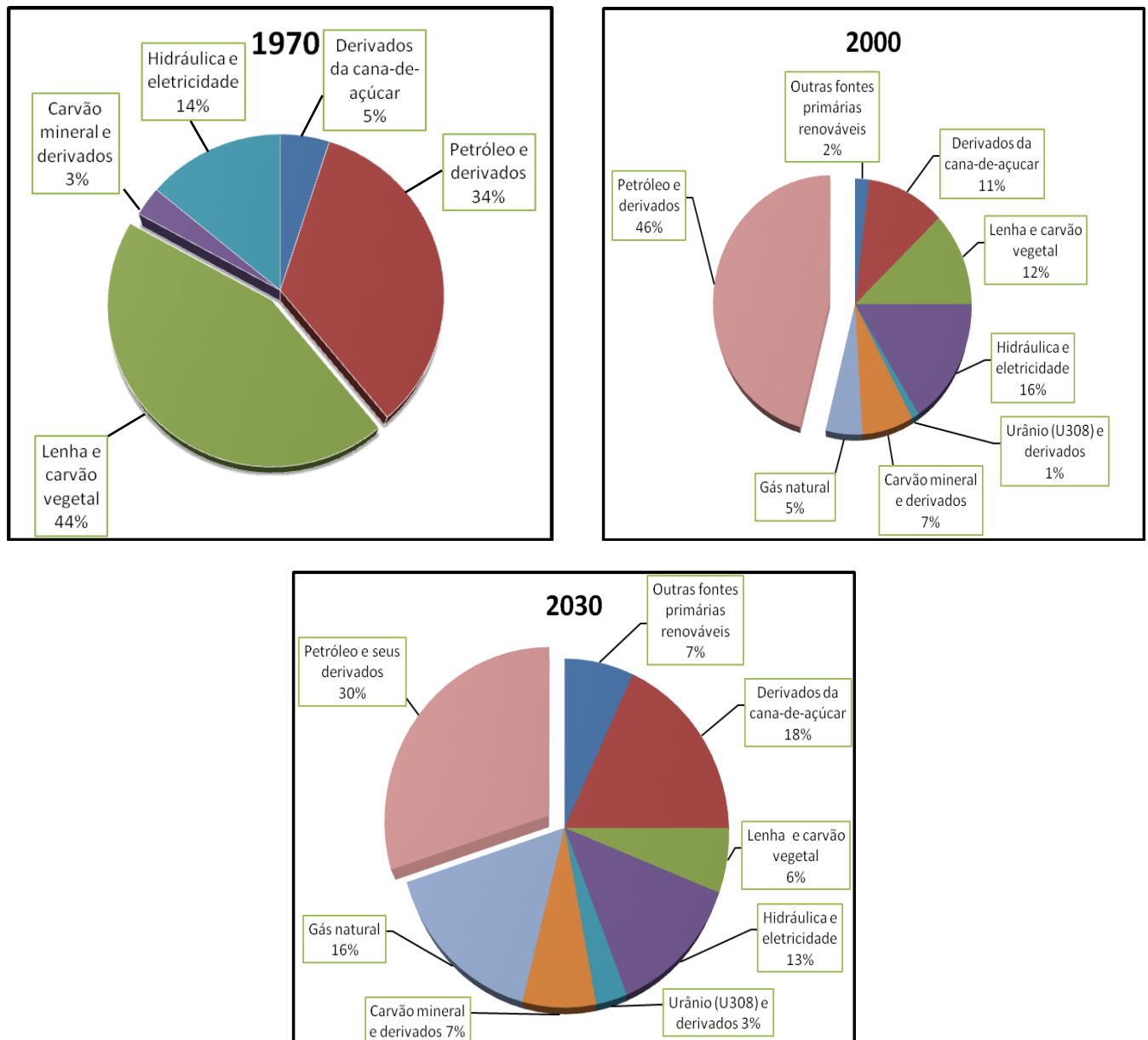


Figura 04 – Evolução da Estrutura da Oferta de Energia Brasil - 1970 – 2030. Fonte: EPE, 2012.

Nos anos seguintes, 2003 e 2004, o Governo Federal lançou as bases de um novo modelo para o Setor Elétrico Brasileiro. Dessa forma, foi criado um grupo de trabalho com a incumbência de formular uma nova modelagem institucional a fim de equacionar os problemas do setor. A proposta, publicada em julho de 2003, deu origem ao novo modelo para o setor, implementado através de medida provisória em dezembro do mesmo ano. Nesse novo arranjo (MME, 2003), a energia deixa de ser tratada como um produto para se tornar novamente um serviço público, que garanta a qualidade e a continuidade do fornecimento para toda a população a um preço módico, mas de for-

ma a remunerar, adequadamente, os investidores para assegurar a expansão do sistema.

Quadro 01 – Referências de Custos de Investimento na Geração de Energia Elétrica. Fonte: EPE, 2012.

<b>FONTES DE GERAÇÃO</b>	<b>Custos (em US\$/kW)</b>
<b>Usinas Hidrelétricas<sup>1</sup></b>	1330
<b>Potencial até 60900 MW<sup>2</sup></b>	1100
<b>Potencial entre 60900 e 70900 MW</b>	1450
<b>Potencial entre 70900 e 80900 MW</b>	1800
<b>Potencial acima de 80900 MW</b>	2500
<b>Pequenas Centrais Hidrelétricas</b>	1200
<b>Cogeração a partir da biomassa da Cana</b>	900
<b>Centrais eólicas</b>	1200
<b>Resíduos Sólidos urbanos</b>	1250
<b>Centrais Nucleares</b>	2200
<b>Térmicas a Carvão Mineral</b>	1600
<b>Térmicas a Gás Natural</b>	750
<b>Outras Usinas<sup>3</sup></b>	500

(1) Valor médio, considerando instalação de 88.200MW.

(2) Inclui a capacidade indicada nos estudos do Plano Decenal de Expansão de Energia Elétrica 2006-15 da EPE.

(3) Instalações nos sistemas isolados remanescentes (predominantemente motores a diesel).

O modelo é composto de dois ambientes de contratação, sendo um livre e outro regulado. Este último trata-se de um *pool*, denominado Ambiente de Contratação Regulada (ACR), em que participam os produtores e distribuidores, possuidores de concessão de serviço público, obtida por meio de licitação, além dos produtores independentes, incluindo os autoprodutores com excedentes de energia. O ACR é um ambiente de tarifa regulada onde toda a contratação de energia é administrada de forma centralizada pela CCEE (Câmara de Comercialização de Energia Elétrica), instituição que absorveu as funções do extinto MAE (Mercado Atacadista de Energia Elétrica), em particular, a contabilização e liquidação de diferenças contratuais no curto prazo. Já no Ambiente de Contratação Livre (ACL), os contratos para o atendimento aos consumidores livres são negociados entre as partes.

Nessa nova modelagem, mantém-se a desverticalização entre as atividades do setor. Somente a geração, entretanto, continua sendo considerada competitiva na medida em que os geradores podem vender a energia produzida para:

- O conjunto dos distribuidores através de licitação
- Os consumidores individuais por meio de leilões no âmbito do CCEE
- A contratação regular de ajuste
- A constituição de reserva
- Os consumidores livres
- Os comercializadores com objetivo de atender aos consumidores livres

Na comercialização dessa energia, os produtores poderão contar com dois tipos de contratos: os de quantidade e os de disponibilidade de energia. Nos primeiros, os riscos são assumidos pelos geradores por conta das possíveis diferenças contratuais de curto prazo, o que não ocorre nos contratos de disponibilidade em que o risco é totalmente transferido para os compradores.

Na verdade, a competição entre os geradores ocorrerá no momento das licitações promovidas pela Aneel. Os investidores, então, apresentam propostas de preços de energia para as usinas incluídas na lista de projetos divulgados pelo Ministério das Minas e Energia (MME), escolhidas com base nos estudos da Empresa de Pesquisa de Energia (EPE), instituição criada para respaldar, tecnicamente, o MME na função de executor do planejamento energético. Vence o licitante que propuser a menor tarifa pela energia disponível do projeto. Cabe ressaltar que, apesar do planejamento da expansão voltar a ser determinativo, qualquer agente pode propor projetos alternativos para a lista de usinas que participarão da licitação.

A operação do sistema é de responsabilidade do ONS, que coordena o despacho de forma centralizada, com base em informações técnicas prestadas pelos geradores e em estimativas de cargas feitas pelos distribuidores, os quais devem, de acordo com o modelo, contratar 100% de sua demanda para garantir a confiabilidade do suprimento de energia. O ONS opera de forma a otimizar a operação do sistema em que a cada gerador é alocada uma quantidade de energia, calculada em função da energia assegurada e do despacho ótimo. No caso das hidrelétricas, a energia assegurada é atribuída pela Aneel através da emissão de um certificado, enquanto, no caso das térmicas, esse valor é calculado segundo um procedimento que considera custos variáveis e a inflexibilidade operativa dessas usinas.

A formação de preços no âmbito do CCEE é resultado das licitações e leilões de geração e transmissão, diferente do modelo anterior cujo custo marginal de operação de curto prazo determinava o preço de curto prazo da energia negociada no MAE.

Os formuladores do modelo acreditam que o arranjo em vigência elimina os riscos financeiros dos investidores decorrentes das tendências hidrológicas e de problemas conjunturais, uma vez que o despacho de cada usina é definido visando maximizar os benefícios do sistema e, por isso, tende a tornar a receita das empresas mais estável e, ao mesmo tempo, incentivando a entrada dos recursos necessários à expansão do sistema.

## 1.2 Matriz de Geração Eólica

### 1.2.1 Energia Eólica no Mundo

Na contabilização do crescimento anual da capacidade instalada de produção de eletricidade por fonte, verifica-se que a tecnologia de aproveitamento dos recursos eólicos para produção de energia elétrica vivenciou um grande desenvolvimento nos anos 1990. No entanto, esse crescimento não se repartiu, uniformemente, entre as diversas regiões do mundo. No final dos anos 1990, a Europa detinha 70% da capacidade instalada de energia eólica no mundo, a América do Norte respondia por 19%, enquanto a Ásia e o Pacífico possuíam, apenas, 9% dessa mesma capacidade. Já no final de 2012, a participação percentual da Europa na capacidade instalada caiu para 41,5% e a Ásia, em função do desenvolvimento do mercado chinês, teve uma participação destacada, respondendo por 31,9% da capacidade instalada no mundo. A América do Norte, devido ao mercado dos Estados Unidos, manteve sua participação na casa das duas dezenas (24,5%).

O quadro 02 mostra a evolução da capacidade instalada em energia eólica no mundo por regiões entre 1995 e 2011. E o gráfico da figura 05 apresenta uma classificação em dados quantitativos enquanto o da figura 06 em dados qualitativos da capacidade instalada em 2012, entre aqueles com maior parque de geração eólica no mundo. Apesar da matriz de geração eólica e sua participação na matriz energética no Brasil se encontrarem em patamares muito inferiores ao de países com economias menores ou equivalentes ao contexto brasileiro, o destaque reside na perspectiva futura com exponencial contribuição na matriz eólica mundial.

Quadro 02 - Evolução da Capacidade Instalada em Energia Eólica – 1995-2012. Fonte: (Ackermann, 2002); e Windpower Monthly Magazine. (MW)

Ano*	1995	1997	1999	2000	2001	2003	2004	2008	2009	2010	2011	2012
<b>Europa</b>	2.518	4.766	9.307	12.972	16.362	28.835	34.630	57.126	65.889	86.328	92.060	<b>104.073</b>
<b>América do Norte</b>	1.676	1.611	2.619	2.695	4.440	6.678	7.196	18.817	27.757	44.231	48.482	<b>61.397</b>
<b>Américas do Sul e Central</b>	11	38	87	103	103	166	227	547	672	2.178	2.402	<b>3.931</b>
<b>Ásia e Pacífico</b>	626	1.149	1.403	1.795	2.162	3.585	5.275	16.923	25.677	56.941	71.733	<b>80.214</b>
<b>Oriente Médio e África</b>	13	24	39	141	203	170	246	467	650	1.052	1.067	<b>1.259</b>
<b>Total Mundo</b>	4.844	7.588	13.455	17.706	23.270	39.434	47.454	93.880	120.465	190.730	215.744	250.874

\*Dados referentes a dezembro de cada ano e outubro de 2012.

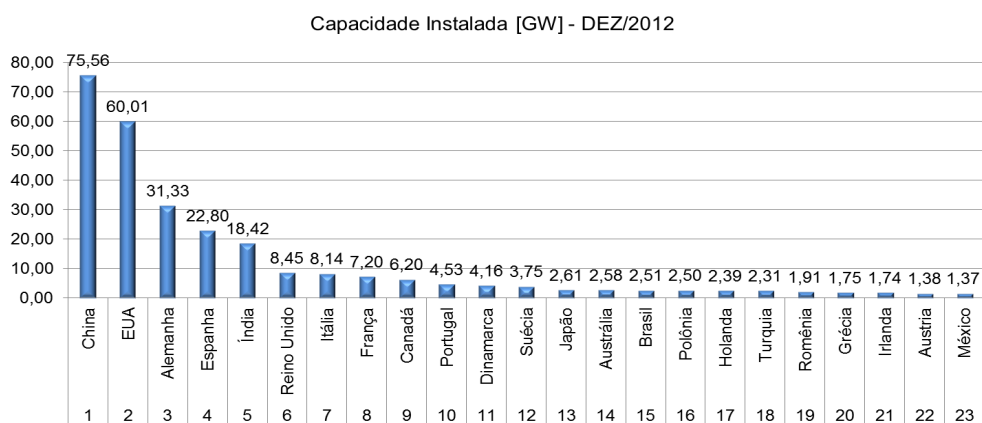


Figura 05 - Classificação de países segundo suas capacidades instaladas de produção em energia eólica. Fonte: GWEC, 2013/WWEA, 2013.

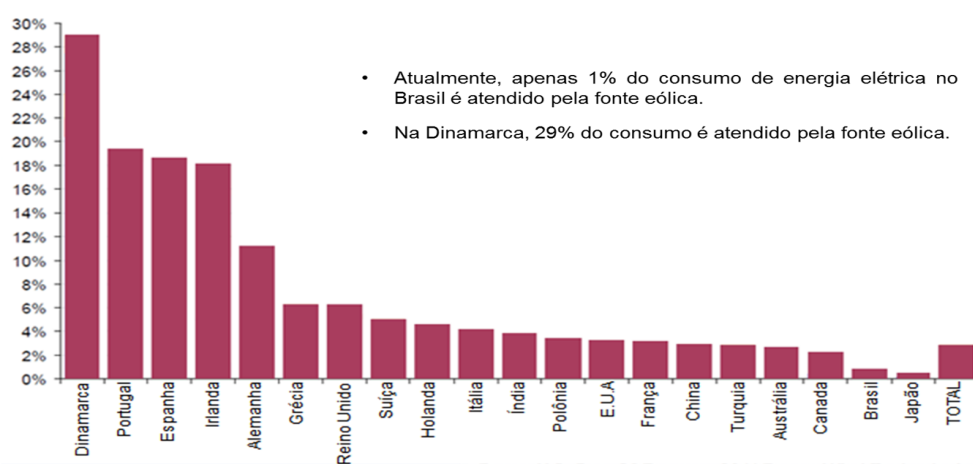


Figura 06 - Classificação de países segundo suas capacidades instaladas de produção em energia eólica em relação às suas respectivas matrizes de geração. Fonte: GWEC, 2013.

Os primeiros projetos de aproveitamento dos recursos eólicos *offshore* no mundo se deram em território europeu, mais precisamente na Dinamarca, nos Países Baixos

e na Suécia. Esses aproveitamentos se situam entre 1 e 30 km da costa, a uma profundidade de aproximadamente 10 m. A condição de existência de baixa profundidade e proximidade da costa em áreas *offshore* potencialmente aproveitáveis em termos de disponibilidade de vento é fundamental para a viabilização do projeto em face dos custos vinculados a essas variáveis.

A capacidade em energia eólica *offshore* instalada atingiu, no final de 2012, o total de 5.538 MW, sendo 1.708,8 MW adicionados somente no ano citado (1.166 MW na Europa, 509 MW NA China e 33,8 MW no Japão).

### 1.2.2 Energia Eólica na Matriz Elétrica Nacional

A instalação de uma turbina de 75 kW na ilha de Fernando de Noronha marcou o início do aproveitamento dos recursos eólicos para a geração de energia elétrica no Brasil. Hoje, o país tem uma capacidade instalada de 1.543 MW com turbinas eólicas, distribuídas em 76 empreendimentos em operação. O Banco de Informações de Geração da Aneel (2012) mostra que 1.443 MW adicionais em energia eólica, dispostos em 56 novos parques, estão em fase de construção; e que mais 59.951 MW (209 novos parques eólicos) já se encontram outorgados, mas ainda não iniciaram suas construções.

O quadro 03 mostra como evoluiu a capacidade instalada no Brasil em energia eólica entre 1995 e maio de 2012 (MW).

Quadro 03 – Evolução da Capacidade Instalada em Energia Eólica no Brasil – 1995 -2012 – MW. *Fonte: ANEEL, 2013.*

PAÍS	1995	2001	2003	2004	2008	2009	2010	2011	05/2012
Brasil	2	20	29	48	247	336	930	1.120	1.639

É na região Nordeste onde se concentra a maioria dos empreendimentos eólicos em operação no país, sendo o estado do Ceará responsável por 34% de toda a capacidade instalada no território brasileiro.

No início da operação de parques eólicos advindo do contexto do Proinfa e de projetos anteriores somavam-se 2,51 GW de potência instalada em 2012. A partir de um fator de capacidade – razão entre produção e capacidade nominal de produção - de 0,4 (40%), considerado alto para grande parte das regiões de produção eólica no mundo,



mas comprovadamente realista para as condições atmosféricas brasileiras. Além disso, o fator de capacidade de parques eólicos da 2ª fase de expansão tem se destacado em comparação aos parques eólicos da 1ª fase em função de melhor condicionamento de informações atmosféricas e de evolução tecnológica das partes constituintes dos aerogeradores, refletindo nas diferenças observadas na figura 07.

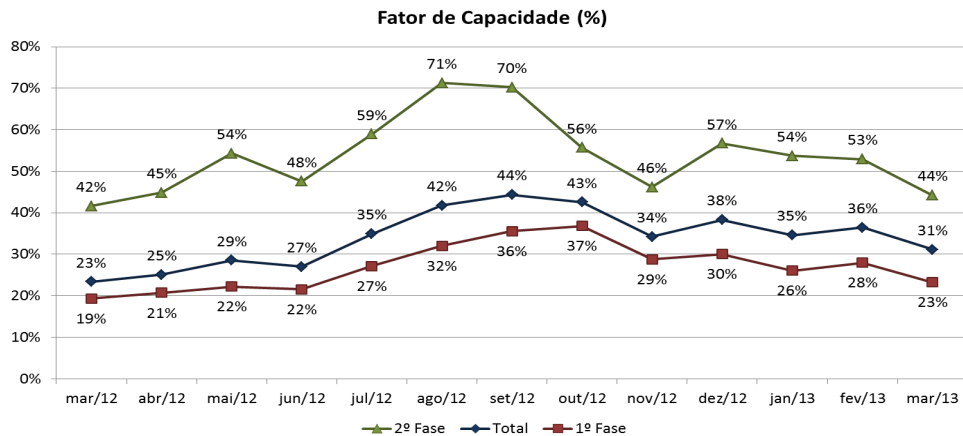


Figura 07 - Perfil do fator de capacidade dos parques eólicos instalados no Brasil. Fonte: ABEEólica, 2013.

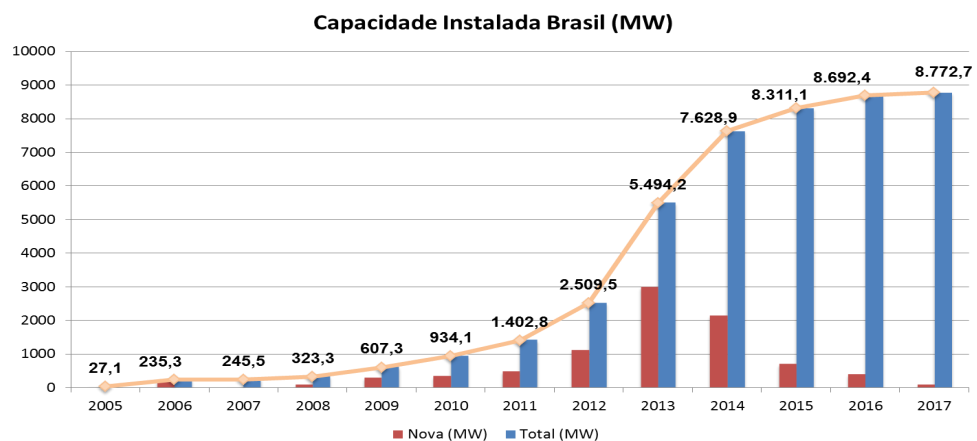


Figura 08 - Histórico e perspectivas de capacidade instalada no Brasil. Fonte: ANEEL, 2014.

Os dados de projeção de capacidade instalada, figura 08, direcionam fortemente para boas perspectivas, em especial, para atividades relacionadas à construção, mais intensamente até 2015, e operação e manutenção a partir de 2013.

Novas campanhas de medição e projetos de engenharia que compõem a etapa de prospecção dependerão de futuras condições de regulação do mercado, regras de financiamento e condições técnicas de escoamento de produção que se devem investigar a partir de estudos técnicos de conexão à rede (OLIVEIRA, 2013).

Para atividades de manutenção e operação, em geral, se prevê atividades em intervalos regulares de maneira continuada mais intensamente a partir de 2013 com a entrega em operação dos parques eólicos e com maior demanda de pessoal e fornecimento de equipamentos após dez a quinze anos de operação.

#### **1.2.2.1. Os desafios associados aos empreendimentos de parques eólicos.**

Igualmente a todo negócio, existem aspectos que exigem planejamento do empreendedor e que tem por objetivo mitigar os eventuais riscos, tais como:

- **Custo de produção:** avalia-se que o conjunto de condições de contratação da produção e de financiamento proporciona um ambiente muito favorável ao sucesso do empreendimento, mesmo com a relativa queda na média do valor do MWh negociado. Ressalta-se a preocupação com a eventualidade de produção aquém da contratada que força o empreendedor a adquirir a diferença no mercado livre, cujo preço do MWh tem variado consideravelmente ao longo do ano, chegando a valores de até 8 vezes o preço no mercado de leilões. Assim, considera-se, especialmente, importante a realização adequada da prospecção a partir da campanha de medição com tempo de integralização o suficiente para boa confiabilidade da previsão de produção de energia.
- **Eficiência:** o perfil das condições atmosféricas, em especial no litoral brasileiro, tem possibilitado aos parques eólicos um dos melhores índices do fator de capacidade do mundo (razão da produção pela capacidade de produção). Soma-se a isso a instalação, no país, de máquinas da mais nova geração, com melhores características de eficiência, de qualidade de energia e maior capacidade nominal de produção por unidade geradora. Entretanto, observa-se, em diversos casos, a necessidade da denominada “nacionalização tecnológica” dos equipamentos, de maneira que se possa otimizar a produção através de desenhos aerodinâmicos das pás definidos para os perfis de ventos nacionais, das alturas das torres, considerando as dimensões físicas e topologia do parque eólico e dos conversores eletrônicos para o atendimento das condições de conexão à rede elétrica brasileira.
- **Instalação, manutenção e operação:** em um primeiro momento, os eventuais riscos de instalação, manutenção e operação de parques eólicos, devido às condições contratuais, são quase que exclusivos dos fabricantes, cuja experiência em geral

lhes permite com relativa segurança mitigar eventuais dificuldades. Após dez a quinze anos de operação, encontram-se diversos modelos de engenharia e gerência de manutenção no mundo aplicados em parques eólicos maduros, onde o empreendedor pode constituir sua própria equipe de manutenção ou recontratar o fabricante. Nesse contexto, a rápida evolução tecnológica, levando a um eventual desinteresse no investimento da manutenção das atuais máquinas, e as futuras condições de contratação e financiamento podem se tornar preocupações futuras.

### 1.3 Distribuição dos Empreendimentos Eólicos

Com base nas condições favoráveis de mercado, estabeleceu-se o mapa de parques eólicos da figura 09 (dados de 2013). É óbvio que condições técnicas priorizaram aquelas regiões que possibilitavam maior retorno e menor risco financeiro. O perfil de velocidade de vento com média alta, com menor desvio padrão nas mudanças de intensidade, permite a operação dos aerogeradores mais próxima da máxima eficiência das turbinas, além de elevar a média de produção. Nesse contexto, destacam-se os Estados do Rio Grande do Norte, Ceará, Bahia e Rio Grande do Sul.

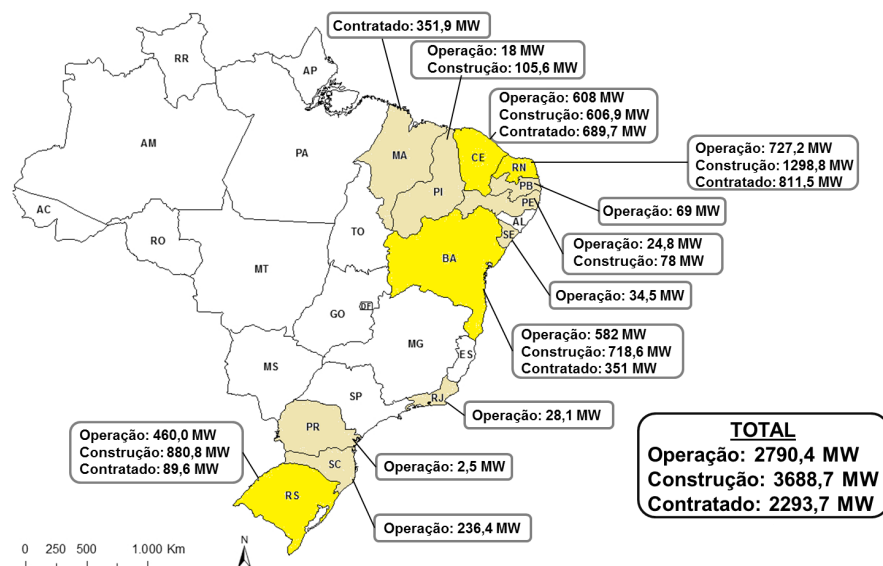


Figura 09 - Distribuição de parques eólicos em operação, construção e contratados. Fonte: ABEEólica, 2013 / ANEEL, 2013.

No entanto, na distribuição dos fabricantes, figura 10, além de se levar em consideração a demanda do mercado interno de cada Estado, observa-se que outros critérios também foram determinantes para as definições das localizações das fábricas dos componentes, como infraestrutura rodoviária e portuária, incentivos fiscais, custo e

disponibilidade de mão de obra qualificada e matéria-prima, entre outros. A relevância desses demais critérios restringiu a participação de Estados com grande potencial eólico diretamente na consolidação da indústria de base desse mercado, enquanto outros Estados com menor disposição técnica para produção de energia a partir da energia eólica absorveram um número relevante de fabricantes.

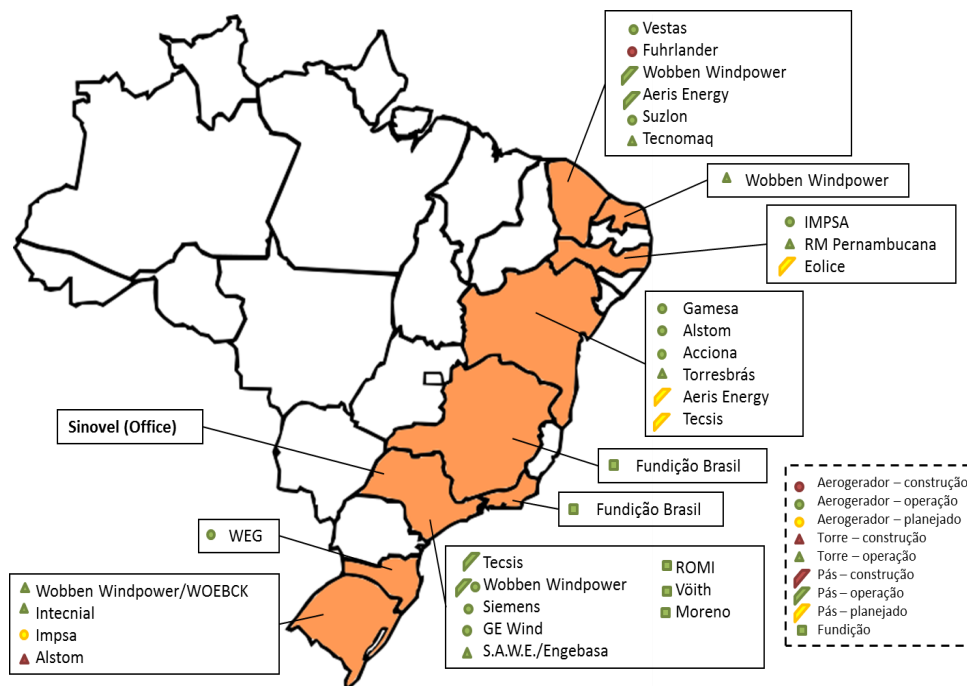


Figura 10: Distribuição de fabricantes de aerogeradores. Fonte: ABEEólica, 2013 / ANEEL, 2013.

### 1.4 O Valor do MWh Negociado

Desde os parques eólicos advindos do Proinfa até dos últimos leilões de energia, observaram-se quedas significativas do MWh contratado, figura 11, tornando a geração eólica a segunda mais competitiva, perdendo, apenas, para a geração hidrelétrica. As principais razões apontadas para esse fenômeno são:

- **ambiente competitivo de contratação:** os leilões de energia, associados às políticas de incentivo e financiamento, acrescido ao contexto de saturação de mercados ou crises econômicas em outros países, tornaram o país atrativo para os fabricantes de aerogeradores e investidores do setor de energia.
- **desenvolvimento tecnológico:** desenvolvimento tecnológico agregado ao desenho aerodinâmico e materiais das pás, eventual eliminação de caixa de engrenagem por rotor multipolos a ímã permanente e aprimoramento dos

conversores eletrônicos, são alguns dos principais avanços que permitiram otimizar eficiência da geração de energia e custos de fabricação das partes constituintes do aerogerador.

- **escala de produção:** a instalação e diversificação de fabricantes no país, com obrigatoriedade de índice de nacionalização, além de incentivos fiscais e outras isenções, contribuíram para redução de custos.

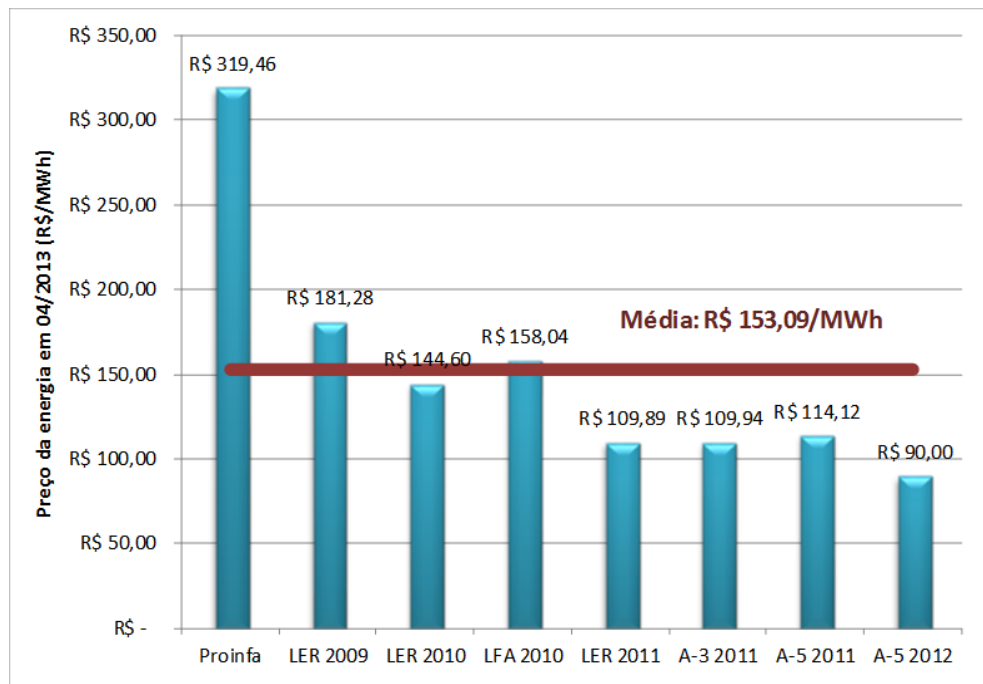


Figura 11: Valores contratados do MWh produzido. Fonte: ABEEólica, 2013 / ANEEL, 2013.

Dois dos mais importantes incentivos é a redução de 50% das tarifas de uso dos sistemas elétricos de transmissão e distribuição e mecanismo de isenção do investimento na construção das linhas de conexão à rede de transmissão (REN21, 2010).

Além disso, de acordo com a Lei nº 9.991, de 24 de junho de 2000, e Decreto nº 5.879, de 22 de agosto de 2006, os parques eólicos são isentos em participar, obrigatoriamente, dos Fundos Setoriais, criados para garantir investimentos sólidos e permanentes na pesquisa científica e tecnológica do Brasil por parte das empresas concessionárias, permissionárias e autorizadas do setor de energia elétrica, como mostra a transcrição a seguir do artigo 2º do referido decreto.

*“Art. 2º As concessionárias de geração e empresas autorizadas à produção independente de energia elétrica ficam obrigadas a aplicar, anualmente, o montante de, no mínimo, 1% (um por cento) de sua receita operacional líquida em pesquisa e desenvolvimento do setor elétrico, excluindo-se, por isenção, as empresas que gerem energia exclusivamente a partir de instalações eólica, solar, biomassa, pequenas centrais hidrelétricas e cogeração qualificada, observado o seguinte: (Redação dada pela Lei nº 10.438, de 26.4.2002)”*

Apesar de este último incentivo representar eventual ganho para o setor, na me-

dida em que a receita operacional líquida não necessariamente é partilhada com o Fundo Setorial de Energia (CT-Energ), avalia-se que, na ausência de tal medida, não implicaria de maneira relevante na energia contratada por parques eólicos, em especial nos recentes leilões de energia, visto que os valores do MWh negociados, entre os primeiros e últimos leilões, chegaram à redução de até 50%. Por outro lado, poder-se-ia obter aumento de produção tecnológica, como no fomento aos grupos de instituições de pesquisa, no desenvolvimento de tecnologia nacional daquilo que se encontra na nacele dos aerogeradores e de alcance de competitividade em inovação tecnológica da indústria do setor de energia, caso não houvesse esta isenção.

Apenas propondo como um exercício intelectual, até os leilões realizados em 2013 e considerando apenas o Estado do Rio Grande do Norte, estão previstos 113 projetos de parques eólicos, totalizando 2.776 MW de potência instalada. Considerando um fator de capacidade de 40% e R\$ 100,00/(MWh produzido), se prevê receita bruta anual somados de todos os produtores no Estado de aproximadamente R\$ 1 bilhão. Com receita operacional líquida de apenas metade desse valor, haveria a disposição R\$ 5 milhões por ano aplicados na produção tecnológica nacional.

## **1.5 Políticas Públicas de Incentivo ao Mercado de Energia Eólica**

O ambiente da flexibilização do mercado de energia elétrica, introduzido, no país, na década de 1990, e, paradoxalmente, o enfrentamento de uma crise no abastecimento serviram de condutor do aumento do interesse dos investidores em promover ações que viabilizassem o aproveitamento do elevado potencial eólico brasileiro. Esse fato, adicionado aos apelos ambientais em pauta na agenda mundial, levou o governo brasileiro a imprimir forma a um arcabouço institucional que incentivassem o uso das tecnologias renováveis.

### **1.5.1 Proeólica**

A Resolução nº 24/2001 da Câmara de Gestão da Crise de Energia Elétrica, criada pelo Governo Federal em maio de 2001, tinha como objetivo propor e implementar medidas emergenciais em face da crítica situação hidrológica visando compatibilizar demanda e oferta de energia elétrica para evitar interrupções intempestivas ou imprevistas do suprimento de energia elétrica. A GCE estabeleceu o Programa Emer-

gencial de Energia Eólica – Proeólica, orientado a promover o aproveitamento dessa fonte de energia como alternativa de desenvolvimento energético, econômico, social e ambiental através de ações que pudessem viabilizar, até dezembro de 2003, a implantação de 1.050 MW de geração de energia elétrica a partir da energia eólica.

A Resolução nº. 24 definia:

**“Art. 1º Fica criado o Programa Emergencial de Energia Eólica - PROEÓLICA no território nacional, com os seguintes objetivos:**

**I - viabilizar a implantação de 1.050 MW, até dezembro de 2003, de geração de energia elétrica a partir de fonte eólica, integrada ao sistema elétrico interligado nacional;**

**II - promover o aproveitamento da fonte eólica de energia, como alternativa de desenvolvimento energético, econômico, social e ambiental;**

**III - promover a complementaridade sazonal com os fluxos hidrológicos nos reservatórios do sistema interligado nacional.**

**Art. 2º Para consecução dos objetivos do PROEÓLICA, ficam estabelecidas as seguintes condições, com validade até 31 de dezembro de 2003:**

**I - a ELETROBRÁS, diretamente ou por intermédio de suas subsidiárias, deverá, por um prazo mínimo de quinze anos, contratar a aquisição da energia a ser produzida por empreendimentos de geração de energia eólica, até o limite de 1.050 MW;**

**II - o valor de compra (VC) da energia referida no inciso I será equivalente ao valor de repasse para as tarifas, relativo à fonte eólica, estabelecido conforme regulamentação da ANEEL, aplicando-se ao VC os incentivos previstos no inciso III;**

**III - para os projetos que iniciarem sua operação nos prazos abaixo, aplicar-se-ão, nos primeiros dois anos, os seguintes incentivos:**

**a) para os projetos implementados até 31 de dezembro de 2001 - 1,200 x VC;**

**b) para os projetos implementados até 31 de março de 2002 - 1,175 x VC;**

**c) para os projetos implementados até 30 de junho de 2002 - 1,150 x VC;**

**d) para os projetos implementados até 30 de setembro de 2002 - 1,125 x VC;**

**para os projetos implementados até 31 de dezembro de 2002 - 1,100 x VC;**

**IV - os custos relativos à energia comprada pela ELETROBRAS deverão ser integralmente repassados às concessionárias de distribuição do sistema interligado, de forma compulsória, na proporcionalidade dos seus mercados realizados no ano anterior;**

**V - a qualquer tempo, os contratos referidos no inciso I poderão ser repassados às concessionárias de distribuição.**

**Art. 3º Para implantação do PROEÓLICA, serão firmados convênios e acordos de cooperação com instituições públicas e privadas.**

**Art. 4º Caberá ao Ministério de Minas e Energia promover, coordenar e implementar o Programa de que trata esta Resolução.**

**Art. 5º Esta Resolução entra em vigor na data de sua publicação.”**

O valor de compra da energia gerada pelo Proeólica seria equivalente ao valor de repasse para as tarifas relativo ao Valor Normativo da fonte eólica estabelecido



conforme regulamentação da Aneel. Os custos relacionados ao volume de energia comprada pela Eletrobras seriam repassados às concessionárias de distribuição do sistema interligado de forma compulsória na proporcionalidade dos seus mercados realizados no ano anterior. O Proeólica, contudo, não foi capaz de viabilizar a entrada emergencial de novos projetos eólicos, mas favoreceu a entrada de muitas empresas internacionais que atuam na promoção das fontes renováveis, gerando, assim, a necessidade da estruturação de uma legislação de caráter duradouro que venha efetivar o desenvolvimento do mercado de energias renováveis no Brasil.

Pela referida Resolução, pode-se constatar a urgente necessidade do governo em suprir a demanda crescente de energia à época. Foram oferecidos incentivos progressivos (de 10 a 20%) aos produtores que entrassem em operação de acordo com os referidos prazos, até o limite de dezembro de 2002. No quadro 04, a seguir, apresentam-se todos os projetos de usinas eólicas que entraram em função dos incentivos oferecidos pelo Proeólica.

Quadro 04 – Dados de projetos de empreendimentos eólicos em 2003.

Nome da Usina	Potência (kW)	Município - UF	Proprietário
<b>Eólica</b>	75	Fernando de Noronha – PE	Companhia Energética de Pernambuco
<b>Eólica de Bom Jardim</b>	600	Bom Jardim da Serra - SC	Parque Eólico de Santa Catarina Ltda.
<b>Eólica de Fernando de Noronha</b>	225	Fernando de Noronha - PE	Centro Brasileiro de Energia Eólica - FADE/UFPE
<b>Eólica de Prainha</b>	10.000	Aquiraz - CE	Wobben Wind Power Indústria e Comércio Ltda.
<b>Eólica de Taíba</b>	5.000	São Gonçalo do Amarante - CE	Wobben Wind Power Indústria e Comércio Ltda.
<b>Eólica Olinda</b>	225	Olinda - PE	Centro Brasileiro de Energia Eólica - FADE/UFPE
<b>Eólica-Elétrica Experimental do Morro do Camelinho</b>	1.000	Gouveia - MG	Companhia Energética de Minas Gerais
<b>Eólico - Elétrica de Palmas</b>	2.500	Palmas – PR	Centrais Eólicas do Paraná Ltda.
<b>Mucuriipe</b>	2.400	Fortaleza - CE	Wobben Wind Power Indústria e Comércio Ltda.
<b>POTÊNCIA INSTALADA TOTAL (kW)</b>	<b>22.025</b>		

Apesar de todo esse esforço, somente uma usina (em Mucuriipe-CE) de apenas 2,4 MW de potência entrou em operação no referido período. O programa obteve difi-



culdade especialmente pela falta de uma regulamentação que estabelecesse de maneira objetiva e clara os benefícios e metas do Programa e também pelo curto prazo que os investidores teriam para conseguir benefícios (DUTRA, 2006).

Além disso, o valor de referência adotado no programa, de R\$72,95 /MWh, não seria capaz de cobrir os custos de geração eólica na época, que estariam entre R\$ 101,40/ MWh e R\$ 218/ MWh em 2001 (REN21, 2010). Outrossim, havia inflexibilidade com relação a reajustes de potências contratadas. Essa situação, atrelada ao fato de que empresas estatais e suas subsidiárias encontravam dificuldades de firmar contratos de longo prazo em um curto tempo, acabou por estimular mais a importação de equipamentos do que a própria indústria nacional.

### 1.5.2 Proinfa

A Lei nº 10.438, de 26 de abril de 2002, alterada pela Lei nº 10.762, de 11 de novembro de 2003, criou o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica – Proinfa e a Conta de Desenvolvimento Energético – CDE tendo como objetivo a promoção do aumento da participação da energia elétrica produzida por empreendimentos de Produtores Independentes Autônomos – PIA, concebidos com base em fontes eólicas, Pequenas Centrais Hidroelétricas (PCHs) e biomassa. O Produtor Independente Autônomo – PIA— é aquele cuja 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.

O Proinfa é a referência legal das ações iniciais do governo voltadas para o desenvolvimento de fontes renováveis de energia no Brasil. Em sua primeira etapa, a lei previa a implantação de 3.300 MW, distribuídos, igualmente, entre as fontes.

A Lei nº 10.762/2003 promoveu mudanças no Proinfa, fazendo com que a garantia de compra da energia gerada no âmbito do programa fosse alterada de 15 para 20 anos, por meio de contratos celebrados com a Eletrobras até o final do mês de abril de 2004, para instalações que venham entrar em funcionamento até dezembro de 2006. Os referidos contratos devem ser firmados, prioritariamente, com os Produtores Inde-

pendentes Autônomos – PIA.

O programa define que o processo de contratação das instalações ocorrerá mediante Chamada Pública para conhecimento dos interessados, considerando, no conjunto de cada fonte específica, daquelas habilitadas, primeiramente as que tiverem as Licenças Ambientais de Instalação LI mais antigas, prevalecendo, em cada instalação, a data de emissão da primeira LI, caso tenha ocorrido prorrogação ou nova emissão, limitando-se a contratação por estado a 20% das fontes eólica e biomassa e 15% da Pequena Central Hidroelétrica – PCH.

A Lei nº 10.762/2003 manteve o direito de participação direta dos fabricantes de equipamentos de geração, e de suas controladas, coligadas ou controladoras na constituição do PIA. No entanto, elevou o percentual do índice de nacionalização dos equipamentos a serem utilizados nos empreendimentos do Proinfa – anteriormente definido em, no mínimo, 50% – para 60% em valor e, na segunda etapa, de, no mínimo, 90% em valor.

A implementação dos 3.300 MW iniciais deverá ser igualmente distribuída em termos de capacidade instalada por cada uma das fontes participantes do programa e a energia adquirida será feita pelo Valor Econômico Correspondente à Tecnologia Específica de Cada Fonte (VETEF), definido como o valor de venda de energia elétrica que, em um determinado tempo e para um determinado nível de eficiência, viabiliza economicamente um projeto de padrão médio utilizando a referida fonte.

A Lei nº 10.438/2002 definiu que os Valores Econômicos Correspondentes às Tecnologias Específicas das fontes eólica, PCHs e biomassa teriam, inicialmente, como piso o mínimo de 80% da Tarifa Média Nacional de Fornecimento ao Consumidor Final. A Lei nº 10.762 altera esse piso para 50%, 70% e 90% da Tarifa Média Nacional de Fornecimento ao Consumidor Final dos últimos 12 meses, para a produção concebida a partir de biomassa, Pequenas Centrais Hidrelétricas e energia eólica, respectivamente.

O montante pago pela energia elétrica adquirida pela Eletrobras, no âmbito do Proinfa, é rateado entre todas as classes de consumidores finais, exceto os consumidores pertencentes à subclasse residencial de baixa renda – está definida como aqueles

consumidores de consumo mensal igual ou inferior a 80 kWh/mês – atendidos pelo Sistema Interligado Nacional proporcionalmente ao consumo individual verificado. Vencido o planejamento da instalação dos primeiros 3.300 MW, o Proinfa define uma segunda etapa, quando as fontes renováveis deverão ser responsáveis, em 20 anos, por 10% de toda a geração de energia elétrica do Brasil.

O Sistema Interligado Nacional (SIN) compreende 96,6% da capacidade de produção de eletricidade do país, sendo composto pelas unidades geradoras localizadas nas regiões Sul, Sudeste, Centro-Oeste, Nordeste e parte da região Norte. Os 3,4% restantes de capacidade de produção elétrica não contemplada pelo SIN encontram-se concentrados em pequenos sistemas isolados, sobretudo, na região amazônica. Para a segunda etapa do Proinfa, a Lei nº 10.762/2003 também elevou o tempo dos contratos a serem firmados com a Eletrobras (inicialmente a Lei nº 10.436/2002 estabelecia uma duração de quinze anos) para vinte anos. O preço será determinado pelo Valor Econômico Correspondente à Geração de Energia Competitiva, definido como o custo médio ponderado de geração de novos aproveitamentos hidráulicos com potência superior a 30 MW e centrais termelétricas a gás natural, com os pesos definidos em função da participação relativa dessas fontes nos cinco primeiros anos do programa setorial de expansão.

O montante de energia elétrica adquirida, anualmente, de cada produtor será programado de forma que as referidas fontes atendam a um mínimo de 15% do incremento anual da energia elétrica demandada pelo mercado consumidor nacional.

A aquisição da energia materializada pelo Proinfa nessa etapa irá gerar um crédito complementar, a ser destinado ao produtor da energia, definido como sendo o valor resultante da diferença entre o Valor Econômico Correspondente à Tecnologia Específica de Cada Fonte e o valor recebido da Eletrobras, para a produção concebida a partir de biomassa, da Pequena Central Hidrelétrica e eólica.

O Proinfa—principal marco para a inserção das fontes renováveis no setor elétrico — enfrentou barreiras significativas à sua implementação, mas foi através de sua experiência que o país adquiriu capacidade para promover métodos e estrutura para o desenvolvimento da geração renovável, uma opção alternativa à geração proveniente das grandes usinas hidrelétricas.

Não obstante um cenário adverso, a geração eólica foi a maior beneficiada com o Proinfa, uma vez que a capacidade contratada para essa fonte foi superior àquela pre-estabelecida, apesar de seu alto custo na época de sua criação. Nos dias atuais, a contratação das fontes renováveis acontece por meio de leilões de energia específicos para essas fontes.

Durante esse período, o Brasil contratou mais de 3.800 MW da fonte eólica, a ser implementada até 2013, elevando a capacidade instalada de 926,9 MW em março de 2011 para prováveis 4.780 MW até 2013, o que representa um aumento maior que 80% em menos de 3 anos. Isso se deveu também ao fato da significativa redução nos preços da energia eólica perante as térmicas a biomassa e PCHs, apresentando uma queda progressiva e significativa desde a implementação do Proinfa até a consolidação dos leilões de energia.

Algumas das principais causas da redução das tarifas para a geração eólica foram à valorização do real frente ao dólar, as quedas de preços dos equipamentos eólicos - em especial dos aerogeradores - as isenções tributárias voltadas ao setor e o modelo de contrato adotado para a fonte, que considera os riscos de geração de uma fonte de energia de fluxo não predizível.

A princípio, o Proinfa seria dividido em duas etapas, e entretanto, a segunda delas não foi regulamentada oficialmente, não chegando a ser reavaliada após a reforma do setor elétrico brasileiro em 2003.

A primeira fase do programa tinha por meta adicionar 3.300 MW de capacidade instalada ao Sistema Integrado Nacional, através de geração eólica, de biomassa e de PCHs. Inicialmente, as centrais entrariam em operação em 2006, com a garantia de compra da energia gerada pelo período de 15 anos. Em seguida, adiou-se o início das operações para 2008 e a garantia de compra foi aumentada para 20 anos.

A segunda fase do Proinfa tinha o objetivo de aumentar a participação das fontes renováveis para 10% do total da produção brasileira, até 2026. Essa segunda fase também previa um índice de nacionalização – visando promover o desenvolvimento industrial do país – de 90%, significando que deveria haver esse percentual de equipamentos utilizados nas usinas eólicas sendo produzidos no Brasil. Esse valor foi bastante superior aos 60% determinados para a primeira fase, porém tais objetivos foram

desconsiderados, uma vez que a segunda fase nunca chegou a ser regulamentada. O Proinfa contratou 3.300 MW de capacidade instalada, distribuída em 36% de PCHs, 43% de eólicas e 21% de térmicas a biomassa, conforme pode ser constatado no quadro 05.

Quadro 05 – Capacidade Instalada contratada pelo PROINFA. Fonte: MME, 2014.

Fonte	Número de Projetos	Capacidade Instalada	(% MW)
<b>PCH</b>	63	1.191	36%
<b>Eólica</b>	54	1.423	43%
<b>Biomassa</b>	27	685	21%
<b>Total</b>	144	3.299	100%

O Proinfa foi capaz de contratar 1.423 MW de capacidade instalada, somente na área de Eólica, superando os 1.100 MW previstos. Dessa forma, foi possível compensar a escassez na contratação de projetos de geração a biomassa. Ainda assim, mesmo com um total de 144 empreendimentos aprovados pelo Programa, somente um conseguiu iniciar suas operações antes de 2006, conforme proposto inicialmente. No ano de 2010, ainda havia projetos em andamento e o prazo de instalação foi prorrogado mais uma vez, para 31 de dezembro de 2011.

Dentre as principais razões para o atraso na entrega dos projetos, encontra-se a pouca capacidade financeira dos empreendedores, bem como a dificuldade da indústria nacional de fornecer os equipamentos necessários – tendo em vista o índice de nacionalização exigido – especialmente quanto aos aerogeradores.

### 1.5.3 Leilões de Energia

A partir do ano de 2007, começou-se a promover leilões de energia específicos para fontes renováveis, uma vez que essas tendem a custar mais caro, num ponto de vista posteriormente superado, pois, a princípio, a concorrência direta com as demais fontes tornaria difícil o processo de aumento da participação no parque de geração elétrica do país.

Os leilões podem contratar energia de novos projetos três ou cinco anos antes do começo das operações (chamados leilões A-3 e A-5, respectivamente) e podem tam-

bém contratar energia de projetos já existentes um ano antes do suprimento (leilões A-1).

Paralelamente aos Leilões de Energia para fontes renováveis, no ano de 2008, criou-se o Decreto nº 6.353 regulamentando a contratação de energia de reserva através dos chamados Leilões de Reserva, que já haviam sido estabelecidos na reforma regulatória do setor elétrico em 2004.

A principal meta dos Leilões de Reserva é a de garantir a segurança de suprimento de eletricidade à rede através de plantas de geração contratadas especialmente para tal propósito. Nesse cenário, os Leilões de Reserva, ocorridos até 2009, foram direcionados, apenas, para uma fonte de geração. Já em 2010, houve, no leilão de reserva, a coparticipação das fontes renováveis.

### **1.5.3.1 Modelos de Contrato**

O atual contrato em vigência voltado para empreendimentos eólicos foi preparado para diminuir a percepção do risco de investimento pelo setor privado. Isso ocorre porque de acordo com a própria EPE, o envolvimento da iniciativa privada, em qualquer projeto de investimento, depende do equilíbrio entre a expectativa de retorno financeiro e a percepção dos riscos. Por essa razão, sabendo-se que a energia eólica tem como principais características o elevado investimento inicial, bem como um baixo custo operacional em sua construção, mas com relação à produção apresenta um fluxo sazonal e incontrollável, o fluxo de caixa pode estar propenso à aleatoriedade. Assim sendo, foi formulado um modelo de contrato que considera a produção média ao longo dos anos e permite que sejam feitos reajustes e compensações de acordo com o histórico da geração de energia.

Para que pudessem participar tanto do leilão de energia de reserva quanto do leilão de fontes renováveis, era necessária a habilitação dos empreendimentos pela EPE. Finalizado o leilão, os documentos comprovantes da habilitação técnica são entregues à Aneel para julgamento.

Para que o projeto seja habilitado, deve ser previamente registrado na Aneel, sendo necessária a publicação de garantia física do empreendimento fornecida pelo MME. E, ainda, para solicitar a sua habilitação, o empreendedor eólico deve apresentar os se-

guintes documentos de acordo com a Portaria nº 21, de 2008 (MME, 2008):

- Comprovante de registro do empreendimento junto à Aneel.
- Ficha de dados constante no Sistema de Cadastramento da EPE.
- Certificação das medições anemométricas e de estimativa da produção de energia elétrica associada ao empreendimento, emitida por certificador independente.
- Parecer para acesso à rede básica ou às demais instalações de transmissão, emitido pela ONS ou pela EPE, que pode ser apresentado após o prazo excepcionalmente.
- Parecer para acesso à rede de distribuição, emitido pelas distribuidoras, que pode ser apresentado após o prazo excepcionalmente.
- Licença prévia (LP), licença de instalação (LI) e licença de operação (LO), emitida pelo órgão ambiental competente, em conformidade com a legislação ambiental, sendo que a LI e LO podem ser apresentados após o prazo excepcionalmente.
- Estudos e Relatórios de Impacto Ambiental (EIA e RIMA).

Além desses dados, a Aneel, através da Resolução Normativa nº 391, de 15 de novembro de 2009, com a redação dada pela REN ANEEL 546, de 16 de abril de 2013, estabelece os seguintes documentos necessários para qualificação técnica ao requerimento da outorga de projetos eólicos:

- Ficha técnica, na forma do modelo apresentado no Anexo V da Resolução.
- Arranjo geral com planta de localização da usina, em mapa planialtimétrico, com representação das coordenadas dos aerogeradores e do polígono de abrangência do parque bem como das curvas de nível, das estruturas no entorno da central e da cobertura vegetal, incluindo a delimitação do terreno e do sistema de transmissão de interesse restrito.
- Memorial descritivo da usina, detalhando suas características técnicas principais e incluindo o sistema de transmissão de interesse restrito.
- Diagrama elétrico unifilar geral simplificado.
- Estudo simplificado contendo os dados, de pelo menos 3 (três) anos, referentes às leituras de velocidade e direção do vento, histogramas, frequências de ocorrência e curva de duração, incluindo localização das torres de medição, de forma a subsidiar a determinação do fator de capacidade da usina eólica.



- Declaração, conforme modelo constante do Anexo VI, emitida pelo(s) titular(es) de parque(s) eólico(s) já autorizado(s), ou que possua(m) Despacho de Registro de Requerimento de Outorga vigente, ou que já tenha(m) comercializado energia nos leilões previstos na Lei nº 10.848, de 2004, de Ciência de Proposta de Implantação de Novo Parque Eólico, cuja região de interferência (região que dista de 20 vezes a altura máxima da pá, considerando-se todas as direções do vento com permanência superior a 10% (dez por cento) abranja área do parque eólico outorgado, ao(s) declarante(s).
- Certificação de medições anemométricas e de estimativa da produção anual de energia elétrica associada ao empreendimento, emitida por certificador independente, com base em série de dados de, pelo menos, 3 (três) anos.

Apresentados os documentos, o parecer técnico será dado pela EPE. Esse parecer disporá sobre as normas e padrões técnicos, estudos elétricos de conexão, necessidade de reforços para conexão à rede e o orçamento e o cronograma de implantação. No caso de a habilitação ser negada, um laudo técnico será emitido com as justificativas. Quando a habilitação for concedida, um parecer técnico será fornecido ao MME com vistas a compor a lista de referência de empreendimentos aptos a participar dos leilões.

Os leilões ocorrem inteiramente via internet, sendo os participantes responsáveis pelos recursos necessários para a participação nos leilões. As etapas são feitas em inversão de ordem, dentro do regulamentado pela Lei nº 8.987, de 1995, significando que os documentos de habilitação são analisados depois de ofertados os lances pelas vendedoras. A Aneel define ainda uma etapa de esclarecimentos, quando os participantes podem solicitar eventuais detalhamentos por meio de procedimento adequado.

Para que possam participar dos leilões, é necessário entregar a Garantia de Participação, que consiste em pagamento equivalente a 1% do valor do investimento segundo habilitação da EPE, no caso de empreendimentos sem outorga, ou R\$ 2.000,00 por lote de energia ofertado, no caso de empreendimentos com outorga

No caso das compradoras participantes do LFA, é exigida uma garantia financeira de R\$ 200,00 por lote de energia declarado ao MME. Encerrado o leilão, os empreendedores vencedores devem entregar também a Garantia Fiel de Cumprimento, que tem por objetivo assegurar o cumprimento das obrigações previstas na outorga do leilão. O valor de tal garantia é de 5% do valor de investimento declarado à EPE. Deste



percentual, no caso de empreendimentos eólicos, 60% devem ser aportados no início da montagem das torres e das unidades geradoras e os demais 40% aportados no início da operação da primeira unidade geradora. Ao fim do processo, a outorga de construção é dada para os empreendimentos vencedores não outorgados e os contratos de energia são assinados.

Finalmente, nos casos em que houver descumprimento daquilo que foi estabelecido nos respectivos Editais por parte das vendedoras contratadas, são aplicáveis como penalidade: advertências, multas, suspensão temporária do direito de contratar ou participar de licitações promovidas pela Aneel por até dois anos e declaração de inidoneidade para licitar ou contratar com a Administração Pública enquanto perdurarem os motivos determinantes da punição ou até que seja promovida a reabilitação junto à Aneel.

### 1.5.3.2 Resultados de Leilões de Energia com a possibilidade de participação produtores eólicos

Num cenário onde ocorrem leilões específicos para energias renováveis, a energia eólica tem encontrado um destaque notório. Tanto nos leilões de Fontes Renováveis, quanto nos de Energia de Reserva, empreendimentos de geração eólica têm sido contratados em larga escala. A seguir apresentam-se, cronologicamente, os leilões de contratação de energia que incluíram a energia eólica até 2013 (ANEEL, 2013), como pode ser visto nos quadros a seguir:

<b>Leilão 03/2007</b>	
<b>Empreendimentos</b>	- Leilão de Energia de Reserva (LER) – Fonte Eólica
<b>Objeto</b>	- Constitui objeto deste LEILÃO a contratação de energia proveniente de Fontes Alternativas de Geração, para o Sistema Interligado Nacional - SIN, no Ambiente de Contratação Regulada - ACR, para início de fornecimento a partir de 1° de janeiro de 2010.
<b>Data</b>	- 18/06/2007
<b>Local</b>	- O endereço eletrônico de realização do LEILÃO será informado no momento de distribuição da senha de acesso.

**Leilão 03/2009**

<b>Empreendimentos</b>	- Leilão de Energia de Reserva (LER) – Fonte Eólica
<b>Objeto</b>	- Leilão de Energia de Reserva exclusivo para contratação de energia proveniente de empreendimentos de fonte eólica, com início de suprimento a partir de 1º de julho de 2012.
<b>Data</b>	-14/12/2009
<b>Local</b>	- Internet

**Leilão 05/2010**

<b>Empreendimentos</b>	- LEILÃO DE ENERGIA DE RESERVA
<b>Objeto</b>	- Contratação de Energia de Reserva, específico para Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH) e empreendimentos de geração a partir de fonte eólica e biomassa.
<b>Data</b>	- 25/08/2010
<b>Local</b>	- Internet

**Leilão 07/2010**

<b>Empreendimentos</b>	- LEILÃO DE FONTES ALTERNATIVAS
<b>Objeto</b>	- Contratação de energia proveniente de Fontes Alternativas de Geração, específico para Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH) e empreendimentos de geração que tenham como fontes biomassa e eólica.
<b>Data</b>	- 26/08/2010
<b>Local</b>	- Internet

**Leilão 07/2011**

<b>Empreendimentos</b>	- Leilão A-5
<b>Objeto</b>	- Contratação de energia proveniente de novos empreendimentos de geração, a partir de fonte hidrelétrica, eólica, e termelétrica - a biomassa ou a gás natural em ciclo combinado, no Ambiente de Contratação Regulada (ACR), com início de suprimento em 1º de janeiro de 2016.
<b>Data</b>	- 20/12/2011
<b>Local</b>	- Internet

**Leilão 02/2011**

<b>Empreendimentos</b>	- LEILÃO A-3
<b>Objeto</b>	- Compra de energia proveniente de Novos Empreendimentos de Geração, que tenham como fontes biomassa, eólica, gás natural e hidroeletricidade, destinada ao Sistema Interligado Nacional (SIN), no Ambiente de Contratação Regulada (ACR).
<b>Data</b>	- 17/08/2011
<b>Local</b>	- Internet

**Leilão 03/2011**

<b>Empreendimentos</b>	- LEILÃO DE ENERGIA DE RESERVA
<b>Objeto</b>	- Contratação de Energia de Reserva proveniente de empreendimentos de geração a partir das fontes biomassa ou eólica, destinada ao Sistema Interligado Nacional (SIN), no Ambiente de Contratação Regulada (ACR).
<b>Data</b>	- 18/08/2011
<b>Local</b>	- Internet

**Leilão 01/2012**

<b>Empreendimentos</b>	- CANCELADO PELA PORTARIA MME Nº 603, DE 29.11.2012
<b>Objeto</b>	- Contratação de energia elétrica proveniente de novos empreendimentos de geração, a partir de fonte hidrelétrica, eólica e termelétrica - a biomassa ou a gás natural, em ciclo combinado, com início de suprimento a partir de 1º de abril de 2015.
<b>Data</b>	- 12/12/2012
<b>Local</b>	- Internet

**Leilão 06/2012**

<b>Empreendimentos</b>	- Leilão A-5
<b>Objeto</b>	- Contratação de energia proveniente de novos empreendimentos de geração, a partir de fontes hidrelétrica, eólica, e termelétrica - a biomassa ou a gás natural em ciclo combinado, no Ambiente de Contratação Regulada (ACR), com início de suprimento em 1º de janeiro de 2017.
<b>Data</b>	- 14/12/2012
<b>Local</b>	- Internet

**Leilão 05/2013**

<b>Empreendimentos</b>	- 16º Leilão de Energia Nova
<b>Objeto</b>	- Os leilões de compra de energia elétrica provenientes de novos empreendimentos de geração têm por objetivo o atendimento às necessidades de mercado das distribuidoras mediante a venda de energia elétrica proveniente de novos empreendimentos e, excepcionalmente (até dezembro de 2007), também dos empreendimentos existentes que preencham os requisitos especificados no art. 17 da Lei nº 10.848/04 e no artigo 22 do Decreto nº 5.163/04.
<b>Data</b>	- 29/08/2013
<b>Local</b>	- Internet

**Leilão 05/2013**

<b>Empreendimentos</b>	- 5º Leilão de Energia de Reserva
<b>Objeto</b>	Contratação de Energia de Reserva proveniente de empreendimentos de geração, a partir da fonte eólica, destinada ao Sistema Interligado Nacional (SIN), no Ambiente de Contratação Regulada (ACR), para início de suprimento de energia elétrica a partir de 1º de setembro de 2015.
<b>Data</b>	23/08/2013
<b>Local</b>	Internet

**Leilão 09/2013**

<b>Empreendimentos</b>	- 18º LEILÃO DE ENERGIA PROVENIENTE DE NOVOS EMPREENDIMENTOS DE GERAÇÃO (LEILÃO "A-5")
<b>Objeto</b>	Contratação de energia elétrica proveniente de novos empreendimentos de geração, a partir das fontes: hidráulica, eólica, solar (fotovoltaica e termossolar) e térmica - a gás natural, inclusive em ciclo combinado, ou a biomassa, no Ambiente de Contratação Regulada (ACR), com início de suprimento em de 1º de janeiro de 2016.
<b>Data</b>	18/11/2013
<b>Local</b>	Internet

**Leilão 010/2013**

<b>Empreendimentos</b>	- 18º LEILÃO DE ENERGIA PROVENIENTE DE NOVOS EMPREENDIMENTOS DE GERAÇÃO (LEILÃO "A-5")
<b>Objeto</b>	Contratação de energia proveniente de novos empreendimentos de geração, a partir das fontes hidrelétrica, eólica, solar e termelétrica - a carvão, a gás natural em ciclo combinado e a biomassa por Custo Variável Unitário (CVU) igual ou diferente de zero, no Ambiente de Contratação Regulada (ACR), com início de suprimento em 1º de maio de 2018.
<b>Data</b>	13/12/2013
<b>Local</b>	Via Internet - às 14 h

<b>Leilão 03/2014</b>	
<b>Empreendimentos</b>	- 19º Leilão de Energia Nova
<b>Objeto</b>	Os leilões de compra de energia elétrica provenientes de novos empreendimentos de geração – conhecidos como “leilões de energia nova” - têm por objetivo o atendimento às necessidades de mercado das distribuidoras, mediante a venda de energia elétrica a ser gerada por novos empreendimentos e, excepcionalmente (até dezembro de 2007), também por empreendimentos existentes que preencham os requisitos especificados no art. 17 da Lei nº 10.848/04 e no art. 22 do Decreto nº 5.163/04.
<b>Data</b>	06/06/2014
<b>Local</b>	Internet

Quadro 06 - Resultados do primeiro leilão de fontes renováveis. Fonte: CCEE, 2013; EPE, 2013.

1º LFA	Nº de Projetos	Capacidade (MW)	Preço Médio (R\$/MWh)
PCH	6	96,74	134,99
Biomassa	12	541,9	138,85
Eólica	0	0	225
<b>Total</b>	<b>18</b>	<b>638,64</b>	<b>137,56</b>

Quadro 07 – Resultado do Segundo leilão de energia de reserva. Fonte: (Alvim Filho, 2007); CCEE, 2013; EPE, 2013.

<b>2º LER – Eólica</b>	
<b>Nº de Projetos</b>	71
<b>Capacidade</b>	1.805,7 MW
<b>Capacidade Média</b>	783,1 MW
<b>Preço Médio</b>	R\$ 148,39

Quadro 08 – Resultado do segundo leilão de fontes renováveis. Fontes: (Alvim Filho, 2007); CCEE, 2013; EPE, 2013.

LFA 2	Nº de Projetos	Capacidade (MW)	Preço Médio (R\$/MWh)
PCH	5	101	146
Biomassa	1	65	138
Eólica	50	1.519,6	134
<b>Total</b>	<b>56</b>	<b>1.685,6</b>	<b>135,48</b>

Quadro 09 – Resultado do terceiro leilão de reserva. Fonte: Alvim Filho, 2007; CCEE, 2013; EPE, 2013.

3º LER	Nº de Projetos	Capacidade (MW)	Preço Médio (R\$/MWh)
PCH	2	30,5	130,73
Biomassa 2011	6	286,9	154,18
Biomassa 2012	2	118	145,37
Biomassa 2013	3	243	134,47
Eólica	20	528,2	122,69
<b>Total</b>	<b>33</b>	<b>1206,6</b>	<b>125,07</b>

Embora seja sempre a campeã de contratações nos últimos leilões, no primeiro leilão específico para fontes renováveis, nenhum empreendimento eólico saiu vencedor. Quase 640MW foram contratados, distribuídos entre 18 projetos, cujo valor médio da energia eólica estava muito elevado (cerca de 225 R\$/MWh) e esse fato a deixou muito pouco competitiva. Os projetos vencedores do leilão ocorrido em maio de 2007, deveriam iniciar a entrega de energia no dia 1º de janeiro de 2010, conforme edital da Aneel. O quadro 06 apresenta a capacidade contratada naquele ano, de acordo com as fontes.

No primeiro leilão de energia de reserva apenas a fonte de biomassa ingressou no leilão na qualidade de fonte geradora. Apenas no segundo leilão, promovido em 2009, a fonte eólica veio a iniciar sua participação. Naquele leilão (quadro 07), foram contratados empreendimentos eólicos novos ou preexistentes – desde que tivessem entrado em operação até 17/01/2008. Os contratos foram fixados em 20 anos e o início da produção acertada para 2012.

Comparando ao leilão anterior, observa-se uma forte queda do preço médio atribuído a fonte. Esse fator contribuiu para o elevado número de projetos aprovados, fato que voltou a se repetir nos leilões que se sucederam.

De acordo com o Edital do 2º LFA (ANEEL, 2010a), as PCHs contratadas devem fornecer energia por 30 anos a partir de 2013 e negociadas sob o modelo de quantidade. Projetos de geração a biomassa e eólicas ofertarão energia por 15 anos, também a partir de 2013 e devem ser negociadas sob o modelo de disponibilidade. Como observado na quadro 07, o 2º LFA contratou 1.685,6 MW de energia através de 56 projetos a um preço médio de R\$ 135,48.

O leilão contratou projetos de geração a partir de biomassa com duração de 15 anos e início das operações em 2011, 2012 e 2013. Tanto projetos de eólica quanto PCHs contratadas iniciaram suas operações em 2013, sendo que usinas eólicas geram energia por 20 anos, enquanto PCH's têm expectativas de 30 anos de produção (ANEEL, 2010d). O 3º LER contratou 1.206,6 MW de energia a um preço médio de R\$125,07/MWh, sendo a fonte eólica a mais representativa dentre os 33 projetos (quadro 09).

O preço inicial do produto biomassa foi R\$ 156,00, do produto hidrelétrico, R\$ 155,00 e do produto eólico, R\$ 167,00 (ANEEL, 2010b). Ao comparar os quatro leilões aqui analisados, nota-se que a maioria dos empreendimentos eólicos se encontra na região Nordeste, estando alguns poucos localizados no Rio Grande do Sul. No entanto, observa-se um deslocamento dos projetos eólicos no Nordeste, uma vez que, no primeiro leilão de reserva, o Ceará possuía grande parte dos projetos, junto ao Rio Grande do Norte, enquanto, no último LER, o Ceará não deteve nenhum projeto vencedor. Ver quadros 10 e 11 a seguir:

Quadro 10 – Resultado do décimo segundo leilão de energia nova.

12º LEN + 4º LER	No de Projetos	Capacidade (MW)	Preço Médio (R\$/MWh)
PCH	7	131,5	141,93
Biomassa	12	712,9	144,2
Eólica	70	2047,8	130,86
<b>Total</b>	<b>89</b>	<b>2.892,2</b>	<b>133,56</b>

Quadro 11 – Resultado para a fonte eólica dos leilões de fontes renováveis por estado. Fonte: CCEE, 2013.

	2º LER/2009				2º LFA/2010				3º LER/2010			
	Projetos		Capacidade (MW)		Projetos		Capacidade (MW)		Projetos		Capacidade (MW)	
<b>RN</b>	23	32%	657	36%	30	60%	817,4	54%	9	45%	247,2	47%
<b>BA</b>	18	25%	390	22%	6	12%	326,4	21%	10	50%	261	49%
<b>RS</b>	8	11%	186	10%	9	18%	225,8	15%	1	5%	20	4%
<b>CE</b>	21	30%	542,7	30%	5	10%	150	10%	0	0%	0	0%
<b>SE</b>	1	1%	30	2%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%
<b>Total</b>	71	100%	1.805,7	100%	50	100%	1.519,6	100%	20	100%	528,2	100%



Conforme observado nos resultados do 2º LFA e do 3º LER, os projetos eólicos se tornaram ainda mais competitivos se comparados ao 2º LER de 2009. Pela primeira vez, as três fontes renováveis de energia apresentaram preços bem próximos aos preços das fontes convencionais. Além disso, a energia eólica, que costumava ser a mais cara das fontes renováveis, apresentou o menor preço dentre elas.

Nos quadros 12 e 13 vê-se um resumo das contratações de energia a partir de parques eólicos, no quadro 14, as contratações incluindo outras fontes de energia.

Quadro 12 – Resumo de projeto de parques eólicos inscritos e contratados de 2009 a 2013.

Ano	Inscritos	Contratação	Potencia instalada
<b>2009</b>	13 GW	753 MW	1.837 MW
<b>2010</b>	11 GW	899 MW	2.047 MW
<b>2011 A-3 e LER</b>	10,5 GW	832 MW	1.929 MW
<b>2011 A-5</b>	7,5 GW	487,5 MW	978,5 MW
<b>2012 A-5</b>	12 GW	152,2 MW	281,9 MW
<b>2013 LER (A-2)</b>	16,04 GW		

Quadro 13 – Resumo de projetos de parques eólicos contratados nos Estados. Fonte: CCEE, 2013.

Estado	Nº de Projetos	Potência (MW)	Porcentagem (%)
<b>Bahia</b>	238	5.854	36
<b>Ceará</b>	77	1.797	11
<b>Maranhão</b>	11	318	2
<b>Paraíba</b>	9	264	2
<b>Pernambuco</b>	19	501	3
<b>Piauí</b>	32	943	6
<b>Rio Grande do Norte</b>	113	2.776	17
<b>Rio Grande do Sul</b>	153	3.437	21
<b>Santa Catarina</b>	3	150	1
<b>Total</b>	<b>665</b>	<b>16.040</b>	<b>100</b>

Quadro 14 – Resumo da contratação de energia.

LER (A-2)	A-5	A-3	A-5
<b>Cadastrados 16,04 GW</b>	Hidrelétricas	Todas as Fontes	Hidrelétricas
<b>Exclusivo Eólicas</b>	Termelétricas: - Carvão - Biomassa - Gás Natural	Todas as Fontes	Termelétricas: - Carvão - Biomassa - Gás Natural
<b>23/08/13</b>	29/08/2013	Outubro	Dezembro

Atualmente, o Estado do Rio Grande do Norte é uma das regiões que mais receberam projetos de parques eólicos nos leilões de energia, com perspectiva futura também de destaque nacional. A Figura 12 apresenta o mapa do Estado do RN com a marcação da localização dos projetos de geração de energia, incluindo os parques eólicos contratados. Observa-se uma concentração de projetos de parques eólicos especialmente no Nordeste do Estado e na fronteira da microrregião de Serra de Santana e do Seridó Oriental.

Seguem os quadros 15 e 16 com o resumo dos projetos habilitados tecnicamente a participar do 2º Leilão de Energia A-5/2013 que aconteceu no dia 13 de dezembro, visando à contratação de eletricidade para o mercado consumidor do país no ano de 2018 (EPE,2013).

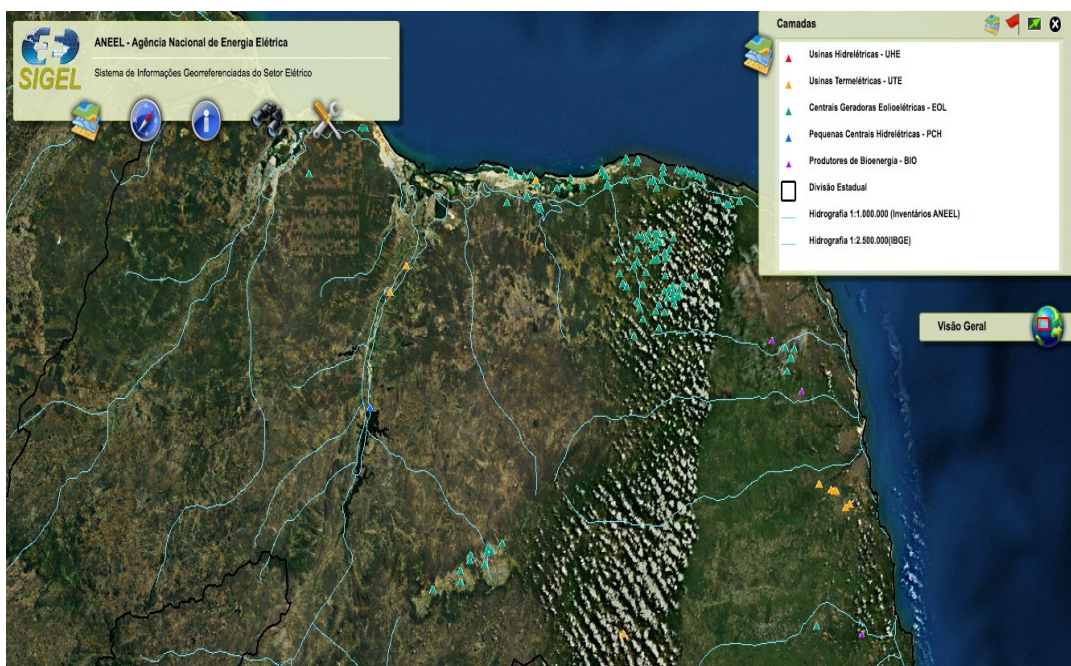


Figura 12 – Mapa do Rio Grande do Norte com as localizações dos projetos de geração. Fonte: SIGEL, 2013.

Quadro 15 – Resumo de projetos de energia habilitados, tecnicamente, pela EPE a participar do 2º Leilão de Energia A-5/2013. Fonte: EPE, 2013.

Fonte	Projetos	Oferta (MW)
<b>Eólica</b>	539	13.287
<b>Solar Fotovoltaica</b>	88	2.024
<b>Solar Heliotérmica</b>	7	210
<b>Pequena Central Hidrelétrica (PCH)</b>	32	520
<b>Hidrelétrica</b>	2	1.118
<b>Termelétrica a Biomassa</b>	14	593
<b>Termelétrica a Carvão</b>	4	2.140
<b>Termelétrica a Gás Natural</b>	1	1.238
<b>Total</b>	<b>687</b>	<b>21.130</b>

Quadro 16 – Detalhamento de projetos de energia habilitados, tecnicamente, pela EPE a participar do 2º Leilão de Energia A-5/2013. Fonte: EPE, 2013.

UF	FONTE	PROJETOS	OFERTA (MW)
Bahia	Eólica	184	4.656
	Solar Fotovoltaica	49	1.109
	Solar Heliotérmica	7	210
	Termelétrica a Biomassa	1	17
Ceará	Eólica	65	1.547
	Solar Fotovoltaica	8	73
Espírito Santo	PCH	1	10
Goiás	PCH	3	62
	Termelétrica a Biomassa	1	47
Maranhão	Eólica	7	204
Mato Grosso	PCH	2	20
Mato Grosso do Sul	Termelétrica a Biomassa	2	150
	Solar Fotovoltaica	6	175
Minas Gerais	PCH	8	182
	Termelétrica a Biomassa	2	70
	Hidrelétrica	1	700
Paráiba	Eólica	7	208
	Solar Fotovoltaica	9	253
Pernambuco	Eólica	18	508
Piauí	Eólica	27	741
	Solar Fotovoltaica	4	91
Rio de Janeiro	Termelétrica a Carvão	1	590
Rio Grande do Norte	Eólica	100	2.491
	Solar Fotovoltaica	8	203

Rio Grande do Sul	Eólica	129	2.873
	PCH	6	99
	Termelétrica a Gás Natural	1	1.238
	Termelétrica a Carvão	2	1.250
Rondônia	PCH	1	21
	Termelétrica a Biomassa	1	24
	Hidrelétrica	1	418
Santa Catarina	Eólica	2	59
	PCH	11	126
	Termelétrica a Biomassa	1	300
São Paulo	Solar Fotovoltaica	4	120
	Termelétrica a Biomassa	7	285
<b>TOTAL</b>		<b>687</b>	<b>21.130</b>

Quadro 17 – Resumo de projetos de energia habilitados, tecnicamente, pela EPE a participar do Leilão de Energia A-3/2014. Fonte: EPE, 2014.

Fonte	Projetos	Oferta (MW)
<b>Eólica</b>	494	12.286
<b>Hidrelétrica UHE</b>	1	418
<b>Pequena Central Hidrelétrica (PCH)</b>	17	296
<b>Termelétrica a Biomassa</b>	7	270
<b>Termelétrica a Gás Natural</b>	8	2.989
<b>Total</b>	<b>527</b>	<b>16.258</b>

Quadro 18 – Detalhamento de projetos de energia habilitados, tecnicamente, pela EPE a participar do Leilão de Energia A-3/2014. Fonte: EPE, 2014.

UF	FONTE	PROJETOS	OFERTA (MW)
Amazonas	Térmica a Gás Natural	3	765
Bahia	Eólica	187	4.732
	Térmica a Gás Natural	1	271
Ceará	Eólica	88	2.197
	Térmica a Gás Natural	1	369
Espirito Santo	Térmica a Gás Natural	1	326
Goiás	PCH	3	74
Maranhão	Eólica	21	606
Mato Grosso do Sul	PCH	1	28
Minas Gerais	PCH	5	78
Paraná	PCH	1	29

Paraíba	Eólica	8	238
Pernambuco	Eólica	12	320
Piauí	Eólica	16	438
Rio de Janeiro	Térmica a Gás Natural	1	608
Rio Grande do Norte	Eólica	62	1.541
Rio Grande do Sul	Eólica	98	2.155
	PCH	2	38
	Térmica a Biomassa	1	37
Rondônia	UHE	1	418
Roraima	Térmica a Biomassa	1	10
Santa Catarina	Eólica	2	60
	PCH	5	49
São Paulo	Térmica a Biomassa	4	143
	Térmica a Gás Natural	1	550
<b>TOTAL</b>		<b>527</b>	<b>16.258</b>

### 1.6 Considerações a respeito das condições de mercado.

A partir da exposição realizada nessa etapa do estudo, percebe-se que a fonte eólica e o seu papel no setor elétrico brasileiro, apesar de, atualmente, ainda modesto, tem sido promovido ao longo da última década dentro de um arcabouço regulatório que evoluiu de acordo com o contexto político-regulatório do setor elétrico como um todo.

As incertezas e indefinições associadas ao Proinfa foram uma consequência natural, dado o contexto de transição regulatória em que foi formulado, e, de fato, influenciaram, significativamente, a implementação e contratação de seus projetos. No entanto, o mérito do Programa advém do aprendizado por ele promovido e que pôde ser usufruído tanto pelos empreendedores quanto pelos agentes reguladores.

Hoje, quase dez anos após a implementação do Programa, conhece-se muito mais sobre a fonte eólica, suas vantagens e suas limitações, possibilitando um melhor aproveitamento do seu vasto e ainda pouco explorado potencial.

Ressalta-se que, associado à evolução regulatória, está em curso o desenvolvimento de uma cadeia fornecedora de bens e serviços que ganha volume no atendimento às demandas nacionais e também alcança mercados internacionais. Um número significativo de instituições e empresas também ingressou no mercado prestando serviços de capacitação, assessoria e desenvolvimento de tecnologia, certificações, dentre outros serviços, que adensam o conhecimento que vem permitindo gradual

consolidação do segmento energético no país.

Assim, o *expertise* gerado pelo Programa atrelado a uma maior estabilidade relacionada ao modelo regulatório vigente, hoje já bem definido, permite que se avalie a melhor forma de explorar e contratar a fonte eólica, visando a inseri-la na matriz energética brasileira. O esquema de contratação adotado a partir de 2009, que permite a contratação da fonte via leilão com mínima exposição ao risco de geração, geração essa sazonal e não previsível, foi um grande avanço no sentido de criar um mercado eólico sólido no país, aproveitando-se ainda de uma conjuntura macroeconômica significativamente favorável.

# Prospecção

---

## 2. A etapa de prospecção de viabilidade de parques eólicos – Oportunidades e barreiras

A prospecção constitui-se de levantamento de áreas e de dados de vento e é apoiada, a princípio e fundamentalmente, por atividade computacional, por meio de ferramentas GIS. A atividade de prospecção sugere, também, atividades de campo e equipe multidisciplinar no apoio para decisão da escolha da área do projeto eólico e escolha dos pontos de medição do recurso eólico. Posteriormente, elaboram-se os projetos básico e executivo, que subsidiarão a fase da construção. Essa etapa é objeto de mitigação de riscos de negócio para o proprietário do parque, além de fundamentar o planejamento de investimentos e amortização financeira.

De acordo com Mariana (2013), para o desenvolvimento de um projeto de geração de energia a partir do vento são necessárias os seguintes procedimentos:

- **1ª Etapa:** com o objetivo de otimizar recursos e eventuais impactos ao meio ambiente, realiza-se prévia identificação e classificação dos territórios de interesse com base em análise de topografia, infraestrutura e potencial eólico informado por dados de vento disponíveis como: estações meteorológicas, aeroportos, ou documentos como o Atlas de Potencial Eólico.
- **2ª Etapa:** com base nas regiões identificadas e classificadas, analisam-se as áreas consideradas previamente factíveis para a instalação de parques eólicos a partir de restrições ambientais, como a existência de Áreas de Preservação Permanente ou de impactos sonoros, ou ainda sociais, como a presença de moradores.
- **3ª Etapa:** para efetivar as medições necessárias à previsibilidade energética, verifica-se a disponibilidade e se estabelece a negociação de uso das áreas.
- **4ª Etapa:** processa-se a realização de um ciclo de medição de dados anemométricos.
- **5ª Etapa:** a partir das informações coletadas em um intervalo de tempo, com período que depende de exigências de regulação, efetivam-se estudos de viabilidade técnica e econômica.
- **6ª Etapa:** elaboração do projeto do parque eólico e preparação da documentação.
- **7ª Etapa:** habilitação técnica do projeto na Empresa de Pesquisas Energéticas e nos leilões.

Nesse contexto, interesses de parcerias entre empresas acontecem em torno,



principalmente, das áreas que se seguem:

- **Impacto Ambiental:** licenciamento ambiental é requisito para o início da etapa de construção, demandando *a priori* profissionais técnicos para estudos de impactos ambientais, incluindo o relatório de impacto ambiental com os eventuais projetos de mitigação aos impactos negativos causados pelo empreendimento.
- **Sondagem georreferenciada:** trata-se de estudos técnicos relacionados às identificações e classificações de áreas para proceder à campanha de medição.
- **Sondagem do solo:** trata-se de todos os estudos técnicos previstos para a construção da infraestrutura física a partir de análises topográficas e do solo, através de métodos de investigação diretos ou indiretos, demandando equipamentos e maquinário pesado de sondagem com os respectivos profissionais, além de análise físico-química do solo.
- **Instrumentação:** a quantificação energética de um terreno está necessariamente vinculada ao emprego de técnicas de medição do regime de vento e outras condições atmosféricas. Assim, naturalmente, são necessários equipamentos de coleta e sistematização de informações meteorológicas, além de profissionais técnicos qualificados.
- **Conexão à Rede:** para que se faça a conexão dos parques à rede elétrica são necessários estudos de impactos de novos produtores eólicos exigidos pelo Operador Nacional do Sistema (ONS, 2013), gerando oportunidades de negócio no fornecimento de ferramentas computacionais de simulação de sistemas elétricos de potência e de profissional técnico qualificado para a realização dos estudos obrigatórios.

Nas seções seguintes, apresenta-se o detalhamento técnico de cada um desses setores empresariais do mercado de energia eólica.

## 2.1 Impacto ambiental

### 2.1.1 Licenciamento ambiental

O licenciamento ambiental fomenta oportunidades principalmente no fornecimento de serviço na elaboração de relatórios de impactos ambientais. A seguir, serão demonstrados os conceitos e as documentações necessárias para o licenciamento ambiental.

O órgão ambiental competente no estado do Rio Grande do Norte é o Instituto de Desenvolvimento Sustentável e Meio Ambiente do Rio Grande do Norte - Idema. Pa-

ra a geração de energia elétrica a partir dos parques eólicos, é necessário que o Idema analise o relatório de impacto ambiental do empreendimento como requisito para fornecimento das licenças ambientais, demandando escritórios especializados para providências da documentação pertinente às licenças ambientais.

As licenças expedidas para licenciamento são:

- **Licença Prévia (LP):** concedida na etapa preliminar do projeto; contém os requisitos básicos e condicionantes a serem atendidos nas suas fases de localização, instalação e operação, observando-se a viabilidade ambiental do empreendimento nas fases subsequentes do licenciamento.
- **Licença de Instalação (LI):** autoriza o início da implantação do empreendimento de acordo com as especificações constantes dos planos, programas e projetos aprovados, incluindo as medidas de controle ambiental e demais condicionantes.
- **Licença de Operação (LO):** concedida após as verificações necessárias, para facultar o início da atividade requerida e o funcionamento de seus equipamentos de controle de poluição, de acordo com o previsto nas licenças prévia e de instalação.
- **Licença de Regularização de Operação (LRO):** de caráter corretivo e transitório, destinada a disciplinar, durante o processo de licenciamento ambiental, o funcionamento de empreendimentos e atividades em operação e ainda não licenciados, sem prejuízo da responsabilidade administrativa cabível.

### 2.1.2 Estudo de Impacto Ambiental/Relatório de Impacto Ambiental - EIA/RIMA

O Rima é um relatório que informa os resultados do Estudo de Impacto Ambiental – EIA. Visando apresentar o impacto ambiental positivo e negativo causado pelo empreendimento e proposições de soluções a curto, médio e longo prazo.

A Resolução do Conama nº 001/1986 informa as diretrizes que devem ser seguidas para a elaboração do EIA, conforme relatado no art. 5º dessa resolução.

**“ Art. 5º O estudo de impacto ambiental, além de atender à legislação, em especial os princípios e objetivos expressos na Lei de Política Nacional do Meio Ambiente, obedecerá às seguintes diretrizes gerais:**

***I - Contemplar todas as alternativas tecnológicas e de localização do projeto, confrontando-as com a hipótese de não execução do projeto;***

***II - Identificar e avaliar sistematicamente os impactos ambientais gerados nas fases de implantação e operação da atividade;***

***III - Definir os limites da área geográfica a ser direta ou indiretamente afetada pelos impactos, denominada área de influência do projeto, considerando, em todos os casos, a bacia hidrográfica na qual se localiza;***

***IV - Considerar os planos e programas governamentais, propostos e em implantação na área de influência do projeto e sua compatibilidade.***

Parágrafo único. Ao determinar a execução do estudo de impacto ambiental, o órgão estadual competente, ou a Sema ou, no que couber ao Município, fixará as diretrizes adicionais que, pelas peculiaridades do projeto e características ambientais da área, forem julgadas necessárias, inclusive os prazos para conclusão e análise dos estudos.”

No art. 6º da Resolução do Conama nº 001/1986 são apresentadas as atividades técnicas mínimas que o estudo ambiental deverá ter, primeiramente na fase de diagnóstico, no qual se analisa o ambiente antes do empreendimento, levando em conta os meios que podem sofrer com a implantação do parque, como: os meios físico, biológico e socioeconômico.

**“Art. 6º O estudo de impacto ambiental desenvolverá, no mínimo, as seguintes atividades técnicas:**

***I - diagnóstico ambiental da área de influência do projeto completa descrição e análise dos recursos ambientais e suas interações, tal como existem, de modo a caracterizar a situação ambiental da área, antes da implantação do projeto, considerando:***

**a) o meio físico - o subsolo, as águas, o ar e o clima, destacando os recursos minerais, a topografia, os tipos e aptidões do solo, os corpos d’água, o regime hidrológico, as correntes marinhas, as correntes atmosféricas;**

**b) o meio biológico e os ecossistemas naturais - a fauna e a flora, destacando as espécies indicadoras da qualidade ambiental, de valor científico e econômico, raras e ameaçadas de extinção e as áreas de preservação permanente;**

**c) o meio socioeconômico - o uso e ocupação do solo, os usos da água e a socioeconomia, destacando os sítios e monumentos arqueológicos, históricos e culturais da comunidade, as relações de dependência entre a sociedade local, os recursos ambientais e a potencial utilização futura desses recursos.”**

Outras atividades que devem estar inseridas no EIA é a análise do impacto ambiental, medidas mitigadoras e o programa de acompanhamento e monitoramento

dos impactos.

*“II - Análise dos impactos ambientais do projeto e de suas alternativas, através de identificação, previsão da magnitude e interpretação da importância dos prováveis impactos relevantes, discriminando: os impactos positivos e negativos (benéficos e adversos), diretos e indiretos, imediatos e a médio e longo prazo, temporários e permanentes; seu grau de reversibilidade; suas propriedades cumulativas e sinérgicas; a distribuição dos ônus e benefícios sociais.*

*III - Definição das medidas mitigadoras dos impactos negativos, entre elas, os equipamentos de controle e sistemas de tratamento de despejos, avaliando a eficiência de cada uma delas.*

*IV - Elaboração do programa de acompanhamento e monitoramento dos impactos positivos e negativos, indicando os fatores e parâmetros a serem considerados.*

Parágrafo único. Ao determinar a execução do estudo de impacto ambiental, o órgão estadual competente; ou a Sema ou quando couber, o Município fornecerá as instruções adicionais que se fizerem necessárias, pelas peculiaridades do projeto e características ambientais da área. (CONAMA nº 001/1986).”

Após o EIA, é necessária a elaboração do Relatório de Impacto Ambiental – Rima. O Conama 001/1986, no artigo 9º, informa alguns pontos necessários que o Rima deverá abordar:

**Art. 9º O relatório de impacto ambiental - Rima - refletirá as conclusões do estudo de impacto ambiental e conterá, no mínimo:**

*I - Os objetivos e justificativas do projeto, sua relação e compatibilidade com as políticas setoriais, planos e programas governamentais.*

*II - A descrição do projeto e suas alternativas tecnológicas e locacionais, especificando para cada um deles, nas fases de construção e operação, a área de influência, as matérias-primas, e mão de obra, as fontes de energia, os processos e técnicas operacionais, os prováveis efluentes, emissões, resíduos e perdas de energia, os empregos diretos e indiretos a serem gerados.*

*III - A síntese dos resultados dos estudos de diagnósticos ambiental da área de influência do projeto.*

*IV - A descrição dos prováveis impactos ambientais da implantação e operação da atividade, considerando o projeto, suas alternativas, os horizontes de tempo de incidência dos impactos e indicando os métodos, técnicas e critérios adotados para sua identificação, quantificação e interpretação.*

*V - A caracterização da qualidade ambiental futura da área de influência, comparando LICENCIAMENTO AMBIENTAL – Normas e procedimentos RESOLUÇÃO CONAMA nº 1 de 1986. RESOLUÇÕES DO CONAMA relacionadas às diferentes situações da adoção do projeto e suas alternativas, bem como com a hipótese de sua não realização.*

*VI - A descrição do efeito esperado das medidas mitigadoras previstas em relação aos impactos*

*negativos, mencionando aqueles que não puderem ser evitados, e o grau de alteração esperado.*

*VII - O programa de acompanhamento e monitoramento dos impactos.*

*VIII - Recomendação quanto à alternativa mais favorável (conclusões e comentários de ordem geral).*

Parágrafo único. O Rima deve ser apresentado de forma objetiva e adequada a sua compreensão. As informações devem ser traduzidas em linguagem acessível, ilustradas por mapas, cartas, quadros, gráficos e demais técnicas de comunicação visual, para que se possam entender as vantagens e desvantagens do projeto, bem como todas as consequências ambientais de sua implementação.

O procedimento de licenciamento ambiental deverá obedecer às seguintes etapas (CONAMA, 1997):

*I - Definição pelo órgão ambiental competente, com a participação do empreendedor, dos documentos, projetos e estudos ambientais, necessários ao início do processo de licenciamento correspondente à licença a ser requerida.*

*II - Requerimento da licença ambiental pelo empreendedor, acompanhado dos documentos, projetos e estudos ambientais pertinentes, dando-se a devida publicidade.*

*III - Análise pelo órgão ambiental competente, integrante do Sisnama, dos documentos, projetos e estudos ambientais apresentados e a realização de vistorias técnicas, quando necessárias.*

*IV - Solicitação de esclarecimentos e complementações pelo órgão ambiental competente, integrante do Sisnama, uma única vez, em decorrência da análise dos documentos, projetos e estudos ambientais apresentados, quando couber, podendo haver a reiteração da mesma solicitação caso os esclarecimentos e complementações não tenham sido satisfatórios.*

*V - Audiência pública, quando couber, de acordo com a regulamentação pertinente.*

*VI - Solicitação de esclarecimentos e complementações pelo órgão ambiental competente, decorrentes de audiências públicas, quando couber, podendo haver reiteração da solicitação quando os esclarecimentos e complementações não tenham sido satisfatórios.*

*VII - Emissão de parecer técnico conclusivo e, quando couber, parecer jurídico.*

*VIII - Deferimento ou indeferimento do pedido de licença, dando-se a devida publicidade. (CONAMA, 1997).*

E para licenciamento ambiental simplificado de empreendimentos elétricos com pequeno potencial de impacto ambiental, deverá ser elaborado Relatório Ambiental Simplificado – RAS - contendo, no mínimo, uma descrição do projeto, diagnóstico e prognóstico ambiental e medidas mitigadores e compensatórias (CONAMA, 2001).

## **2.2 Sondagem georreferenciada.**

A determinação das localizações factíveis para a execução de um projeto de parque eólico exige a elaboração de estudo de sondagem preliminar georreferenciada com a finalidade de otimizar os recursos, observando eventuais restrições ambientais, sociais ou técnicas que impediriam a construção de um parque eólico em uma região. Esse estudo demanda profissionais e ferramentas computacionais para o georreferenciamento.

## 2.3 Instrumentação

Para uma boa análise de potencial eólico, são indispensáveis medições de qualidade da velocidade do vento. É imprescindível assegurar que a energia que será produzida no empreendimento tenha a menor margem de erro possível previsto na prospecção. Isso é muito importante no processo de financiamento de parques eólicos que apresentam exigências específicas e criteriosas.

A quantificação e qualificação da velocidade e direção do vento, voltados para a previsibilidade eólica, influem em decisões estratégicas, técnicas e financeiras de maneira incisiva, exigindo, portanto, precisão e exatidão dos instrumentos.

Assim, observa-se, no campo da instrumentação associados ao mercado da energia eólica, uma possibilidade de negócio para o fornecimento de equipamentos de medição e programas computacionais de simulação do perfil energético do terreno, além de demandar laboratórios de túnel de vento e mão de obra especializada na aérea de calibração e certificação desses equipamentos e equipe de montagem das torres de monitoramento. Em cada uma dessas atividades econômicas, em geral, vinculam-se profissionais para efetivar o trabalho de instalação *in loco* dos equipamentos de medição.

Seguem informações técnicas e econômicas dos principais instrumentos negociados no mercado da prospecção de parques eólicos.

### 2.3.1 Instrumentos de medição

Cada estação de medição deve conter, além do registrador de medições, pelo menos os seguintes medidores: 03 anemômetros de concha, 02 medidores de direção de vento, 01 medidor de umidade do ar, 01 medidor de pressão barométrica e 01 termômetro.

A oportunidade na participação de empresas nessa etapa do empreendimento de parque eólicos, dentro do contexto da instrumentação, se volta, principalmente, para a representação de marcas e treinamento de pessoal. Apesar de existir uma significativa e relevante demanda para eventual desenvolvimento e fabricação de medidores nacionais, eventuais restrições para aplicação, em curto prazo, podem se destacar, haja vista que o cumprimento de normas que regulamentam as condições de operação desses instrumentos de medição exige processos de certificação.

Os instrumentos de medição de velocidade do vento devem obedecer à classificação descrita no anexo I da norma IEC 61400-12-1 quanto às características de terreno (simples ou complexo) indicando sensores de Classe A e Classe B; e no anexo J quanto aos desvios observados em suas medições, podendo ser classificados como Classe 1, Classe 2 e, assim, sucessivamente.

Os detalhes da classificação de anemômetros encontram-se nas figuras 13 e 14 a seguir:

	Class A Terrain meets requirements in Annex B		Class B Terrain does not meet requirements in Annex B	
	Min	Max	Min	Max
Wind speed range to cover [m/s]	4	16	4	16
Turbulence intensity	0,03	0,12 + 0,48/V	0,03	0,12 + 0,96/V
Turbulence structure $\sigma_U/\sigma_V/\sigma_W^8$	1/0,8/0,5 (non-isotropic turbulence)		1/1/1 (isotropic turbulence)	
Air temperature (°C)	0	40	-10	40
Air density (kg/m <sup>3</sup> )	0,9	1,35	0,9	1,35
Average flow inclination angle (°)	-3	3	-15	15

Figura 13 - Classificação de anemômetros quanto às condições operacionais. Fonte: Anexos I e J da Norma IEC 61400-12-1

Na instrumentação de torres de medição aplicada, à energia eólica, recomenda-se, no setup de medição, pelo menos, o uso de: 03 anemômetros, 01 biruta, 01 termômetro, 01 higrômetro e 01 barômetro, além do sistema de aquisição e envio de dados e dos sistemas de sinalização e aterramento.

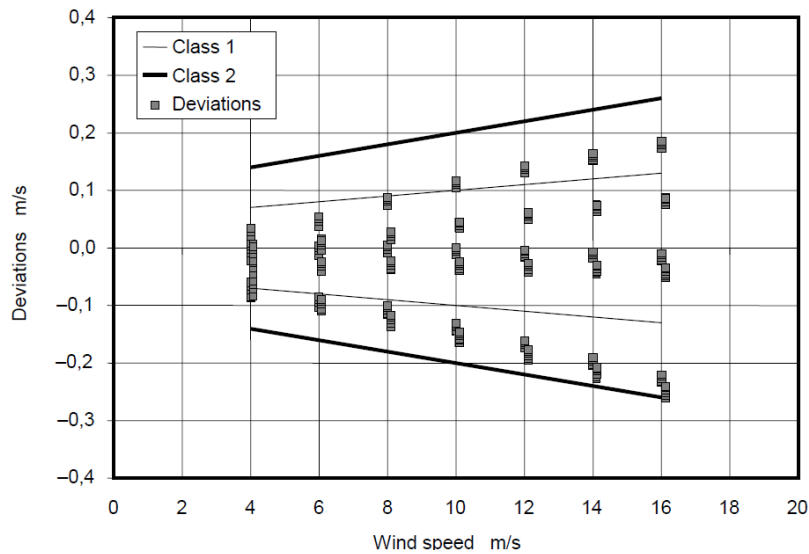


Figura 14 - Classificação de anemômetros quanto aos desvios apresentados na medição. Exemplo de desvios para um anemômetro de Classe 2.0A Fonte: Anexos I e J da Norma IEC 61400-12-1

### 2.3.1.1 Anemômetro

Anemômetro é o sensor utilizado para realizar a medição da velocidade do vento. Os sinais digitais obtidos pela medição podem ser utilizados para registro e posterior análise do perfil energético da região onde se localiza o instrumento ou pode ser utilizado para controle de dispositivos de ajuste aerodinâmico de aerogeradores e ainda comando dos conversores associados à operação do gerador, dependendo da estratégia de operação.

Em geral, os anemômetros são do tipo concha e hélice, sendo o primeiro o principal utilizado para prospecção (Figura 15) por ser considerado mais preciso, e é composto por um conjunto de conchas fixadas em um eixo central vertical e atuam como medidores de frequência.



Figura 15 - Anemômetro do tipo concha. Fonte: CTGAS-ER



### 2.3.1.2 Wind Vane

Wind Vane (biruta) corresponde ao sensor de direção do vento. A definição dessa informação fundamenta a construção da Rosa dos Ventos que corresponde a uma imagem que correlaciona a frequência de ocorrência do vento versus sua direção, com recomendação de que seja dividida em 12 setores. Na figura 16 apresenta-se uma foto de sensor de direção.



Figura 16 - Wind Vane. Fonte: CTGAS-ER

### 2.3.1.3 Termohigrômetro e barômetro

O termohigrômetro e o barômetro são, respectivamente, sensores de temperatura e umidade e pressão que contribuem na determinação do potencial energético local, além de facilitar a classificação do local quanto à estabilidade atmosférica.

Tal critério torna-se pertinente na medida em que aerogeradores possuem taxas de eficiência diferentes para perfis de ventos distintos. Por isso, tratando-se de produção de energia elétrica a partir de energia eólica, tão importante quanto os valores médios de ventos, o perfil de variação nas velocidades de vento encontra-se como um parâmetro decisivo. Assim, dentre das classes de estabilidade de vento pode classificar desde fortemente instável a fortemente estável, dentre outras classificações (TURNER, 1970). Nas figuras 17 e 18 encontram-se imagens de um termohigrômetro e um barômetro respectivamente, utilizados na atividade de prospecção.



Figura 17 - Termohigrômetro. Fonte: CTGAS-ER



Figura 18 - Barômetro. Fonte: CTGAS-ER

A Norma IEC 61400-12-1, em seu anexo 6, indica:

- O anemômetro de topo deve ser instalado em suporte vertical com diâmetro equivalente ao usado na sua calibração.
- O desvio angular do anemômetro deve ser inferior a 2 graus.
- O anemômetro de topo deve estar fixado em suporte com, pelo menos, 0,75 m de altura.
- Outros instrumentos devem ser posicionados a, pelo menos, 1,5 m abaixo do anemômetro de topo.
- Os sensores intermediários devem estar fixados em suportes e a uma distância horizontal da torre que não sofra influência na medição devido à alteração do fluxo de vento pela torre.
- A altura do suporte horizontal deve garantir que o sensor não sofra influência na medição devido à alteração do fluxo de vento pelo suporte.
- O para-raios deve ser posicionado na direção oposta do sentido preferencial do vento e com distância horizontal mínima que não influencie na medição.

### 2.3.2 Torres de monitoramento

De acordo com IEC (2005), a localização dos instrumentos de medição devem obedecer a critérios que busquem a menor influência possível das eventuais turbulências produzidas no vento pela própria torre de medição e de outros equipamentos. Dessa forma, o anemômetro principal deve-se localizar, preferencialmente, no topo da torre de medição, como mostra a Figura 19. Alguns outros detalhes são pertinentes à estrutura de suporte do aerogerador, como a variação angular máxima do eixo vertical e o diâmetro do tubo de fixação do instrumento.

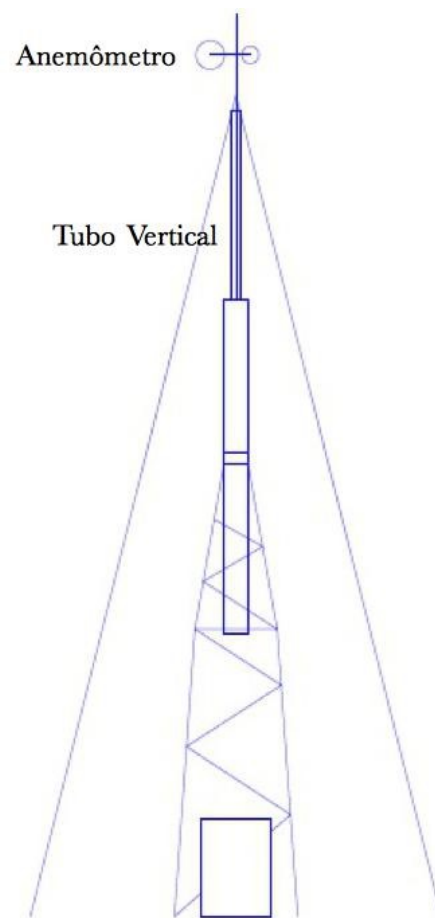


Figura 19 - Modelo de torre de medição. Fonte: IEC 61-400-12-1 Anexo G.

Ainda citando a IEC (2005), existem ainda métodos alternativos de suporte de mais de um anemômetro por torre através da utilização de uma base que comporte duas hastes verticais, como mostra a Figura 20. O posicionamento dos demais equipamentos pode ocorrer através de hastes horizontais que garantam uma distância mínima entre os instrumentos de medição e registro, como mostra a Figura 21. As figuras 22 a 25 trazem fotos de montagem da torre de medição.



Figura 20 - Modelo de torre de medição com duas hastes verticais. Fonte: IEC 61-400-12-1 Anexo G.

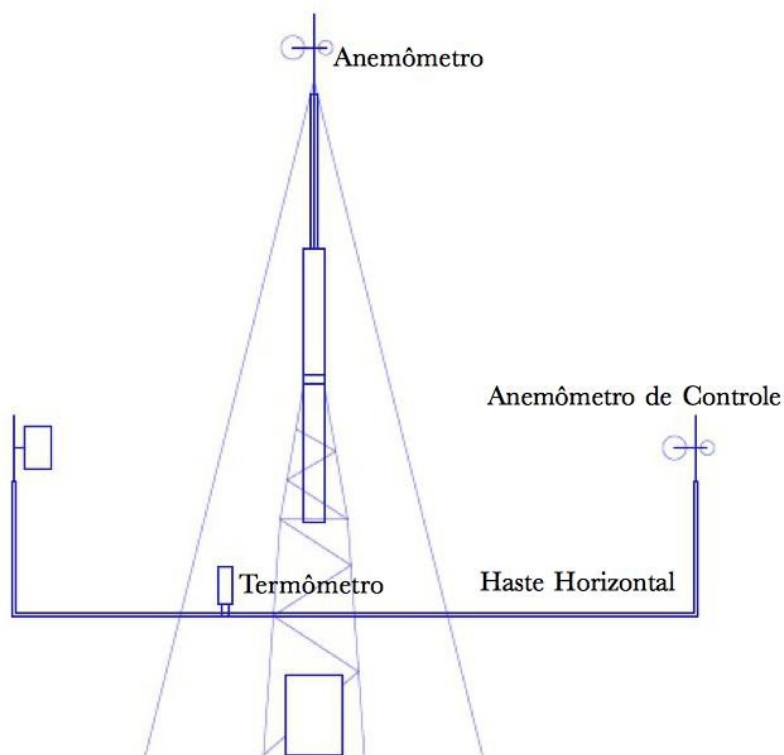


Figura 21 - Modelo de torre de medição com haste horizontal. Fonte: IEC 61-400-12-1 Anexo G.



Figura 22 - Montagem da torre de medição. Fonte: Gerente Executivo dos Parques Eólicos de Alegria I e II.



Figura 23 - Montagem da torre de medição. Fonte: Gerente Executivo dos Parques Eólicos de Alegria I e II.



Figura 24 - Montagem da torre de medição. Fonte: Gerente Executivo dos Parques Eólicos de Alegria I e II.



Figura 25 - Torre de medição. Fonte: Gerente Executivo dos Parques Eólicos de Alegria I e II.

Como recomendação para configuração básica de torre segue os seguintes itens:

- Um anemômetro deverá ser instalado no topo da estação de medição (anemômetro superior), em altura do solo igual à do eixo das turbinas do parque eólico e, no mínimo, a 50 (cinquenta) metros de altura do solo.
- O anemômetro superior deve estar livre de perturbações e interferências causadas por outros instrumentos de medição ou de sinalização.
- O segundo anemômetro (anemômetro intermediário) deve ser instalado à distância de até 2,5 (dois vírgula cinco) metros abaixo do anemômetro superior.
- O terceiro anemômetro (anemômetro inferior) deve ser instalado a uma distância mínima de 20 metros abaixo do anemômetro superior e, preferencialmente, na altura inferior da ponta da pá das turbinas.
- O medidor superior de direção de vento deve ser instalado a uma distância mínima de 1,5 (um vírgula cinco) metros abaixo do anemômetro superior e máxima de 10% da altura do eixo das turbinas do parque eólico.
- O barômetro, o medidor de umidade relativa do ar e o termômetro devem ser instalados, preferencialmente, entre 1,5 metros e 10 metros abaixo do topo da estação de medição.

A torre constitui um elemento, em que não se incorporam inovações tecnológicas de alta complexidade, permitindo que empresas de ferragem e marcenaria, em geral, possam dispor de ofertas desse equipamento. Em pesquisa realizada por entrevista, observou-se a baixa disponibilidade no mercado regional de empresas que realizassem também um tratamento da superfície do metal que compõe a torre, como a galvanização. Essa demanda surge, principalmente, no Estado do Rio Grande do Norte, na medida em que se percebem altos níveis de salitre, oxidando esse equipamento. Somando-se a esse contexto, de acordo com as atuais regras para habilitação de novos projetos, as torres, atualmente, devem permanecer no local de prospecção por, pelo menos, 03 anos e em posteriores momentos, visto que o EPE exige constantes medições e disponibilização das informações obtidas, durante e após a etapa de construção do parque.

### 2.3.3 Calibração de anemômetros

A calibração de instrumentos de medição busca garantir exatidão e precisão, obedecendo aos limites de erros. As restrições impostas pela alta especialidade de equipamentos e mão de obra qualificada produzem uma demanda no mercado de instituições e empresas nacionais, incluindo, nesse cenário, o Rio Grande do Norte, que ofertam esse tipo de serviço.

A seguir apresentam-se as diretrizes, segundo Alé (2009), para a realização da calibração de anemômetros.

“A calibração de anemômetros é realizada num túnel de vento e consiste em instalar o anemômetro na seção de teste e correlacionar para diferentes velocidades à frequência de saída do anemômetro. A velocidade, nessa seção, é determinada com auxílio de tubos de Pitot. No procedimento, são utilizados transdutores para medir a pressão diferencial dos tubos de Pitot, temperatura média do ar, pressão atmosférica e umidade relativa. Um sistema de aquisição de dados permite o condicionamento dos sinais assim como o registro das variáveis envolvidas. O procedimento é realizado na faixa de 4m/s a 16m/s.

Após o levantamento dos dados, se faz uma análise de regressão linear determinando parâmetros estatísticos como os coeficientes angular e linear que definem a equação da reta que representa a velocidade do vento em função da rotação do anemômetro. A frequência da amostragem deve ser de, pelo menos, 1Hz durante, no mínimo, 30 segundos. A velocidade média de referência é determinada medindo a pressão diferencial no tubo de Pitot e levando em consideração as correções do coeficiente de correção do tubo de Pitot, do túnel de vento e do efeito de bloqueio. A massa específica do ar é determinada em função da temperatura média do ar, da umidade relativa, e da pressão atmosférica.”

Dessa maneira, preocupações se estabelece necessidades de confiabilidade das informações atmosféricas. Neste contexto o Brasil possui a CGCRE - Coordenação-Geral de Acreditação do Inmetro - organismo de acreditação de organismos de avaliação da conformidade reconhecido pelo Governo Brasileiro. A Cgcre é, dentro da estrutura organizacional do Inmetro, a unidade organizacional principal que tem total responsabilidade e autoridade sobre todos os aspectos referentes, incluindo as deci-



sões de acreditação.

O Decreto nº 7938, publicado em 19 de fevereiro de 2013, alterou o Decreto nº 6275, de 28 de novembro de 2007 e estabelece a competência da Coordenação-Geral de Acreditação (Cgcre) do Inmetro para atuar como organismo de acreditação de organismos de avaliação da conformidade. A Portaria nº 165, publicada em 2 de abril de 2013, estabelece as competências da Cgcre e de suas unidades organizacionais a ela vinculadas, como também as atribuições do Coordenador-Geral da Cgcre.

A Cgcre e as demais unidades organizacionais do Inmetro colaboram no sentido da implementação das diretrizes do Conmetro, sendo mantida a independência da Cgcre como organismo de acreditação, evitando-se qualquer conflito com atividades de avaliação da conformidade realizadas pelas outras unidades organizacionais do Inmetro ou por quaisquer outros órgãos governamentais.

A Coordenação Geral de Acreditação do Inmetro atua na acreditação de Organismos de Avaliação da Conformidade - OAC.

- Acreditação de Laboratórios: De acordo com os requisitos da norma ABNT NBR ISO/IEC 17025, aplicável a laboratórios de calibração e de ensaio e acreditação de laboratórios de análises clínicas, que é concedida com base nos requisitos estabelecidos na norma ABNT NBR NM ISO 15189.

A acreditação de laboratórios é de natureza voluntária, sendo concedida para qualquer laboratório que realize serviços de calibração e/ou ensaio, em atendimento à própria demanda interna ou de terceiros, independente ou vinculado a outra organização, de entidade governamental ou privada, nacional ou estrangeiro, independente do seu porte ou área de atuação. A acreditação é concedida por endereço e por natureza dos serviços, de calibração, ensaio ou exame. As informações dos laboratórios obtidas pela Cgcre, incluindo a equipe de avaliação, são tratadas com estrita confidencialidade.

- Acreditação de Organismos:

A acreditação de Organismos de certificação ocorre pela Divisão de Acreditação de Organismos de Certificação (Dicor), que realiza as atividades para reconhecer a

competência técnica dos organismos de avaliação da conformidade que executam certificações de produtos, sistemas de gestão, pessoas, processos ou serviços; para isso, utiliza programas de acreditação, estabelecidos em Normas, cujos requisitos devem ser atendidos, plenamente, pelos solicitantes. Essa acreditação engloba as modalidades: produtos, pessoas e sistemas de gestão.

- Acreditação de Organismos de Inspeção.

A acreditação de Organismos de Inspeção é realizada segundo os requisitos estabelecidos na norma ABNT NBR ISO/IEC 17020:2012. A acreditação de organismos de inspeção é concedida para um escopo, que é definido com base no tipo de inspeção, nos critérios de aprovação e / ou no tipo de produto inspecionado.

## **2.4 Estudos de *Sondagem do solo*.**

Após a campanha de medição, procede-se também, a uma análise preliminar do solo, demandando empresas com experiência e maquinários especializados na área. Com a coleta dos dados, o(s) engenheiro(s) projetista(s) determina(m) o tipo de fundação adequada. Seguem algumas das atividades associadas à sondagem do solo (PAIVA, 2011).

### **2.4.1 Sondagem do solo**

Inicialmente, é feita uma visita ao local onde se observam feições topográficas, eventuais indícios de instabilidade de taludes, indícios de presença de aterro, presença de matacões, afloramento rochoso, minas d'água, entre outras informações relevantes. Posteriormente, inicia-se a investigação geotécnica preliminar do subsolo.

Os métodos de investigação do solo podem ser indiretos (ou geofísicos) e diretos.

#### **2.4.1.1 Métodos de investigação indiretos ou geofísicos.**

Baseados na interpretação de certas medidas físicas, tais como:

- Magnéticos – Utilizados em mineração
- Gravimétricos – Utilizados em prospecção de petróleo
- Elétricos – Utilizados em pesquisas de água subterrânea

#### **2.4.1.2 Métodos de investigação diretos**

Através da execução de perfurações ou sondagem do subsolo.

##### - Manuais

- Poços de inspeção
- Sondagem a trado

##### - Mecanizados

- Sondagem à percussão
- Sondagem rotativa
- Sondagem mista
- Ensaio de cone (CPT)
- Ensaio pressiométrico (PMT)

##### - Poços de inspeção

Para levar a efeito esse ensaio, é necessária a presença de um engenheiro, geólogo ou técnico especializado em solos. Este tipo de sondagem permite recolher amostras do solo, tanto indeformadas quanto deformadas para análises mais profundas do solo.

##### - Sondagens a trado

Processo simples utilizado para obter informações preliminares das condições geológicas superficiais, a perfuração é realizada por dois operadores, girando a barra horizontal acoplada a hastes verticais, em cuja extremidade se encontra a broca. A cada 5 ou 6 rotações, forçando-se o trado para baixo, é necessário retirar a broca para remover o material acumulado que é colocado em sacos de lonas devidamente etiquetados.

#### - Sondagem à percussão

Velloso e Lopes (2004) definem sondagem como sendo a percussão com determinação de SPT *standard penetration test* - como:

“são perfurações capazes de ultrapassar o nível d’água e atravessar solos relativamente compactos ou duros. O furo é revestido se se apresentar instável; caso se apresente estável, a perfuração pode prosseguir sem revestimento, eventualmente adicionando-se um pouco de betonita à água. A perfuração avança na medida em que o solo, desagregado com auxílio de um trépano, é removido por circulação de água (lavagem)”.

Conforme o resultado obtido na investigação geotécnica preliminar fica a critério do corpo técnico a investigação geotécnica complementar, visando obtenção de maiores especificações ou um perfil geotécnico/geológico mais detalhado do solo em questão. Também podem ocorrer durante a execução da fundação diferenças entre as condições locais e as indicações fornecidas pela investigação preliminar devendo assim ser realizadas novas investigações.

#### - Sondagem rotativa

Segundo Dyminski (2011), “quando se atinge material impenetrável à percussão (estrato rochoso, matacões, solos extremadamente rijos, etc” o método de sondagem rotativa é indicado para essas situações, pois permite o avanço da sondagem e ainda a retirada de testemunhos (amostras cilíndricas de corpos rochosos).

Para que ocorra esse tipo de sondagem, é utilizada a perfuratriz, conhecida como sonda rotativa, com coroa diamantada.

“Durante o processo de sondagem rotativa é utilizada ferramenta tubular chamada *barrilete* (do inglês *barrel*) para corte e retirada de amostras de rocha (chamadas de *testemunho*). Estas ferramentas têm em sua extremidade inferior uma coroa, que pode ter pastilhas de tungstênio (*wídia*) ou diamantes. A ferramenta completa de corte e amostragem é, assim, composta de coroa, calibrador com mola retentora e barrilet. O barrilete pode ser *simples*, *duplo rígido*, ou *duplo giratório*” (VELLOSO e LOPES, 2004)

#### - Sondagens mistas

“As sondagens mistas são uma combinação de um equipamento de sondagem rotativa com um equipamento de sondagem a percussão (para SPT). Na sondagem mista, nos materiais que podem ser sondados a percussão, este processo deve ser usado (com execução de SPT), exceto quando se deseja retirar uma amostra com o amostrador Denison” (VELLOSO e LOPES, 2004).

- Ensaio de cone (CPT)

“Considerado internacionalmente como um dos mais importantes procedimentos de investigação geotécnica. O princípio do ensaio consiste na cravação contínua no terreno de uma de uma ponteira cônica a uma velocidade constante de aproximadamente 10mm/s, usando equipamento hidráulico” (DYMINSKI, 2011).

“O ensaio consiste basicamente na cravação a velocidade constante lenta e constante (dita “estática” ou “quasi-estática”) de uma haste com ponta cônica medindo-se a resistência encontrada na ponta e a resistência por atrito lateral.

(...)

Nesse ensaio, não são retiradas amostras dos solos atravessados, portanto é recomendável que esse tipo de investigação seja associado à sondagem a percussão (com retirada de amostras para classificação táctil-visual)” (VELLOSO e LOPES, 2004).

“O ensaio pressiométrico é um ensaio efectuado “in situ”, tendo maior aplicação nos solos e rochas brandas ou solos duros. Este consiste na introdução de uma sonda cilíndrica dentro de um furo aberto no solo, e na aplicação de uma pressão que levará à expansão da sonda, tendo como consequência uma compressão horizontal do solo na zona envolvente” (SILVA, 2011).

“A norma que rege o ensaio pressiométrico de Ménard é a norma NF P 94 – 110- 1 (2000), que prevê o principio do ensaio como a teoria da expansão radial de uma célula de carga introduzida no solo ou rocha a ser ensaiado. A pressão aplicada é correspondente ao aumento de volume associado que são medidos e registrados através da relação tensão x deformação.

O método consiste em injetar pressão de óleo dentro de uma membrana flexível, a membrana é expandida lateralmente até alcançar as paredes de um furo pré-perfurado. Medem-se posteriormente os deslocamentos produzidos pelo processo de furação e pela expansão da membrana. Este deslocamento é relacionado com a magnitude das tensões principais in situ, e com os parâmetros de deformabilidade existentes na zona onde se realiza o ensaio.

Na primeira etapa são inseridos na rocha pinos de referencia distribuídos nos vértices de um hexágono, aonde são instalados sensores de deslocamento colocados radial e circunferencialmente ao furo central.

Na segunda etapa é feito um furo central de aproximadamente 45cm de profundidade e 6cm de diâmetro aonde será colocado o equipamento. Durante a execução da perfuração é monitorada o deslocamento relativo entre os pontos até o furo atingir uma profundidade entre 30 a 40 cm; em seguida a perfuração é paralisada e são registrados os deslocamentos produzidos pelo processo de relaxação da rocha. ”

“Na terceira etapa, dá-se continuidade à perfuração do furo principal até alcançar uma profundidade de 45cm, aqui o testemunho é retirado e colocado o pressiômetro dentro do furo. Em seguida, começa o processo de pressurização, quando é injetado pressão de óleo na membrana do pressiômetro até conseguir deslocamento significativo na rocha. São feitos vários ciclos de pressurização em estágios de carregamento e descarregamento medindo-se a variação de distância entre pinos. Os deslocamentos produzidos são registrados mediante um sistema de aquisição de dados, posteriormente os dados adquiridos são processados em um computador e são calculados os módulos de deformabilidade e a magnitude das tensões in situ“ (CRISTINA, 2011).

## 2.5 Conexão à rede

A definição das condições de acesso à rede básica é de inteira responsabilidade do Operador Nacional do Sistema Elétrico - ONS - visando a garantir o direito de qualquer agente ou consumidor livre se conectar e fazer uso do sistema elétrico. Isso é de suma importância para a competição nos segmentos de geração e comercialização da energia elétrica.

Um requerimento com estudos preliminares do acesso à rede e informações sobre

o tipo de geração a ser conectada é necessário para a solicitação a ONS, para que sejam tomadas as devidas providências acerca das condições de acesso.

Essa solicitação pode, também, ser apresentada à concessionária de transmissão (no caso de conexão à rede básica) ou à concessionária ou permissionária de distribuição (se a conexão for à rede de distribuição).

“Por condições de acesso, dentre outras, entende-se aquelas relacionadas às ampliações e reforços necessários na rede elétrica para acomodar o acesso solicitado, os prazos necessários para sua implantação, as limitações, as ressalvas, os requisitos técnicos a serem observados quanto à medição, proteção, telessupervisão, relacionamento operacional etc. Além desses aspectos, para os casos em que a instalação do acessante tiver equipamentos com característica não-linear, deverão ser efetivados os estudos de qualidade de tensão e as campanhas de medição, visando atender o atendimento aos requisitos de qualidade de tensão definidos nos Procedimentos de Rede”. [ONS].

De acordo com o Módulo 3 dos Procedimentos de Rede – Acesso aos Sistemas de Transmissão, submódulo 3.1 - as condições gerais de contratação do acesso aos sistemas de transmissão e de distribuição e as tarifas correspondentes devem:

- a. assegurar tratamento não discriminatório aos usuários;
- b. assegurar a cobertura de custos compatíveis com custos-padrão;
- c. estimular novos investimentos na expansão dos sistemas;
- d. induzir a utilização racional dos sistemas;
- e. minimizar os custos de ampliação ou utilização dos sistemas elétricos.

O processo de conexão é aplicado a:

- a. instalações de agentes de geração conectadas à rede básica, despachados centralizadamente pelo ONS, ou que comercializam energia no âmbito da CCEE;
- b. instalações de agente de transmissão pertencentes à rede básica;

- c. instalações de consumidor livre, de central geradora ou de importador/exportador de energia para acesso à rede básica por meio de seccionamento de linha de transmissão pertencente à rede básica;
- d. instalações de agentes de distribuição e de consumidores livres conectados à rede básica; instalações de agentes de importação/exportação;
- e. reservatórios.

Para a integração de uma instalação de transmissão, primeiramente é necessário a assinatura do contrato de concessão e a consequente emissão da resolução de autorização. Entretanto, caso se queira a integração de uma instalação de geração, de distribuição, de consumidor livre e de importação/exportação, é necessária a solicitação de acesso.

Esse processo deve ser feito de maneira a obedecer a certas responsabilidades entre as partes envolvidas. Segundo Módulo 3 dos Procedimentos de Rede – Acesso aos Sistemas de Transmissão, submódulo 3.2, as responsabilidades são as seguintes:

- Do Operador Nacional do Sistema Elétrico – ONS:
  - a. Informar ao acessante as etapas do processo de acesso.
  - b. Fornecer informações sobre o sistema elétrico ao acessante.
  - c. Orientar o acessante para a elaboração de seus estudos técnico-econômicos, necessários à definição da melhor alternativa de conexão do empreendimento à rede elétrica.
  - d. Informar ao acessante sobre a necessidade da realização dos estudos específicos de qualidade de energia elétrica, caso haja, em sua instalação equipamentos não-lineares que possam comprometer o desempenho das instalações de transmissão e orientá-lo para a elaboração dos referidos estudos.
- Do agente de geração, de importação/exportação, de distribuição e consumidor livre:
  - a. Fornecer ao ONS as informações básicas de seu empreendimento.
  - b. Providenciar os estudos de integração de seu empreendimento à



rede básica ou às DIT(s), abrangendo análises de fluxo de potência, estabilidade eletromecânica e curto-circuito, conforme orientações do ONS.

c. Providenciar, se for o caso, os estudos específicos de qualidade de energia elétrica.

- Do agente de transmissão:

Fornecer ao acessante informações básicas sobre as principais características físicas e elétricas do(s) pontos de conexão desejado(s). O ONS efetua uma série de estudos em conjunto com o agente legalmente responsável pela instalação para a integração de instalações ao SIN. Esses estudos têm o objetivo de (ONS, 2013):

- a. avaliar o impacto da instalação sobre o sistema, feita por meio de estudos pré-operacionais;
- b. definir as condições de observabilidade e controlabilidade necessárias à operação da instalação, implantação dos sistemas de comunicação de voz e dados, dos sistemas de supervisão, proteção e controle;
- c. elaborar estudos e definir as condições para a realização das intervenções necessárias ao comissionamento e à conexão das instalações ao SIN;
- d. elaborar instruções de operação e treinamento dos operadores; operacionalização da medição; testes do sistema de supervisão; aprovação, autorização e execução dos testes de comissionamento.

Ao ONS cabe a função de analisar se a integração dessa instalação atende às condições contratuais e aos requisitos estabelecidos dentro de critérios de observabilidade e controlabilidade. Diante de resultados positivos, o ONS concede a liberação de uma instalação para operação integrada ao SIN. Para isso, é emitido um documento que libera a instalação para a operação integrada ao SIN e, desse modo, as instalações dos agentes podem se conectar.

## **2.6 Considerações a respeito das condições de mercado para a fase de prospecção.**

Os levantamentos realizados sobre as atividades que antecedem a fase de construção de parques eólicos permitiram caracterizar a lista dos diversos bens e serviços demandados pelos empreendedores proprietários das concessões dos parques. Nesse sentido, descreve-se, a seguir, de forma genérica, algumas possibilidades de articulação demanda-oferta de bens e serviços a partir dos primeiros levantamentos realizados. Não se pretende nesta pesquisa fazer um dimensionamento do mercado, mas indicar caminhos e sinalizar para os interessados neste estudo os requerimentos do setor e as características básicas de fornecimento.

Na fase preliminar da prospecção quando são realizadas a prévia identificação e a classificação dos territórios de interesse e medição de vento, entende-se que, embora limitado, há espaço para empreendimentos multidisciplinares com alta qualificação nessa fase e também na etapa pós-prospecção nas áreas de geologia, geoprocessamento, geografia, engenharia elétrica e engenharia civil.

Identificadas e classificadas as regiões com potencial preliminar para instalação de parques eólicos, surgem as oportunidades para estudos das possibilidades e restrições ambientais, e os estudos de impactos sonoros, impactos sociais, etc. Esse momento do empreendimento requer, geralmente, soluções integradas de empresas de caráter multidisciplinar podendo envolver engenheiros ambientais, engenheiros civis, engenheiros de som, sociólogos, assistentes sociais, antropólogos, etc. A partir dos levantamentos realizados, entende-se que há espaço, embora restrito para empreendimentos voltados ao atendimento desse tipo de demanda.

Definidas as áreas potencialmente promissoras, inicia-se a fase de negociação com proprietários de terras e estudos mais aprofundados em relação ao licenciamento de áreas para instalação dos parques. Entende-se, com base em análise documental e entrevistas com profissionais da área, que há também espaço para empreendimentos locais (e já há empresas locais fornecendo serviços dessa natureza para o setor) de caráter multidisciplinar e especializado.

Resolvidas as questões de ordem ambiental e social, de liberação do uso das áreas junto aos proprietários do terreno a partir de contratos bilaterais com o empreendedor do parques eólicos, demandando consultoria jurídica, segue-se a etapa de campanhas de medições. Até esse momento, as atividades baseavam-se em serviços e

na compra de alguns softwares especializados que, de alguma forma, podem representar um nicho de mercado restrito.

Os serviços de topografia, estudos de sondagem e de solo são atividades especializadas demandadas após campanhas de medição para dar o suporte necessário na construção posterior do parque, caso o mesmo seja viável. No Rio Grande do Norte, existem empresas que fornecem a grande maioria dos serviços acima mencionados, o que não é impeditivo para que novos empreendimentos sejam viabilizados, visto que esses serviços atendem a vários setores produtivos, como construção civil, petróleo e gás, dentre outros.

As campanhas de medições implicam a compra de diversos bens e serviços, sendo necessários vários equipamentos/instrumentos para viabilizar as medições de vento. Os elementos mais simples como a torre metálica, na qual são instalados os instrumentos/equipamentos e outros dispositivos auxiliares como cabos, hardware e software já são fornecidos pelo mercado local e regional, mas podem ser entendido como uma oportunidade de fornecimento. Uma parte significativa dos equipamentos/instrumentos utilizados no processo de medição precisa de certificações internacionais, que exigem, além de alta qualificação dos fornecedores, investimentos consideráveis em seus ativos. A equipe técnica entende que esse também é um nicho de mercado importante, mas restrito; já que é destinado, principalmente, a empresas de maior evolução tecnológica em áreas como materiais e engenharia de precisão.

Compreende-se que a frente mais promissora no tocante às articulações entre oferta e demandas de bens e serviços na fase de medição está relacionada aos serviços de calibração e reparos, que também exigem certificações nacionais e, em alguns casos, internacionais e acordos de confidencialidade, o que implica a necessidade de empresas que detenham nível de qualificação elevado. Os serviços de representação também podem ser incluídos como relevantes nessa fase, mas os escritórios concentram-se na região Sudeste. Cabe salientar que a Aneel exige, atualmente, dos concessionários uma apresentação de estudos de medição de ventos com duração de três anos, o que implica manutenção, também, das torres de medição.

Finalmente, têm-se as atividades relacionadas aos estudos de conexão entre os parques e as linhas de transmissão de energia. Todos os estudos anteriores, associa-

das às medições de vento subsidiarão os estudos de conexão do parque às redes de transmissão. Esses estudos demandam conhecimento altamente especializado na área de Sistemas Elétricos de Potência e, embora restrito, a equipe entende, com base em estudos e entrevistas no período desse capítulo, que há para que os fornecedores locais possam se inserir nesse mercado.

### **2.7 Quadro resumo das potencialidades a curto prazo associadas ao fornecimento de bens e serviços aos empreendimentos eólicos na fase de prospecção.**

O quadro resumo traz um sumário das principais atividades associadas à fase de prospecção e demais atividades que antecedem a construção de parques eólicos, bem como a dimensão qualitativa do potencial de fornecimento de bens e serviços a curto prazo ao segmento no Estado do Rio Grande do Norte.

O item logística e transporte, no quadro a seguir, se refere às necessidades de deslocamento de pessoal e transporte de materiais além da organização do suporte às ações de prospecção. Em todas as atividades relacionadas à etapa de prospecção, foi possível verificar, embora de forma genérica, possibilidades de inserção de fornecimentos locais, todavia os bens e serviços demandados, exceto os mais simples - como torres, cabos, dentre outros materiais elétricos e hardware - exigem qualificações tecnológicas elevadas das empresas que pretendem entrar no mercado eólico.

Atividades da Etapa	Potencial de Fornecimento Local									
	Bens					Serviços				
	MB	BX	MD	AL	MA	MB	BX	MD	AL	MA
<b>1. Estudos ambientais</b>										
1.1 Licenciamento ambiental (Licença Prévia, Licença de Instalação, Licença de Operação, Licença de Regularização e Operação).										
<b>2. Sondagem georeferenciada do solo</b>										
2.1 Estudos de georeferenciamento.										
2.2 Estudos e análise do solo										
<b>3. Instrumentação</b>										
3.1 Instrumentos de medição										
3.2 Torres de monitoramento										
3.3 Calibração de instrumentos										
<b>4. Conexão a rede elétrica</b>										
4.1 Estudos obrigatórios de impactos na rede elétrica										
<b>5. Logística e transporte</b>										

**Legenda:**

MB	BX	MD	AL	MA
Muito Baixo	Baixo	Médio	Alto	Muito Alto

**Potencial de Fornecimento**



# Construção e Montagem

---

### 3 A etapa de construção de parques eólicos – Oportunidades e barreiras

A etapa de construção de parques eólicos, em geral, representa a maior concentração no fornecimento de bens e serviços. As limitações no quantitativo de atividades, próprias das características tecnológicas desse mercado, nas etapas de prospecção e manutenção/ operação, contrastam com o grande número de equipamentos pesados de movimentação de carga e de profissionais, bem como com a diversidade de atividades de caráter tecnológico realizadas durante a fase de construção dos parques eólicos. A análise desta etapa, nesta publicação, ocorreu tomando por base os dados primários obtidos junto a oito gestores de empresas vinculados à construção de parques eólicos e a dados secundários obtidos em publicações disponibilizadas por empresas e terciários coletados pela imprensa especializada.

Após a fase de prospecção, habilitação e contratação da energia a ser realizada pelo empreendedor, dar-se-á início à execução de um conjunto de obras e ações norteadas por um cronograma físico planejado. No quadro 19 a seguir, tem-se um exemplo de sequência temporal de atividades planejadas para construção de uma Central Eólica.

Quadro 19 – Exemplo de Cronograma Físico de Construção da Central Eólica no Brasil Ambiental, 2013. Fonte: CTGAS-ER

<b>EAP Simplificada para construção de parques eólicos</b>	
Etapas	
<b>PARQUE EÓLICO</b>	
<b>Projetos Cíveis e Elétricos</b>	
Acessos e Canteiros de Obras	
Subestação	
Rede de Distribuição Interna do Parque	
Linha de Transmissão	
Torre Anemométrica de Operação de Parques Eólicos	
Sinalização	
<b>Construção Civil</b>	
Execução do Levantamento Topográfico	

Execução de Sondagem SPT
Construção dos Acessos
Fundação de Aerogerador
Fixação de Estacas
Escavação
Posicionamento de Forma
Concretagem
Retirada de Forma
Reaterro
Construção do Prédio da Sala de Controle
Construção da Subestação
Rede de Distribuição Interna do Parque
Linha de Transmissão
Torre Anemométrica de Operação de Parques Eólicos
<b>Montagem de Aerogerador</b>
Montagem de Segmentos de Concreto
Montagem de Segmentos de Aço
Protensão dos cabos
Montagem da Nacele (gerador, rotor e pás)
Aterramento
Montagem Elétrica
Interligação entre os Aerogeradores
<b>Testes e Comissionamentos</b>
Pré-Comissionamento de Aerogeradores
Comissionamento de Aerogeradores
Subestação e seus Sistemas
Rede de Distribuição Interna do Parque
Linha de Transmissão
<b>Documentação - Data Books</b>
Aerogeradores
Subestação e seus Sistemas
Rede de Distribuição Interna do Parque
Linha de Transmissão

Fonte: CTGAS-ER



Esse empreendimento é composto por 13 máquinas, totalizando 30 MW de potência instalada, e está localizado no litoral oeste do Estado do Ceará (Ambiental, 2013).

Observa-se que as etapas de diversas atividades inerentes à construção desse empreendimento, apesar de serem interdependentes, ocorrem concomitantemente. Essas relações exigem do responsável pela execução da obra uma gestão coordenada entre as equipes dos diversos fornecedores de bens e serviços. Verifica-se que entre o 2º e o 5º bimestre concentram-se as principais fases da construção com quatro ou cinco atividades ocorrendo simultaneamente.

No quadro 20, vê-se outro cronograma físico global da construção de um Parque Eólico em Portugal, localizado na Serra do Marão (ENERGIEKONTOR, 2013). Nesse exemplo de projeto, foram instalados 10 aerogeradores, com capacidade individual de 1,3 MW, totalizando 13 MW de potência instalada.

Apesar dos dois casos preverem a instalação do número aproximado de máquinas, constata-se uma diferença considerável entre o tempo total da obra que é de 01 ano e 08 meses no primeiro caso e de apenas 08 meses no segundo. Em geral, eventuais diferenças no planejamento da construção de Parques Eólicos devem-se aos aspectos relacionados às restrições exigidas pela legislação ambiental e condições de infraestrutura de transporte e de fornecimento de bens e serviços regionais, além de decisões estratégicas do empreendedor. Todavia estas condições podem ser fatores preponderantes, a depender de características de georreferenciamento e da potência instalada da Central Eólica.

Na ótica orçamentária, uma fração relevante do orçamento da central eólica diz respeito aos contratos de compra, operação e manutenção entre proprietários de parques e fabricantes de aerogeradores. Todavia há espaços para terceirização e consequentes oportunidades de negócios, concernentes, respeito principalmente, às obras civis, instalações da rede elétrica e logística de transporte e condicionamento de pessoal e equipamentos, em geral. Há também um conjunto considerável de oportunidades relacionadas à provisão de bens e serviços de caráter temporário como equipamentos de proteção individual (uniformes, luvas, capacetes, botas, etc.), locação de contêineres, serviços de transporte de passageiros e pequenas cargas, fornecimento

Quadro 20 – Exemplo de Planejamento de Parque Eólico fora do Brasil. Fonte: (Energiekontor, 2013).

ETAPAS	DURAÇÃO	CONSTRUÇÃO											
		Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Construção do Parque Eólico de Penedo Ruivo	157,5 dias												
Plano de Monitorização durante fase de construção	31,5 semanas												
Vedação	11 dias												
Estaleiro	04 dias												
Caminhos	103 dias												
Trabalhos de Escavação	22 dias												
Flanges	05 dias												
Fundações (armação ferro + betão)	76dias												
Sistema de terras	53,5 dias												
Cura das fundações	73,5 dias												
Aterro da envolvente das fundações	53,5 dias												
Infraestrutura elétrica	114 dias												
Linha aérea 60 kV de ligação à EDP	06meses												
Montagem de aerogeradores	30 dias												
Reposição da situação de referência e recuperação paisagística	64dias												

de refeições industriais, hospedagem, serviços médicos/enfermagem, serviços tecnológicos especializados diversos (análise de desempenho de diversos materiais, análise de água, serviços de segurança patrimonial, serviços advocatícios, etc..).

Nesse contexto, os principais fabricantes de aerogeradores de grande porte que atuam no país costumam contratar ou assumem o papel de um empreiteiro na cons-

trução de todo ou de grande parte do parque eólico. O empreiteiro geral (main contractor), responsável pelas atividades de construção, em geral contrata subempreiteiros da engenharia civil, da engenharia elétrica, de engenharia mecânica (montagem e operação de equipamento de movimentação de cargas), transporte de equipamentos, dentre outros. As vagas de emprego diversificam-se em vários campos de atuação como a de técnicos e operários da construção, eletricitas, armadores, carpinteiros, pedreiros, operadores de equipamentos pesados, técnicos de segurança do trabalho, técnicos de soldagem, motoristas de carros batedores do trânsito de carretas, ajudantes, dentre outros.

Entre desenvolvedores e geradores de energia, fabricantes de aerogeradores de grande porte, fabricantes de aerogeradores de pequeno porte, fornecedores de equipamentos e peças, empresas de automação e instrumentação, serviços de projetos e consultoria, logística, montagem e transporte, alpinismo industrial, empresas de seguro e organizações e associações encontram-se catalogados mais de 200 empresas que atuam, hoje, no país diretamente no setor de energia eólica (Cenários, 2012), ver anexo.

Em face do aumento de interesse por parte de novos empreendedores pelos leilões de energia eólica, os projetos passaram a despertar interesse em várias cadeias fornecedoras.

De acordo com a Revista Cenários de 2012 (Cenários, 2012), “O Rio Grande do Norte é o estado com o maior número de projetos em desenvolvimento, vem trabalhando, desde 2006, na criação de um ambiente favorável ao mercado de geração de energia a partir dos ventos”. Ainda de acordo com a Revista Cenário, no estado existe apenas uma indústria de fabricação de torres em concreto e duas empresas de desenvolvedores de energia. Na parte de serviços, existem sete empresas na área de engenharia, consultoria e construção com sede no Rio Grande do Norte (CENARIOS, 2012).

Com foco na identificação e no fomento às oportunidades de negócio com a participação de micro e pequenas empresas, na próxima seção, apresentam-se detalhes técnicos pertinentes às principais etapas que compõem a construção de um parque eólico, de acordo com a sequência em que normalmente essas atividades ocor-

rem no planejamento. Trata-se de um exemplo de modelo de gestão de construção que pode apresentar-se com variâncias em outras propostas (SCOTTISH, 2013). Abaixo, se apresenta a relação das etapas de construção (ELETROBRAS, 2012).

- Estrada de Acesso.
- Drenagem Pluvial.
- Canteiro de Obra.
- Limpeza, Terraplanagem e Aterros.
- Abertura de Vala.
- Fundação – Construção das Bases dos Aerogeradores.
- Logística de Transporte.
- Montagem dos Aerogeradores.
- Montagem da Rede de Distribuição.
- Montagem da Subestação e Casa de Comando.
- Montagem da Linha de Transmissão.

### **3.1 Principais etapas de construção de uma Central Eólica**

Descrevem-se, a seguir, as etapas constituintes de um parque eólico (WILLIAN, 2013).

#### **3.1.1 Estrada de Acesso**

A construção de estrada destinada ao acesso aos parques permite a circulação de veículos para transportes de equipamentos e movimentação de pessoal. As estradas devem possibilitar o tráfego seguro nos períodos secos e, principalmente, nos períodos chuvosos, devendo, também, possuir um sistema de drenagem eficiente para escoar, rapidamente, as águas da faixa de rolamento. O transporte dos aerogeradores pelas vias deve ser realizado em partes, em função das dimensões físicas e peso, evitando sobrecarregar o pavimento. As partes do aerogerador mais relevantes para a logística de transporte são as seguintes:

- Conjunto de Pás
- Segmentos de Torres
- Rotor
- Nacelle
- Gerador

De acordo com Relatório Ambiental Simplificado de (Eletrobras, 2012) emitido em 2012 pela Eletrobras, as pás exigem maiores cuidados na hora de transportar. “[...] dos componentes apresentados, o transportes das pás é o que exige maior cuidado, pois são elementos esbeltos e de baixo peso, sensíveis às oscilações do terreno [...]”.

A empreiteira civil inicia o processo de inspeção dos trajetos, verificando as condições do acesso, como a presença de obstáculos, cercas, linhas de baixa tensão, propriedades, acesso já existente para minimizar os impactos na localidade e implementar melhorias nos acessos da comunidade local.

A largura das vias de acesso, por sua vez, varia de acordo com a planta da obra, planejada pela empresa contratante. As vias costumam ter entre 6,0 e 15,0 metros de largura, sendo que as maiores incluem vias de mão dupla para tráfego de guindastes e carretas de grande porte. Assim, há necessidade de um planejamento específico, visto que as partes constituintes dos aerogeradores podem chegar, atualmente, até 60,0 metros e pesar, no máximo, 90 toneladas. Em muitos casos, os contratantes das empresas de transporte preferem optar pelo uso de uma via de mão única, gerando dificuldades no encontro de dois equipamentos de grande porte na mesma estrada. Para esse tipo de escolha, vale o raciocínio de que, mesmo quando houver o encontro, é possível que um espere o outro passar. “Com isso, pode-se reduzir significativamente os custos e o prazo de execução da terraplanagem” (Manutenção & Tecnologia, 2013). Abaixo têm-se a sequência de atividades na construção dos acessos (PINHO, 2008).

- Supressão vegetal

- Remoção de camada superficial do solo
- Sistema de drenagem
- Proteção de Taludes
- Escavações e aterros necessários à criação da infraestrutura viária requerida
- Construção de aquedutos para drenagem das águas pluviais
- Camadas de sub-base e base em agregado britado de granulometria extensa, incluindo córregos quando aplicáveis



Figura 26 - Construção de Via de Acesso. Fonte: Gerente Executivo dos Parques Eólicos de Alegria I e II.





Figura 27- Construção de Via de Acesso no Parque Eólico de Alegria I. Fonte: Gerente Executivo dos Parques Eólicos de Alegria I e II.



Figura 28- Construção de meio fio. Fonte: Gerente Executivo dos Parques Eólicos de Alegria I e II.



Figura 29– Via de acesso Parque Eólico de Alegria I. Fonte: Gerente Executivo dos Parques Eólicos de Alegria I e II.



Figura 30– Construção de vias de acesso e de área onde se localiza a turbina eólica e a subestação dedicada. Fonte: Gerente Executivo dos Parques Eólicos de Alegria I e II.





Figura 31-Via de Acesso para o Parque Eólico. Fonte: Parque Eólico Alegria.

### 3.1.2 Drenagem Pluvial

Um sistema de drenagem pluvial é fundamental para o bom andamento das atividades relacionadas às etapas de construção, como também auxilia na preservação dos acessos internos da Central Eólica, inclusive, na etapa de manutenção e operação. A drenagem ajuda na preservação da malha viária e dos equipamentos. Os sistemas de drenagem incluem, muitas vezes, galerias pluviais para desvio do fluxo de água para local adequado, evitando riscos às instalações do parque.

### 3.1.3 Canteiro de obras e pátio de estocagem

O canteiro de obras e pátio de estocagem são, em geral, estruturas provisórias, e que, após a etapa de construção do parque eólico, são desmontadas com posteriores ações de mitigação e compensação de impactos ambientais. As figuras 32, 33 e 34 ilustram o pátio de estocagem.



Figura 32—  
geradores

escotagem durante fase de construção. Fonte: Gerente Executivo dos Parques Eólicos de Alegria I e II.

Pás de aere-  
em pátio de

escotagem durante fase de construção. Fonte: Gerente Executivo dos Parques Eólicos de Alegria I e II.



Figura 33—

escotagem durante fase de construção. Fonte: Gerente Executivo dos Parques Eólicos de Alegria I e II.

Pátio de es-



Figura 34– Pátio de escotagem durante fase de construção. Fonte: Gerente Executivo dos Parques Eólicos de Alegria I e II.

### **A. Edificações de gerenciamento**

Nessas áreas encontram-se estruturas de caráter temporário, que servem de suporte às atividades de gerenciamento, incluindo sala de reuniões, escritórios de trabalho, copa, banheiros, entre outros.

### **B. Refeitório e Cozinha Industrial**

Devido à localização dos Parques Eólicos ou à política estabelecida pelo empreendedor, por vezes necessita-se de um espaço destinado ao armazenamento e preparo de alimentos e de refeitório, atendendo aos critérios da Vigilância Sanitária e de normas de segurança.

### **C. Área de Lazer**

Ambiente necessário em especial nos casos em que existem regimes diferenciados de trabalho que demanda pernoite dentro da Central Eólica ou longe de centros urbanos.

#### **D. Central de Concreto**

Armazena materiais e equipamentos específicos e concentra atividades para a produção e controle de qualidade do concreto.

#### **E. Central de Armação**

Produção de armação para os elementos secundários, como a drenagem, e, dependendo do fabricante, inclui também a produção das armaduras das bases.

#### **F. Central de Forma**

Concomitante à armação, a forma, quando de composição metálica, compõe a estrutura da base do aerogerador servindo, também, como suporte à construção da estrutura. Quando a base é em concreto, a forma tem função, apenas, de suporte à construção.

#### **G. Laboratório de Solos**

Ambiente destinado aos estudos de solos, necessário às diversas etapas da obra.

#### **H. Almoxarifado**

Recebimento e armazenamento de insumos e equipamentos necessários em todas as etapas da construção.

#### **I. Pátio de Estocagem dos Aerogeradores**

Em virtude de o quantitativo de peças e de o transporte desses componentes demandarem tempo, faz-se necessário de um planejamento específico de estocagem, incluindo estrutura com capacidade de preservação eventualmente contra intempéries e de segurança estabelecida contratualmente.

#### **3.1.4 Limpeza, terraplanagem e aterros**

Para a implantação do Parque Eólico, é necessário a limpeza do terreno nos pontos de locação das torres, no local do pátio de máquinas, da usina de concreto, do canteiro da construtora e dos subempreiteiros, da subestação e nos traçados das vias de acesso, onde parte da vegetação poderá ser removida. Esse processo é muito delicado, pois resulta em retirada da vegetação e no potencial ecológico da área, podendo, inclusive, desencadear um processo erosivo.



Dessa forma, elabora-se um estudo de terraplanagem apresentando plantas de perfis longitudinais. A partir das alturas das cotas estabelecidas, são feitos os aterros com critérios de dimensão, composição e compactação, monitorados por ensaios laboratoriais.



Figura 35– Terraplanagem durante fase de construção. Fonte: Gerente Executivo dos Parques Eólicos de Alegria I e II.

### 3.1.5 Abertura de vala

Em muitos Parques Eólicos, os cabos de alimentação de energia e a comunicação são instalados dentro de valas consistindo em uma escavação linear caracterizada por apresentar profundidade maior que largura. Esse método é comumente utilizado nos principais tipos de terreno, facilitando a inspeção e manutenção desses condutores. Observa-se que as aberturas de várias valas devem estar relacionadas a fatores de segurança, meio ambiente e drenagem, visto que podem trazer restrições ao uso de determinadas áreas do parque para localização de torres. Nesse sentido as seguintes atividades são consideradas relevantes:

#### **A. Projeto e localização de valas**

Normalmente em fase de planejamento o layout de localização de cabos deve seguir as normas ambientais e, geralmente, obedecer ao caminho das via de acesso. A

identificação, muitas vezes, se torna difícil devido à falta de detalhamento na etapa do projeto.

## **B. Método rota de cabos**

Ao projetar a rota do cabo para o parque eólico, é importante levar em consideração os seguintes aspectos:

- i) O projeto da turbina e o traçado do parque
- ii) Legislação Ambiental
- iii) O terreno e condições do solo
- iv) Topografia
- v) Drenagem
- vi) Economia
- vii) Rapidez na manutenção dos cabos durante a fase operacional

## **C. Construção, instalação e reintegração**

Após os cabos serem instalados adjacentes às seções de via de acesso, as valas são consideradas parte dos terrenos de acesso. Isso traz um benefício adicional, pois não exige muito das valas separadas em solo virgem, diminuindo, assim, os impactos ambientais. É necessário realizar a gestão da obra das valas articulando-a com outras atividades de construção, pois o possível estabelecimento de valas deve levar em conta as atividades adjacentes que podem perturbar qualquer reintegração nas obras já realizadas.

### **3.1.6 Fundação - construção das bases dos aerogeradores**

Com a limpeza do terreno, terraplenagem, nivelamento e pavimentação dos acessos aos aerogeradores realizados inicia-se a construção da base dos aerogeradores. Existem dois tipos de fundações para aerogeradores: a primeira mais profunda, cuja base está implantada numa profundidade superior a duas vezes sua menor dimensão e a, pelo menos 3,00m, de profundidade, que é chamada de estaca e a segunda para fundação superficial é aquela, cuja base está implantada a menos de 3,00m da cota do terreno natural, conforme a NBR-6122 (PINHO, 2013).

A tipologia das fundações dos aerogeradores pode ser de diversos tipos e a opção depende das características do solo. É comum no Rio Grande do Norte a opção pelo tipo “sapata”, que é apoiada diretamente sobre solo escavado e com fundo regularizado e nivelado com concreto magro com espessura variável e tem, geralmente, forma circular. O consumo de concreto estrutural varia para cada fundação. A escavação das fundações depende das sondagens realizadas na fase executiva dos projetos. As sondagens recolhem amostra e ensaio para garantir as resistências apropriadas das fundações às solicitações de esforços mecânicos aplicadas pelo conjunto torre, nacelle e pás, sob regime de vento.

Na próxima fase ocorre o estaqueamento, que consiste na colocação de estacas nas bases dos aerogeradores para sua interligação ao solo. Essas estacas serão, posteriormente, incorporadas ao bloco da fundação (sapata), dando sustentação à torre do aerogerador. De acordo com Trairi (2013), um parque eólico que pode ser citado é do Complexo Trairi, onde cada base dispõe de 22 estacas do tipo hélice contínua, com comprimento variando de 12 a 30 metros, dependendo do perfil do terreno. As armaduras são geralmente dobradas em fábrica, e montadas no local da fundação conforme o projeto.

Assim, a empresa inicia a concretagem da base dos aerogeradores. A concretagem acontece em três etapas: montagem das ferragens; montagem das conexões elétricas e civis necessárias para a transmissão de energia; e, por fim, a concretagem da base, que requer, aproximadamente, 50 caminhões de concreto por torre, dependendo das especificações do fabricante (TRAIRI, 2013).

Assim que a cura do concreto é finalizada, dependendo do fabricante e que tem a duração média de 28 dias, é possível dar início às montagens das torres que são divididas em blocos sobrepostos. Ao colocar o anel de fundação na sua base, acontecerá a ligação da primeira peça de estrutura da torre. A peça deverá ser entregue no parque exatamente neste momento para evitar despesas desnecessárias. De acordo com Pinho (2013), “As 10 fundações demoram, normalmente, 60 dias para ser escavadas, concretadas e prontas para montagem do aerogerador”. As figuras de 36 a 43 a seguir, permitem uma melhor compreensão desse processo.





Figura 36– Marcação do posicionamento das estacas da fundação. Fonte: Gerente Executivo dos Parques Eólicos de Alegria I e II.



Figura 37– Execução e arrastamento das estacas da fundação. Fonte: Gerente Executivo dos Parques Eólicos de Alegria I e II.





Figura 38– Concretagem de regulação e armação. Fonte: Gerente Executivo dos Parques Eólicos de Alegria I e II.



Figura 39– Armação da base da fundação. Fonte: Gerente Executivo dos Parques Eólicos de Alegria I e II.





Figura 40–  
uma estaca

Armação de  
da funda-

ção. Fonte: Gerente Executivo dos Parques Eólicos de Alegria I e II.



Figura 41– Posicionamen-  
ção. Fonte: Gerente Executivo dos Parques Eólicos de Alegria I e II.

to da armação da funda-



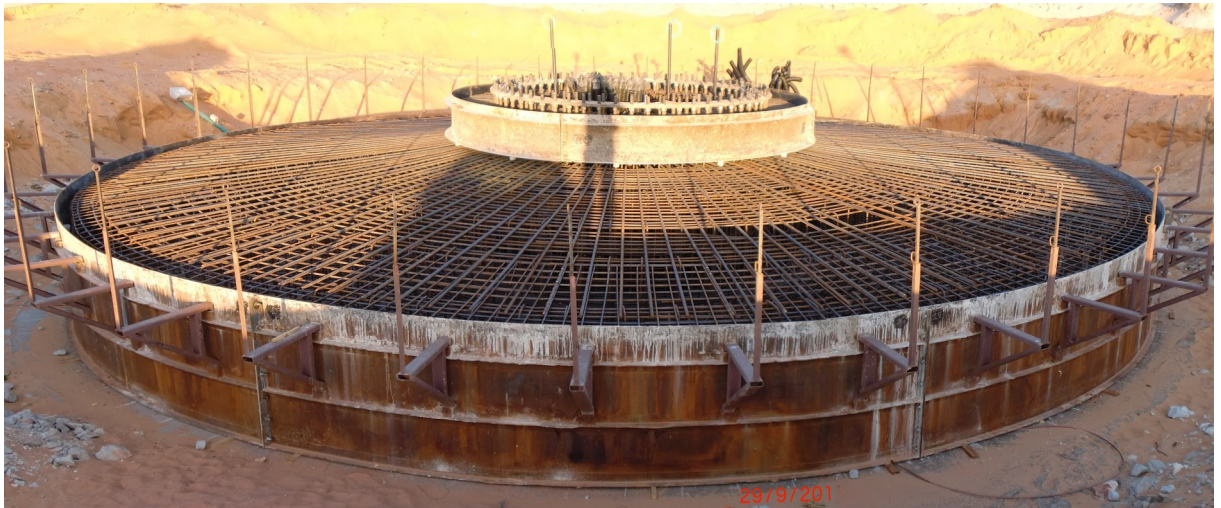


Figura 42– Concretização e processo de cura da sapata. Fonte: Gerente Executivo dos Parques Eólicos de Alegria I e II.



Figura 43– Base da fundação concluída. Fonte: Gerente Executivo dos Parques Eólicos de Alegria I e II.

Em resumo, as partes constituintes de um exemplo de fundação (PINHO, 2013) são as seguintes:

- Execução das sondagens necessárias à caracterização da natureza dos solos, para fundação das torres.
- Escavação para execução de fundações, em terrenos ou rocha de qualquer natureza, com remoção, drenagem e todos os trabalhos complementares.
- Concretagem conforme especificação e aplicação definidas pelo fabricante, con-

siderando o uso de vergalhão adequado aplicado em armaduras das fundações das torres.

- Colocação de anéis, chumbadores e outros elementos necessários à fixação das torres às fundações; e, ainda, conexões para drenagem das fundações e para cabos elétricos.

- Aplicação de isolante para cura e selagem dos vergalhões das fundações.

### 3.1.7 Montagem dos aerogeradores

Com as bases concluídas, começa a etapa da montagem dos aerogeradores. Esse período corresponde a uma das etapas mais críticas no período de obras. Durante toda a etapa de montagem dos aerogeradores, vários profissionais são envolvidos no processo, dentre eles: operários, caminhoneiros, profissionais de logística, operadores de guindastes, engenheiros mecânicos e eletricitas.

Os aerogeradores representam um total de 80% do custo total de um parque, considerando mão de obra, torres, geradores, elevadores, pás, caixa da nacelle, equipamentos de proteção e a caixa de engrenagem, quando existir, além de outros equipamentos, tais como (PINHO, 2013):

- Equipamentos elétricos (quadros elétricos de potência, proteções, comando, controle e automação do aerogerador).

- Posto de transformação para ligação à Subestação, com transformador e equipamentos de seccionamento e proteção.

- Cabos elétricos de potência em BT e MT, no interior da torre e cabine do aerogerador.

- Cabos elétricos de comando e sinalização no interior do aerogerador.

- Infraestrutura de segurança e de alimentação elétricas, incluindo os serviços auxiliares, rede de terras, proteção contra descargas atmosféricas, sistemas de detecção e extinção de incêndios e de detecção de intrusão.

- Sistema de transmissão de dados e comunicação entre cada uma das torres dos aerogeradores e o edifício de comando.

- Iluminação e tomadas das torres e cabine.

- Sinalização de aviso à navegação aérea nas torres, com a localização e as suas características.

- Montagem e ensaios finais de colocação em serviço de todos os equipamentos e acessórios.

Existem ao menos 03 tipos de torres comerciais, sendo elas as metálicas, de concreto protendido e as treliçadas. Cada um destes tipos envolve um processo de montagem diferente. A seguir apresenta-se um processo de montagem de torre do tipo metálica, de forma resumida. O processo de montagem de torres em concreto protendido, muito utilizada também no RN, passa por uma sequência produtiva que passa pela fabricação de aduelas (segmentos anelares) para a formação das torres segue uma linha cronológica na fábrica, desde o recebimento dos materiais até a ordem de entrega das aduelas constando sua localização no parque eólico.

No período da instalação dos aerogeradores acontece a montagem dos guindastes, que dura, aproximadamente, dois dias. A torre está dividida em partes, cujo transporte das partes é feito através de caminhões de transporte especial. Levanta-se primeiro a parte superior pela grua principal e, em seguida, a parte inferior pela grua auxiliar. Após essa etapa, o elemento a ser montado é a nacelle, que chega a pesar quase 90 toneladas, devido ao grande peso dos equipamentos (gerador, caixa de engrenagem, parte da turbina, entre outros). Dependendo do fabricante, a subestação dedicada a cada aerogerador e o sistema de conversão eletrônica localizam-se na nacelle ou na base na torre.

Com a torre erguida e instalada a nacelle, o gerador de sistema de transmissão de energia é montado. Essa é uma das fases mais complicadas do processo, visto que é necessário dispor das condições atmosféricas ideais. Ventos muito fortes, por exemplo, impossibilitam a instalação. As figuras 44 a 52, a seguir, exemplificam a montagem de uma torre e nacelle.





Figura 44– Quadro de circuitos da base do aerogerador. Fonte: Gerente Executivo dos Parques Eólicos de Alegria I e II.



Figura 45– Primeiro estágio da torre. Fonte: Gerente Executivo dos Parques Eólicos de Alegria I e II.



Figura 46– Montagem do primeiro estágio da torre. Fonte: Gerente Executivo dos Parques Eólicos de Alegria I e II.



Figura 47– Montagem do segundo estágio da torre. Fonte: Gerente Executivo dos Parques Eólicos de Alegria I e II.



Figura 48– Montagem do terceiro estágio da torre. Fonte: Gerente Executivo dos Parques Eólicos de Alegria I e II.



Figura 49– Montagem das pás no cubo. Fonte: Gerente Executivo dos Parques Eólicos de Alegria I e II.





Figura 50– Montagem da nacele na torre. Fonte: Gerente Executivo dos Parques Eólicos de Alegria I e II.



Figura 51– Montagem do cubo na nacele. Fonte: Gerente Executivo dos Parques Eólicos de Alegria I e II.



Figura 52– Vista lateral do aerogerador. Fonte: Gerente Executivo dos Parques Eólicos de Alegria I e II.

A montagem do Cubo e das Pás depende da configuração escolhida pelo empreendedor detentor do parque, pois se pode montar todo o conjunto no solo (cubo e pás) e somente depois fazer o içamento e montagem no gerador, como também pode ser içado e fixado somente o cubo e depois as pás, uma a uma.

Montado o conjunto torre-nacele, é o momento de conectar as pás do aerogerador. Para transportar as pás até o parque, estas são movidas por veículos especiais para grande capacidade de volume e peso. Observa-se que a pá pode pesar entre 6 a 10 toneladas. Após montadas as pás acontece a montagem do elevador para o acesso interno da nacele e outros equipamentos, bem como os circuitos elétricos. Montado o aerogerador e ligado a rede de energia, iniciam-se os testes de funcionalidade do sistema.

### 3.1.8 Montagem da rede de distribuição

A rede de distribuição interna - denominada, também, de rede coletora- pode ser aérea ou subterrânea. Na maioria dos parques, em geral, a rede Coletora é subterrânea. A Rede de Distribuição, quando aérea, é composta por linhas de cabos nus de

alumínio em instalação aérea que vai interligar entre si cada aerogerador, de acordo com cada tipo de máquina. Terminadas as linhas aéreas, os circuitos passam a ser montados com cabos diretamente enterrados e seguem sempre subterrâneas até a subestação. Os trechos de linha devem ser sempre aterrados, protegidos contra descargas atmosféricas e utilizando fibra ótica para comunicação. Cada circuito terá sempre uma fibra para comunicação e, nesses trechos, terão várias rotas de linha distribuídas em diferentes tipos de arranjo que vão desde o aerogerador até a Subestação Coletora.

### 3.1.9 Montagem da subestação, casa de comando e área de gerência

A montagem da Subestação e da Casa de comando ocorre sempre em paralelo aos trabalhos de acessos, fundações, valas de cabos e plataformas. Levantado o prédio pela construtora especializada, ocorre instalação dos equipamentos elétricos e quadros elétricos (PINHO, 2013).

A área de gerência corresponde a um conjunto de ambientes (sala de reuniões, banheiros, copa, entre outros) que abrigarão os profissionais do quadro de pessoal do proprietário do parque eólico durante a fase de operação e manutenção. As dimensões dessas áreas podem variar de acordo com a política de gestão da Central direcionada para essa etapa. Em geral, escalas com 08 funcionários fixos em cada turno são estabelecidas por Central, incluindo auxiliares de serviços gerais, seguranças, técnicos e o engenheiro responsável.

### 3.1.10 Montagem da linha de transmissão

No mesmo período da instalação dos aerogeradores, devem acontecer a montagem da Linha de Transmissão (Transmissão de Energia, 2013). A duração das obras da linha de transmissão depende da capacidade, distâncias e tensões nominais da linha, cujas principais etapas de montagem são:

- a) Piquetagem
- b) Abertura de escavações
- c) Regulação das bases e colocação da armação
- d) Betonagem dos maciços**

- a) Assemblagem, colocação e arvoreamento dos apoios
- b) Desenrolamento dos cabos
- c) Regulação dos cabos e fixação dos cabos às cadeias de isoladores

A rede elétrica pode ser classificada e padronizada de acordo com seu nível de tensão, conforme a Norma NBR 14039, especificamente que o nível de tensão para Média Tensão vai de 1kV até 36,2 kV.

O sistema elétrico de acordo com Moura (2013) pode ser dividido em:

- Transmissão: redes com tensões a partir de 230kV, responsáveis pelo transporte da energia elétrica a longas distâncias e com níveis de potência maiores, geralmente com capacidade de 200 MW ou mais; são linhas também usadas, no Brasil, para intercâmbio energético entre regiões.
- Subtransmissão: Redes com tensões entre 34,5 kV e 138kV, responsáveis pelo transporte de energia elétrica em distâncias e potências menores, geralmente da ordem de algumas dezenas de megawatts; são linhas usadas para o transporte regional da energia para o atendimento de cidades de porte médio ou regiões compostas por pequenas cidades.
- Distribuição: redes com tensões inferiores a 34,5kV, responsáveis pelo transporte de energia elétrica em distâncias e potências pequenas, se comparadas às anteriores; geralmente têm capacidade de alguns megawatts e atendem, diretamente, aos consumidores ou transportam energia para pequenas cidades e comunidades.

A figura 53, a seguir, consta o diagrama unifilar que representa um circuito elétrico, no qual se representam as possibilidades de conexão de produtores em diversos níveis de tensão.

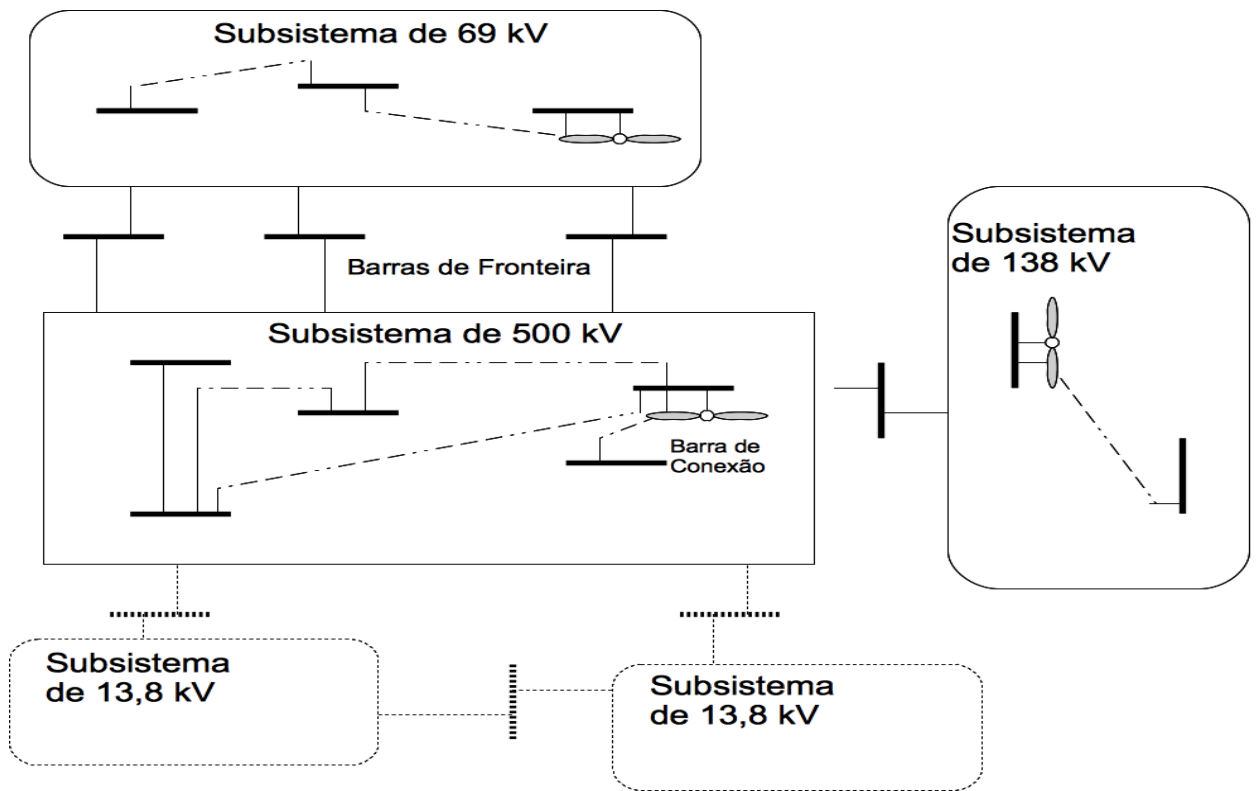


Figura 53- Diagrama unifilar simplificado de um sistema elétrico. Fonte: Própria dos autores.

### 3.2 Quadro resumo das potencialidades a curto prazo associadas ao fornecimento de bens e serviços aos empreendimentos eólicos na fase de construção.

O quadro a seguir mostra um sumário das principais atividades associadas à fase de construção de parques eólicos, bem como a dimensão qualitativa do potencial de fornecimento de bens e serviços ao segmento no estado do Rio Grande do Norte.

Atividades da Etapa	Potencial de Fornecimento Local									
	Bens					Serviços				
	MB	BX	MD	AL	MA	MB	BX	MD	AL	MA
<b>1. Estudos ambientais</b>										
1.1 Licenciamento ambiental (Licença Prévia, Licença de Instalação, Licença de Operação, Licença para construção)										
<b>2. Estudos Topográficos de Solos e de Geometria das Vias de Acesso</b>										
2.1 Estudos Topográficos										
2.2 Estudo de solos										
2.3 Projeto Geométrico das Vias										

**Legenda:**

MB	BX	MD	AL	MA
Muito Baixo	Baixo	Médio	Alto	Muito Alto

**Potencial de Fornecimento:**





Atividades da Etapa	Potencial de Fornecimento Local									
	Bens					Serviços				
	MB	BX	MD	AL	MA	MB	BX	MD	AL	MA
<b>7. Fundação - Construção das bases dos aerogeradores</b>										
7.7 Colocação de anéis, chumbadores e outros elementos necessários à fixação das torres às fundações; e, ainda, conexões para drenagem das										
7.8 Aplicação de isolante para cura e selagem dos vergalhões das fundações										
<b>8. Montagem dos aerogeradores</b>										
8.1 Movimentação dos segmentos da Torres, Naceles e outros grandes equipamentos do parque										
8.2 Movimentação dos segmentos										
8.3 Movimentação das naceles por guindastes										
<b>9. Montagem da rede de distribuição</b>										
9.1 Construção e montagem da rede aérea										
9.2 Construção e montagem da re-										
9.3 Aterramento das redes										
9.4 Proteção contra descargas at-										
<b>10. Construção e Montagem da Subestação</b>										
10.1 Construção da subestação, ca-										
10.2 Montagem da subestação										
10.3 Montagem da casa de coman-										



Atividades da Etapa	Potencial de Fornecimento Local									
	Bens					Serviços				
	MB	BX	MD	AL	MA	MB	BX	MD	AL	MA
<b>11. Montagem da Linha de Transmissão</b>										
11.1 Piquetagem										
11.2 Abertura de escavações										
11.3 Regulação das bases e colocação da armação										
11.4 Concretagem dos maciços										
11.5 Montagem, colocação e arvoreamento dos apoios										
11.6 Lançamento dos cabos										
11.7 Regulação dos cabos e fixação destes às cadeias de isoladores										

**Legenda:**

MB	BX	MD	AL	MA
Muito Baixo	Baixo	Médio	Alto	Muito Alto

**Potencial de Fornecimento:**



As demandas logísticas, na fase de construção e montagem dos parques, envolvem além do deslocamento de pessoal e transporte de materiais, um conjunto complexo de atividades de suporte as etapas construtivas. Em todas as atividades relacionadas à etapa de construção e montagem foi possível verificar, embora de forma genérica, possibilidades de inserção de fornecimentos locais, todavia as demandas relacionadas à movimentação e içamento de grandes cargas indivisíveis exigem equipamentos robustos (pranchas, guindastes, etc) e qualificações elevadas das empresas que atuam ou pretendem atuar no mercado eólico.

Verificou-se que, durante as entrevistas, há espaço para inserção ou qualificação de empresas prestadoras de serviços de apoio como de refeições industriais, meios de hospedagem, locação de contêineres, gestão de repúblicas para pouso de trabalhadores, dentre outros menos citados. Em virtude da frequente lembrança por parte dos entrevistados da necessidade de recursos humanos qualificados (operários, ajudantes, técnicos) apresentam-se, a seguir, algumas iniciativas existentes no Estado com vistas à preparação de pessoas para atuar no segmento eólico.

### **3.3 Capacitação**

Algumas instituições do Rio Grande do Norte vêm se desenvolvendo para melhor qualificar no tocante as fontes renováveis, principalmente a fonte eólica. Destacam-se o CTGAS-ER, SENAI – DR-RN, o IFRN, a UFERSA e a UFRN e organizações como o Banco do Nordeste do Brasil – BNB, o Centro de Estudos em Recursos Naturais e Energia – CERNE, a Fundação de Amparo a Pesquisa no Rio Grande do Norte - FAPERN, a Federação das Indústrias do Rio Grande do Norte – FIERN e o Serviço de apoio as micro e pequenas empresas do RN – SEBRAE/RN.

Outras ações do Estado do RN também têm se amadurecido, como a proposta do projeto da criação do Instituto Internacional de Tecnologia em Energias Renováveis (IITER), que teria laboratórios e núcleos de formação de pessoal voltados à área de energia eólica (CENARIOS, 2012). Esse instituto teria sede na UFRN (Universidade Federal do Rio Grande do Norte) cujo objetivo principal é qualificar pessoal em nível de graduação e pós-graduação para atuar em segmentos associados à geração, à transmissão e à distribuição de energias renováveis.

Outro exemplo de atuação no Rio Grande do Norte, considerado o estado com um

dos maiores potenciais eólico do Brasil, é o do Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas (Sebrae) que vem capacitando empreendedores vinculados à cadeia produtiva da energia eólica no Rio Grande do Norte (ASN, 2013), (CTGAS-ER, 2013) e (Sebrae RN, 2013). O principal objetivo do Sebrae-RN é qualificar as empresas para que possam fornecer bens e serviço dentre outras para a cadeia eólica.

Segundo José Ferreira de Melo Neto, *superintendente* do *Sebrae/RN*, o potencial eólico do Rio Grande do Norte, que tem atraído grandes empresas com vistas à exploração da fonte renovável de energia, também abre oportunidades de negócios para micro e pequenas empresas (ASN, 2013). Visando, também, criar um ambiente favorável à participação dos negócios de pequeno porte nessa cadeia produtiva, o Sebrae no Rio Grande do Norte firmou parceria com a Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN) e Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN) para fazer um levantamento das principais oportunidades de negócios para as MPE que já atuam no fornecimento ao setor petróleo e gás do Estado.

Outro programa que merece destaque é o de parceria entre o Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (Senai) e a Agência Alemã de Cooperação Internacional (GIZ), que visa promover a ampliação da oferta de mão de obra para o setor de energia eólica no Brasil. Até 2014, serão capacitados 500 profissionais, entre técnicos de planejamento e análise de instalação de parques eólicos, profissionais para construção, operação e manutenção desses parques e instrutores do próprio Senai. Esse programa irá oferecer cursos de formação em nove estados, além de visitas técnicas de profissionais do Senai a parques eólicos da Alemanha e de outros países europeus. A capacitação de mão de obra em tela visa suprir a carência de pessoal no setor de energia eólica, que, em 2020, representará 7% da energia gerada no Brasil, segundo estimativas da Empresa de Pesquisa Energética (EPE).

De acordo com Marcello Coelho, analista de Desenvolvimento Industrial do Senai, a falta de profissionais qualificados é um grande obstáculo para o crescimento do setor. “Investidores e governos dos estados com grande potencial de geração de energia eólica têm procurado o SENAI para intensificar a formação de profissionais para o segmento. Com esse projeto, vamos atender a essa demanda”, explica Coelho.

O Centro de Tecnologia do Gás & Energias Renováveis (CTGAS-ER) oferta for-

mação para a população em geral e para profissionais através de cursos, eventos, aperfeiçoamento e especializações (CTGAS-ER, 2013). Na especialização, os principais objetivos são:

- Ampliar a oferta de educação profissional, com currículos estruturados para formação de competências técnicas, sociais e de gestão, atendendo às exigências do setor produtivo, às especificidades da sociedade e, especialmente, às especificidades de estudo dos alunos em seu processo de aprendizagem, utilizando a Metodologia de Educação a Distância.
- Possibilitar ao aluno apropriação de conhecimentos científicos e tecnológicos, que lhe permitam exercer a profissão e sua cidadania de forma responsável, reflexiva, proativa, criativa e dinâmica.
- Fornecer aos alunos condições para a aquisição de competências profissionais e pessoais, necessárias ao desenvolvimento das atividades de acordo com os padrões de qualidade, segurança, saúde e de respeito ao meio ambiente e convivência humana.
- Oferecer ao aluno situações que permitam seu autodesenvolvimento, seu preparo para o exercício da cidadania e sua qualificação para o trabalho.
- Propiciar aos alunos vivência profissional em ambientes pedagógicos e do processo produtivo, para desenvolver atividades práticas consistentes e com crescente grau de complexidade.
- Realizar estudos inerentes à viabilidade econômica de projetos eólicos.
- Apresentar conhecimento teóricos relativos a projeto de layout otimizado de um parque eólico.
- Discutir concepções dos aspectos técnicos da energia eólica.
- Conhecer normas e a legislação sobre conexão de parques eólicos à rede elétrica.
- Investigar os modelos usados direcionando-os para as tecnologias aplicadas atualmente em Parques eólicos.

- Conhecer e simular os sistemas de automação aplicados a parques eólicos.

O CTGAS-ER atua também na prestação de serviços tecnológicos especializados de energia eólica. A lista dos serviços encontra-se a seguir:

- Especificação, avaliação e acompanhamento da manutenção de torres anemométricas
- Controle de qualidade de dados meteorológicos.
- Avaliação de recurso eólico.
- Prospecção de áreas para projeto.
- Micrositing de parques eólicos.
- Avaliação da conexão elétrica de parques de geração elétrica.
- Acompanhamento da construção e do comissionamento de parques eólicos.
- Acompanhamento da operação e manutenção de parques eólicos.

Outras iniciativas tanto de caráter público quanto privado no tocante à capacitação de recursos humanos para o segmento eólico no Rio Grande do Norte ainda se encontram em fase embrionária não sendo aqui destacadas.

# Operação e Manutenção

---

## 4 A etapa de manutenção e operação de parques eólicos – Oportunidades e barreiras

Um passo importante para o bom desempenho de uma usina de energia eólica em pleno funcionamento consiste na eficácia do seu programa de manutenção e operação. O plano de manutenção consiste, basicamente, em três fases: manutenção corretiva, manutenção preventiva e monitoramento. Normalmente, os investidores de parques eólicos compram dos fabricantes de aerogeradores um pacote incluindo peças e serviços para manutenção. Esse período de garantia se estende por alguns anos. No entanto, apesar dessa tendência, incluindo-se o Brasil, existem experiências que, gradualmente, ocorrem com mais frequência de investimentos dos proprietários de parques eólicos nos programas internos de manutenção. Entre as vantagens dessa nova política, pode-se destacar a familiaridade da equipe de manutenção com o histórico de falhas apresentadas por uma turbina em particular e por todo o parque (AMERICAN, 2011).

Com o plano de manutenção, é possível verificar quando as peças, componentes dos equipamentos, necessitam de substituição. Geralmente, os fabricantes de aerogeradores oferecem de 2 a 5 anos de garantia para reparos ou substituições de peças. No entanto, alguns dos investidores optam por 2 anos devido à diminuição da ocorrência de falha após os dois primeiros anos. Isso acontece porque, após a instalação, os aerogeradores devem se adaptar às condições de vento, clima, entre outros fatores típicos do local onde o parque está construído, sendo necessários diversos ajustes. Terminada a garantia, o proprietário do parque decide se estabelece um programa interno de manutenção ou terceiriza o serviço.

Deve-se ter muito cuidado com o contrato de garantia, devendo-se incluir o reparo e/ou substituição dos componentes defeituosos bem como saber o que ocasiona tal defeito – pode ser problema na fabricação – e ter a garantia da disponibilidade de peças para 20 anos ou mais. Um componente com defeito na fabricação pode diminuir o desempenho técnico e econômico do aerogerador ao longo do tempo.

A figura 54 mostra os componentes responsáveis pelas principais falhas nas turbinas. Dentre eles, destacam-se a caixa de velocidades (também conhecida por gear-



### Falhas em Aerogeradores - Componentes

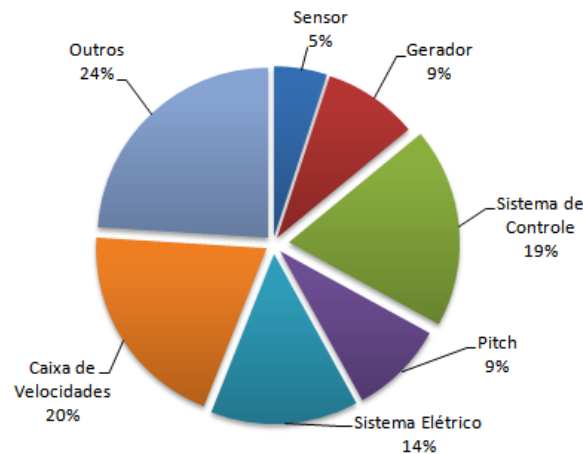


Figura 54: Gráfico estatístico de falhas em aerogeradores com caixa de engrenagem. Fonte: (SOARES, 2010)

box, caixa multiplicadora ou caixa de engrenagens), o sistema de controle e o acionamento do controle de pitch. Integrados, esses componentes respondem por 48% das falhas nos aerogeradores.

Para que um plano de manutenção seja adequado, é necessário que ele esteja em conformidade com as normas de segurança estabelecidas. Antes de um técnico realizar qualquer procedimento, ele deve considerar o grau de risco da atividade tendo a certeza de que todas as medidas de segurança foram tomadas, garantindo o êxito do seu trabalho, desempenhado corretamente e com segurança. O treinamento é realizado, geralmente, por escolas profissionalizantes ou pelos próprios fabricantes de aerogeradores.

Além disso, no desenvolvimento dos planos de manutenção, é preciso estabelecer um cronograma na execução da manutenção variando em intervalos de 4, 6, 12, 24 e 48 meses, assegurando que os aerogeradores estarão sempre funcionando corretamente. Os reparos podem ser agrupados de acordo com o tipo de manutenção, seja ela, elétrica, mecânica ou estrutural.

#### 4.1 Custos da Manutenção

A maioria dos contratos entre fabricantes e proprietários de parques eólicos contém uma cláusula que proíbe a divulgação de qualquer parte dos contratos, incluindo os custos de operação e manutenção (O & M). Em outras palavras, a informação valiosa de custos de O & M existe, mas não pode ser compartilhada.

Em geral, estão inseridas nos custos de manutenção, a manutenção preventiva, corretiva, as peças de reposição e os equipamentos de segurança (EPIs) para os técnicos. No entanto, existem divergências sobre o quanto investir nesse orçamento, uma vez que as mudanças dos requisitos para manutenção e os avanços tecnológicos dificultam essa previsão.

#### 4.1.1 Peças de reposição e equipamentos de manutenção.

A maioria das instalações eólicas está localizada em áreas rurais onde o vento é abundante. No entanto, devido à localização, a manutenção ou o reparo pode sair caro caso não se tenha um programa de manutenção interna. Grande parte do custo deve-se à contratação de terceirizados, aluguel de equipamentos ou aerogeradores parados. É necessário um estoque com as peças de reposição recomendadas pelo fabricante, e o tempo de inatividade de um aerogerador será minimizado se esses materiais/componentes estiverem estocados nas proximidades do parque eólico.

A escalada de uma torre também contribui para o custo. Embora os aerogeradores sejam equipados com escada e elevador, alguns deles podem conter, apenas, uma escada que permite o acesso dos técnicos às partes internas da torre.

## 4.2 Tipos de manutenção aplicadas a aerogeradores

A manutenção estrutural inclui toda a manutenção associada à torre, pás, seja na pintura, limpeza ou monitoramento da estrutura.

Embora os atuais sistemas de comunicação de um parque eólico não necessitem da presença permanente de um operador, a infraestrutura deve ser inspecionada regularmente (PINHO, 2008), incluindo portões, vedações, acessos, sinalização, torres meteorológicas, vala de cabos, subestação, edifício de comando, entre outros.

Para reparo em pás danificadas, os maiores obstáculos são o vento e as condições do tempo. Os ventos fortes impedem que os técnicos façam o reparo devido à dificuldade de acesso. O tempo frio, além de aumentar o risco de acidentes, afeta a capacidade de cura das pás após reparo. Existem várias formas de acesso às pás e naceles, incluindo escadas, elevadores, gruas e cordas. No reparo das pás, os técnicos descem desde o topo do aerogerador por meio de cordas e equipamentos adequados (rapel). Os trabalhadores usam cordas especiais projetadas para levantar equipamentos, ferra-

mentas e materiais mais pesados.

Outra forma de monitoramento estrutural é a utilização de sensores conectados via fibra ótica e acoplados nas principais partes do aerogerador tais como torres e pás. Registro das cargas, amplitudes e alterações na frequência também são formas de verificar se tudo está funcionando dentro das projeções. Atualmente, a maioria dos fabricantes de aerogeradores e componentes trabalham com tecnologias de monitoramento que incluem sensores integrados no sistema de comunicação de dados SCADA (SOARES, 2008).

Na manutenção da subestação, os técnicos devem estar atentos à segurança do trabalho neste ambiente. Normalmente, os equipamentos da subestação não necessitam de muita manutenção, no entanto, as inspeções visuais devem ser feitas, regularmente, não excluindo a necessidade da manutenção mecânica em alguns casos. Podem-se citar atividades como configurações de monitoramento, medição de leitura, procedimentos operacionais de bloqueio/ corte, isolamento.

A manutenção da subestação é, normalmente, terceirizada, com funcionários experientes em equipamentos de alta tensão. Os técnicos devem trabalhar sempre em dupla, no mínimo, devido aos riscos de cada procedimento, além de manter constante contato com a rota de controle. Muitas empresas acreditam que a formação técnica e a segurança andam de mãos dadas: O trabalhador mais bem treinado, normalmente, é o mais seguro dos trabalhadores.

Em termos gerais, existem três modelos de manutenção que podem ser adotados (EMERSON, 2013). A manutenção corretiva - utilizada depois que se tem conhecimento da avaria e esta é detectada; a manutenção preventiva - compreende uma série de inspeções ou ações de manutenção em intervalos periódicos para evitar o aparecimento de defeitos; e a manutenção preditiva - utiliza meios de obter informações que permitem prever quando acontecerá uma avaria para, assim, poder programar uma ação de manutenção.

Cada modelo apresenta as vantagens e desvantagens.

**Manutenção Corretiva:**

- Tem a vantagem de ser simples e não precisar de meios avançados, tais como softwares, porém o risco de ter um alto tempo de parada no funcionamento do componente é elevada, o que pode gerar um grande prejuízo.

#### Manutenção Preventiva:

- Inicialmente, necessita de um pequeno investimento para estabelecer o modelo de intervenção; depois, é simples e não requer sequer meios avançados, entretanto existe o risco de ocorrer intervenções muito frequentes com um custo elevado. Há, também, o risco de as intervenções serem tardias, não sendo capaz de evitar um defeito em algum componente, tornando-se semelhante a uma manutenção corretiva.

#### Manutenção Preditiva:

- Permite prever com bastante antecedência quando ocorrerá um defeito de maneira que é possível programar uma intervenção com baixos tempos de parada. Entretanto a complexidade é alta e requer meios avançados e pessoal qualificado, o que gera um custo alto.

#### 4.2.1 Manutenção Corretiva

A manutenção corretiva é adequada para sistemas cujas avarias não implicam grandes custos de reparação ou tempos de parada. Naturalmente, não é economicamente vantajosa para parques eólicos visto que o preço para conserto ou substituição de componentes é elevado e, além disso, o tempo em que um aerogerador fica sem funcionar acarreta prejuízo para o proprietário do parque.

Em se tratando de falhas consideradas de pequena escala, pode-se reparar *in loco*, como substituição de pequenas peças, procedimentos de lubrificação e limpeza por exemplo.

Embora a manutenção corretiva não seja vantajosa, ela não pode ser rejeitada. Existem situações em que não se pode antecipar um defeito através da análise preditiva. Avarias que procedem de deterioração rápida exigem correção. É o caso de so-

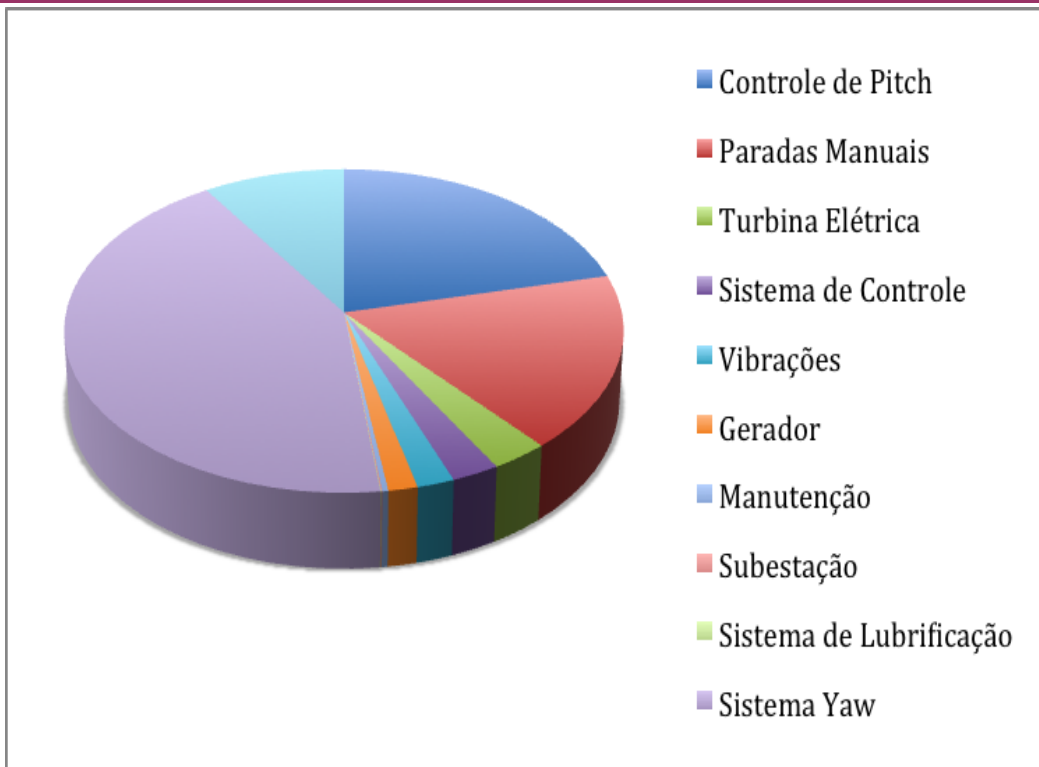


Figura 55: Distribuição da Manutenção Corretiva.

brecargas, que podem ocasionar rupturas, torções ou obturações. Alguns exemplo desses defeitos são: rotura brusca das pás, eixos e ferragens; torções da torre e pás e entupimento do sistema hidráulico.

Em aerogeradores, a maior parte da manutenção corretiva está associada a problemas mecânicos tais como juntas de vedação ou caixa de engrenagens danificadas. A alta velocidade do eixo entre a caixa de engrenagem e o gerador é um ponto crítico. O desalinhamento pode destruir os dentes dos rolamentos ocasionando consequências graves. Segue o perfil da distribuição da manutenção corretiva em um parque eólico.

#### 4.2.1.1 Principais avarias em aerogeradores

Projetam-se aerogeradores para um funcionamento de aproximadamente vinte anos. Caso uma turbina venha a apresentar defeito e ter seu funcionamento temporariamente interrompido, acarretará prejuízo para o explorador do parque eólico. As equipes de manutenção têm a responsabilidade de minimizar esses tempos de interrupção, maximizando o rendimento de cada turbina e, conseqüentemente, do parque eólico. Existem pequenas avarias que podem ser solucionadas normalmente em menos de 24 horas. Essas avarias devem-se às condições de operação, má reparação de um determinado componente, falha de um componente, falha humana, interrupção

do funcionamento do aerogerador por detecção por parte dos sensores de valores fora dos parâmetros normais de funcionamento e interrupção por erros de leituras ocasionais (PORTAL-ENERGIA, 2011).

Avárias em componentes elétricos da turbina são ocasionadas na maior parte dos casos por falhas em instrumentos de medição, tais como anemômetro, biruta ou WindVane, sensores de vibração, temperatura, pressão e velocidade de rotação, etc. Os defeitos nos sensores são, geralmente, ocasionados por um mau ajuste dos mesmos ou a desajustes ao longo do período de funcionamento devido às intempéries. Esses defeitos geram complicações ainda maiores.

Ademais, componentes como relés, contactores, eletro-válvulas, etc. podem ocasionar uma avaria elétrica devido a falhas por fadiga, contatos elétricos entre cabos e componentes com defeito, defeitos por umidade, sujeira ou falta de manutenção preventiva e desgaste natural por elevado número de manobras.

No sistema hidráulico, as principais avarias são: bloqueio de componentes, degradação, rotura e vazamentos. Essas avarias acontecem em decorrência de óleo contaminado, sobrecarga do sistema ou alguma má reparação feita anteriormente.

As principais fontes de contaminação do óleo são provocadas por partículas sólidas, geradas pelo atrito dinâmico entre as peças em contato, pela sujeira acumulada no interior das mangueiras devido à falta de proteção durante o transporte e alteração das propriedades físico-químicas do lubrificante.

Outro problema que pode surgir no sistema hidráulico, é a presença de ar no óleo, devido à alta intensidade de sucção da bomba. As bolhas de ar criadas não têm tempo suficiente para flutuar até a superfície do óleo antes de o mesmo ser impulsionado pelo sistema hidráulico outra vez. As mangueiras danificadas também contribuem para a entrada de ar no sistema. A existência de ar nas bombas pode danificar o funcionamento do equipamento.

Outras causas de defeitos ainda podem ocorrer como folgas das engrenagens entre a torre o sistema Yaw ou entalhes nas soldas e são consequência de um controle de péssima qualidade durante a fabricação dos aerogeradores. Outra causa, ainda, é o desalinhamento das pás durante a instalação, causando um desequilíbrio.

O desalinhamento é causado por deslocar um parafuso na fixação da pá ao rotor. A consequência é a redução de 30% da vida útil do rotor e uma perda anual de 12% na produção de energia devido ao desequilíbrio (SWEN, 2011).

Avarias em grande escala acontecem com uma frequência menor, porém podem deixar o aerogerador inutilizado por longos períodos de tempo. As mais comuns na parte elétrica podem acontecer no gerador devido a defeitos no isolamento, mau contato nos terminais ou falha no isolamento do estator; e no transformador devido a sobreaquecimento por falta de refrigeração, falhas no isolamento, defeitos de fabricação ou ligações defeituosas.

Na parte mecânica, podem ocorrer avarias na caixa de velocidades relacionadas à degradação e consequente rotura das rodas dentadas e rolamentos por falta de lubrificação. Também podem ocorrer avarias nas pás da turbina relacionadas com problemas nos rolamentos ou impactos de raios. Outras razões podem ser ajuste de ângulo errado, impacto de aves ou vibrações excessivas.

Defeitos igualmente descritos anteriormente implicam parar o funcionamento de um aerogerador por um longo período de tempo trazendo um prejuízo alto por ser necessário substituir componentes e, também, pela inatividade de uma turbina.

#### 4.2.2 Manutenção preventiva

A manutenção preventiva é adequada para sistemas em que a avaria implica altos custos de reparação, com a condição de que esses sistemas trabalhem de maneira uniforme no tempo. Em se tratando de parques eólicos, os tipos de manutenção preventiva mais aplicados são as seguintes: manutenções mecânica, elétrica, de lubrificação e inspeção visual.

De maneira geral, a inspeção visual é uma atividade de manutenção simples e não requer grandes esforços. Trata-se de verificar, visualmente, o estado de componentes e partes do aerogerador para avaliar o desgaste em relação à corrosão, rachaduras ou trincas, avaliar a instalação e o funcionamento adequado dos componentes e etc. A manutenção de lubrificação é feita inspecionando-se o sistema hidráulico e os componentes associados a este, bem como outros equipamentos que necessitam de lu-



brificação no aerogerador. Verifica-se a existência de vazamentos, promove-se a troca de óleo e lubrificam-se os componentes que utilizam graxas, tais como as engrenagens do sistema Yaw, por exemplo.

A manutenção mecânica abrange uma inspeção na parte física e estrutural do aerogerador. Pode-se, por exemplo, verificar o aperto dos parafusos, verificar folgas no gerador durante o funcionamento. Em geral, a manutenção mecânica não é prolongada e é complementada com a inspeção visual.

A manutenção elétrica consiste em inspeções visuais em componentes elétricos e eletrônicos, como por exemplo, a iluminação, disjuntores, conexões de fusíveis, entre outros; verificar o funcionamento de componentes como os transformadores, cabines do aerogerador; medição de resistência de aterramento, testes de sensores, entre outras inspeções.

Todos esses tipos de manutenção constituem a manutenção preventiva, que é feita em toda a turbina eólica, podendo aplicá-la em duas partes: torre e nacelle.

Alguns aerogeradores dispõem de sistemas de monitoramento que informam o status de funcionamento. A verificação das informações exibidas por esses sistemas configura uma inspeção visual. Além disso, a verificação da torre em relação à trincas, rachaduras, corrosão e iluminação interna e externa também faz parte de uma inspeção visual. As torres de aço contêm uma grande quantidade de parafusos que estão sujeitos à ação de umidade e tempo, podendo causar corrosão. A inspeção visual deve abranger, também, a verificação desses parafusos.

A base da torre não contém nenhum componente do sistema hidráulico o que implica a não aplicação de manutenção de lubrificação.

Na inspeção das torres de aerogeradores, devem ser observados se existem fissuras, partes que apresentam corrosão, se existem avarias nas junções soldadas e se há marcas de impactos em sua estrutura; infiltrações, parafusos folgados e partes com a pintura avariada (sem pintura devido às intempéries) também devem ser observadas e reparadas, se necessário.

Em relação à manutenção mecânica, esta é realizada inspecionando a fundação,

verificando todos os suportes aparafusados em relação à corrosão ou deterioração. As partes soldadas também devem ser verificadas, como também o aperto dos parafusos da base da torre.

Por último, referente à manutenção elétrica, quando o aerogerador apresenta as cabines e transformador da base da torre, realiza-se a inspeção desses componentes quanto ao funcionamento, incluindo a verificação de cabos, condutores e terminais de conexão. Verifica-se, ainda, o funcionamento da iluminação externa e interna da torre. Quando necessário, faz-se a atualização de softwares presentes em equipamentos de monitoramento, por exemplo. A medição de aterramento deve ser feita, periodicamente, a fim de evitar danos e manter a segurança.

Na nacelle, está presente uma quantidade de itens muito maior em relação à torre, por isso, a inspeção deve ser feita de maneira mais detalhada. Verifica-se, visualmente, o funcionamento dos componentes como lâmpadas, tomadas e suportes. Faz-se uma inspeção nas escotilhas, verifica-se se há vazamentos no sistema hidráulico, se os sensores do sistema Yaw estão montados corretamente. Ademais se verificam todos os parafusos da nacelle quanto à corrosão ou desgaste. Outra verificação importante é feita no rotor em relação à entrada de água ou trincas.

A manutenção de lubrificação é feita inspecionando o sistema hidráulico quanto a níveis de óleo, vazamentos, lubrificação das engrenagens do sistema Yaw e trocando os lubrificadores automáticos quando desgastados.

Pertinente à manutenção mecânica, nota-se a existência de folgas no gerador, aperto de parafusos, além de itens verificados na manutenção visual. O aperto nos parafusos é feito utilizando um torquímetro e, ao final do aperto, o parafuso é marcado ou pintado de forma a marcar a posição na peça para que, quando for realizada uma inspeção visual no futuro, possa-se determinar se o parafuso rotacionou, criando uma folga.

Os parafusos também são componentes que devem ser inspecionados. Esforços excessivos, fissuras provocadas pela corrosão, entre outros fatores, podem destruí-los e causar um grande prejuízo. Por isso, através de ferramentas e técnicas específicas, pode-se verificar o torque aplicado nos parafusos internos e externos do aerogerador.

Para a inspeção, devem ser identificados e testados quais são os parafusos que sofrem os maiores carregamentos. Recomenda-se, também, que os parafusos devam ser protegidos contra corrosão e lubrificados de acordo com o manual do fabricante. Em sua manutenção, as ferramentas utilizadas devem estar calibradas e os acessórios para travamento do parafuso, tais como porcas e arruelas, devem estar em conformidade com o especificado.

A manutenção elétrica é feita verificando o funcionamento da trava do rotor, sensores de sobrevelocidade e sistema de comunicação e sirenes. Constata-se, ainda, o funcionamento do guindaste, que é utilizado para erguer à nacele equipamentos e componentes. Além disso, é feita uma inspeção nos cabos e condutores, incluindo os condutores de aterramento. Deve-se verificar o funcionamento do sistema Yaw e testar os componentes associados.

Para os aerogeradores que contêm cabines e transformadores posicionados no interior da nacele, faz-se a inspeção e observa-se o funcionamento dos componentes, pontos de conexão, cabos e condutores, bem como atualização de softwares quando necessário.

Em resumo, é comum a adoção de planos de manutenção para proceder à manutenção preventiva. A manutenção poderá ocorrer em determinados períodos preferenciais do ano, quando, por exemplo, o valor médio da velocidade de vento é baixo, ou pode ser periódico ao longo do ano, podendo ser especializadas em função das manutenções ditas, elétricas, mecânicas ou de lubrificação. Para cada tipo de manutenção, há um protocolo no qual se encontra um cronograma associado a cada ação a ser executada, além de incluir especificidades de mão de obra e equipamento técnico adequado.

Ainda que os planos de manutenção sejam seguidos rigorosamente, as instalações eólicas estão sujeitas a condições meteorológicas variadas de forma que os desgastes, ao longo do tempo, podem acontecer de formas muito variadas entre os próprios aerogeradores. Com isso, fica difícil seguir planos de manutenção periódicas idênticos para todas as turbinas eólicas, sendo necessário adequar esses planos ao estado dos componentes. A manutenção preditiva se mostra muito eficiente diante desse tipo de dificuldade.

A limpeza das turbinas eólicas, também, é muito importante na manutenção. Poeira, umidade, insetos, entre outros, corroem as pás e a pintura. Quando as pás do aerogerador estão sujas os compressores e motores trabalham mais, e o motor perde a eficiência, porém, isso é relativo. Em locais com muito vento e constantes chuvas, não é necessária, visto que a própria água da chuva limpa as pás. Mas em climas secos, como no Brasil, a degradação das pás é muito maior, pois não há precipitação suficiente. No caso de o parque eólico estar localizado em áreas industriais, onde o acúmulo de sujeira é alto, a limpeza é um fator de suma importância para não comprometer o desempenho do aerogerador.

#### 4.2.3 Manutenção preditiva

A manutenção preditiva tem sido muito aplicada em aerogeradores. A análise para a aplicação de um modelo de manutenção preditiva deve ser baseada em três variáveis que são a avaria (dano que pode ser ocasionado ao aerogerador); a intervenção (forma pela qual se planeja intervir em caso de ocorrer uma avaria); e a técnica preditiva (modelo utilizado para detectar as informações para prever uma avaria).

O aerogerador tem o funcionamento normal dentro de uma faixa de tolerância. Com o passar do tempo, há o desgaste e deterioração de componentes. Durante esse período, deve-se observar os componentes e, ao atingir um nível de deterioração predeterminado programa-se uma manutenção, evitando que o componente atinja um nível maior de deterioração e, conseqüentemente, ocasione um defeito ou avaria. O nível de deterioração predeterminado deve ser tal que haja tempo suficiente para programar uma manutenção.

De acordo com González (2009), as avarias que se podem antecipar são aquelas que procedem de deterioração lenta. Por exemplo, reações físico-químicas, tais como: corrosão de metais, deterioração de mangueiras hidráulicas ou de polímeros por radiação ultravioleta; fadiga de materiais tais como o desenvolvimento de fissuras nas pás, eixos ou parafusos devido a variações de tensões mecânicas.

Existem basicamente três opções de técnicas preditivas: Inspeções, Condition Monitoring e métodos baseados em SCADA.

##### 4.3.1.1 Inspeções

Realizam-se inspeções no próprio aerogerador, no qual é possível comprovar o estado dos componentes proporcionando uma informação mais fiel. Entretanto, em comparação com as outras técnicas preditivas, necessita-se de uma quantidade maior de pessoas, as quais se deslocam até as turbinas para fazer a verificação de componentes, podendo ocasionar a parada do aerogerador. As informações obtidas por essa técnica caracterizam as condições de momento dos equipamentos, o que dificulta estudos de tendência. As inspeções podem ser feitas em pás, torre, bancadas, estruturas e carcaças plásticas, além de fazer ajustes mecânicos, verificar o aperto dos parafusos, coletar amostras de óleo e verificar o sistema hidráulico.

#### **4.3.1.2 Monitoramento de Condições**

A técnica preditiva Condition Monitoring ou Monitoramento das Condições consiste em monitorar parâmetros de funcionamento do aerogerador, através do sistema SCADA, para, em caso de evidência de alterações, detectar possíveis avarias futuras com antecedência. Análises de vibrações, contagem de partículas no óleo, análises acústicas e análises de tensão mecânica são algumas das opções de Condition Monitoring.

##### **4.3.1.2.1 Análise de vibrações**

De acordo com González (2009), a análise de vibrações é uma técnica que tem grande difusão e êxito desde a década de 80 em outras áreas industriais, e a sua utilização teve início na indústria eólica na década de 90, porém com dificuldades econômicas para sua implementação. Desde então foram desenvolvidas tecnologias específicas, principalmente por empresas acreditadoras alemãs, que criaram analisadores especificamente desenvolvidos para esse segmento. O fato de ter se desenvolvido aerogeradores mais eficientes, de maior potência e em pequena quantidade por parques permite a difusão do referido tipo de técnica de análise. A principal vantagem dessa técnica é identificar avarias em etapas muito iniciais.

Utilizam-se acelerômetros posicionados em pontos predefinidos no aerogerador. Esses monitoram de maneira contínua a vibração emitida pelo equipamento e estes se comunicam com o centro de comando do parque. Existem fabricantes de aerogeradores que desenvolveram um equipamento específico para receber as informações dos acelerômetros instalados na turbina e realizar a manutenção preditiva. O sistema

preditivo pode incorporar acelerômetros instalados na caixa de velocidades e no gerador.

#### 4.3.1.2.2 Detecção de partículas no óleo

Enquanto técnica quantitativa na análise de óleos e que podem ser aplicados ao monitoramento das condições de um aerogerador, pode-se citar os contadores de partículas óticas e indutivas.

O funcionamento do contador ótico está baseado no espalhamento da luz e na detecção desse espalhamento. Uma pequena vazão de óleo é direcionada por uma espécie de funil de pequeno diâmetro. O fluido passa por uma região intensamente iluminada por um laser, o qual é focalizado e colimado. As partículas que passam pela região recebem o raio de laser que é refletido e refratado causando um espalhamento. Há um sensor ótico montado geralmente próximo a 90 graus em relação ao feixe de raios laser que mede a quantidade de luz espalhada pelas partículas. O contador de partículas indutivo possui três enrolamentos envolvendo a região onde há fluxo de óleo.

A fonte de tensão alternada produz corrente, conseqüentemente, campos magnéticos simetricamente opostos nos enrolamentos à esquerda e à direita de forma que há um equilíbrio de campos magnéticos no enrolamento central. Quando uma partícula passa por um enrolamento, interage com ele provocando um desequilíbrio entre os campos magnéticos que passam pelo enrolamento central e, dessa forma, o condicionador de sinal detecta a presença de partículas.

Instala-se o sensor entre a bomba e o filtro. A contagem de partículas é feita e os dados são sempre catalogados. Há um nível de partículas preestabelecido que deve ser observado. Esse nível é atingido com um grande período de antecedência em relação ao nível em que é necessário fazer a substituição do componente.

#### 4.3.1.2.3 Detecção de deformação das pás

A deformação das pás pode ser detectada através de sensores. Uma unidade de medição fica posicionada no rotor e há sensores que ficam posicionados próximos à conexão das pás com o rotor. Têm-se sensores para deformação, para temperatura e raios. É possível, ainda, utilizar um sensor FBG (Fiber Bragg Grating) para verificar

a deformação nas pás. Trata-se de um pequeno segmento construído no núcleo de uma fibra ótica com rede de difração Bragg que reflete comprimentos de ondas específicos. A variação do comprimento de onda é linearmente proporcional à deformação da pá por tensões mecânicas ou pressões aplicadas. A medição é feita diretamente sem a necessidade de calibração, sendo bastante sensível. Por exemplo, em pás de 6000 kg, consegue detectar 5 kg de gelo, detecta desequilíbrio de massa ou aerodinâmicos do rotor e danos estruturais nas pás.

#### 4.3.1.2.4 Métodos baseados em SCADA

Existem ainda métodos baseados em SCADA. Utiliza-se um sistema de aquisição de dados nos parques eólicos da mesma forma que o Condition Monitoring, entretanto, mais avançado e de custo mais baixo em relação ao Condition Monitoring. Os contadores de fadiga, modelos paramétricos, modelos não paramétricos e modelos estatísticos são exemplos desses métodos.

#### - Modelos paramétricos

Esse modelo de método consiste em estabelecer relações físicas entre variáveis dependentes. Por exemplo, a temperatura do óleo da caixa de velocidades isoladamente não é um bom indicativo do estado do equipamento. Porém, de acordo com o modelo físico, a temperatura do óleo da caixa de velocidades procede do equilíbrio térmico entre a potência calorífica que se desprende do interior do equipamento através de atrito entre as engrenagens e rolamentos, e a potência calorífica refrigerada pela troca de calor entre o ambiente e a estrutura do equipamento. A partir daí, pode-se estabelecer uma função para fazer correlação com os dados adquiridos pelo sistema SCADA.

Conhecida a função, pode-se fazer a simulação do comportamento e observar a diferença entre o prognóstico e a medição real. Quando a diferença é crescente indica que houve alguma alteração nos equipamentos que afetam o funcionamento do componente.

#### - Modelos não paramétricos

Os modelos paramétricos são precisos, porém determinar as funções pode se tornar complicado e, por isso, a utilização é restringida às relações mais conhecidas. Uma opção diante da dificuldade apresentada é a utilização de modelos não paramé-



tricôs, tais como: Similarity Based Modeling (SMB), Kernel Regression (KR), Support Vector Machines (SVM) ou Neural Networks (NN, redes neurais). De todas essas técnicas, a mais utilizada é a SBM, cuja sigla significa Modelos baseados na Semelhança. Esta técnica tem por objetivo prever avarias futuras e informar sobre o estado atual do sistema em tempo real. O SBM é um algoritmo que a priori não requer um conhecimento analítico da física do sistema, mas com os dados passados e atuais do sistema é possível estabelecer uma relação de comportamento, ou seja, é uma técnica de reconstrução que é projetada

a partir de dados do funcionamento correto do sistema.

#### - Métodos estatísticos

O método baseia-se em escolher um índice representativo de comportamento de um sistema do aerogerador e obter seu espectro de frequências.

Assim, é possível analisar que distribuição estatística segue o índice e realiza a comparação entre populações. Desta maneira é possível identificar qual população está trabalhando fora da faixa permissível, o que pode ser um indicativo de uma futura avaria.

### 4.3 Formação de Pessoal

Em países com mercado de energia eólica mais consolidado, existem muitas opções de treinamento para o pessoal de O&M. Fabricantes de aerogeradores, prestadoras de serviços e escolas técnicas profissionalizantes oferecem treinamento e workshops.

Devido aos avanços da tecnologia, os parques eólicos não necessitam da presença da equipe de O&M em tempo integral. O que se exige é comprometimento da equipe em estar pronta e preparada para atender às necessidades emergenciais.

Geralmente, o número de técnicos de manutenção em um parque eólico depende do número de aerogeradores a ser mantido. Tipo e tamanho dos aerogeradores também são levados em consideração na definição na quantidade de pessoal necessário. No Brasil, o perfil de qualificação profissional, nos parques eólicos distribui-se na média de 1% de profissionais em nível superior; 10% em nível técnico e os demais em nível auxiliar técnico, entre outros, como auxiliares de serviços gerais e profissionais de

segurança. Com base em entrevistas com gerentes técnicos de parques eólicos, pode-se encontrar equipes de dois a seis profissionais para a manutenção corretiva e preventiva.

Em geral, a distribuição dos profissionais que atuam em um parque eólico possui o seguinte perfil: manutenção nos aerogeradores – 2 a 6 pessoas; subestação – 2 a 4 pessoas; monitoramento – 1 a 2 pessoas; terceirizado – 1 pessoa para limpeza e 2 para a segurança do parque.

Os avanços tecnológicos trazem inúmeras melhorias, entre elas, as condições de trabalho dos técnicos e a segurança da equipe e dos equipamentos. Como exemplo, pode-se citar a inclusão de elevadores nas torres para facilitar o acesso dos técnicos à nacela. Apesar de estabelecer melhores condições de trabalho, melhores acessos às nacelas, assim como os sistemas de monitoramento, podem representar reduções do número de trabalhadores num parque eólico, uma vez que seriam necessários poucos técnicos para operá-lo.

O que se valoriza no mercado é a experiência técnica e profissional dos trabalhadores de O&M, principalmente dos gestores. A criação de procedimentos críticos, promovendo a segurança, e o seguimento das atividades prioritárias devem ser bem administrados, o que exige muita experiência e formação na área. Assim, um técnico com grande experiência pode perceber anormalidades no funcionamento de algum equipamento através de um som anormal ou cheiro intenso de óleo. Dessa forma, a nacela deve ser detalhadamente avaliada, com o objetivo de detectar fugas de óleo ou outros indícios que induzam uma avaria iminente.

O treinamento dos técnicos de O&M deve incluir análise de plantas (arquitetônicas, estruturais, entre outras), gráficos, procedimentos de manutenção/funcionamento dos aerogeradores, inversores, caixa de engrenagem, motor de partida, transformadores, capacitores, switches, gerenciamento de risco, entre outros. Alguns proprietários de parques eólicos treinam seus técnicos através de software com ênfase em componentes mecânicos e elétricos, controle e hidráulica. Esse treinamento abrange questões relacionadas à manutenção, sistemas elétricos, segurança e regulamentação ambiental. Testes específicos incluem as condições de monitoramento, amostragem do óleo, testes no gerador e outras práticas de previsão.

No Brasil, além das demandas por recursos humanos que, naturalmente, estão associados à manutenção e operação, também relacionam-se às atividades de logística de transporte considerando as dimensões físicas do país e de sua atual estrutura rodoviária. Assim, esse contexto incrementa a quantidade de profissionais e, também, a necessidade por qualificação centrada nas específicas necessidades desse mercado.

#### 4.4 Segurança

Todo procedimento de manutenção deve estar em consonância com as normas estabelecidas vigentes. Por isso, os técnicos devem usar equipamentos de segurança em altura, deslocamento, entre outros.

Com relação à segurança dos trabalhadores, criou-se, no Brasil, a NR 35, direcionada, especificamente, para trabalho em altura. Trata das responsabilidades, planejamento, organização e execução para esse tipo de trabalho. Considera-se trabalho em altura, qualquer atividade desenvolvida acima de 2,00 metros do nível inferior, havendo risco de queda. A NR 35 trata, ainda, dos equipamentos de proteção individual (EPIs), acessórios, sistemas de ancoragem e das situações de emergência e salvamento. O objetivo dessa norma é garantir a segurança e saúde dos trabalhadores que estão envolvidos direta ou indiretamente nesse tipo de atividade. Existem, ainda, a NR 01 (segurança e medicina do trabalho), a NR 06 (EPIs) e NR 18 (segurança nos processos, condições e no meio ambiente do trabalho na indústria e construção) que estão vinculadas, direta ou indiretamente, à NR 35.

Nas torres, onde o acesso ocorre através de escadas, o técnico deve verificar se o cinto e o talabarte estão colocados adequadamente, bem fixados, antes de qualquer subida ou descida. Outro procedimento de segurança é o bloqueio/sinalização do sistema. Se o técnico estiver trabalhando em uma torre inoperante, ela só poderá voltar a funcionar quando o técnico estiver concluído a manutenção. O bloqueio impede que alguém ligue a turbina com o técnico lá dentro. Esses são, apenas, alguns dos procedimentos adotados com relação à segurança da equipe de manutenção.

As causas mais comuns das lesões em técnicos da manutenção de aerogeradores são:

→ Distrações

- Choque Elétrico
- Uso inadequado de ferramentas ou equipamentos
- Não seguimento dos procedimentos de segurança

Para um técnico realizar qualquer tipo de manutenção, mesmo que necessária, ele deve receber a autorização de um supervisor que avaliará o grau de risco do procedimento e garantirá que todas as medidas de segurança em vigor serão observadas.

## 4.5 Detalhamento das atividades de manutenção

### 4.5.1 Manutenção Mecânica

A manutenção mecânica envolve toda a manutenção associada com a turbina em si, incluindo eixos, controladores, gerador, nacele, pás, caixa de engrenagem, entre outros. A manutenção em geradores e caixas de engrenagens são, normalmente, as mais caras, devendo ser inspecionadas a cada quatro meses. É uma manutenção onerosa, visto que é necessário o aluguel de um guindaste, sem falar do tempo em que o aerogerador fica inativo, o que compromete toda a produtividade.

Os parafusos de cada turbina devem ser realinhados a cada período de alguns meses, com periodicidade que dependerá do fabricante, os filtros devem ser verificados e as engrenagens lubrificadas.

Em alguns meses, deve ser, também, examinada a fundação da torre através do exame de radiografia. A nacele, a caixa de engrenagens, os parafusos do rolamento principal devem ser analisados anualmente.

O Controle de Yaw é o componente responsável por orientar a nacele do aerogerador na direção do vento, determinada por uma biruta instalada na própria máquina, ou seja, na ocorrência de mudança na direção do vento, o controle yaw realiza um movimento de rotação da nacele em torno do eixo da torre até que a área varrida pelas pás do aerogerador fique em posição perpendicular ao vento, permitindo maximizar a operação da turbina.

O Controle de Pitch controla e otimiza a captação de potência do vento pelas turbinas do aerogerador, variando o ângulo de passo (pitch) das pás. Esse sistema per-

mite controlar cada pá de forma independente. Com exceção desses controles (de yaw e de pitch) e, também, da caixa de engrenagem, o óleo utilizado, nos outros componentes do aerogerador, deve ser verificado em periodicidade de meses. Isso garante que o óleo utilizado esteja sempre limpo, sem impurezas evitando danificar os equipamentos. Embora o óleo da caixa de engrenagem deva ser substituído em alguns anos, alguns fabricantes testam amostras do óleo na ordem de meses.

Reparar os dentes da caixa de engrenagens pode ser muito caro. Eles precisam estar lubrificados para sustentar as cargas estáticas e dinâmicas, além do estresse durante a operação das pás. A lubrificação suaviza a rotação e melhora a orientação da nacelle em qualquer condição meteorológica.

Segundo engenheiros de parques eólicos no Brasil, as caixas multiplicadoras e o acionamento do controle de pitch (passo) e de yaw, conceituados acima, devem ser tratados com muito cuidado e atenção especial por parte do pessoal de O & M. Assim, no caso de a turbina não estar em operação ela deve ser acionada, pelo menos, uma vez no mês para efetivar esse tipo de serviço. Nesse caso, deve-se desprender do gerador/transformador para alimentar a turbina. Ou seja, no caso de não geração, deve-se custear a locação desses componentes e com o deslocamento dos mesmos.

As pás do aerogerador, como se sabe, captam a energia cinética do vento e a transferem ao rotor que a transforma em energia mecânica e, por sua vez, ao gerador que a converte em energia elétrica. Esse processo causa um permanente estresse devido às chuvas, umidade, mudança de temperatura, gelo, radiação ultravioleta, relâmpagos. As pás são constituídas por um compósito de fibra de vidro em matriz de resina epóxi, entre outras resinas utilizadas. A estrutura interna consiste em uma longarina reforçada com espuma de poliuretano envolto na fibra de vidro. Dentre os principais danos, pode-se citar: a) na parte interna: rachaduras na resina de ligação, desacoplamento das partes componentes, presença de ar e problemas na colagem (problemas internos); b) e na parte externa: fissuras na superfície da pá (cavidades e escamação) e fendas.

Devido ao estresse dinâmico, a pá é o componente que mais apresenta fadiga, necessitando de inspeção periódica visando avaliar sua estrutura. Falhas e/ou detritos sobre as pás reduzem a produtividade além de resultar em reparos caros e

perdas na produção. Portanto, a limpeza, nas pás, também é fundamental. É necessário evitar o acúmulo da umidade na fibra de vidro, pois pode causar desequilíbrios na estrutura da pá. Aliada às altas temperaturas – geradas por um raio, por exemplo – a umidade acumulada pode se transformar em vapor e expandir termicamente no interior da pá. Depois disso, pode-se observar rachaduras, incêndio, partes quebradas ou, até mesmo a destruição da pá. Abaixo, o quadro resume os possíveis defeitos nas pás e o tempo recomendado para a correção.

#### 4.5.2 Vibrações e Diagnóstico de Vibrações

As vibrações constituem um ponto crítico nos aerogeradores, desde a rotação das pás (cíclicas) até a própria vibração das pás, das torres e do rotor. Vibração e temperatura são agentes físicos que interferem, de maneira significativa, no funcionamento do aerogerador.

Se por um lado, um programa de inspeção permite verificar a condição técnica da máquina, fornecendo informações que indicam possíveis vibrações, tais como rachaduras em pás do rotor e fundações, problemas nos componentes ao redor e dentro da caixa de velocidades, desgaste excessivo dos componentes da turbina de vento. Por outro lado, um diagnóstico de vibração evita a substituição preventiva dos principais componentes, o que ajuda a identificar a melhor forma de determinar e programar as ações mais adequadas de manutenção.

Para Hilário (2010), o diagnóstico de vibração é baseado na estratégia de “check-up”: Um sistema de aquisição e análise de dados com medição dos instrumentos são implementados entre o rolamento principal e o rolamento traseiro do gerador corrigindo, temporariamente, atividades problemáticas. Com esse método, possíveis falhas no material e instalações podem ser detectadas já durante o primeiro diagnóstico por comparação das frequências das linhas do espectro medido. O diagnóstico de vibração detecta a falha precocemente e permite a prevenção por meio de evidência de potenciais danos nos rolamentos do rotor, gerador e caixa de velocidades, bem como falhas e danos nas engrenagens. Por exemplo, os seguintes defeitos podem ser detectados através do diagnóstico periódico das vibrações:

- Problemas nas pás do rotor: desequilíbrio, vibrações, pequenos desalinhamentos do ângulo das pás, entre outros.

- Problemas de acionamento: eixo desalinhado, deflexões, folgas mecânicas, condições do rolamento, danos na engrenagem, problemas no rotor/estator.

- Problemas de lubrificação, elétricos, de ressonância e vibração anormal das torres.

O diagnóstico de vibração periódica é recomendado nos seguintes casos:

- a) Quando o fim do período de garantia está se aproximando, por menos 6 meses antes do término do contrato.
- b) Necessidade de avaliação do parque eólico após vários anos de operação, necessidade de investigação devido a fenômenos anormais que podem causar danos, necessidade de confirmação adicional feita durante um período ou através do exame de endoscopia (ruído anormal, possíveis danos e presença de sujeira no óleo ou graxa). O diagnóstico mostra os dispositivos para correção dos erros, caso existam, ou impede os que estão na iminência de ocorrer, melhorando a confiabilidade, disponibilidade e desempenho da máquina.

#### 4.5.3 Inspeções Visuais e por Ruído

As observações visuais e por ruído são importantes, mas devem ser tomadas dentro de critérios bem estabelecidos. Visualmente, deve-se procurar trincas, descasamentos e deformações. No aspecto auditivo, o ruído de rolamento deve ser observado nos rotores e gerador, tomando cuidado porque, quando há ruído, o problema já está bastante profundo. Na nacelle, iniciar com inspeção visual das engrenagens e rolamentos. Vibrações excessivas, vazamentos, danos na estrutura do multiplicador, mensagens de erro no controle, análise do óleo. Recomenda-se que essa inspeção seja feita a cada seis meses.

As peças que sofrem maior carga e fadiga são as mais críticas, como as pás. Uma sujeira que entra na engrenagem, dificilmente, poderá ser detectada. No entanto, uma das maiores dificuldades é subir para fazer as inspeções. A rotina de verificação da nacelle é inspecionar o eixo principal, os mancais de rolamento, o sistema de transmissão, o freio mecânico, o sistema de acoplamento, o sistema hidráulico, o sistema de yaw e o sistema de refrigeração. No caso de proximidade com a costa, alguns cuidados devem ser tomados, não somente pela presença de alta concentração de sais, mas, principalmente, por causa da umidade. Afinal, os componentes metálicos e, por



consequente, os componentes elétricos apresentam características específicas que podem apresentar problemas de funcionamento devido à umidade para funcionar perfeitamente. Nesse caso, a umidade pode trazer muitos problemas, às vezes, atrás da torre, no contravento.

Segundo Hilário (2010), os componentes considerados críticos são a caixa de velocidades, o rotor do gerador e as pás. Por isso, eles devem ser cuidadosamente controlados pela manutenção e inspeções regulares. Uma eventual falha em um desses componentes principais pode levar a uma situação de risco para o aerogerador, consequentemente, a perda de produção e de receita.

O relatório de inspeção deve conter as seguintes informações:

- Tipo, fabricante e número de série da turbina e da torre.
- Nome do proprietário e localização do aerogerador.
- Total de horas trabalhadas e energia produzida.
- Data e condição do tempo no dia da inspeção.
- Pessoas que participaram da inspeção.
- Descrição detalhada dos procedimentos envolvidos na inspeção.
- Observações, defeitos e irregularidades encontradas. Um prazo deve ser dado para os reparos bem como as recomendações corretivas.
- Resultado da inspeção.

#### **4.5.3.1 Inspeções na Caixa Multiplicadora**

Na avaliação geral das condições da caixa de velocidade, as inspeções devem ser auxiliadas visualmente e pelo exame de endoscopia no interior dela para detectar desgaste e avarias nos rolamentos e engrenagens. Uma inspeção bem feita deve conter: análise da amostra de óleo, caixa de velocidade – limpeza, pintura, nível do óleo, situação da engrenagem, condições das buchas e mancais; estado do óleo – se há ou não presença de espuma, cor do óleo, se cheira a queimado ou não, qual o odor, se houve aumento da viscosidade; vedação do eixo principal; refrigeração da caixa de velocidades e sistema de resfriamento de óleo, inspeção na caixa de velocidades através do

exame de endoscopia que pode visualizar todos os rolamentos, engrenagens, rodas dentadas, dentre outros componentes.

#### 4.5.3.2 Inspeções no Gerador

- A inspeção do gerador consiste das seguintes investigações.
- Verificação do acoplamento do eixo de alta velocidade.
- Verificação do alinhamento do eixo de alta velocidade e cálculo das compensações de realinhamento.
- Verificação de barulho anormal nos mancais (pode ser realizado o exame de endoscopia e/ou análise de graxa nos rolamentos dianteiro e traseiro).
- Sistema de refrigeração do gerador.
- Teste de isolamento do gerador (rotor e estator).

#### 4.5.3.3 Inspeções na Nacele

Inicialmente, deve-se observar a aparência das engrenagens, rolamentos, se há danos na estrutura do multiplicador; verificar a presença de vazamentos ou vibração excessiva. A inspeção visual é fundamental e deve ser feita sempre que ocorrer algum problema ou frequentemente a cada 6 meses. Após a inspeção visual, pode-se verificar a iminência de algum problema. Assim, uma inspeção mais detalhada deve ser realizada a fim de comprovar, ou não, a existência do defeito. Essa inspeção é composta pelos exames de ruído e vibrações e pelo exame de videoscopia. Nessa fase da inspeção, é possível detectar problemas, tais como: rolamentos danificados, avarias nas engrenagens, desalinhamento, desbalanceamento e áreas de ressonância.

Os defeitos nas engrenagens estão relacionados: aos dentes quebrados, seja por fadiga ou carga extrema; a desgaste, proveniente de material inadequado e pressão excessiva; e, ainda, a deformações e corrosão devido à falta de lubrificação.

Deve-se estar atento às condições do freio do rotor. Para isso, inspecioná-lo em busca de fissuras no disco de freio bem como a presença de óleo ou graxa na área de frenagem. Deve-se verificar o torque dos parafusos de fixação, o desgaste da pastilha de freio, as folgas entre as pastilhas e o disco; é necessário, também, observar o nível

de corrosão dos componentes, além de testar o freio, visando funcionar corretamente.

Os componentes da nacele precisam estar lubrificados para funcionar adequadamente. Por isso, o óleo deve ser analisado frequentemente. Essa análise é feita de acordo com a viscosidade, cor e/ou cheiro do óleo. Os limites de viscosidade, cor, etc. do óleo, bem como sua troca, são definidos pelo fabricante. Assim, o envelhecimento, a mudança na viscosidade, as impurezas e a quantidade de água presente no óleo são fatores importantes que contribuem para a necessidade troca do óleo.

#### 4.5.3.4 Inspeções nas Pás

Ambos os lados, internos e externos, de cada pá são verificados quanto à presença de ar, rachaduras, danos provocados por raios, desgaste por erosão, descamação, problemas de qualidade e outros defeitos. A condição das juntas de vedação, os sistemas de proteção contra raios e as partes aerodinâmicas também são verificadas, bem como a existência de possíveis áreas que necessitem de reparo.

Itens que devem ser inspecionados e monitorados:

- Observação da existência de furos na camada mais externa (acabamento – gel coat).
- Presença de fissuras, principalmente na borda de ataque e raiz da pá.
- Deslocamento das partes coladas.
- Avaria causada por raios, principalmente na ponta da pá, receptor e condutores.
- Partes soltas dentro da pá.
- Condição dos parafusos e verificação do torque.
- Sujeira na borda de ataque.
- Travamento e posicionamento correto da ponta da pá, no caso de pás com controle por estol.
- Ângulo de Pitch (passo), principalmente em pás com controle por estol.
- Ver a condição do rolamento de Pitch e a lubrificação nas pás com controle de pitch e estol ativo.

A limpeza da pá é essencial para o desempenho do aerogerador como um todo. Ela facilita a inspeção visual e a descoberta de avarias e fissuras.

#### **4.5.3.5 Inspeção no sistema hidráulico**

Para a inspeção do sistema hidráulico, deve-se verificar e corrigir o nível de óleo; identificar e corrigir, se houver os vazamentos; avaliar a integridade dos cabos e conectores; verificar a conexão elétrica e os cabos de sinal; verificar e corrigir as pressões de trabalho e de segurança dos acumuladores pneumáticos. Os acumuladores pneumáticos armazenam energia hidráulica na forma de líquidos sob pressão, compensada pelas mudanças de nível do fluido.

O atuador hidráulico é um dispositivo mecânico que converte energia hidráulica em energia mecânica, com o objetivo de gerar movimentos lineares. No atuador hidráulico é importante a detecção e correção dos vazamentos no ponto de apoio do cilindro hidráulico. Deve-se verificar a superfície e a proteção da haste do cilindro, fixando-a (corrigindo-a), se necessário. Também se faz necessário observar a inexistência de folgas no movimento da haste do cilindro e lubrificar os pontos de apoio.

#### **4.5.3.6 Inspeção no sistema de pitch eletromecânico**

No sistema de pitch eletromecânico (controle de passo), se houver janela para inspeção, deve-se fazer a manutenção do nível do óleo do redutor, verificar a integridade dos cabos elétricos, observar se há desgaste nos dentes da engrenagem do atuador e rolamento, limpar e lubrificar, com graxa, as engrenagens.

#### **4.5.3.7 Inspeção nos sensores e cabos**

Para a inspeção dos sensores e dos cabos deve-se verificar o sensor: se está intacto, funcionando corretamente, observar sua posição; verificar a aparência dos cabos de sinal, se não apresentam avarias. Devido à rotação do cubo, os cabos soltos se danificam mais rápido. Por isso, são necessárias a correção e a fixação dos cabos; É necessário que as passagens de sinal do cubo para a nacela (referencial fixo) estejam em ótimas condições e limpas. Por isso, é essencial a limpeza dessas partes, bem como de todo o local.

#### **4.5.3.8 Monitoramento**

O monitoramento envolve a análise dos níveis de óleo, mudanças na cor do óleo,

### Falhas em Geradores e Motores Elétricos

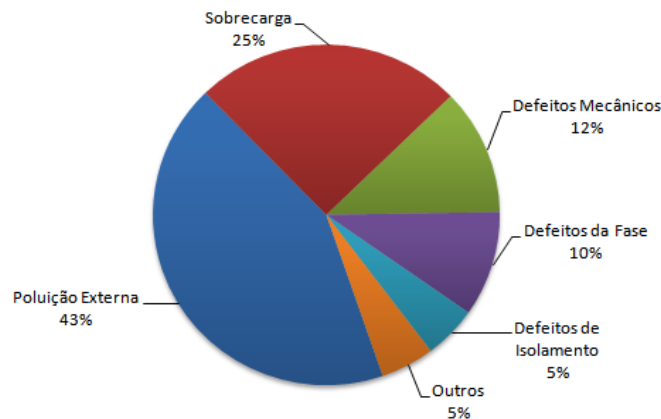


Figura 56: Causa de Falhas nos Geradores e Motores Elétricos. Fonte: (SOARES, 2010).

inspeções nas pás, análise da torre, tensionamento dos parafusos, a temperatura dos componentes, vibrações e desempenho como um todo. Outras partes móveis que estão sujeitas a cargas variáveis e condições de operação variáveis que criam elevado estresse mecânico nos aerogeradores também são monitorados. A análise de vibração é uma técnica eficaz para avaliar a condição das engrenagens e rolamentos, identificando problemas iniciais em busca da solução. Uma análise na engrenagem pode detectar danos como desgaste abrasivo, fissuras, erros de alinhamento, partes frouxas, desequilíbrio e ressonância.

Com o monitoramento das condições, os intervalos de manutenção podem ser melhorados dia a dia através das rotinas de manutenção. Dessa forma, as caras atividades de manutenção podem ser reduzidas. Existem duas estratégias para efetivar um ótimo monitoramento das condições: uma delas, citada anteriormente, é o diagnóstico de vibração. A outra estratégia é o monitoramento contínuo, que é baseado na aquisição de dados fixos e análise de sistema, comunicação wireless com sensores que coletam os dados e emitem alarme quando as características dos componentes começam a mudar.

#### 4.5.4 Componentes mais susceptíveis à manutenção

O componente que mais exige manutenção é a caixa multiplicadora em turbinas com geradores assíncronos devido à complexidade das muitas partes móveis que a compõem. As inspeções devem ser feitas cuidadosamente. As razões para essas falhas variam e podem ser atribuídas à baixa qualidade na fabricação dos materiais, projeções inadequadas, situações climáticas extremas. Estatisticamente, a caixa multipli-

cadora de um aerogerador é substituída de 5 a 7 anos. Mesmo que não haja falhas na turbina durante um ano inteiro, sozinha, a caixa de engrenagem, presente em aerogeradores de indução duplamente excitados, representa um risco financeiro devido ao impacto ambiental causado pela emissão de ruídos (vibração). A emissão de ruído de uma caixa multiplicadora depende de fatores internos (deterioração das engrenagens) e da capacidade de isolamento do gerador e da nacela. O ruído surge a partir das rodas dentadas da engrenagem. O ruído criado pelos dentes é propagado dos rolamentos para a estrutura da caixa de velocidades e a nacela. Posteriormente, é propagada ao ambiente externo.

#### 4.5.4.1 Gerador

São duas as principais falhas em geradores:

1) Falha no enrolamento, que pode resultar de isolamentos defeituosos.

2) Falha mecânica causada pela fadiga prematura do rolamento que pode ser resultado de falta de lubrificação.

A qualidade do isolamento é afetada, ao longo dos anos, por causa do desgaste normal. Esse desgaste reduz a resistividade elétrica do isolamento e cria um aumento das correntes de fuga e, posteriormente, pode levar a incidentes que afetam a segurança de pessoas, bens, bem como causar perdas de produção devido à parada não programada.

As principais causas dos defeitos nos isolamentos são:

- a) Origem Elétrica – Fenômenos relacionados a sobretensões e subtensões.
- b) Origem Mecânica – Devido às sequências de partida/parada das fases, especialmente quando elas ocorrem com frequência, provocando o desalinhamento dos componentes (caixa de velocidades, rolamentos).
- c) Origem Química – Devido à proximidade com produtos químicos tais como óleo, vapores corrosivos, poeira que acabam afetando o desempenho dos materiais de isolamento.
- d) Flutuação da temperatura – A partida e parada do equipamento provocam o aquecimento e resfriamento (dilatação e contração) dos cabos causando impacto

no isolamento. Operar em temperatura extremamente alta significa reduzir a vida útil das turbinas.

e) Poluição – A poeira em locais quentes e úmidos leva a uma deterioração das propriedades de isolamento. Isso ocorre devido à falta de inspeções regulares e medidas corretivas adequadas. Com o objetivo de garantir um bom funcionamento e evitar acidentes, é recomendado realizar testes de isolamento no gerador (enrolamentos de estator e rotor). O gráfico abaixo ilustra as principais causas de falhas em geradores e motores elétricos.

#### 4.5.5 Manutenção Elétrica

Os aerogeradores são projetados para funcionar plenamente, sem interrupções, por sua vida útil, em média, 20 anos. Porém, a quantidade de interrupções dessas turbinas eólicas, por problemas elétricos ou mecânicos, interfere em sua vida útil e, principalmente, em seu rendimento, gerando prejuízo financeiro para o proprietário do parque eólico.

Instrumentos de medição, como o anemômetro, os sensores de direção do vento, sensores de vibração e de temperatura possuem grande incidência de avarias de natureza elétrica devido às condições adversas da natureza como temperatura, umidade; ajuste mau feito em determinado sensor que interfere em outros equipamentos; mau funcionamento no sensor de enrolamento dos cabos; desajuste inesperado dos sensores.

Diariamente, os dispositivos de manobra de uma turbina eólica acionam centenas de contatos. Esse elevado número de manobras provoca um enorme estresse elétrico nesses dispositivos. Por isso, componentes como contactores, relés, válvulas elétricas podem apresentar falhas elétricas devido à fadiga de componentes; defeitos nos cabos e contatos elétricos; falha inesperada provocada por tempestade, sobretensões, sujeira ou umidade nos contatos; desgaste natural devido à excessiva quantidade de manobras; falta de manutenção preventiva. Deve-se ter atenção aos controladores, módulo de comunicação, IGBTs e tiristores, pois esses componentes podem apresentar falhas devido à sobretensão/sobrecorrente na rede elétrica, tempestade eletromagnética ou por má qualidade dos componentes. Por isso, é recomendada, nos equipamentos elétricos, a realização de exames termográficos com o objetivo de enxergar os



pontos e contatos que estão na iminência de falhar ou provocar falhas futuras.

No transformador, os principais defeitos estão relacionados ao aquecimento dos componentes devido à falta de refrigeração; mau dimensionamento da potência nominal; conexões com defeito; defeitos na fabricação; falhas nos fusíveis e possíveis correntes de fuga.

#### **4.5.5.1 Falhas no Gerador**

No gerador, as principais falhas são relacionadas a defeitos no isolamento; mau contato nos terminais; falhas de isolamento no estator e rotor; falhas nos anéis coletores e escovas de carbono; falhas nos rolamentos.

De acordo com estudo feito pela Shermco Industries, possuir um aerogerador de grande porte e com tecnologia avançada não significa estar isento de problemas de manutenção. A manutenção é o fator crítico que afeta diretamente a vida útil dos geradores eólicos; o monitoramento e o planejamento dos reparos são menos prejudiciais do que o risco que se corre de corrigir um problema ou falha inesperada. Por estes motivos, (ALEWINE, 2011) recomenda escolher, cuidadosamente, os fornecedores, fabricantes de equipamentos, componentes de reposição e reparos, visto que todos influenciam diretamente na confiabilidade dos geradores.

Lubrificação e ventilação inadequadas, escolha de material de baixa qualidade na fabricação das escovas e anéis do rolamento contribuem para as falhas elétricas, e se não forem identificadas e analisadas numa inspeção inicial, dificilmente serão percebidas posteriormente. Quando um gerador apresenta muitas falhas ao longo de sua vida útil são necessários esforços, planejamento e muita receita para removê-lo do parque eólico e enviá-lo à oficina de reparo autorizada. O ambiente da oficina autorizada é parte essencial do processo de manutenção do gerador, principalmente para o reparo dos enrolamentos. Ao instalar os enrolamentos num gerador eólico, alguns cuidados precisam ser observados, tais como evitar que a poeira, sujeira ou restos de matérias externas fiquem em contato com o estator/rotor durante o processo de recuperação.

Não obstante esses cuidados, as principais falhas em geradores são relacionadas aos isolamentos. Além disso, os enrolamentos elétricos do rotor e estator são os com-

ponentes que mais exigem receita financeira em seu reparo. Muitos fabricantes costumam usar o isolamento mínimo exigido. Como exemplo, há fabricantes que usam material para isolamento do estator ou rotor que suportam até 155 °C. A temperatura gerada durante o funcionamento do gerador eólico é prejudicial para a vida útil do isolamento do rotor/estator. É aceito que para cada 10 °C de aumento de temperatura na classe do isolante reduz a vida útil desse isolamento em 50% (EARP, 2010). Assim, se um enrolamento, funcionando dentro da temperatura de projeto do mesmo duraria 20 anos, com um aumento de 10 °C em sua temperatura, esse tempo de vida cairia para 10 anos. Por isso, uma solução seria colocar isoladores que suportem 180 °C de temperatura. Isso permitiria que o gerador funcionasse com temperatura mais elevada com pouco custo.

Em caso de tratamento com resina em geradores eólicos, este deve ser feito utilizando sistema de pressão a vácuo. A resina penetra e enche as ranhuras do rotor/estator, criando uma camada sólida sob as espiras, dissipando mais facilmente a alta temperatura.

Existem diferentes tipos de polímeros e esmaltes para o isolamento das espiras. Uns são resistentes a picos de tensão, mas susceptíveis ao estresse mecânico, enquanto outros são resistentes mecanicamente, mas possui difícil instalação e cujo custo benefício não compensa. Escolher o isolante mais adequado pode ser difícil, mas é essencial para prolongar a vida útil de um gerador reparado.

#### **4.5.5.2 Subestação e Rede Elétrica**

A subestação de um parque eólico segue os mesmos procedimentos de qualquer subestação elevadora. Os componentes essenciais para seu funcionamento são o transformador e os disjuntores. Assim sendo, os problemas mais comuns de uma subestação estão relacionados com esses dois componentes.

As falhas nos disjuntores são devidas ao mau funcionamento dos dispositivos de manobra e baixa resistência de isolamento. Outras falhas estão relacionadas às conexões frouxas, provocando mau contato; chaves seccionadoras tipo faca desajustadas; transformador queimado devido à baixa isolação ou falta de óleo. Para a manutenção preventiva, a equipe de manutenção deve fazer, primeiramente, a limpeza da subestação; reapertar as conexões dos disjuntores, transformadores, cabos, barramentos;

reapertar as conexões do QGBT (Quadro Geral de Baixa Tensão).

Dentre as diversas análises e testes feitos na manutenção da subestação, pode-se citar: nos disjuntores são realizados os testes de resistência de isolamento, o teste de resistência dos contatos e o tempo de fechamento e de abertura; nos transformadores deve-se observar se a relação de transformação está de acordo com o especificado, testar a resistência de isolamento e a resistência do enrolamento. Outra ação preventiva é testar o fator de potência da isolação e coletar o óleo dos transformadores para execução do teste de rigidez dielétrica em laboratório.

Quanto à rede elétrica, a manutenção nas linhas de distribuição é realizada através de inspeções visuais em isoladores, para-raios, muflas das subidas dos ramais aéreos e chaves seccionadoras existentes ao longo dos circuitos. Pode ser utilizada a técnica de termovisão a procura de pontos com elevadas temperaturas nas proximidades dos contatos, podendo ter essas atividades realizadas por empresa terceirizada ou pela empresa proprietária do parque eólico.

#### 4.5.6 Comunicação e Controle

Para controlar e monitorar todo o parque eólico, é necessário um sistema de computação que faça a coleta e análise dos dados em tempo real, de tal forma que seja possível otimizar a produção de energia eólica. Esse sistema é conhecido como SCADA e corresponde a um Sistema Controle de Supervisão e Aquisição de Dados. Corresponde a um processo que utiliza software para monitorar e supervisionar, a distância, as variáveis e os dispositivos de sistemas de controle conectados através de drivers específicos. É um recurso opcional oferecido pela maioria dos fabricantes de turbinas eólicas. Dentre as suas funções, destacam-se a comunicação entre os aerogeradores, subestação e torre meteorológica do parque eólico; capacidade de executar os comandos de partida, parada, reset nos aerogeradores, bem como os comandos de supervisão, como liga/desliga, dependendo das condições da rede e/ou do vento. Com o SCADA, é possível obter os dados operacionais relacionados ao vento, à produção elétrica, à disponibilidade dos aerogeradores, dentre outros, além disso, também fornece relatório estatístico de desempenho do parque eólico.

Com relação à quantidade de dados do sistema SCADA, são obtidos dados de parâmetros elétricos, tais como tensão e corrente, e parâmetros mecânicos, como velocidade do vento incidindo na nacele, alinhamento da nacele para captação do vento, rotação do rotor e variação do ângulo de pitch (passo) de cada aerogerador. Para cada torre meteorológica, o SCADA fornece dados de velocidade e direção do vento, temperatura, pressão, intensidade de turbulência e umidade relativa do ar. Na subestação, são obtidos dados de energia ativa e reativa, entre outros dados da rede de distribuição do parque. As eventuais falhas também são registradas, com data, hora, duração e descrição do problema (PROVENTOS, 2012).

#### **4.6 Quadro resumo das potencialidades a curto prazo associadas ao fornecimento de bens e serviços aos empreendimentos eólicos na fase de Operação e Manutenção.**

No quadro abaixo, tem-se um sumário das principais atividades associadas à fase de operação e manutenção de parques eólicos, bem como a dimensão qualitativa do potencial de fornecimento de bens e serviços ao segmento no estado do Rio Grande do Norte a curto prazo.

Durante as operações comerciais de um parque eólico, o número de operadores e de pessoal envolvido na manutenção depende de fatores como o tamanho do empreendimento (número e potência das máquinas do parque), da estrutura administrativa do concessionário e das regras trabalhistas do país.

Nos parques projetados mais recentemente, os serviços de operação e manutenção são dimensionados para o ciclo de vida do empreendimento, visando economias de escala e buscando uma combinação ótima entre o número de máquinas e a potência das turbinas. Aerogeradores, normalmente, têm manutenção regular programada, cuja periodicidade e protocolos de manutenção são fatores dependentes de cada fabricante. Em muitos parques instalados no Rio Grande do Norte cada serviço programado requer duas pessoas por um período de 8 horas. Em parques mais atualizados tecnologicamente e onde o custo da mão de obra é mais alto do que no Brasil são priorizados investimentos em Controles de Supervisão e Sistemas de Aquisição de Dados que predominam em detrimento do uso intensivo de pessoal.

Iniciada a operação do parque, uma parte significativa dos trabalhos de manutenção envolve a escalada das torres, ou seja, habilitação para trabalho em altura dos profissionais, e o trabalho ocorre em parte em ambientes semiconfinados, dentro do compartimento do motor e do eixo da turbina. Esse tipo de atividade exige adequada condição física, agilidade e força, similar às habilidades de um técnico de manutenção de linha de uma companhia elétrica.

Por fim, operar e manter um conjunto de parques eólicos em condições ideais de funcionamento no estado do Rio Grande do Norte requer dos empreendedores, das empresas fabricantes de equipamentos, das instituições de ensino técnico/tecnológico e das empresas prestadoras de serviços articulação e especial atenção quanto à formação, capacitação e certificação de profissionais.

Atividades da Etapa	Potencial de Fornecimento Local									
	Bens					Serviços				
	MB	BX	MD	AL	MA	MB	BX	MD	AL	MA
<b>1. Manutenção das instalações prediais (casa de comando e área de gerência), das vias e da estrutura de proteção do Parque Eólico.</b>										
1.1 Manutenção e conservação pre-										
1.2 Manutenção das vias e dos elementos de drenagem, obras d'arte e circulação do parque										
1.3 Manutenção e conservação da cerca de proteção										
<b>2. Manutenção das Fundações</b>										
2.1 Serviços de inspeção das fundações										
2.2 Serviços de aplicação de impermeabilizantes e selantes em microfissuras										
<b>3. Manutenção de subestações e cabamentos do parque eólico</b>										
3.1 Serviços de inspeção corretiva										
3.2 Serviços de inspeção preventiva										
3.3 Serviços de inspeção preditiva										
3.4 Serviços de manutenção programada e corretiva										
<b>4. Manutenção da rede de distribuição</b>										
4.1 Manutenção da rede aérea										
4.2 Manutenção da rede subterrânea										
4.3 Manutenção do aterramento das redes										
4.4 Manutenção da proteção contra descargas atmosférica										

Atividades da Etapa	Potencial de Fornecimento Local									
	Bens					Serviços				
	MB	BX	MD	AL	MA	MB	BX	MD	AL	MA
<b>5. Manutenção da Linha de Transmissão</b>										
5.1 Manutenção das bases e dos										
5.2 Manutenção do arvoreamento e										
5.3 Manutenção dos cabos e isola-										
<b>6. Manutenção das torres e naceles</b>										
6.1 Serviços de inspeção visual das										
6.2 Serviços de limpeza das torres e										
6.3 Serviços de proteção da superfí- cie das torres										
6.4 Serviços de proteção da superfí- cie das naceles										
6.5 Serviços de torque de parafusos										
6.6 Serviços de inspeção de aterra- mento										
6.7 Serviços de inspeção de aterra- mento										
<b>7. Manutenção das pás</b>										
7.1 Serviços de inspeção visual das pás (hélices)										
7.2 Serviços de limpeza das pás										
7.3 Serviços de proteção da superfí- cie das pás										
7.4 Serviços de manutenção correti- va das pás										



Atividades da Etapa	Potencial de Fornecimento Local									
	Bens					Serviços				
	MB	BX	MD	AL	MA	MB	BX	MD	AL	MA
<b>7. Manutenção das pás</b>										
7.5 Serviços de manutenção preditiva das pás (Detecção de deformação das pás)										
<b>8. Manutenção das turbinas</b>										
8.1 Manutenção corretiva										
8.2 Manutenção preventiva										
8.3 Manutenção preditiva										
<b>9. Outros serviços (terceirizações e quarterizações)</b>										
9.1 Serviços de segurança patrimonial										
9.2 Serviços de transporte de pessoal										
9.3 Serviços de alimentação (catering)										
9.4 Serviços de movimentação de cargas comuns e cargas indivisíveis (inclusive batedores)										
9.5 Outros serviços gerais (limpeza, desinfecção, grupo geradores, etc)										
9.6 Serviços de internet, comunicação de dados e telecomunicação										

**Legenda:**

MB	BX	MD	AL	MA
Muito Baixo	Baixo	Médio	Alto	Muito Alto

**Potencial de Fornecimento**



# Barreiras e Perspectivas

---

## **5 Cadeia produtiva do mercado de parques eólicos - Oportunidades e Barreiras**

As informações e experiências caracterizadas nos capítulos anteriores demonstram que perfis bastante distintos de atividade de fornecimento de bens e serviços são demandadas por parques eólicos e que tais diferenças são intensificadas ao se observar esse mercado sob a ótica temporal de planejamento, execução e operação dos empreendimentos.

Apesar de estarem presentes certas peculiaridades, a diversidade de empresas associadas aos empreendimentos de energia eólica constitui uma marca de projetos de engenharia no setor de geração de energia, independente da fonte primária de energia. Usinas hidrelétricas, termelétricas, eólicas ou solares assemelham-se, fortemente, ao quadro de demandas por profissionais, considerando percentual de auxiliares técnicos, técnicos e pessoal de nível superior. Todas essas fontes geradoras necessitam realizar estudos e projetos de mitigação de impactos ambientais, de eventuais preocupação com detalhes fundiários e com logística de transporte. Há grande fornecimento de bens e serviços na fase de construção e antecedido e precedido por relativa baixa na concretização de contratos entre o proprietário e empresas terceirizadas. Ao mesmo tempo, por desenvolver atividades para atendimento de objetivos bem distintos, as empresas que prestam serviços para parques eólicos costumam se especializar e ser reconhecidas em atender, distintamente, demandas nas etapas de prospecção, construção ou operação e manutenção. Neste sentido a cadeia produtiva eólica no Brasil, pode ser considerada incompleta, pois partes dos equipamentos são importados (Pellegrin e Araújo, 2003).

Analisando empresas que caracterizam as condições de vento ou as denominadas de integradoras, responsáveis por obras de infraestrutura, percebe-se que, de maneira muito diferente, ambas participam das suas respectivas microcadeias produtivas, com suas próprias especificidades e que, em geral, podem não representar entre si interseções de negócio. Assim, na mesma lógica de organização em que se apresentaram as atividades de negócios nos capítulos anteriores, apresenta-se a seguir reflexões a respeito dessas componentes essenciais da cadeia produtiva do setor eólico, nas etapas de prospecção, construção e operação e manutenção.

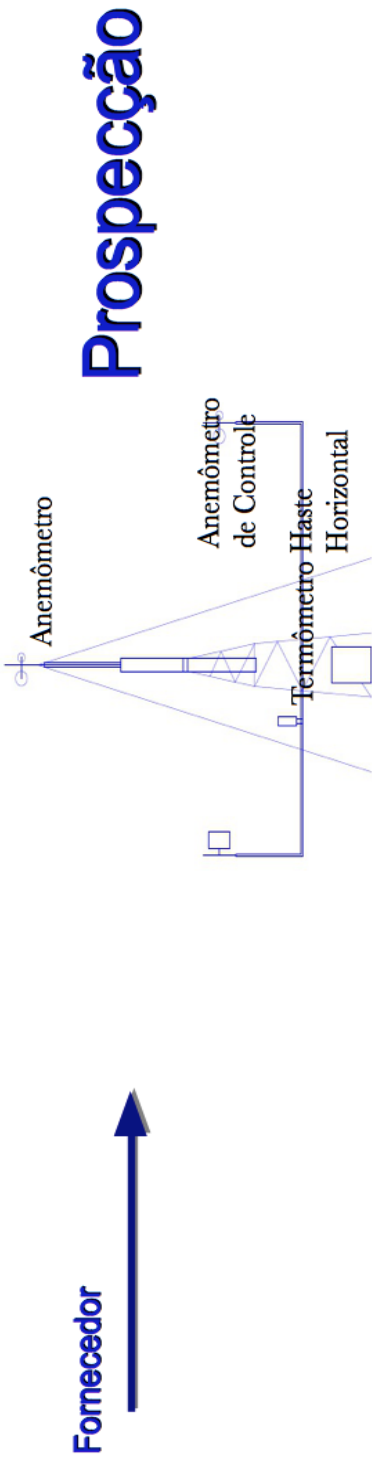
## 5.1 Etapa de prospecção de parques eólicos

No nascedouro dos empreendimentos eólicos, para que estes possam participar dos leilões de energia, ocorre por um processo de habilitação técnica junto à EPE. Essa etapa é instrumentalizada por estudos de prospecção de condições atmosféricas capazes de indicar, estatisticamente, as possibilidades de produção de energia, além de considerar eventuais restrições ambientais, tais como áreas de preservação ambientais, relevo, sítios arqueológicos, zonas urbanas, áreas de reservas indígenas ou quilombolas e outras questões fundiárias. Do ponto de vista da viabilidade técnica da engenharia, esses aspectos ambientais podem ser tão ou mais restritivos do que as condições atmosféricas.

O tempo mínimo de registro dos dados de vento, pressão, temperatura e umidade para habilitação depende das exigências regulatórias. Dados de prospecção em intervalos muito pequenos podem induzir a perfis potenciais de condições energéticas errôneas, gerando prejuízo ao proprietário do parque eólico, pois, ao comercializar um pacote de energia nos leilões, o proprietário deverá produzir e fornecer essa quantidade (produto), mesmo que para isso tenha que comprar no mercado livre, cujo preço varia muito a depender das condições do mercado no momento do fornecimento.

### 5.1.1 Cadeia Produtiva de Prospecção

Na figura 59, apresenta-se um diagrama esquematizando com as atividades inerentes a essa etapa do desenvolvimento de parques eólicos. As oportunidades de negócio, em geral, são aportadas por uma empresa que pode integralizar ou subcontratar alguns serviços. Destaca-se que, em geral, os instrumentos utilizados são fornecidos direto de fábricas no exterior, por representantes ou, eventualmente, por revendedor nacional, as instituições certificadoras de torres, normalmente, são de origem nacional e, por fim, as empresas calibradoras de instrumentos se apresentam em pequeno número no mercado nacional. Entrevistou-se para tanto, nesta etapa, 03 executivos e 02 técnicos de empresas locais e de outros Estados relacionadas a consultoria e serviços e que atuam na fase de prospecção desenvolvendo projetos de parques eólicos, incorporando entre suas atividades: medições de vento, projetos ambientais, civis e elétricos, atividades jurídicas e contratuais, incluindo assessoramento para a realização de consórcios para os projetos de parques eólicos.



# Prospecção

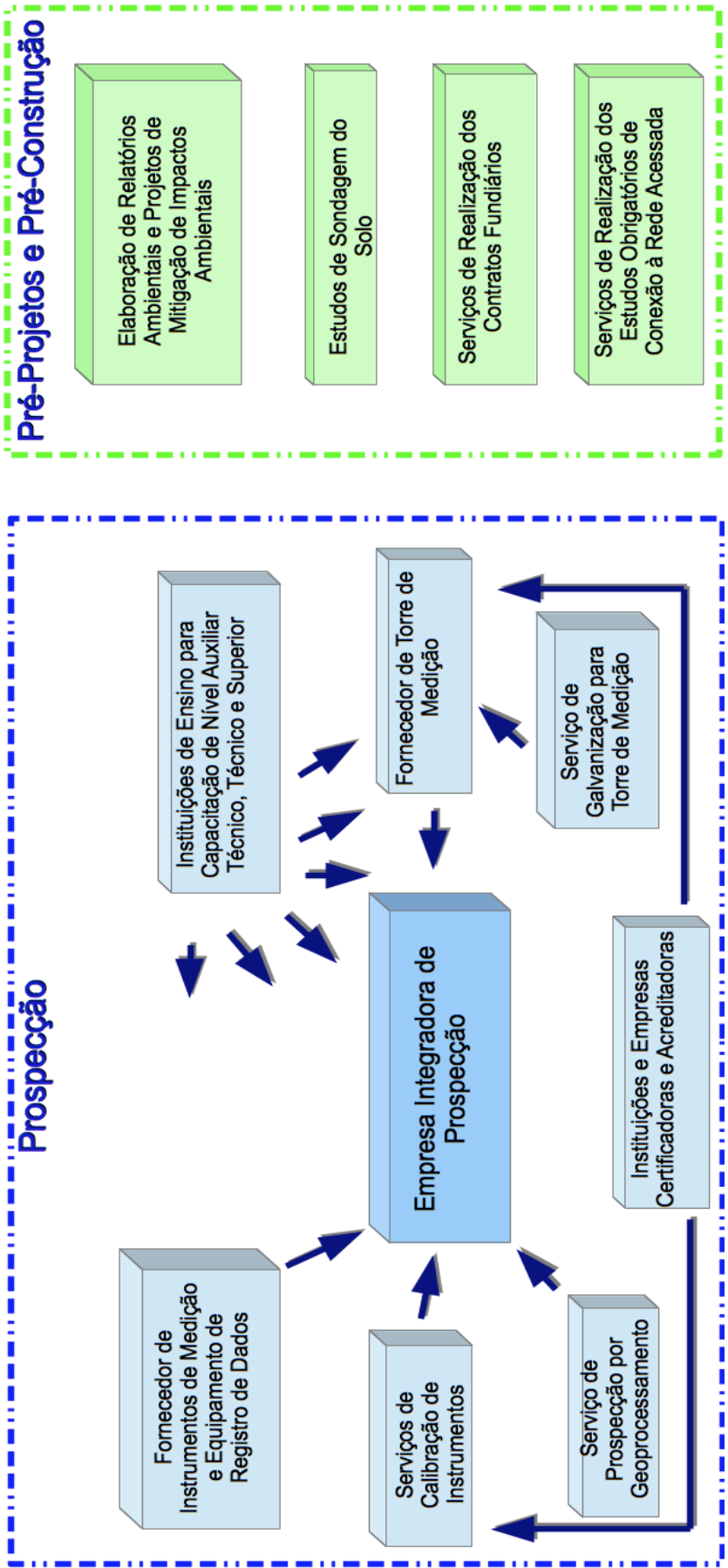


Figura 57 - Cadeia Produtiva das Atividades de Prospecção em Parques Eólicos. Fonte: Própria dos autores.

Em entrevista com executivo de empresa especializada foi relatado que todas as atividades inerentes a campanha de medição e os estudos de solo são terceirizados, entretanto os estudos de resistividade elétrica já são aportados pela empresa. De acordo com o entrevistado, observam-se, para a campanha de medição, poucas opções de fabricantes de instrumentos, com destaque para fabricantes americanos e alemães, totalizando 03 a 04 alternativas, com atenção especial para apenas 02 deles, cujos prazos de entrega podem ultrapassar 30 dias.

No tocante a compra e instalação das torres de medição verificou-se que o fornecimento é feito por empresa da região sul do país. Problemas com oxidação, queda e falta de segurança para a subida na torre por profissionais e, ainda, dimensionamento fora dos padrões são as principais dificuldades encontradas nas torres de fornecedores da região nordeste. Muitos destes fornecedores locais não realizam estudos estruturais e de esforços mecânicos adequados, além de precário controle de qualidade nas soldas e na galvanização. Avalia-se alto potencial de mercado para o fornecimento de torres de medição que atendam aos requisitos de qualidade e normatização.

De acordo com outros dois entrevistados, sócios de empresa especializada no ramo de construção de estruturas metálicas, entre elas torres para medição, são necessárias preocupações de diversas ordens, como por exemplo o uso de dispositivos anti-torção para evitar o efeito “parafuso”, tratamento anticorrosivo e cálculo de esforços mecânicos para que haja confiabilidade e segurança dos equipamentos e de pessoal de instalação e manutenção. Tais medidas de segurança e qualidade também é acompanhado por procedimentos de instalação da torre executados pela própria empresa.

Verificou-se também que as instalações dos anemômetros são realizadas por diferentes empresas acompanhadas por certificadoras. Apesar de existir eventual possibilidade de realizar a recalibração de alguns instrumentos no Brasil, muitas vezes troca-se o equipamento ao invés de recalibrá-lo devido a dificuldades relacionadas ao tempo e custos, além de necessitar de novas parametrizações do datalogger. Com a venda no mercado de dados de vento, destaca-se a preocupação da empresa com a confiabilidade e qualidade das informações atmosféricas, o que pode impactar diretamente no fator de capacidade do parque eólico. Este é um mercado de alto potencial de fornecimento de serviços que requer alta qualificação profissional e equipamentos de última geração.

Em entrevista com o sócio diretor de uma empresa de desenvolvimento de projetos, implantação, operação e manutenção de parque eólicos, que atuou em dez empreendimentos do Rio Grande do Norte e na implantação de 21 parques na Europa verificou-se que, em geral, a empresa vende licenças de projetos, promovendo uma avaliação detalhada do projeto, verificando a viabilidade técnica e financeira e propondo melhorias para aperfeiçoar a eficiência do conjunto dos aerogeradores e reduzir custo e riscos por meio de estudos comparativos financeiros e técnicos entre os fabricantes de turbinas e torres. Esta empresa busca promover a tropicalização das partes dos aerogeradores, visto que se avalia que não há adaptação adequada dos projetos às condições ótimas brasileiras. Um dos exemplos que se pode citar é a definição da altura ótima da torre, cuja viabilidade para esta particularidade é a partir de 50 máquinas. Além disso, por desinformação ou pouca experiência, a montagem das torres de maneira inadequada podem gerar futuros problemas, como nas juntas das torres, podendo até levar a necessidade de substituição. Outros problemas também podem ocorrer como erro na aplicação na pintura anticorrosão nas torres e na nacelle e na detecção de bolhas de ar entre as placas das pás. Tais dificuldades poderiam ser mitigadas por inspeção qualificada e consciente.

Ainda segundo o entrevistado, os problemas de qualidade na implantação dos parques eólicos estão relacionados, principalmente, a burocracia, prazos curtos de prospecção e construção e, ainda, à capacitação qualificada de pessoal.

Após a conclusão dos projetos de engenharia complementares, dá-se início a um conjunto de atividades de infraestrutura, como estradas de acesso, abertura de valas, instalação de canteiros de obra, construção das fundações das torres dos aerogeradores, demandando maquinário pesado, cimento, areia, vergalhões e mão de obra de diversos níveis de capacitação acadêmica e experiência em campo.

## **5.2 Etapa de construção de parques eólicos**

As maiores demandas em volume por bens e serviços nos parques eólicos ocorrem durante a fase de construção. A exceção do que se constitui as pás, a nacelle e a torre, as demandas e suas respectivas atividades inerentes a essa etapa não diferem muito de outros tipos de serviços de construção e montagem.



Em entrevista com um diretor da empresa de serviços de infraestrutura, em Natal RN, que atua no campo da implantação da infraestrutura de parques eólicos, verificou-se uma diversidade de serviços atendidos pela empresa, tais como: terraplenagem, drenagem e pavimentação dos acessos externos e internos e construção das fundações; listou-se um conjunto de maquinários locados junto com profissionais para estas ações, tais como: o trator de esteira, escavadeira hidráulica, motoniveladora, rolo compactador, trator de pneu com grade, caçamba, caminhão pipa, caminhão comboio, carreta prancha baixa, retroescavadeira, autobetoneira, estabilizadora e recicladora de solo, caminhão carroceria e veículos leves.

A contratação de mão de obra é sazonal e depende das dimensões físicas do parque eólico. A título de exemplo, em um parque de 120 aerogeradores, empregam-se, aproximadamente, 220 pessoas, cujo perfil caracteriza-se por 06 da equipe técnica, 10 administradores, 100 operadores e motoristas, 06 da manutenção e 98 ajudantes.

Ainda segundo o entrevistado, em razão da localização dos empreendimentos, muitas vezes distante de grandes centros urbanos, necessita-se de um planejamento estrutural para a manutenção da equipe de pessoal na região. As refeições são terceirizadas, cujo mercado para novos fornecedores que atendem às especificações da empresa certamente encontra-se em aberto com possibilidade de novos negócios. A hotelaria é atendida, quando possível, por pousadas ou por regime de “república”, em casa alugadas e estruturadas para tal. A capacitação, bem como aquelas relacionadas à segurança do trabalho, em geral, ocorre *in loco*. Os uniformes e demais EPIs são fornecidos por empresas localizadas na região da grande Natal. A topografia, o controle tecnológico, bem como ensaios de laboratório de solo e concreto, e o fornecimento de refeição, e materiais de construção são atividades terceirizadas pela empresa. Por fim, destaca-se, também, que as principais dificuldades do setor, dentro da perspectiva de atuação da empresa no Rio Grande do Norte, residem no fornecimento de brita e areia e sazonalidade de profissional qualificado. O entrevistado avaliou que há necessidade de ações de melhoria da infraestrutura de vias de transporte e capacitação de pessoal que deveria ser provido pelo Governo.

### 5.2.1 Cadeia Produtiva de Construção

Na figura 58, a seguir, apresenta-se uma configuração da etapa de construção.

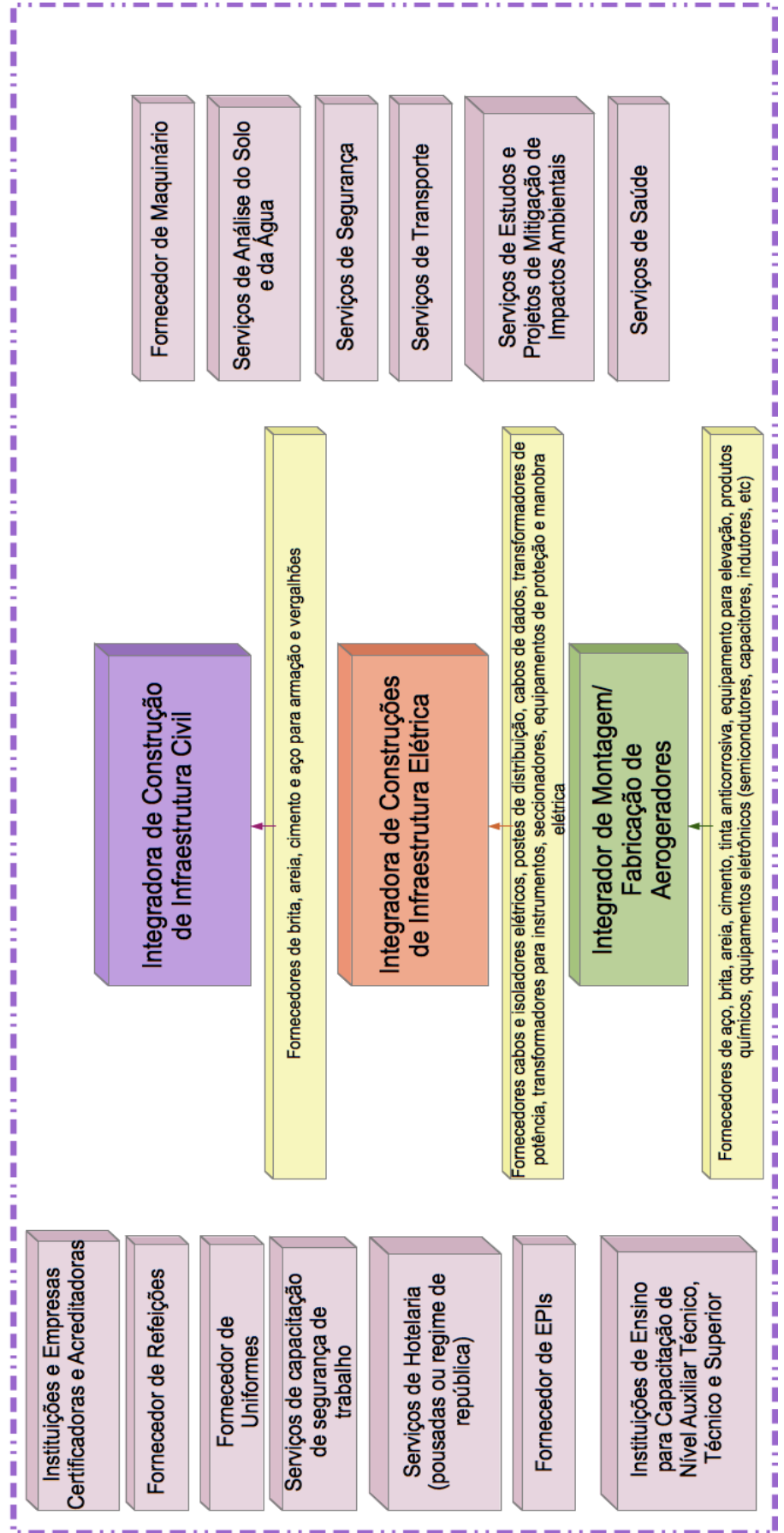


Figura 58. Cadeia Produtiva das Atividades de Construção em Parques Eólicos. Fonte: Própria dos autores.

A figura 58 traz um esquema que ilustra as relações entre os agentes participantes dos negócios relacionados a etapa de construção de parques eólicos, que são inicialmente instrumentalizado por dados obtidos em atividades denominadas de pré-projetos e pré-construção, cujos detalhamentos encontram-se no capítulo relacionado a etapa de construção anteriormente apresentado.

Realizou-se entrevista com executivo de empresa que atua na construção e administração de empreendimentos eólicos no Rio Grande do Norte, e executa ações de infraestrutura como a construção de acessos a veículos e pessoas, drenagem pluvial, canteiro de obras, estrutura civil da subestação e centro de operação de controle, construção de valas para acesso dos circuitos de distribuição e sistemas de comunicação do parque, além de construção das fundações dos aerogeradores. De acordo com o executivo, no período de maior intensidade de circulação de pessoal, os grandes empreendimentos chegam a somar 700 pessoas, sendo 10 a 15 engenheiros, 50 técnicos e 640 operários, além de 300 profissionais para levar adiante as instalações elétricas e montagem dos aerogeradores. Isso gera, aproximadamente, 10 empregos diretos por máquina instalada.

Foi ressaltado, ainda pelo entrevistado, que na infraestrutura da obra, dificuldades relacionadas ao fornecimento de refeições são comuns e por vezes se faz necessário alugar imóveis na região para a hospedagem dos trabalhadores. Os EPIs e EPCs, bem como os uniformes são fornecidos por fornecedores de Natal. Ele apontou como a principal dificuldade no fornecimento de serviços a burocracia dos órgãos públicos com destaque para as exigências dos órgãos e da legislação ambiental. Além disso, observam-se critérios e pesos que nem sempre são objetivos e claros nas análises dos agentes públicos em relação aos projetos, incrementando os tempos no cronograma de execução das obras.

Procedeu-se, ainda, a entrevista com um empresário, com atuação em estudos de impactos ambientais, relações contratuais de terra, sondagem georreferenciada, fabricação de torre de medição (fora do estado do RN), montagem de torre de medição, tratamento químico da superfície do metal que compõe a torre de medição, além

de realizar atividades de capacitação no uso de programas computacionais e de instrumentação. Na construção de parques eólicos, ele atua com a sondagem do solo (investigação geotécnica do solo), e destaca que existem dificuldades com a aquisição de equipamentos laboratoriais. A análise de água é terceirizada e há opções de fornecedores no estado do RN. Na construção, a empresa, também, executa obra de infraestrutura, como construção civil de acessos a veículos e pessoa, drenagem pluvial, edificações de gerenciamento (refeitório, área de lazer, central de concreto, central de armação, central de forma, almoxarifado, entre outros), limpeza, terraplenagem e aterros, abertura de valas para as instalações do circuito de distribuição elétrica e de comunicação do parque, além das bases dos aerogeradores (fundação). Nas fundações, também, inclui-se o aterramento elétrico; as funções envolvidas com estaqueamento são terceirizadas pela empresa. As montagens das torres e naceles dos aerogeradores, da rede de distribuição e comunicação, da subestação e do sistema de supervisão e comando são efetivadas por outras empresas terceirizadas.

O período pré-construção compreende 06 meses em média, e, entre diversas ações, encontram-se, em especial, a montagem do canteiro e as demandas de licenciamento ambiental. As atividades de infraestrutura que se seguem duram, cerca, de 06 meses e a montagem dos aerogeradores, da subestação e da rede de distribuição mais, aproximadamente, 06 a 08 meses, totalizando 1 ano e 06 meses.

Ainda de acordo com o entrevistado, para a construção de 04 parques eólicos, cada um composto por 35 máquinas, empregam-se 300 a 350 profissionais, sendo 04 engenheiros, 04 técnicos, 02 a 03 encarregados de obras e 290 a 340 operários. Os principais profissionais demandados, cuja dificuldade esbarra na qualificação e no aquecimento da construção civil, correspondem aos armadores, carpinteiros e pedreiros; para o transporte dos funcionários, utilizam-se ônibus e carros alugados.

Apontam-se dificuldades da qualidade no fornecimento de refeição (03 refeições por dia), alojamento e pousadas. Dificuldade com o fornecimento de materiais de construção, em especial o cimento (fornecimento de Pernambuco), e oferta de mão de obra qualificada são também destaques entre as principais barreiras a serem mitigadas por ações de políticas públicas.

No tocante a certificação empresarial e profissional, tratou-se com o executivo de uma empresa de consultoria e certificação, que realiza ensaios em aerogeradores, como o ensaio de ruído, de qualidade de energia e testes de rendimento, além de realizar também medições de dados eólicos. A empresa possui escritório no Rio de Janeiro e já certificou mais de 60 parques eólicos. Segundo o entrevistado, apesar da certificação nem sempre ser compulsória ao empreendedor proprietário do parque eólico, a depender do tipo de atividade, observa-se que a ausência de acompanhamento adequado pode aumentar a necessidade de manutenção corretiva, antecipação de manutenção preventiva e redução da eficiência de produção de energia dos aerogeradores. A principal dificuldade nesse campo de atuação, portanto, está na compreensão, de diversos proprietários de parques eólicos no Brasil, da importância em realizar as atividades de prospecção e montagem por empresas certificadas.

O executivo informou que no tocante ao fornecimento de conversores eletrônicos para este mercado, há poucas opções no país. Essa área caracteriza-se por ter alto valor tecnológico agregado e não disponibilidade de tecnologia nacional. Restringindo-se o fornecimento local a peças, como dispositivos de proteção, condutores e aço para o gabinete e o circuito eletrônico que pode ser montado no país. Devido à alta especificidade de qualificação de mão de obra e de reservas quanto a segredos industriais, a absorção de recursos humanos locais é muito restrito para esta área de atuação.

Em outras especificidades do mercado, existem, ainda, por exemplo, empresas que fornecem enrolamentos para os eixos da turbina e do rotor do gerador, para a caixa de engrenagem e para o posicionamento das pás e da nacele. Ademais, estas empresas atuam, diretamente, na manutenção com fornecimento de serviço de troca de lubrificantes e retífica dos enrolamentos, incluindo serviço de manutenção preditiva com equipamentos, que permitem monitoramento online das condições do lubrificante e do enrolamento. A mão de obra é caracterizada pela alta especialização e pelo auxílio técnico em fábrica. Outro serviço destacado foi o da construção da subestação e a rede de distribuição elétrica. Nesse segmento, há empresas nacionais que fabricam e fornecem equipamentos para a composição de subestações e sistemas elétricos de distribuição, além da oferta de serviços associados à instalação, incluindo a contratação por concessionárias de energia e produtores eólicos.

Subestações e rede de distribuição de parques eólicos não se diferenciam de outras subestações de diferentes tipos de produtores de energia, exceto as instalações e parametrização de equipamentos de supervisão e controle, cuja responsabilidade é dos fabricantes dos aerogeradores.

Eventualmente, algumas preocupações de ordem da qualidade da energia, como filtragem de harmônico, controle de tensão ou correção de fator de potência, são demandadas pelo fabricante do aerogerador. As soluções tecnológicas para cada um desses quesitos de qualidade são variados e podem aumentar, consideravelmente, o custo das subestações. Por isso, em geral esses requisitos técnicos não são contratados, sendo solucionados pelo próprio fabricante do aerogerador. Em face desse mercado não se diferenciar em relação a qualquer outro em circuitos de distribuição de energia, trata-se de um campo de atuação maduro e com vasta experiência, incluindo uma indústria de base nacional que domina o fornecimento.

Entrevistou-se, também, nessa etapa, um executivo de empresa de grande porte que confirmou as informações apresentadas pelos executivos da fase de construção. Dentre outras atividades da grande empresa destaca-se a fabricação de aerogeradores com projetos em diversos países, cujas demandas no Brasil concentram-se, especialmente, em mão de obra qualificada para instalação e manutenção de aerogeradores.

### **5.3 Etapa de manutenção e operação de parques eólicos**

A etapa de manutenção e de operação destaca-se como a fase de atividades que ocorrem em longo prazo e que tende a se intensificar com o aumento no número de parques e o amadurecimento destes. Como todo maquinário composto, o conjunto constituído por componentes mecânicos e elétricos requer um planejamento de engenharia de manutenção específico para cada peça, fundamentado nos mais modernos compromissos de gestão de manutenção e operação, maximizando lucros e minimizando custos do empreendimento e, ainda, observando os interesses do negócio diante das eventuais mudanças das regras de mercado.

Em entrevista com um executivo de empresa que realiza instalação de aerogeradores, comissionamento, operação e manutenção, grandes reparações, retrofitting e manutenção e reparação de pás de rotor e atua em mais de 20 países, envolvidos em 7.000 MW de projetos de diversos fabricantes, observou-se que, na instalação de aero-

geradores as atividades dividem-se em: recepção e inspeção de todos os componentes e materiais chegados ao parque, antes de proceder à descarga dos mesmos; montagem mecânica; montagem interior, que pode englobar os trabalhos de média tensão dentro das torres; acabamentos, que incluem as limpezas, pinturas de proteção contra oxidação. Nessa etapa, utilizam-se contêineres com ferramentas com toda a aparelhagem necessária.

Apesar de muitos fabricantes definirem uma vida útil média de 20 anos dos aerogeradores, observa-se que a definição deste intervalo está relacionada principalmente com questões de financiamento e rentabilidade, pois, durante o processo de manutenção, componentes da máquinas como caixa de engrenagem, gerador, pás e conversores, entre outros, ao serem inutilizados, são simplesmente substituídos por novos, prorrogando, mais uma vez, a sua respectiva vida útil. Um exemplo desta situação é o caso da Espanha, que parques on-shore que utiliza equipamentos tecnologicamente ultrapassados, aquém da eficiência dos novos aerogeradores, mas por questões econômicas opta-se por prolongar a vida dos equipamentos ao invés da substituição dessas. O Brasil é recente na instalação de parques eólicos e nas entrevistas com executivos de empresas fornecedoras os proprietários dos parques eólicos no Brasil são os maiores beneficiário desse mercado, seguido dos fabricantes. Os proprietários dos parques por receberem os incentivos, em especial de financiamento, permitindo, assim, reduzir riscos e os fabricantes dos equipamentos pelo alto valor dos mesmos.

Outro aspecto importante destacado pelos entrevistados diz respeito a instalação dos fabricantes no país, que em geral, não agregam experiência tecnológica para pesquisadores, instituições e indústria nacional, e somado a isto a realidade de que algumas destas estão no país em caráter temporário, implicando na alta probabilidade de que ao final do ciclo de expansão dos empreendimentos eólicos, pouco se terá de retorno econômico direto na expansão dessa indústria para o país. As principais dificuldades associadas a atuação direta de brasileiros nesse campo de atuação residem na falta de técnicos e engenheiros com qualificação adequada. Em entrevista com executivo de empresa com atuação nacional e internacional, foi citada uma experiência em países na Europa que, em determinado momento, incentivou a formação de engenheiros e técnicos voltados para o mercado da energia eólica em instituições de ensino tradicionais.



Chegou-se à conclusão de que os profissionais não eram absorvidos pelas empresas, pois lhes faltavam uma capacitação mais focada nas tecnologias dos equipamentos que as empresas utilizavam para compor seus aerogeradores. Assim, as empresas optaram em formar sua mão de obra em campo ou em seus próprios centros de formação. Além disso, existem desafios de gerenciamento dessa mão de obra como a verificação e supervisionamento do trabalho e as estratégias de autocontrole.

### 5.3.1 Cadeia Produtiva de Manutenção e Operação

As figuras 59 e 60 explicitam as atividades relacionadas à manutenção e operação e a todas as cadeias produtivas no mercado de energia eólica, respectivamente. Apesar de estarem representadas separadamente no diagrama, as atividades de manutenção e operação, em geral, são aportadas pelas mesmas empresas.

Foi entrevistado para dar o suporte nesta etapa o diretor de um centro de pesquisa e desenvolvimento em energia da Espanha, que concentra suas atividades em desenvolvimento tecnológico, operação e manutenção de parques. O mercado de energia eólica, na Espanha, é consolidado com histórico de produção de mais de vinte anos e de atual injeção de energia a partir de parques eólicos correspondente a 60% da matriz de geração espanhola, negociados, atualmente, em torno de US\$ 50,00/MWh. A regulação desse mercado permitiu que não apenas o valor da energia comercializada, mas também outras condicionantes fossem consideradas, tais como investimentos em projetos sociais, instalação de unidades fabris e aproveitamento de mão de obra local.

Acrescenta-se a esse contexto uma relação de demanda aquém da oferta de energia, caracterizando o mercado espanhol como um dos mais singulares e impactando diretamente nas decisões de investimentos em novos projetos operando a partir de fontes renováveis ou não renováveis de energia.

Em função da oferta maior que demanda por energia do mercado espanhol e redução de projetos eólicos no país, os fabricantes passaram a exportar equipamentos e a atuar em serviços de manutenção e operação. Nos primeiros anos do mercado, pequenas empresas realizavam estas atividades mas, com a entrada dos fabricantes para esse serviço, com preços mais competitivos, obrigou-os a diversificarem seus serviços e a atuarem fora do país.

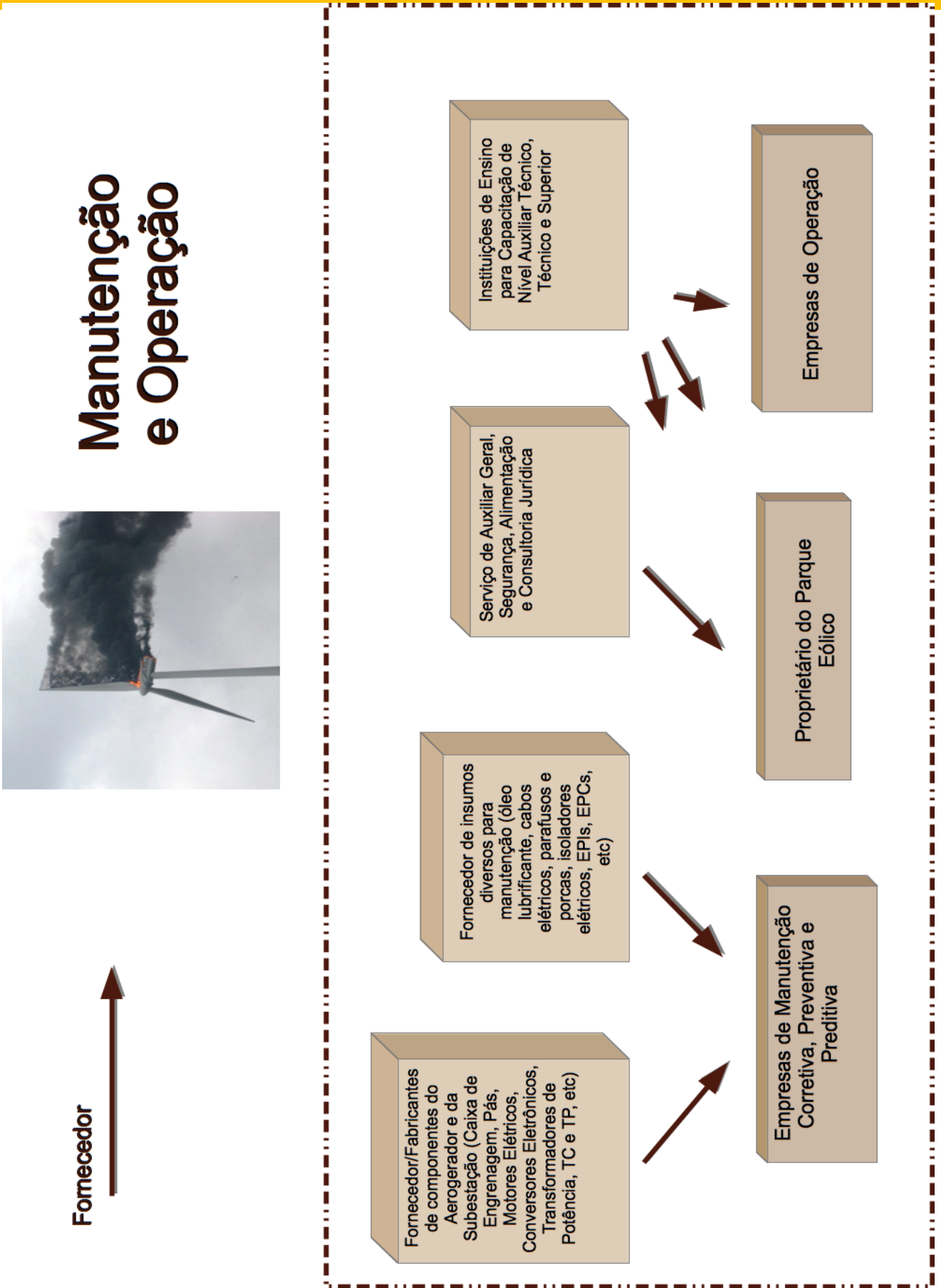


Figura 59. Cadeia Produtiva das Atividades de Manutenção e Operação. Fonte: Própria dos autores.

# Cadeia Produtiva do Setor de Energia Eólica

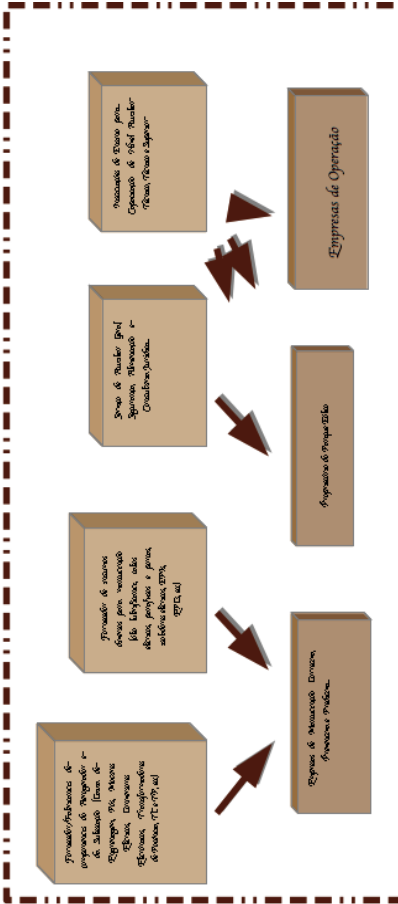
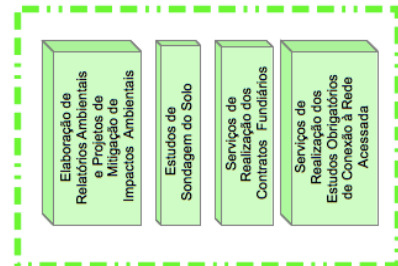
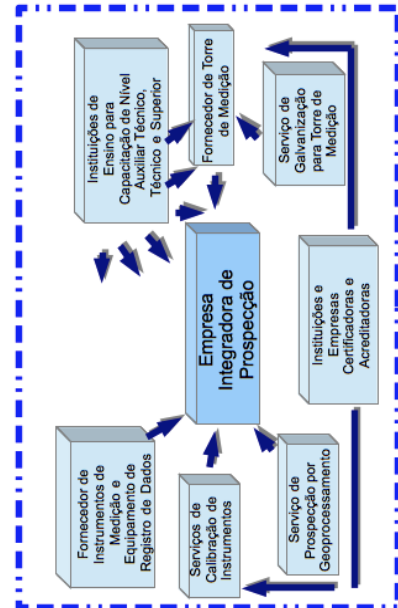
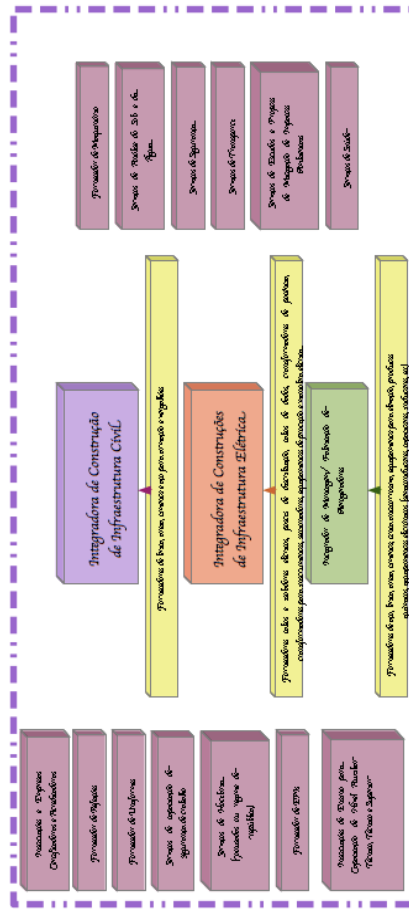
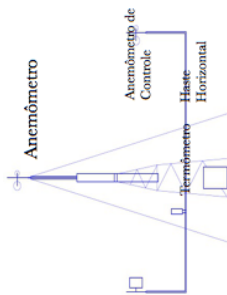


Figura 60. Cadeias Produtivas de Energia Eólica. Fonte: Própria dos autores.

Assim, pode-se caracterizar o mercado de manutenção de parques eólicos como sendo relativamente volátil. Não obstante a atual crise econômica espanhola, observa-se uma leve recuperação no incremento de demanda por energia nos últimos dois anos e, conseqüente possibilidade de retomada de investimentos a longo prazo.

A condição de oferta além da demanda na Espanha, associada a um alto percentual de geração por fontes não despacháveis, força a operação do sistema a desligar parte dos aerogeradores dos parques eólicos, especialmente também porque o fator de demanda do sistema de geração é próximo de 50%. Além disso, fatores utilizados para parametrizar a qualidade da energia, como controle de tensão, fator de potência e harmônicos, constituem outras preocupações aportadas pelos proprietários de parques naquele país.

Além disso, apesar do avanço tecnológico com aerogeradores mais eficientes e de maior potência nominal, os proprietários de parques eólicos na Espanha, em geral, ainda não decidiram em substituir as máquinas já instaladas por entenderem não compensar, considerando uma análise de custos e de riscos. Assim, tende-se a incrementar a busca, dos proprietários de parque eólicos mais maduros, por empresas que fornecem serviços de manutenção e por serviços de otimização de sua produção.

No contexto de microgeração naquele país, destaca-se a possibilidade de geração de consumidores residenciais e comerciais. As principais preocupações, nessa área, é a de certificações e desenvolvimento de projetos de otimização de ruído e eficiência de pequenos aerogeradores. Além disso, outro foco de atenção é para as responsabilidades financeiras e técnicas das coparticipações sociais do sistema, no contexto da microgeração, de consumidores, distribuidores, geradores e agentes reguladores e operadores do sistema.

Os investimentos em outras fontes, apesar de, atualmente, apresentar pouco incremento na matriz energética da Espanha, a energia solar por placas fotovoltaicas pode representar forte tendência futura, uma vez que utiliza sistema de conversão eletrônica semelhante, compartilha eventualmente o mesmo sistema de distribuição e conexão à rede já existente dos parques eólicos e, ainda, possui característica de complementaridade com a fonte eólica, inclusive podendo ser consorciadas. Por fim, o entrevistado avalia que projetos de parques eólicos *offshore* (em mar) ainda

possuem preços muito elevados, podendo alcançar 05 vezes ou mais os custos de produção em terra devido os custos da tecnologia de sustentação das torres, podendo inviabilizar, tecnicamente, o projeto, dependendo da profundidade, de manutenção e equipamentos especializados e de linhas de distribuição.

Ademais, houve contatos com o Coordenador-Técnico de Serviços e Engenheiro de uma associação empresarial do setor de energia eólica na Espanha, que congrega mais de 200 empresas, que, juntas, representam mais de 95% do setor na Espanha, incluindo proprietários de parques eólicos, fabricantes de aerogeradores e componentes, associações nacionais e regionais, organizações ligadas ao setor, consultores, entidades financeiras e seguradoras, entre outros. Essa associação coordena pesquisas nas áreas em torno da energia eólica e de serviços associados, respondendo por diferentes demandas. Contribui na formulação dos marcos normativos e realiza atividades de capacitação, além de organizar eventos em nível nacional e internacional.

Observa-se que a capacitação destinadas às atividades de manutenção tem foco em profissionalização de curta duração para nível médio, superior e pós-graduação voltados para o atendimento geral ou para atender a uma especificidade de tecnologia dos fabricantes.

Há algumas parcerias de empresas de manutenção da Espanha, que integram essa associação, com instituições no Brasil para a realização de cursos que necessitam de infraestrutura básica, com foco em segurança operacional e procedimentos que consideram as condições de trabalho a serem encontrados nos aerogeradores. Fatores como saúde e segurança do trabalhador são temas abordados nos cursos.

Vale destacar que o mercado na Espanha se encontra estagnado para novos grandes projetos de geração devido ao aumento da oferta de energia comparativamente à demanda. Assim, alguns fabricantes passaram também a desenvolver atividades de manutenção, o que, naturalmente, reduz as oportunidade para pequenas empresas e aumenta o tempo dos contratos de manutenção entre fabricantes e proprietários de parque eólicos. No passado, quando a energia eólica ainda era incipiente, e a demanda era mais próxima da oferta, pequenas empresas participavam mais da cadeia de manutenção e operação.

As empresas de manutenção devem buscar outros mercados (petróleo, solar, etc.). Essas empresas, na Espanha, estão expandindo, buscando novos mercados onde a atividade está iniciando. Além disso, em face da experiência e da qualidade da capacitação, observa-se que os profissionais espanhóis são reconhecidos internacionalmente nessa área.

Outra característica importante é o fato de que empresas de manutenção podem trabalhar com atividades preditivas, preventivas ou corretivas separadamente ou incorporar todas essas atividades, considerando que os profissionais em cada uma delas possuem perfis diferentes. Em geral, pequenas empresas podem realizar as manutenções, desde que estejam certificadas ou ainda focar em ensaios de materiais e equipamentos e de serviços cuja demanda é considerada significativa. Ainda segundo os entrevistados, parceiras da associação estão se estabelecendo em outros países, como no Uruguai, onde são ofertados cursos e contatos com empresas espanholas.

No Brasil, um dos maiores projetos de parques eólicos localiza-se no Rio Grande do Norte; são as Centrais Eólicas Alegria I e II. Em entrevista com um executivo desses empreendimentos, foi informada a necessidade de contratação eventualmente de serviços de empresas de outros Estados da Federação. Trata-se de atividades que envolvem desde a inspeção periódica de equipamentos de proteção individuais, como cinto de segurança para trabalhos em altura, até a limpeza das pás que exigem diversas certificações, análise química e física de óleos lubrificantes, instalação e manutenção de sistemas de telecomunicações, instalação e manutenção de torre de medição de condições atmosféricas e torre de comunicação de dados e de segurança.

Apesar da eventual contratação de pequenas empresas para a realização de algumas atividades de manutenção do aerogerador, como coleta de óleos, inspeção visual com instrumentos de termovisão ou com ultrassom, avalia-se, que nas demais atividades de manutenção, especialmente nos equipamentos que se encontram na nacelle, a concorrência com os fabricantes pode inviabilizar essa terceirização, pois os fabricantes dispõem de grande experiência e gama de fornecedores de bens e serviços.

Segue lista de serviços demandados pelo executivo dos parques eólicos de Alegria I e II. Tais serviços estão subdivididos em específicos, especializados e comuns. Os serviços específicos são aqueles inerentes ao setor eólico ou então serviços especia-

lizados que foram “modificados” visando à adequação ao setor eólico. Os serviços especializados são aqueles que requerem um conhecimento específico, mas normalmente são aplicados a outros setores. E os serviços comuns são aqueles para os quais se encontram fornecedores com maior facilidade e que não necessitam de um desenvolvimento técnico especializado.

**Serviços específicos:**

1. Consultoria ambiental para:

- Inventário das espécies existentes na fauna e flora.
- Suporte ambiental em todas as fases do projeto.
- Monitoramento da avifauna.
- Monitoramento da dinâmica costeira.
- Relatórios ambientais regulares.
- Recuperação de áreas degradadas.
- Renovação de áreas degradadas.
- Renovação de licenças de operação.
- Elaboração e acompanhamento de programas socioambientais.

2. Manutenção dos aerogeradores.

3. Manutenção das instalações elétricas (rede de baixa tensão, rede de média tensão, subestação e linha de transmissão).

4. Predição de vento e geração.

5. Videoscopia de componentes da turbina (sobretudo gearbox).

6. Limpeza de pás e turbinas em operação (trabalho em altura-rape).

7. Instalação e manutenção de torres anemométricas.



8. Serviço de treinamento/formação específica no setor eólico.

9. Inspeção de saída de garantia das turbinas:

- Análise de óleo dos componentes da turbina.
- Inspeção interna e externa das pás.
- Inspeção geral da turbina.
- Inspeção dos itens de segurança da turbina.
- Análise de vibração.

10. Manutenção preditiva:

- Análise de óleo.
- Análise de vibração.

### **Serviços especializados:**

1. Manutenção de linha de transmissão

- Limpeza da faixa de domínio da LT.
- Inspeção por termografia.
- Lavagem de isoladores.

2. Lavagem de isoladores da subestação

3. Aplicação de produto específico para proteção extra aos isoladores da subestação por conta da elevada salinidade e areia na região.

4. Coleta de resíduos contaminados da manutenção.

5. Coleta e análise de óleo (gearbox e trafos).

6. Realização de interface torre de medição—NOS, conforme definido nos Procedimentos de Rede.

7. Serviços de telefonia fixa e internet, pois o projeto não é atendido por operadoras convencionais e necessita de torres e antenas para viabilizar esses serviços via rádio.

8. Serviço de comunicação via rádio para área interna do parque.

9. Fornecimento de link dedicado para conexão em tempo real com NOS conforme definido nos procedimentos de rede.

10. Serviços de guindaste e caminhões muncks.

11. Treinamentos:

- NR10 - serviços em eletricidade.
- SEP - sistema elétrico de potência.
- NR35 - trabalho em altura.
- Resgate em altura.
- Primeiros socorros.
- Combate a incêndio.

12. Serviços relacionados a condições de contingência:

- Descargas parciais.
- Teste de resistência de isolamento com Megger ou Hi-pot.
- Localização de falhas em cabos subterrâneos com o Refletômetro.

13. Vigilância fixa e móvel (ronda).

14. Instalação de sistemas de segurança (CFTV, alarmes, acesso via código, etc.).

15. Fornecimento, inspeção e calibração de equipamentos e ferramentas necessárias à manutenção.

16. Fornecimento e inspeção de EPI's, conforme definido em norma:

- Capacetes.
- Cistos de escalada.
- Trava-quedas.

17. Serviços de exames admissionais, demissionais e periódicos específicos para as atividades desenvolvidas em um parque eólico (trabalho em altura, trabalho em área energizada, etc. conforme definido na NR10 e NR35, respectivamente).

18. Execução de programas e laudos (PPRA, PCMSO, LTCAT, etc).
19. Assessoria jurídica para problemas que surgem com proprietários durante a implantação do parque eólico e da sua linha de transmissão.
20. Levantamento topográfico de todas as propriedades existentes no projeto.
21. Fornecimento de uniformes, inclusive uniforme resistente ao fogo (RF)
22. Construção da sede administrativa e almoxarifado.

### **Serviços comuns:**

1. Limpeza e manutenção de acessos e áreas internas do parque.
2. Construção de meio fio e descidas d'água.
3. Instalação de cerca, porteiras e portões.
4. Paisagismo.
5. Confecção e instalação de placas:
  - De sinalização das vias internas do parque.
  - De identificação do empreendimento.
  - De licenciamento ambiental.
6. Manutenção civil e predial.
7. Manutenção elétrica predial.
8. Serviços de informática e suporte técnico.
9. Venda e instalação de mobiliário para escritório, refeitório, almoxarifado, vestiário, etc.

O setor eólico embora recente no Brasil já apresenta contornos que apontam para o seu futuro. A cadeia produtiva encontra-se em consolidação, com os ajustes naturais das quantidades de players por segmentos principais que a compõe. A regulação do mercado evolui ao sabor da política, das condições econômicas do país e da evolução da tecnologia.

Os desafios estruturais como capacitação e infraestrutura gradativamente são adaptados à realidade e a capacidade de resposta local. No tocante ao fornecimento local há muito a ser feito. Na fase de prospecção há espaços importantes a serem explorados por empresas regionais, seja por incorporação de tecnologia, ou capacitação, certificação, etc. Na fase de construção, destacam-se as oportunidades de melhoria no fornecimento de serviços de acomodação de trabalhadores, alimentação, logística, saúde, dentre outros. Todavia, o grande mercado que se descortina é o da operação e manutenção dos parques. As oportunidades relacionadas as atividades de operação dizem respeito a otimização, melhoria de desempenho de máquinas e do conjunto, capacitação de profissionais em supervisão e monitoramento, dentre outras especializações. As atividades de manutenção são as mais promissoras em relação as demandas de fornecimento. A quantidade de parques eólicos é crescente, mas incipiente no Brasil, país continental, com cenário de escassez de energia.

A experiência vivenciada na Espanha e em outros países pode servir de referência para o Brasil, no papel dos governos na provisão de políticas públicas de regulação e de condições competitivas em infraestrutura e capacitação de recursos humanos e de instituições tecnológicas. A cadeia produtiva do setor eólico é complexa, global e concentra expertises e tecnologias protegidas seja por patentes, confidencialidade ou normas e certificações internacionais, nos componentes de maior valor nos parques eólicos. A complementaridade entre os parques eólicos e solares já evolui significativamente na Espanha e pode apontar um caminho de oportunidades para os fornecedores do país.

O fornecimento local competitivo é um desafio que requer portanto, investimento, inteligência e articulação governamental, institucional e da iniciativa privada para maximizar as potencialidades locais, com vistas a um mercado global sustentável e perspectivas promissoras para as empresas e profissionais brasileiros.

## Referências

ABEEOLICA, Análise do Marco Regulatório para a Geração Eólica no Brasil. Relatório de Síntese - [www.abeeolica.org.br/](http://www.abeeolica.org.br/) acessado em 01/08/2013.

ALE, Jorge Antonio Villar et al. Metodologia e Resultados de Calibração de Anemômetros. V CONGRESSO BRASILEIRO DE METROLOGIA Metrologia para a competitividade em áreas estratégicas, 9 a 13 de novembro de 2009. Salvador, Bahia – Brasil.

ALEWINE, Kevin. Wind Turbine Generator: Failure Modes. 2011. p. 1 – 29.

ALVIM Filho, A. C., 2010. Expectativas para Energia Eólica Após Leilões 2009/2010 (Aspectos Regulatórios). ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica). Presentation at Brazil Wind Power 2010. Rio de Janeiro, Brazil.

ALVIM Filho, A. C., 2007. Regulação Pertinente à Exploração de Usinas Eolielétricas no Brasil. ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica). Seminário no BRAS-WIND 2007. Porto Alegre, Brasil.

AMBIENTAL Consultoria & Projetos LTDA; Relatório de Impacto Ambiental – RIMA: Central Eólica Frexeiras Ltda; Disponível em: [http://www.semace.ce.gov.br/wp-content/uploads/2012/06/RIMA\\_Fleixeiras\\_PDF.pdf](http://www.semace.ce.gov.br/wp-content/uploads/2012/06/RIMA_Fleixeiras_PDF.pdf); consultado em 01 de julho de 2013;

AMERICAN PUBLIC POWER ASSOCIATION (EUA). Establishing An In-House Wind Maintenance Program. A Case Study of Los Angeles Department For Water and Power. 2 Ed. Nov. 2011.

ANAIS XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 13 a 18 de abril de 2013, INPE.

ANEEL – AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2012, O Banco de Informações de Geração da ANEEL. Disponível em [www.aneel.gov.br](http://www.aneel.gov.br). Site visitado em dezembro de 2013.

BRUNDTLAND, Gro Harlem. Relatório da Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento. Rio de Janeiro, 1988.

CARDOSO, Célio Orli et al. Construção e calibração de anemômetros de baixo custo. Revista de Ciências Agroveterinárias. Lages, v.8, n.2, p. 122-128, 2009.

CCEE (Câmara de Comercialização de Energia Elétrica) <http://www.ccee.org.br/> Acesso em agosto de 2013.

CEPEL (Centro de Pesquisas em Energia Elétrica), 2001. Atlas do Potencial Eólico Brasileiro. MME/ELETROBRÁS/CEPEL. Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

CGEE (Centro de Gestão de Estudos Estratégicos), Análises de percepções para o desenvolvimento de uma política de CT&I no fomento da energia eólica no Brasil, 2012.

CLOVIS Bôsko Mendonça Oliveira, “Técnicas de Simplificação de Redes e Otimização Multi-objetivo para Análise de Variações de Tensão em Regime Permanente Provocadas por Parques Eólicos Integrados ao Sistema Elétrico”, tese de doutorado, Orientação: M.F.deMedeiros Jr., Coorientação: J.T.deOliveira, UFRN, 2010.

CONAMA, Resolução CONAMA nº 001/1986, 1986. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=23>>. Acesso em: 28 agosto 2013.

CONAMA, Resolução CONAMA nº 237/1997, 1997. Disponível em: < <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=277>>. Acesso em: 28 agosto 2013.

CONAMA, Resolução CONAMA nº 279/2001, 2001. Disponível em: < <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=277>>. Acesso em: 28 agosto 2013.

CRISTINA, Aline – Acadêmicos LORENZETTI, Fernando, ZANELLA, João Victor e FILHO, João C. P. ENSAIO PRESSIOMÉTRICO, Universidade do Estado de Mato Grosso. Disponível em: <[http://www.unemat-net.br/prof/foto\\_p\\_downloads/fot\\_3491grupo\\_6\\_-\\_ensaio\\_puessiomuico\\_pdf.pdf](http://www.unemat-net.br/prof/foto_p_downloads/fot_3491grupo_6_-_ensaio_puessiomuico_pdf.pdf)>. Acesso em: 10 setembro 2013.

CTGAS-ER; Disponível em: <http://www.ctgas.com.br/index.php/2012-04-10-19-15-18/especializacao-tecnica-em-energia-eolica>. Consultado em: 23/06/2013.;

DATAPREV (Empresa de Tecnologia e Informações da Previdência Social), <http://www.dataprev.gov.br>. Acesso em junho de 2013.

DUTRA, R. M., 2006. Propostas de Políticas Específicas para Energia Eólica no Brasil Após a Primeira Fase do PROINFA. Tese de D.Sc. Programa de Planejamento Energético, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil.

DUTRA, R. M., 2010. Políticas de Incentivo para Fontes Alternativas de Energia, Parte II: Experiências Brasileiras. Seminário na Disciplina de Planejamento Energético Integrado em Novembro de 2010. Programa de Planejamento Energético, COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro, Brasil.

DUTRA, R. M., Szklo, A. S., 2008. Incentive policies for promoting Wind Power production in Brazil: Scenarios for the Alternative Energy Sources Incentive Program (PROINFA) under the new Brazilian electric power sector regulation. *Renewable Energy* 33, pp. 65-76.

DYMINSKI, Andrea Sell. Cap 04 – Investigação do Subsolo. Slide de aula. Universidade Federal do Paraná – UFPR. Disponível em: <<http://www.cesec.ufpr.br/docente/andrea/Investig2.pdf>>. Acesso em: 10 setembro 2013.

EARP, Calvin; HIGGS, Billy. Raising Generator Reliability. 2010. p. 64-71.

ELETROBRAS – Eletrosul; Relatório Ambiental Simplificado: Parque Eólico Coxilha Negra, 2012;

ENZENSBERGER, N., 2002, “Policy Instruments Fostering Wind Energy Projects – A Multi-perspective Evaluation Approach”, *Energy Policy*, v. 30, pp. 93-801.

ENERGIEKONTOR Portugal – Energia Eólica Lda; Relatório de Conformidade Ambiental do Projeto de Execução: Parque Eólico de Penedo Ruivo; Disponível em: [http://aia.apambiente.pt/IPAMB\\_DPP/docs/SE65.pdf](http://aia.apambiente.pt/IPAMB_DPP/docs/SE65.pdf) ; consultado em 10 de julho de 2013;

ENGEMEP – SERVIÇOS DE MANUTENÇÃO INDUSTRIAL E DE EQUIPAMENTOS DE EXTRAÇÃO DE PETRÓLEO LTDA. Atração de Investimentos no Estado do Ceará: Mapa Territorial de Parques Eólicos. Agência de Desenvolvimento do Estado do Ceará, 2010.

EMERSON, Pedro Lima da Silva, “Identificação e Descrição das Atividades Técnicas durante a Fase de Manutenção de Parques Eólicos”, Trabalho de Conclusão de Curso de curso lato sensu em Energia Eólica da UFRN/CTGAS-ER, orientado pelo Prof. Dr. Clóvis Bôsko Mendonça Oliveira, 2013.

EOLICAS Trairi: Energias Eólicas do Nordeste S/A; Como funciona um parque eólico – Instalação dos Aerogeradores. Disponível em: <http://eolicastrairi.com.br/2012/09/como-funciona-um-parque-eolico-instalacao-dos-aerogeradores/>; Consultado em 12/07/2013.



EPE (Empresa de Pesquisa Energética), <http://www.epe.gov.br/> Acesso em dezembro de 2013.

ESPEY, SIMONY, 2001, “Renewable Portfolio Standard: A Means for Trade with Electricity from Renewable Energy Sources?”, *Energy Policy*, v. 29, pp. 557-566.

FURUKAVA, Marciano. Planejamento e Controle da Manutenção Aplicada a Energia Eólica. 2012. Notas de Aula. II Curso de Especialização em Energia Eólica – CTGÁS-ER/UFRN, Natal, 2012.

GAVINO, Natália Azevedo. Energia Eólica: uma análise dos incentivos à produção (2002-2009). MONOGRAFIA DE BACHARELADO, INSTITUTO DE ECONOMIA, UFRJ, Abril 2011.

GORGULHO, Guilherme. Investimentos em Energia Limpa Cresceram 30% no Mundo em 2010, 2011. Disponível em: < <http://www.inovacao.unicamp.br/noticia.php?id=892>>. Acesso em: 14 agosto 2013.

GONZALEZ, F. G., “Mantenimiento Predictivo en la Industria Eólica,” Zaragoza, 2009.

GUERRA, SINCLAIR M. GUY, 2002, “Energias Alternativas e a Liberação do Mercado no Brasil”. In: Fontes Alternativas de Energia e Eficiência Energética: Opção para uma POLÍTICA Energética Sustentável no Brasil, Coalizão Rios Vivos, pp. 89-96, Campo Grande.

GWEC - Global Wind Energy Council, <http://www.gwec.net/> - acessado em 05/08/2013.

HILÁRIO, C. Wind Turbine Inspection, a Strategic Service? Disponível em: <[http://www.dewi.de/dewi/fileadmin/pdf/publications/Magazin\\_39/08.pdf](http://www.dewi.de/dewi/fileadmin/pdf/publications/Magazin_39/08.pdf)>. Acesso em: 21 dez. 2012.

IDEMA, Resolução CONEMA nº 001/2009, 2009.

IDEMA. Instruções Técnicas para Apresentação de Projetos de Geração de Energia Elétrica – Licença Prévia – LP, IDEMA, 2006.

IDEMA. Relação de Documentos Básicos para o Licenciamento Ambiental, 2006.

IEC 61-400-12-1, Anexo G, Norma Internacional, 2005.

JORNAL ASN; SEBRAE vai capacitar pequenos negócios do setor eólico no RN; Disponível em: <http://www.agenciasebrae.com.br/noticia/11660950/geral/sebrae-vai-capacitar-pequenos-negocios-do-setor-eolico-no-rn/?indice=10>; Consultado em: 05/06/2013;

Moura, JULIO César. Proteção de Sistemas Elétricos: uma Visão de sua Utilização em Parques Eólicos; Disponível em: <http://www.solenerg.com.br/files/TCC-JULIOMOURA-protecaoeolica.pdf>; Consultado em 20/05/2013.

Mello, M.T.C. de. R.E.C., Silva. D. F. do A. Lemos. Fernandes, E. O uso de técnicas de geoprocessamento na prospecção de áreas para aproveitamento de energia eólica, Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 13 a 18 de abril de 2013, INPE.

MCTI, Energia Eólica Ganha Impulso e Reforça Matriz Renovável no País, 2011. MEYER, NIELS I., 2003, "European Schemes for Promoting Renewable in Liberalised Markets", Energy Policy, v. 31, pp. 665-676.

MME – MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA, 2003, Modelo Institucional do Setor Elétrico. Brasília-DF, Brasil.

MME (Ministério de Minas e Energia), <http://www.mme.gov.br/> Acesso em agosto de 2013.

NOGUEIRA, L. P. P., 2011. Estado Atual e Perspectivas Futuras para a Indústria Eólica no BRASIL. Dissertação de Mestrado do Programa de Planejamento Energético, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil.

ONS (Operador Nacional do Sistema Elétrico), [www.ons.org.br](http://www.ons.org.br). Acesso em julho de 2013.

PAIVA, João Maria Vital de, "Identificação de Oportunidade de Negócio no Mercado de Energia Eólica com Base nos Parques Eólicos", Trabalho de Conclusão de Curso de curso lato sensu em Energia Eólica da UFRN/CTGAS-ER orientado pelo Prof. Dr. Clóvis Bôsko Mendonça Oliveira, 2011.

PELLEGRIN, Ivan. Araújo, Renato Samuel B. de. Caracterização do arranjo produtivo do petróleo da bacia de Campos e a estruturação de uma rede de empresas, a Rede de Petro-BC. Rio de Janeiro: SEBRAE/RJ, 2004.

PINHO, António Monteiro; Gestão de Projetos de Parques Eólicos; Disponível em: <http://paginas.fe.up.pt/~jmfaria/TesesOrientadas/MIEC/GestaoProjectParqEolicos.pdf>; consultado em: 11/07/2013. Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2007/2008 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2008.

PLANALTO, <http://www.planalto.gov.br/> Acesso em maio de 2013.

PORTAL-ENERGIA, "Principais Avarias Electricas e Mecânicas em Aerogeradores Energia Eólica," 1 Maio 2011. [Online]. Available: <http://www.portal-energia.com/principais-avarias-electricas-e-mecanicas-em-aerogeradores-energia-eolica/>. [Acesso em 23 Agosto 2013].

PORTAL Mercado Aberto; Sebrae RN inicia capacitação de pequenas empresas para atuar no setor eólico; Disponível em: <http://www.portalmercadoaberto.com.br/noticias-det?noticia=3860>; Consultado em: 02/07/2013;

PROVENTOS • Operação e Manutenção de Parques Eólicos. Apostila do Curso de Operação e Manutenção de Parques Eólicos – CTGÁS-ER. 2012. p. 95 – 129.

RBC, Rede Brasileira de Calibração, 2014. Disponível em: [http://www.inmetro.gov.br/laboratorios/rbc/lista\\_laboratorios.asp?acao=consulta](http://www.inmetro.gov.br/laboratorios/rbc/lista_laboratorios.asp?acao=consulta). Acesso em: 05 de fevereiro de 2014.

REN21 (Renewable Energy Policy Network for the 21st Century), 2010. Renewables 2010: Global Status Report. REN 21 Secretariat, Paris, França. Wachsmann, U., Tolmasquim, M. T., 2003. Wind power in Brazil – transition using German experience. Renewable Energy 28 pp. 1029-1038.

REVISTA Cenários: Energia Eólica; Editora Brasil Energia; Anuário 2012;

REVISTA Manutenção & Tecnologia, Edição 162;Matéria: Mercado em Ascensão Impulsionada Introdução de Novas Tecnologias; Disponível em: [http://www.revistamt.com.br/PDFS/MT\\_162.pdf](http://www.revistamt.com.br/PDFS/MT_162.pdf); consultado em: 11/07/2013.

ROMERO, Thiago. Brasil usa apenas 1% do potencial eólico brasileiro - INPE, Fonte: Agência FAPESP, 2008. Disponível em: <http://www.institutocarbonobrasil.org.br/?item=73&id=720332>. Acesso em: 14 agosto 2013.

ROSA, LUIZ P., TOMASQUIM, M., D'ARAUJO, ROBERTO & SOARES, S., 2000, Os Riscos de Déficit de Energia e a Privatização de FURNAS, Rio de Janeiro, (mimeo).

SCOTTISH Renewables - Scottish Natural Heritage e Scottish Environment Protection Agency Forestry Commission Scotland;Boas Práticas durante a Construção de Parques Eólicos; Disponível em: <http://www.snh.org.uk/pdfs/strategy/renewables/Good%20practice%20during%20windfarm%20construction.pdf> ; consultado em: 01/07/2013.

SIGEL – Sistema de Informações Georreferenciadas do Setor Elétrico, ANEEL, <http://sigel.aneel.gov.br/sigel.html> - acessado em 09/12/2013.

SILVA, Elisa M. de Jesus. O ENSAIO PRESSIOMÉTRICO: METODOLOGIA DE ENSAIO E CALIBRAÇÃO DO EQUIPAMENTO. Escola Superior de Tecnologia. Disponível em: [http://sapiencia.ualg.pt/bitstream/10400.1/152/1/11\\_23.pdf](http://sapiencia.ualg.pt/bitstream/10400.1/152/1/11_23.pdf). Acesso em: 10 setembro 2013.

SOARES, Luciane Teixeira. Planejamento e Implantação de um Parque Eólico. 2010. 76f. Universidade Federal do Ceará – UFC, Fortaleza, 2010.

OLAF, T. SWEN e H. Jürgen, “Typical damages at wind turbines - and their prevention,” em COWEC, Berlin, 2013.

VELLOSO, Dirceu A. LOPES, Francisco R. Fundações – Critérios de Projeto – Investigação do Subsolo – Fundações Superficiais. Editora Oficina de Textos, 2004.

WELKE, MEREIKE, 2002, “Energias Renováveis em Mercados Liberalizados In: Fontes Alternativas de Energia e Eficiência Energética: Opção para uma Política Energética Sustentável no Brasil, Coalizão Rios Vivos, pp. 69-88, Campo Grande.

WILLIAN, Ricarte Dantas, “Identificação de Oportunidade de Micro e Pequenas Empresas e Capacitação do Trabalhador na Construção de Parques Eólicos”, Trabalho de Conclusão de Curso de curso lato sensu em Energia Eólica da UFRN/CTGAS-ER orientado pelo Prof. Dr. Clóvis Bôsko Mendonça Oliveira, 2013.

WWEA - World Wind Energy Association, <http://www.wwindea.org/home/index.php> - acessado em 10/08/2013.

## ANEXO A – GUIA DE EMPRESAS DO SETOR EÓLICO

DESENVOLVEDORES E GERADORES DE ENERGIA	
1. Alubar Energia	2. Copel
3. Alantic Energias Renováveis	4. CPFL Renováveis
5. Bionergy	6. Dobrovê Energia - DESA
7. Bons Ventos	8. Desenvix Energias Renováveis
9. Braselco	10. Dren Brasil
11. Brasventos	12. Ecopart Investimentos
13. Brennand Energia Eólica	14. EDP Renováveis
15. Casa dos Ventos	16. Electra Power
17. Cedin	18. Eletrobrás Eletrosul
19. Eletrobrás	20. Eletrowind
21. Eletrobrás Eletronorte	22. Enel Green Power Latin America
23. Celsc	24. Elecnor Renováveis - Enerfin
25. CTGAS-ER	26. Enerbrasil - Iberdrola
27. Cemig	28. Energio
29. Eletrobrás Chesf	30. Energisa
31. Construtora Andrade Gutierrez	32. EPP Energia
33. ContourGlobal	34. Eletrobrás Furnas
35. Galvão Energia	36. Gestamp
37. Guarany – Queiroz Galvão	38. Iberdrola
39. JMalucelli Energia	40. Light
41. MartiferRenewables	42. MML Energia
43. MPX	44. Multiner
45. Neoenergia	46. Odebrecht Energia
47. Omega Energia Renovável	48. Pacific Hydro Energia do Brasil

49. Petrobras	50. Renova Energia
51. Safira Energia	52. Serveng Energia
53. Servtec Energia	54. SIIF Énergies
55. Sowitec do Brasil	56. Theolia Brasil
57. Tractebel Energia	58. Vale Soluções em Energia
59. Ventos Tecnologia	60. Voltalia do Brasil
<b>EMPRESA DE AEROGERADORES DE GRANDE PORTE</b>	
61. Alstom	62. Fuhrlander Energia Brasil
63. Gamesa	64. GE
65. Siemens	66. Suzlon
67. Vesta	68. WEG-MTOI
69. Impsa Wind / Energimp	70. Wobben/Enercon
<b>EMPRESA DE AEROGERADORES DE PEQUENO PORTE</b>	
71. BWS	72. Eletrovento Geradores Eólicos
73. Enersud	74. Mectrial Maquinas e Equipamentos
75. Ropatec do Brasil	76. Satrix Energias Renováveis
<b>EMPRESA DE FABRICAÇÃO DE PÁS</b>	
77. Aeris Energy	78. Tecsis Wind
<b>EMPRESA DE FABRICAÇÃO DE TORRES</b>	
79. Torrebras	80. Engebasa
81. Inneo Torres	82. Intecnial
83. Maquinas Piratininga	84. RM Eólica
85. ICEC	86. Tecnomaq
<b>EQUIPAMENTOS, PEÇAS E COMPONENTES.</b>	
87. Adelco	88. Alubar Metais e Cabos
89. Bosch Rexroth	90. Braselco
91. BrayControls	92. Delta Greentech
93. DrakaCableteq Brasil	94. Halio do Brasil
95. Hine do Brasil	96. Hydac
97. Hydratight	98. Hytoc
99. Inael Power	100. Indústrias Romi – Unidade de Fundidos e Usinados
101. Mastercabos	102. Mubea do Brasil
103. Nexans Ficap	104. Ormazabal do Brasil
105. Orteng	106. Phelps Dodge Brasil
107. Poit Engenharia	108. Prysmian
109. Schaeffler Brasil	110. Schneider Eletric
111. Semikron Brasil	112. SKF do Brasil
113. VilaresMetals	114. Vulkan do Brasil
115. Wartsilã	116. WEG
117. WirexCableSolution	

**AUTOMAÇÃO E INSTRUMENTAÇÃO**

118.ABB	119.ATMC
120. Ladder Automação Individual	121. Parker
122. Phoenix Contact	123. Pilz do Brasil

**SERVIÇOS – ENGENHARIA, CONSULTORIA E CONSTRUÇÃO.**

124.Accenture	125.Arteche EDC
126. Barlorvento Brasil	127. B&S Soluções Ambientais
128. Bioconsultoria Ambiental	129. Bioplanet
130. Biosfera – Eficiência em Meio Ambiente	131. BM Construtora
132. BSM Engenharia	133. Construtora Hahne
134. Dois A Engenharia	135. Camargo Schubert Engenharia Eólica
136. Case Consultoria	137. Cortez Engenharia
138. ECAM Terraplanagem e Pavimentação	139. Ecocell Projetos e Consultoria Ambiental
140. Ecosorb	141. Encalso Construções
142. Enercons – Consultoria em Energia	143. Alternative Energy
144. Engineering	145. Empecel Engenharia
146. Enserv Engenharia	147. Eólica Tecnologia
148. EPI Energia P&I	149.FG Soluções em Energias
150. Fundação Brasil	151. Moreno
152. Geoambiental	153. Geoconsult
154. GL GH Stacked	155. GMA Engenharia , Geologia e Meio Ambiente
156. Iccila	157. IM Comercio e Terraplanagem
158. Inova Energy	159. DVN Kema
160. Kroma Energia	161. Lomacom – Locação e Construção
162. Megajoule do Brasil	163. Mercurius Engenharia
164. Multiempreedimentos Engenharia	165. N&A Consultores
166. Novaterra	167. Pampa Eólica
168. Papyrus Soluções	169. Pernambuco Construtora
170. Petra Construtora	171. RM Energia
172. Sequoia Energia	173. SIMM Empreendimentos
174. STK Sistemas do Brasil	175. Tecnometal
176. Tenace Engenharia e Consultoria	177. Topobrax
178. Topocart	179. Vento Consultoria e Engenharia Ambiental
180. Ventos Brasil	181. Windcraft
182. WM Construções & Montagens	183. Ziotech
184. Horizonte Energia Renováveis	

**LOGÍSTICA, MONTAGEM E TRANSPORTE.**

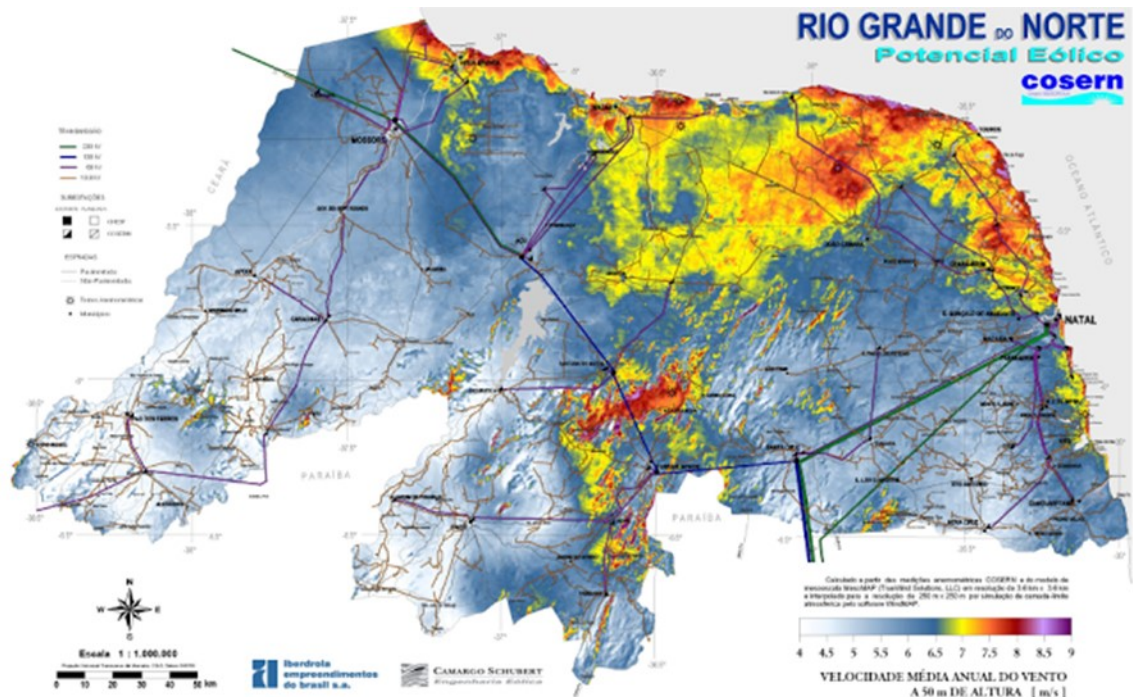
185.Efatec Energy	186.Locar
187. Makro Engenharia	188. Saraiva Equipamentos
189. Superpesa	190. Tomé Equipamentos e Transportes
191. Transpes	192. Yes Internacional



<b>ALPINISMO INDUSTRIAL</b>	
193.Alpitem Inspeção e Manutenção	194.Climbtec
195.Stain Alpinismo Industrial	
<b>EMPRESA DE SEGUROS</b>	
196.ACE	197.AlfaReal Consultoria, Corretagem de Seguros e Finanças
198.Chubb do Brasil	199.JMalucelli Seguradora
200.Marsh Brasil	201.RSA Seguros
202. Tokio Marine Seguradora	
<b>ORGANIZAÇÕES</b>	
203.Aneel	204.Abimaq
205.Abinee	206.Abdib
207.Abeer	208.Abrage
209.ABCE	210.Abesco
211.Abeólica	212.Abeama
213.Abemi	214.Abragel
215.Abrace	216.Abralog
217.Abraman	218.ABNT
219.Abiape	220.BNDES
221.Cresesb	222.Finep
223.IBAMA	224.MME

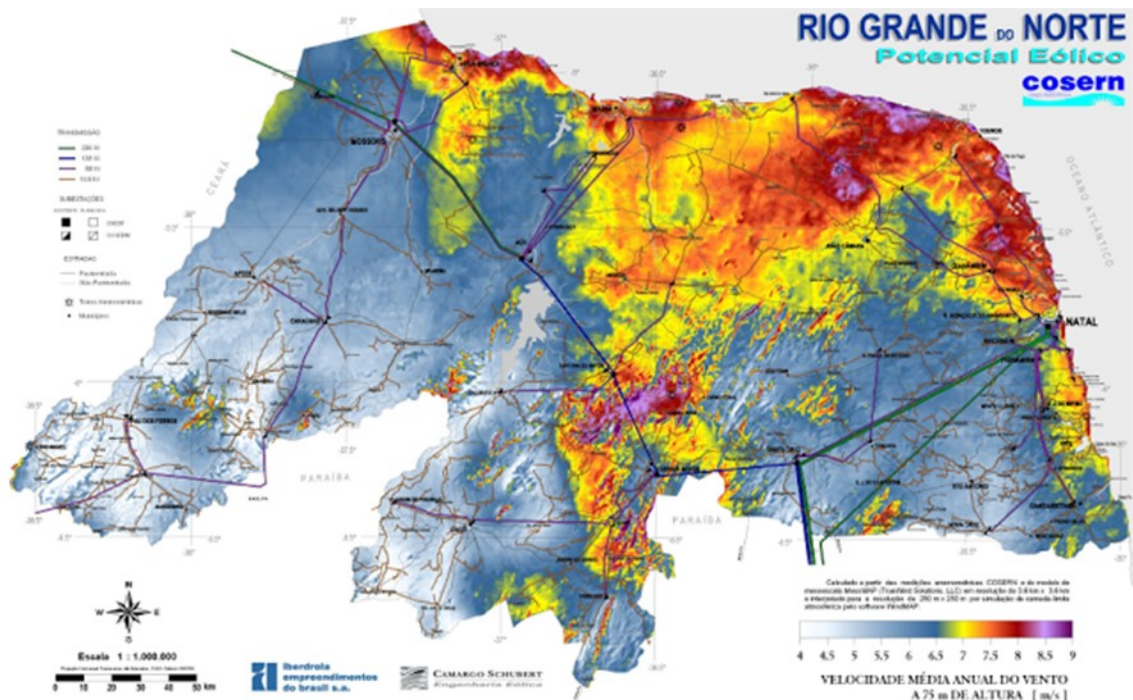
\*Fonte: Revista Energia Eólica – Anuário 2012 (Editora Brasil Energia)

## ANEXO B – MAPAS DO POTENCIAL EÓLICO DO ESTADO DO RIO GRANDE DO NORTE



Mapa do Rio Grande do Norte, mostrando a velocidade média anual do vento, a 50 m de altura.

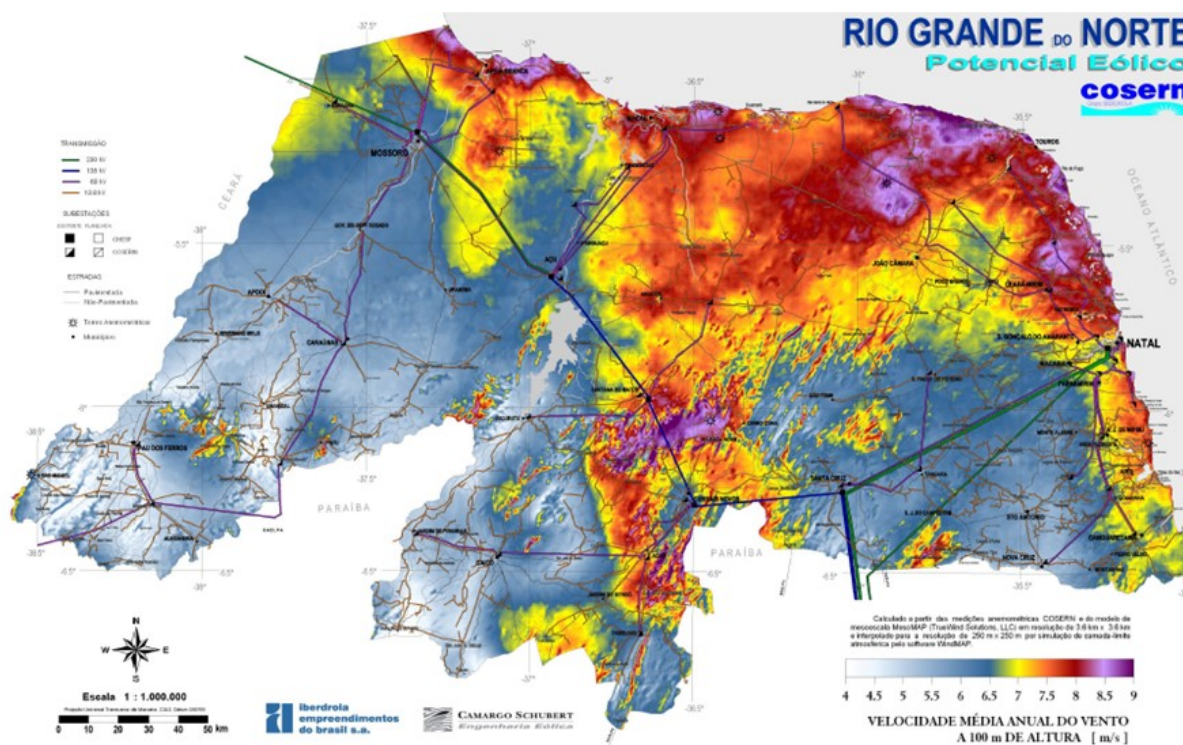
Fonte: [http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/atlas\\_eolico/atlas\\_eolico\\_RN.pdf](http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/atlas_eolico/atlas_eolico_RN.pdf) Acesso em 30 de maio de 2014.



Mapa do Rio Grande do Norte, mostrando a velocidade média anual do vento, a 75 m de altura.

Fonte: [http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/atlas\\_eolico/atlas\\_eolico\\_RN.pdf](http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/atlas_eolico/atlas_eolico_RN.pdf). Acesso em 30 de maio de 2014.

MAPAS DO POTENCIAL EÓLICO DO ESTADO DO RIO GRANDE DO NORTE (Continuação)



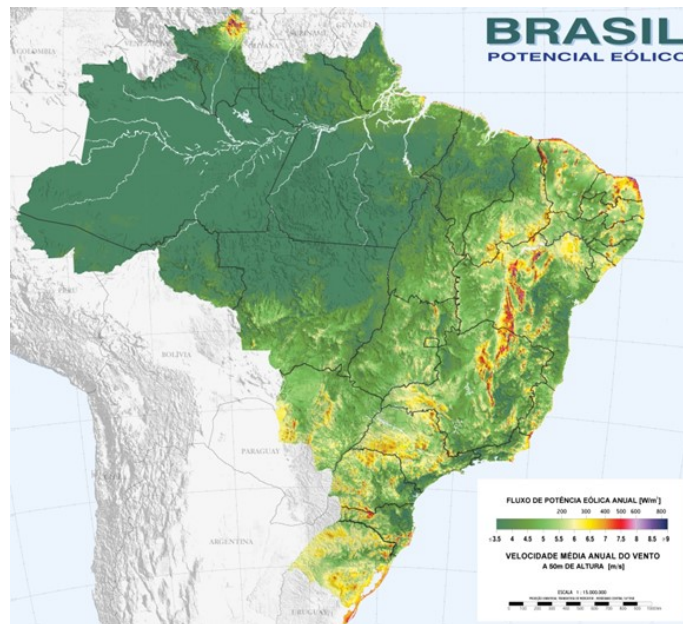
Mapa do Rio Grande do Norte, mostrando a velocidade média anual do vento, a 100 m de altura.

Fonte: [http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/atlas\\_eolico/atlas\\_eolico\\_RN.pdf](http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/atlas_eolico/atlas_eolico_RN.pdf).

Acesso em 30 de maio de 2014.

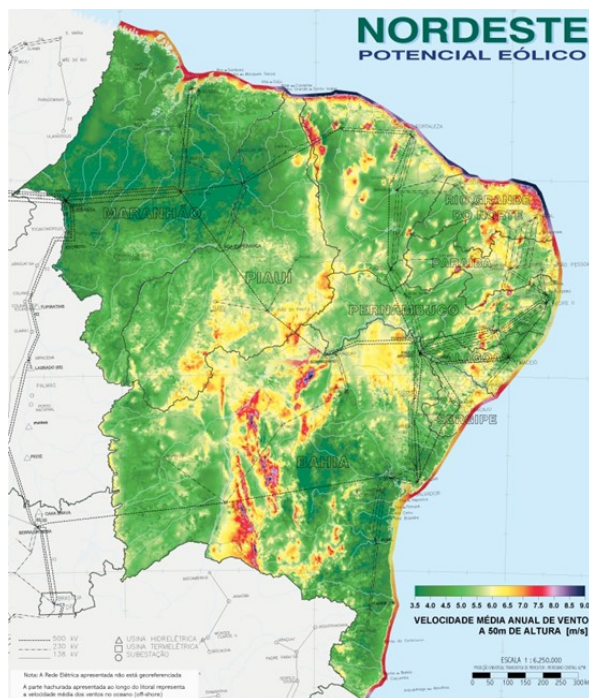


## MAPAS DO POTENCIAL EÓLICO DO BRASIL



Mapa do Potencial Eólico do Brasil, mostrando a velocidade média anual do vento, a **50 m** de altura.  
Fonte: [http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/atlas\\_eolico/Atlas%20do%20Potencial%20Eolico%20Brasileiro.pdf](http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/atlas_eolico/Atlas%20do%20Potencial%20Eolico%20Brasileiro.pdf). Acesso em 30 de maio de 2014.

## MAPAS DO POTENCIAL EÓLICO DA REGIÃO NORDESTE DO BRASIL



Mapa do Potencial Eólico do Nordeste do Brasil, mostrando a velocidade média anual do vento, a **50 m** de altura.  
Fonte: [http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/atlas\\_eolico/Atlas%20do%20Potencial%20Eolico%20Brasileiro.pdf](http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/atlas_eolico/Atlas%20do%20Potencial%20Eolico%20Brasileiro.pdf). Acesso em 30 de maio de 2014.

# Guia do Setor Eólico do Rio Grande do Norte

Realização:



**IFRN**  
Editora



Agência Brasileira do ISBN

ISBN 978-85-919770-0-0

