

6.1. INFORMAÇÕES GERAIS

Denomina-se energia eólica a energia cinética contida nas massas de ar em movimento (vento). Seu aproveitamento ocorre por meio da conversão da energia cinética de translação em energia cinética de rotação, com o emprego de turbinas eólicas, também denominadas aerogeradores, para a geração de eletricidade, ou cataventos (e moinhos), para trabalhos mecânicos como bombeamento d'água.

Assim como a energia hidráulica, a energia eólica é utilizada há milhares de anos com as mesmas finalidades, a saber: bombeamento de água, moagem de grãos e outras aplicações que envolvem energia mecânica. Para a geração de eletricidade, as primeiras tentativas surgiram no final do século XIX, mas somente um século depois, com a crise internacional do petróleo (década de 1970), é que houve interesse e investimentos suficientes para viabilizar o desenvolvimento e aplicação de equipamentos em escala comercial.

A primeira turbina eólica comercial ligada à rede elétrica pública foi instalada em 1976, na Dinamarca. Atualmente, existem mais de 30 mil turbinas eólicas em operação no mundo. Em 1991, a Associação Européia de Energia Eólica estabeleceu como metas a instalação de 4.000 MW de energia eólica na Europa até o ano 2000 e 11.500 MW até o ano 2005. Essas e outras metas estão sendo cumpridas muito antes do esperado (4.000 MW em 1996, 11.500 MW em 2001). As metas atuais são de 40.000 MW na Europa até 2010. Nos Estados Unidos, o parque eólico existente é da ordem de 4.600 MW instalados e com um crescimento anual em torno de 10%. Estima-se que em 2020 o mundo terá 12% da energia gerada pelo vento, com uma capacidade instalada de mais de 1.200GW (WINDPOWER; EWEA; GREENPEACE, 2003; WIND FORCE, 2003).

Recentes desenvolvimentos tecnológicos (sistemas avançados de transmissão, melhor aerodinâmica, estratégias de controle e operação das turbinas etc.) têm reduzido custos e melhorado o desempenho e a confiabilidade dos equipamentos. O custo dos equipamentos, que era um dos principais entraves ao aproveitamento comercial da energia eólica, reduziu-se significativamente nas últimas duas décadas. Projetos eólicos em 2002, utilizando modernas turbinas eólicas em condições favoráveis, apresentaram custos na ordem de €820/kW instalado e produção de energia a 4€cents/kWh (EWEA; GREENPEACE, 2003).

6.2. DISPONIBILIDADE DE RECURSOS

A avaliação do potencial eólico de uma região requer trabalhos sistemáticos de coleta e análise de dados sobre a velocidade e o regime de ventos. Geralmente, uma avaliação rigorosa requer levantamentos específicos, mas dados coletados em aeroportos, estações meteorológicas e outras aplicações similares podem fornecer uma primeira estimativa do potencial bruto ou teórico de aproveitamento da energia eólica.

Para que a energia eólica seja considerada tecnicamente aproveitável, é necessário que sua densidade seja maior ou igual a 500 W/m², a uma altura de 50 m, o que requer uma velocidade mínima do vento de 7 a 8 m/s (GRUBB; MEYER, 1993). Segundo a Organização Mundial de Meteorologia, em apenas 13% da superfície terrestre o vento apresenta

velocidade média igual ou superior a 7 m/s, a uma altura de 50 m. Essa proporção varia muito entre regiões e continentes, chegando a 32% na Europa Ocidental, como indicado na Tabela 6.1.

Mesmo assim, estima-se que o potencial eólico bruto mundial seja da ordem de 500.000 TWh por ano. Devido, porém, a restrições socioambientais⁽¹⁸⁾, apenas 53.000 TWh (cerca de 10%) são considerados tecnicamente aproveitáveis (Tabela 6.2). Ainda assim, esse potencial líquido corresponde a cerca de quatro vezes o consumo mundial de eletricidade.

No Brasil, os primeiros anemógrafos computadorizados e sensores especiais para energia eólica foram instalados no Ceará e em Fernando de Noronha (PE), no início dos anos 1990. Os resultados dessas medições possibilitaram a determinação do potencial eólico local e a instalação das primeiras turbinas eólicas do Brasil.

TABELA 6.1 Distribuição da área de cada continente segundo a velocidade média do vento

Região/Continente	Velocidade do Vento (m/s) a 50 m de Altura					
	6,4 a 7,0		7,0 a 7,5		7,5 a 11,9	
	(10 ³ km ²)	(%)	(10 ³ km ²)	(%)	(10 ³ km ²)	(%)
África	3.750	12	3.350	11	200	1
Austrália	850	8	400	4	550	5
América do Norte	2.550	12	1.750	8	3.350	15
América Latina	1.400	8	850	5	950	5
Europa Ocidental	345	8,6	416	10	371	22
Europa Ocidental & ex-URSS	3.377	15	2.260	10	1.146	5
Ásia (excluindo ex-URSS)	1.550	6	450	2	200	5
Mundo	13.650	10	9.550	7	8.350	6

Fonte: GRUBB, M. J.; MEYER, N. I. Wind energy: resources, systems and regional strategies. In: JO-HANSSON, T. B. et. al. Renewable energy: sources for fuels and electricity. Washington, D.C.: Island Press, 1993. p.

TABELA 6.2 Estimativas do potencial eólico mundial

Região	Porcentagem de Terra Ocupada*	Potencial Bruto (TWh/ano)	Densidade Demográfica (hab/km ²)	Potencial Líquido (TWh/ano)
África	24	106.000	20	10.600
Austrália	17	30.000	2	3.000
América do Norte	35	139.000	15	14.000
América Latina	18	54.000	15	5.400
Europa Ocidental	42	31.400	102	4.800
Europa Ocidental & ex-URSS	29	106.000	13	10.600
Ásia (excluindo ex-URSS)	9	32.000	100	4.900
Mundo**	23	498.400	-	53.000

Fonte: GRUBB, M. J.; MEYER, N. I. Wind energy: resources, systems and regional strategies. In: JO-HANSSON, T. B. et. al. Renewable energy: sources for fuels and electricity. Washington, D.C.: Island Press, 1993.

(*) Em relação ao potencial bruto;

(**) Excluindo-se Groenlândia, Antártida, a maioria das ilhas e os recursos *offshore*.

(18) Existência de áreas densamente povoadas e/ou industrializadas e outras restrições naturais, como regiões muito montanhosas, por exemplo.

6.3. POTENCIAL EÓLICO BRASILEIRO

Embora ainda haja divergências entre especialistas e instituições na estimativa do potencial eólico brasileiro, vários estudos indicam valores extremamente consideráveis. Até poucos anos, as estimativas eram da ordem de 20.000 MW. Hoje a maioria dos estudos indica valores maiores que 60.000 MW. Essas divergências decorrem principalmente da falta de informações (dados de superfície) e das diferentes metodologias empregadas⁽¹⁹⁾.

De qualquer forma, os diversos levantamentos e estudos realizados e em andamento (locais, regionais e nacionais) têm dado suporte e motivado a exploração comercial da energia eólica no País. Os primeiros estudos foram feitos na região Nordeste, principalmente no Ceará e em Pernambuco. Com o apoio da ANEEL e do Ministério de Ciência e Tecnologia – MCT, o Centro Brasileiro de Energia Eólica – CBEE, da Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, publicou em 1998 a primeira versão do *Atlas Eólico da Região Nordeste*. A continuidade desse trabalho resultou no *Panorama do Potencial Eólico no Brasil*, conforme Figura 6.1 .

Os recursos apresentados na legenda da Figura 6.1 referem-se à velocidade média do vento e energia eólica média a uma altura de 50m acima da superfície para 5 condições topográficas distintas: *zona costeira* – áreas de praia, normalmente com larga faixa de areia, onde o vento incide predominantemente do sentido mar-terra; *campo aberto* – áreas planas de pastagens, plantações e/ou vegetação baixa sem muitas árvores altas; *mata* – áreas de vegetação nativa com arbustos e árvores altas mas de baixa densidade, tipo de terreno que causa mais obstruções ao fluxo de vento; *morro* – áreas de relevo levemente ondulado, relativamente com-

plexo, com pouca vegetação ou pasto; *montanha* – áreas de relevo complexo, com altas montanhas.

Ainda na legenda, a classe 1 representa regiões de baixo potencial eólico, de pouco ou nenhum interesse para o aproveitamento da energia eólica. A classe 4 corresponde aos melhores locais para aproveitamento dos ventos no Brasil. As classes 2 e 3 podem ou não ser favoráveis, dependendo das condições topográficas. Por exemplo: um local de classe 3 na costa do Nordeste (zona costeira) pode apresentar velocidades médias anuais entre 6,5 e 8 m/s, enquanto que um local de classe 3 no interior do Maranhão (mata) apresentará apenas valores entre 4,5 e 6 m/s.

A Tabela 6.3 mostra a classificação das velocidades de vento e regiões topográficas utilizadas no mapa da Figura 6.1. Os valores correspondem à velocidade média anual do vento a 50 m de altura em m/s (V_m) e à densidade média de energia média em W/m^2 (E_m). Os valores de E_m foram obtidos para as seguintes condições padrão: altitude igual ao nível do mar, temperatura de 20°C e fator de Weibull de 2,5. A mudança de altitude para 1.000 m acima do nível do mar acarreta uma diminuição de 9% na densidade média de energia e a diminuição de temperatura para 15°C provoca um aumento de cerca de 2% na densidade de energia média.

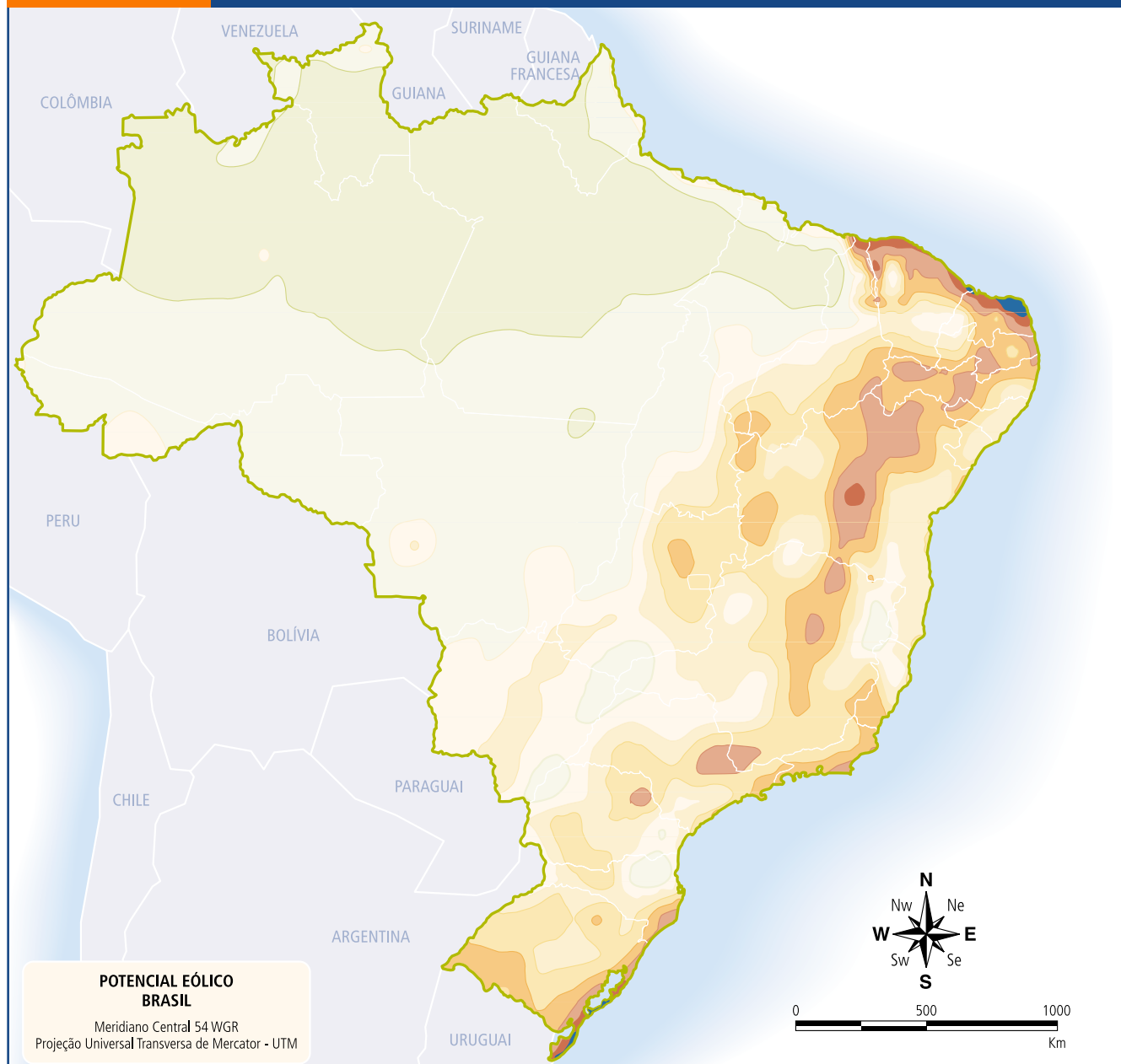
Outro estudo importante, em âmbito nacional, foi publicado pelo Centro de Referência para Energia Solar e Eólica – CRESESB/CEPEL. Trata-se do *Atlas do Potencial Eólico Brasileiro*, cujos resultados estão disponíveis no seguinte endereço eletrônico: www.cresesb.cepel.br/atlas_eolico_brasil/atlas-web.htm. Nesse estudo estimou-se um potencial eólico brasileiro da ordem de 143 GW. Existem também outros estudos específicos por unidades da Federação, desenvolvidos por iniciativas locais.

TABELA 6.3 Definição das classes de energia

Classe	Mata		Campo aberto		Zona costeira		Morros		Montanhas	
	V_m (m/s)	E_m (W/m ²)	V_m (m/s)	E_m (W/m ²)	V_m (m/s)	E_m (W/m ²)	V_m (m/s)	E_m (W/m ²)	V_m (m/s)	E_m (W/m ²)
4	> 6	> 200	> 7	> 300	> 8	> 480	> 9	> 700	> 11	> 1250
3	4,5 – 6	80 - 200	6 – 7	200 - 300	6,5 - 8	250 - 480	7,5 – 9	380 – 700	8,5 – 11	650 – 1250
2	3 – 4,5	25 - 80	4,5 – 6	80 - 200	5 – 6,5	100 - 250	6 – 7,5	200 – 380	7 – 8,5	300 - 650
1	< 3	< 25	< 4,5	< 80	< 5	< 100	< 6	< 200	< 7	< 300

Fonte: FEITOSA, E. A. N. et al. *Panorama do Potencial Eólico no Brasil*. Brasília: Dupligráfica, 2003.

(19) Também o conceito de potencial eólico pode ser interpretado de diferentes maneiras, devido à complexidade na determinação das restrições técnico-econômicas e, principalmente, socioambientais ao aproveitamento eólico.

FIGURA 6.1 Velocidade média anual do vento a 50m de altura

**POTENCIAL EÓLICO
BRASIL**

 Meridiano Central 54 WGR
 Projeção Universal Transversa de Mercator - UTM

**Velocidade média do vento (m/s)
50 m acima do nível da superfície**

Classes de energia	Velocidade média do vento (m/s)				
	Mata	Campo Aberto	Zona Costeira	Morro	Montanha
4	> 6,0	> 7,0	> 8,0	> 9,0	> 11,0
3	4,5 - 6,0	6,0 - 7,0	6,0 - 7,0	7,5 - 9,0	8,5 - 11,0
2	3,0 - 4,5	4,5 - 6,0	4,5 - 6,0	6,0 - 7,5	7,0 - 8,5
1	< 3,0	< 4,5	< 4,5	< 6,0	< 7,0

NOTAS:

Mata indica áreas de vegetação nativa, com arbustos e árvores altas.

Campo aberto refere-se a áreas planas de pastagens, plantações e/ou vegetação baixa, sem muitas árvores altas.

Zonas costeiras são áreas de praia, normalmente com larga faixa de areia, onde o vento incide predominantemente no sentido mar-terra.

Morros são áreas de relevo levemente ondulado, relativamente complexo e de pouca vegetação ou pasto.

Montanhas representam áreas de relevo complexo com altas montanhas. O potencial eólico é dado para locais nos topos das montanhas em condições favoráveis para o fluxo de vento.

Fonte: FEITOSA, E. A. N. et al. Panorama do Potencial Eólico no Brasil. Brasília: Dupligráfica, 2003. (adaptado)

6.4. TECNOLOGIAS DE APROVEITAMENTO – TURBINAS EÓLICAS

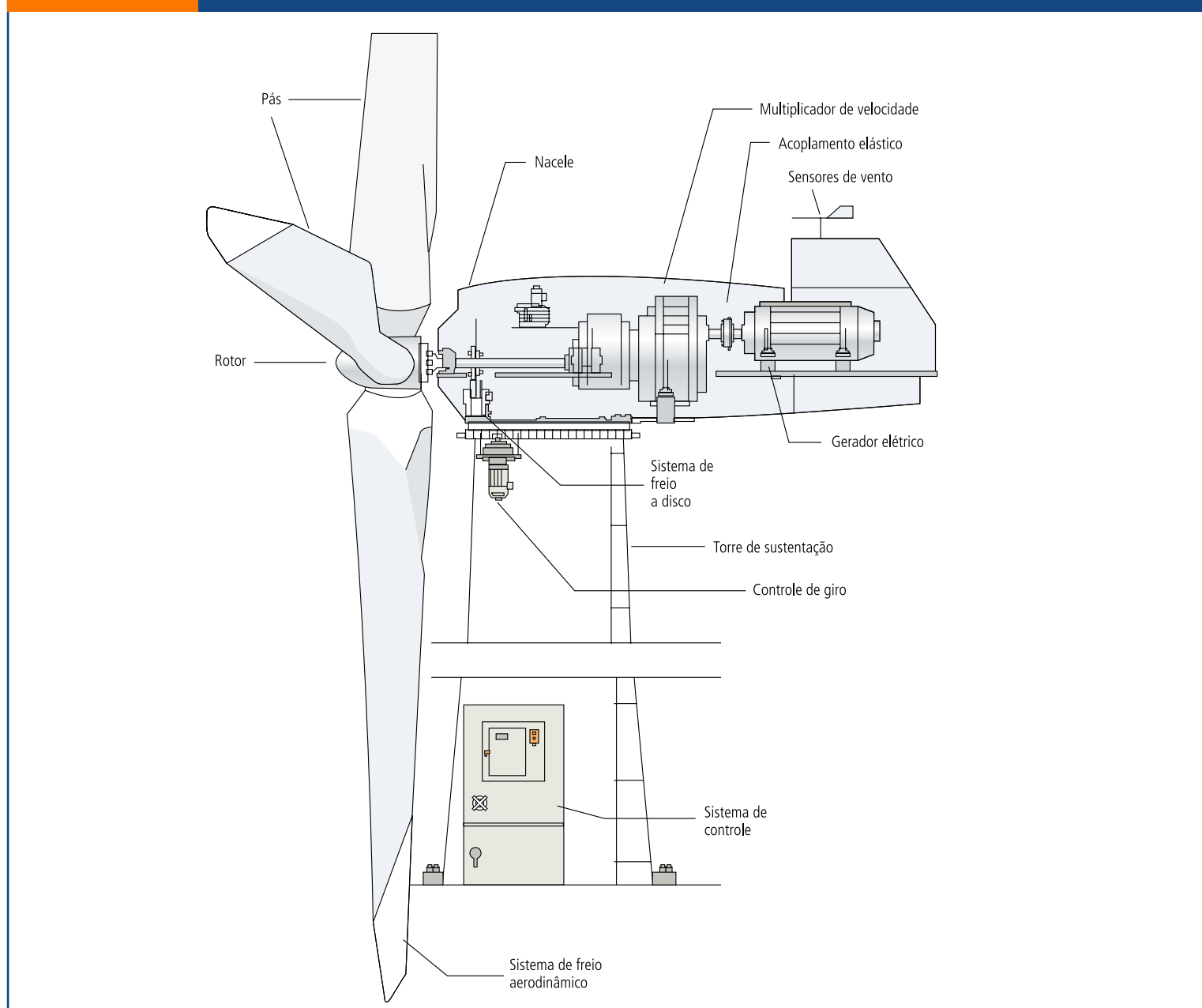
No início da utilização da energia eólica, surgiram turbinas de vários tipos – eixo horizontal, eixo vertical, com apenas uma pá, com duas e três pás, gerador de indução, gerador síncrono etc. Com o passar do tempo, consolidou-se o projeto de turbinas eólicas com as seguintes características: eixo de rotação horizontal, três pás, alinhamento ativo, gerador de indu-

ção e estrutura não-flexível, como ilustrado na Figura 6.2 (CBEE, 2000).

Entretanto, algumas características desse projeto ainda geram polêmica, como a utilização ou não do controle do ângulo de passo (pitch) das pás para limitar a potência máxima gerada. A tendência atual é a combinação das duas técnicas de controle de potência (stall e pitch) em pás que podem variar o ângulo de passo para ajustar a potência gerada, sem, contudo, utilizar esse mecanismo continuamente (WIND DIRECTIONS, 2000).

FIGURA 6.2

Desenho esquemático de uma turbina eólica moderna



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

Quanto à capacidade de geração elétrica, as primeiras turbinas eólicas desenvolvidas em escala comercial tinham potências nominais entre 10 kW e 50 kW. No início da década de 1990, a potência das máquinas aumentou para a faixa de 100 kW a 300 kW. Em 1995, a maioria dos fabricantes de grandes turbinas ofereciam modelos de 300 kW a 750 kW. Em 1997, foram introduzidas comercialmente as turbinas eólicas de 1 MW e 1,5 MW, iniciando a geração de máquinas de grande porte. Em 1999 surgiram as primeiras turbinas eólicas de 2MW e hoje existem protótipos de 3,6MW e 4,5MW sendo testados na Espanha e Alemanha. A capacidade média das turbinas eólicas instaladas na Alemanha em 2002 foi de 1,4MW e na Espanha de 850kW. Atualmente, existem mais de mil turbinas eólicas com potência nominal superior a 1 MW em funcionamento no mundo (BOYLE, 1996; BTM, 2000; WINDPOWER, 2000; WIND FORCE, 2003).

Quanto ao porte, as turbinas eólicas podem ser classificadas da seguinte forma (Figura 6.3): *pequenas* – potência nominal menor que 500 kW; *médias* – potência nominal entre 500 kW e 1000 kW; e *grandes* – potência nominal maior que 1 MW.

Nos últimos anos, as maiores inovações tecnológicas foram a utilização de acionamento direto (sem multiplicador de velocidades), com geradores síncronos e novos sistemas de controle que permitem o funcionamento das turbinas em velocidade variável, com qualquer tipo de gerador. A tecnologia atual oferece uma variedade de máquinas, segundo a aplicação ou local de instalação. Quanto à aplicação, as turbinas podem ser conectadas à rede elétrica ou destinadas ao suprimento de eletricidade a comunidades ou sistemas isolados. Em relação ao local, a instalação pode ser feita em terra firme (como exemplo, turbina de médio porte da Figura 6.3) ou *off-shore* (como exemplo, turbinas de grande porte da Figura 6.3).

FIGURA 6.3

Exemplos de turbinas eólicas (da esquerda para a direita: pequena, média e grande)



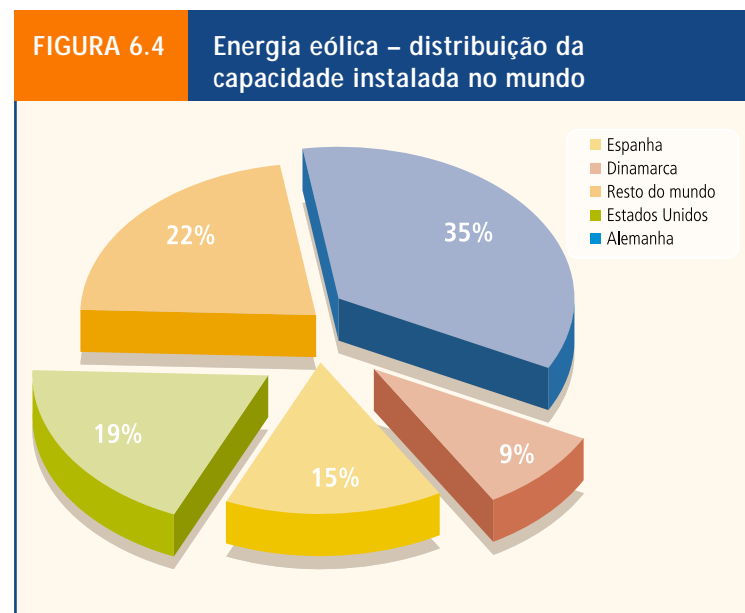
Fonte: CENTRO BRASILEIRO DE ENERGIA EÓLICA – CBEE / UFPE, 2003. Disponível em: www.eolica.com.br.

6.5. CAPACIDADE INSTALADA NO MUNDO

Em 1990, a capacidade instalada no mundo era inferior a 2.000 MW. Em 1994, ela subiu para 3.734 MW, divididos entre Europa (45,1%), América (48,4%), Ásia (6,4%) e outros países (1,1%). Quatro anos mais tarde, chegou a 10.000 MW e no final de 2002 a capacidade total instalada no mundo ultrapassou 32.000 MW. O mercado tem crescido substancialmente nos últimos anos, principalmente na Alemanha, EUA, Dinamarca e Espanha, onde a potência adicionada anualmente supera 3.000 MW (BTM, 2000; EWEA; GREENPEACE, 2003).

Esse crescimento de mercado fez com que a Associação Europeia de Energia Eólica estabelecesse novas metas, indicando que, até 2020, a energia eólica poderá suprir 10% de toda a energia elétrica requerida no mundo. De fato, em alguns países e regiões, a energia eólica já representa uma parcela considerável da eletricidade produzida. Na Dinamarca, por exemplo, a energia eólica representa 18% de toda a eletricidade gerada e a meta é aumentar essa parcela para 50% até 2030. Na região de Schleswig-Holstein, na Alemanha, cerca de 25% do parque de energia elétrica instalado é de origem eólica. Na região de Navarra, na Espanha, essa parcela é de 23%. Em termos de capacidade instalada, estima-se que, até 2020, a Europa já terá 100.000 MW (WIND FORCE, 2003).

A Tabela 6.4 apresenta a evolução recente da capacidade instalada em vários países e regiões do mundo. Alemanha, EUA, Espanha e Dinamarca são responsáveis por quase 80% da capacidade instalada no mundo (Figura 6.4).



Fonte: Elaborado com base em dados de WINDPOWER MONTHLY NEWS MAGAZINE. [Knebel], v. 19, 2003.

País/região	1997	1998	1999	2000	2001	2002
Alemanha	2080	2874	4445	6113	8734	12001
Estados Unidos	1590	1927	2492	2555	4245	4645
Dinamarca	1116	1450	1742	2297	2456	2889
Espanha	512	834	1530	2402	3550	4830
Brasil	3	7	20	20	20	22
Europa (exceto Alemanha, Dinamarca e Espanha)	1058	1411	1590	2610	2760	3637
Ásia	1116	1194	1287	1574	1920	2184
Continente americano (exceto EUA e Brasil)	52	128	194	223	302	353
Austrália e Pacífico	33	63	116	221	410	524
África e Oriente Médio	24	26	39	141	147	149
Total	7584	9914	13455	18156	24544	31234

Fonte: WINDPOWER MONTHLY NEWS MAGAZINE. [Knebel], v. 19, 2003.

6.6. ENERGIA EÓLICA NO CONTEXTO DO SETOR ELÉTRICO BRASILEIRO

No Brasil, a participação da energia eólica na geração de energia elétrica ainda é pequena. Como apresentado na Tabela 6.5 e na Figura 6.6, em setembro de 2003 havia apenas 6 centrais eólicas em operação no País, perfazendo uma capacidade instalada de 22.075 kW. Entre essas centrais, destacam-se Taiba e Prainha, no Estado do Ceará, que representam 68% do parque eólico nacional.

No entanto, os incentivos vigentes para o setor elétrico brasileiro deverão

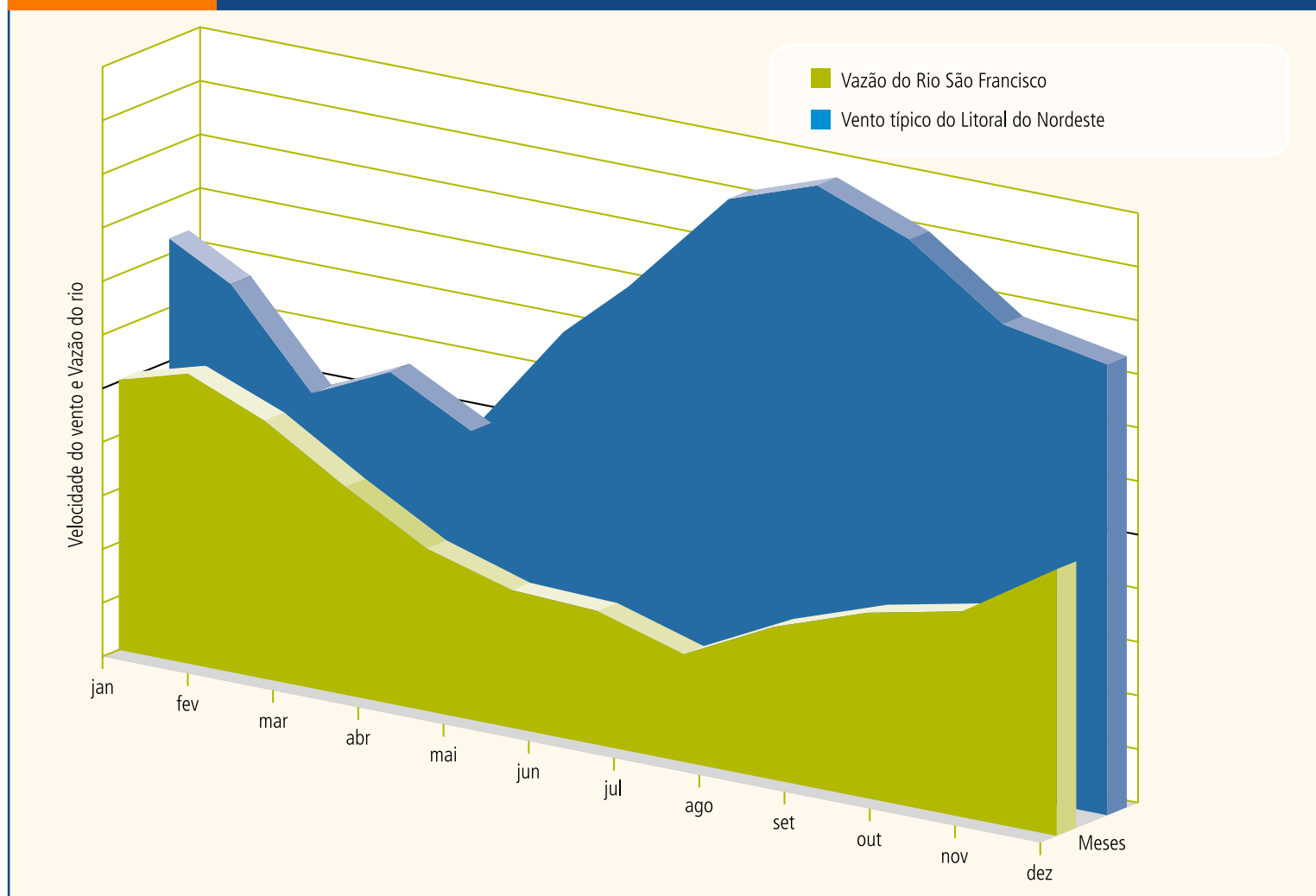
despertar o interesse de empreendedores. Destaque-se, aqui, o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas (PROINFA), como citado no capítulo 2. Outro fator importante, como incentivo, é a possibilidade de complementaridade entre a geração hidrelétrica e a geração eólica, visto que o maior potencial eólico, na região Nordeste, ocorre durante o período de menor disponibilidade hídrica, conforme ilustrado na Figura 6.5.

Em setembro de 2003, havia registro de 92 empreendimentos eólicos autorizados pela ANEEL, cuja construção não havia sido iniciada, que poderão agregar ao sistema elétrico nacional cerca de 6.500 MW, como apresentado na Tabela 6.6 e ilustrado na Figura 6.6.

TABELA 6.5 Centrais eólicas em operação no Brasil – situação em setembro de 2003

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

Fonte: AGENCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. Banco de Informações de Geração – BIG. 2003. Disponível em: www.aneel.gov.br/15.htm.

FIGURA 6.5 Complementaridade entre a geração hidrelétrica e eólica

Fonte: CENTRO BRASILEIRO DE ENERGIA EÓLICA – CBEE / UFPE. 2000. Disponível em: www.eolica.com.br.

FIGURA 6.6

Localização dos projetos eólicos em operação e outorgados
(construção não iniciada) – situação em setembro de 2003



Fonte: Elaborado com base em dados da AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. Banco de Informações de Geração – BIG. 2003. Disponível em: www.aneel.gov.br/15.htm.

TABELA 6.6 Centrais eólicas outorgadas (construção não iniciada) – situação em setembro de 2003

Nome da Usina	Potência (kW)	Município - UF	Destino da Energia	Proprietário
Alegria I	51.000	Guamaré - RN	PIE	New Energy Options Ltda.
Alegria II	100.800	Guamaré - RN	PIE	New Energy Options Ltda.
BA 3 - Caetitê	192.100	Caetitê - BA	PIE	Energias Renováveis do Brasil Ltda.
Bom Jesus	55.800	Aracati - CE	PIE	SIIF Énergies do Brasil Ltda.
Bons Ventos	50.000	Aracati - CE	PIE	Servtec Energia Ltda.
Canoa Quebrada	78.000	Aracati - CE	PIE	Ventos Energia e Tecnologia Ltda.
CE 10 - Acaraú	49.300	Acaraú - CE	PIE	Energias Renováveis do Brasil Ltda.
CE 11 - Camocim	249.900	Camocim - CE	PIE	Energias Renováveis do Brasil Ltda.
CE 3 - Boca do Poço	79.900	Limoeiro do Norte - CE	PIE	Energias Renováveis do Brasil Ltda.
CE 4 - Lagoinha	49.300	Paraipaba - CE / Trairi - CE	PIE	Energias Renováveis do Brasil Ltda.
CE 7 - Icapuí	29.750	Aracati - CE	PIE	Energias Renováveis do Brasil Ltda.
Eólica Abaís	29.700	Estância - SE	PIE	Eletrowind S/A
Eólica Água das Dunas	43.200	Extremoz - RN	PIE	SIIF Énergies do Brasil Ltda.
Eólica Água Doce	9.000	Água Doce - SC	PIE	Parque Eólico de Santa Catarina Ltda.
Eólica Ariós	16.200	Beberibe - CE	PIE	Eletrowind S/A
Eólica Canoa Quebrada	10.500	Aracati - CE	PIE	Rosa dos Ventos Ltda.
Eólica Crispim	60.000	Marapanim - PA	PIE	Guascor Empreendimentos Energéticos Ltda.
Eólica Fazenda Brigida	30.600	Jandaira - BA	PIE	Eletrowind S/A
Eólica Icaraizinho	54.000	Amontada - CE	PIE	Eólica Icaraizinho Ltda.
Eólica Jericoacoara	100.800	Jijoca de Jericoacoara - CE	PIE	SIIF Énergies do Brasil Ltda.
Eólica Paracuru	23.400	Paracuru - CE	PIE	SIIF Énergies do Brasil Ltda.
Eólica Praias de Parajuru	28.800	Beberibe - CE	PIE	Eletrowind S/A
Eólica Santa Izabel	198.000	Galinhos - RN	PIE	SIIF Énergies do Brasil Ltda.
Fábrica da Wobben Windpower no Pecém	600	Caucaia - CE	PIE	Wobben Wind Power Industria e Comércio Ltda.
Fazenda Nova	180.000	Porto do Mangue - RN	PIE	SIIF Énergies do Brasil Ltda.
Fortim	93.600	Aracati - CE	PIE	Eólica Fortim Ltda.
Foz do Rio Choró	25.200	Beberibe - CE	PIE	SIIF Cinco Ltda.
Gameleira	27.000	São Gonçalo do Amarante - CE	PIE	SIIF Três Ltda.
Gargaú	39.950	São Francisco de Itabapoana - RJ	PIE	SeaWest do Brasil Ltda.
Lagoa do Mato	27.000	Aracati - CE	PIE	Rosa dos Ventos Ltda.
Macau	3.000	Macau - RN	APE	Petróleo Brasileiro S/A.
Maceió	235.800	Itapipoca - CE	PIE	SIIF Énergies do Brasil Ltda.
Paracuru	100.000	Paracuru - CE	PIE	Cataventos Novas Energias Brasil Ltda.
Paraíso Farol	102.000	Touros - RN	PIE	Energias Renováveis do Brasil Ltda.
Parque Eólico Caponga	10.000	Fortaleza - CE	PIE	Empreendimentos em Energia Ltda.
Parque Eólico Cassino	80.750	Rio Grande - RS	PIE	Gamesa Serviços Brasil Ltda.

Centrais eólicas outorgadas (construção não iniciada) – situação em setembro de 2003 (cont.)

Parque Eólico de Beberibe	25.200	Beberibe - CE	PIE	Eco Energy Beberibe Ltda.
Parque Eólico de Osório	50.000	Osório - RS	PIE	Elecnor do Brasil Ltda.
Parque Eólico de Palmares	50.000	Palmares do Sul - RS	PIE	Elecnor do Brasil Ltda.
Parque Eólico do Horizonte	4.800	Água Doce - SC	APE-COM	Central Nacional de Energia Eólica Ltda.
Parque Eólico dos Índios	50.000	Osório - RS	PIE	Elecnor do Brasil Ltda.
Parque Eólico Elebrás Cidreira 1	72.000	Cidreira - RS	PIE	Elebrás Projetos Ltda.
Parque Eólico Elebrás Mostardas 1	81.000	Mostardas - RS / Palmares do Sul - RS	PIE	Elebrás Projetos Ltda.
Parque Eólico Elebrás Santa Vitória do Palmar 1	126.000	Santa Vitória do Palmar - RS	PIE	Elebrás Projetos Ltda.
Parque Eólico Enacel	36.000	Aracati - CE	PIE	Energias Alternativas do Ceará Ltda.
Parque Eólico Farol da Solidão I	50.000	Mostardas - RS	PIE	Energia Regenerativa Brasil Ltda.
Parque Eólico Gravatá	45.000	Touros - RN	PIE	Guascor Empreendimentos Energéticos Ltda.
Parque Eólico Jaguarão	50.150	Jaguarão - RS	PIE	Gamesa Serviços Brasil Ltda.
Parque Eólico Jiribatu	85.000	Santa Vitória do Palmar - RS	PIE	Gamesa Serviços Brasil Ltda.
Parque Eólico Livramento	149.600	Santana do Livramento - RS	PIE	Gamesa Serviços Brasil Ltda.
Parque Eólico Marmeleiro I	50.000	Santa Vitória do Palmar - RS	PIE	Energia Regenerativa Brasil Ltda.
Parque Eólico Ponta do Mel	50.400	Areia Branca - RN	PIE	Compinvest Mercosul - Companhia de Investimentos e Participações do Mercosul S/A
Parque Eólico Sangradouro	50.000	Osório - RS	PIE	Elecnor do Brasil Ltda.
Parque Eólico Serra dos Antunes	98.600	Piratini - RS	PIE	Gamesa Serviços Brasil Ltda.
Parque Eólico Tainhas	99.450	São Francisco de Paula - RS	PIE	Gamesa Serviços Brasil Ltda.
Parque Eólico Tainhas I	15.000	São Francisco de Paula - RS	PIE	Energia Regenerativa Brasil Ltda.
PE 1 - Marcolândia	59.500	Araripina - PE	PIE	Energias Renováveis do Brasil Ltda.
PE 2 - Serra da Macambira	59.500	Pesqueira - PE / Poção - PE	PIE	Energias Renováveis do Brasil Ltda.
PE 3 - Poção	59.500	Poção - PE	PIE	Energias Renováveis do Brasil Ltda.
PE 5 - Serra do Pau D'Arco	59.500	Arcoverde - PE	PIE	Energias Renováveis do Brasil Ltda.
Pecém	31.200	Caucaia - CE	PIE	Eólica Pecém Ltda.
Pecém	46.000	São Gonçalo do Amarante - CE	PIE	Fuhrlander Energia Brasil Ltda.
Pecém	25.200	Caucaia - CE	PIE	Eletrowind S/A
Pedra do Sal	100.300	Parnaíba - PI	PIE	SeaWest do Brasil Ltda.
Pirauá	9.900	Macaparana - PE	PIE	Cooperativa de Energia Comunicação e Desenvolvimento do Vale do Sirigi Ltda.
Pontal das Almas	36.000	Barroquinha - CE	PIE	Cataventos Novas Energias Brasil Ltda.
Praia do Arrombado	23.400	Luis Correia - PI	PIE	Eletrowind S/A
Praia do Morgado	79.200	Acarau - CE	PIE	Eletrowind S/A
Praia Formosa	104.400	Camocim - CE	PIE	Eólica Formosa Ltda.
Quintanilha Machado I	135.000	Arraial do Cabo - RJ	PIE	SIIF Énergies do Brasil Ltda.
Quintanilha Machado II	39.600	Arraial do Cabo - RJ	PIE	SIIF Énergies do Brasil Ltda.
Redonda	300.600	Icapuí - CE	PIE	Eólica Redonda Ltda.
RN 1 - Mel	89.250	Areia Branca - RN	PIE	Energias Renováveis do Brasil Ltda.

Centrais eólicas outorgadas (construção não iniciada) – situação em setembro de 2003 (cont.)

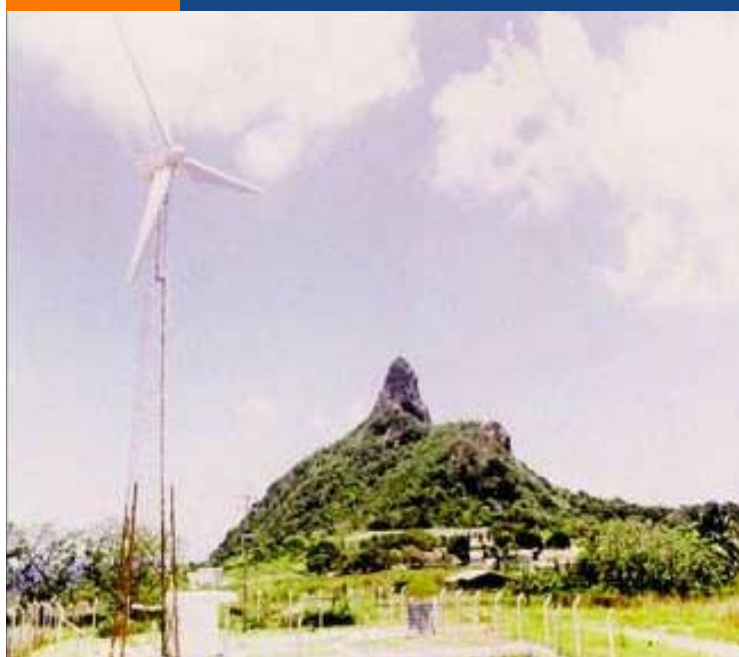
RN 10 - Três Irmãos	59.500	São Bento do Norte - RN	PIE	Energias Renováveis do Brasil Ltda.
RN 11 - Guamaré Fases I e II	249.900	Guamaré - RN / Macau - RN	PIE	Energias Renováveis do Brasil Ltda.
RN 14 - São Bento do Norte	59.500	São Bento do Norte - RN	PIE	Energias Renováveis do Brasil Ltda.
RN 15 - Rio do Fogo	49.300	Rio do Fogo - RN	PIE	Energias Renováveis do Brasil Ltda.
RN 17 - Serra de Santana	99.450	Lagoa Nova - RN	PIE	Energias Renováveis do Brasil Ltda.
RN 19 - Juremal	59.500	Baraúna - RN	PIE	Energias Renováveis do Brasil Ltda.
RN 20 - Serra do Mossoró	49.300	Mossoró - RN	PIE	Energias Renováveis do Brasil Ltda.
RN 21 Parque Eólico Salinas	180.200	Galinhos - RN	PIE	Energias Renováveis do Brasil Ltda.
RN 3 - Gameleira	49.300	Touros - RN	PIE	Energias Renováveis do Brasil Ltda.
RN 4 - Pititinga	49.300	Extremoz - RN	PIE	Energias Renováveis do Brasil Ltda.
RN 6 - Macacos	161.500	João Câmara - RN	PIE	Energias Renováveis do Brasil Ltda.
Santa Marta	39.600	Laguna - SC	PIE	Empresa Energética Santa Marta Ltda.
Taíba Águia	35.000	São Gonçalo do Amarante - RN	PIE	Ventos Energia e Tecnologia Ltda.
Taíba Albatroz	15.000	São Gonçalo do Amarante - CE	PIE	Ventos Energia e Tecnologia Ltda.
Ubajara	100.000	Ubajara - CE	PIE	Cataventos Novas Energias Brasil Ltda.
Usina Eólica de Laguna	3.000	Laguna - SC	PIE	Parque Eólico de Santa Catarina Ltda.
Vale da Esperança	29.700	Touros - RN	PIE	Eletrowind S/A
Verdes Mares	158.400	Tibau - RN	PIE	SIIF Énergies do Brasil Ltda.
Volta do Rio	42.000	Acaraú - CE	PIE	Eletrowind S/A

Fonte: AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. Banco de Informações de Geração – BIG. 2003. Disponível em: www.aneel.gov.br/15.htm.

6.6.1. PROJETOS EM OPERAÇÃO NO PAÍS

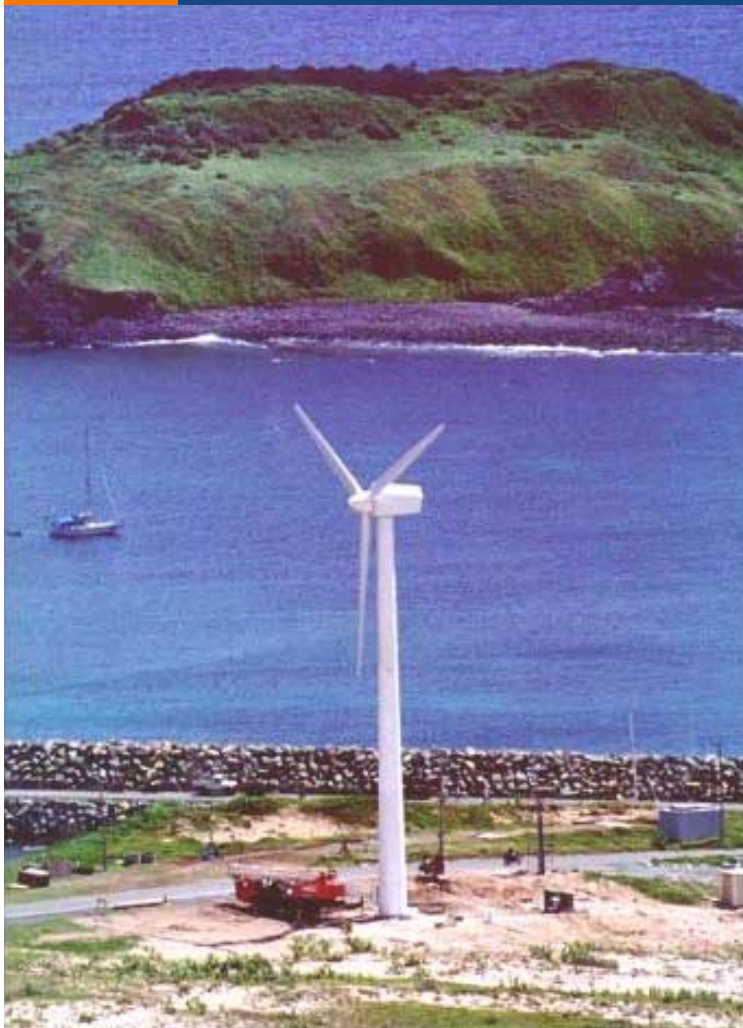
Turbinas Eólicas do Arquipélago de Fernando de Noronha-PE: a primeira turbina foi instalada em junho de 1992, a partir do projeto realizado pelo Grupo de Energia Eólica da Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, com financiamento do Folkecenter (um instituto de pesquisas dinamarquês), em parceria com a Companhia Energética de Pernambuco – CELPE. A turbina possui um gerador assíncrono de 75 kW, rotor de 17 m de diâmetro e torre de 23 m de altura (Figura 6.7). Na época em que foi instalada, a geração de eletricidade dessa turbina correspondia a cerca de 10% da energia gerada na Ilha, proporcionando uma economia de aproximadamente 70.000 litros de óleo diesel por ano. A segunda turbina (Figura 6.8) foi instalada em maio de 2000 e entrou em operação em 2001. O projeto foi realizado pelo CBEE, com a colaboração do RISØ National Laboratory da Dinamarca, e financiado pela ANEEL. Juntas, as duas turbinas geram até 25% da eletricidade consumida na ilha. Esses projetos tornaram Fernando de Noronha o maior sistema híbrido eólico-diesel do Brasil.

FIGURA 6.7 Primeira turbina eólica de Fernando de Noronha



Fonte: MEMÓRIA DA ELETRICIDADE. Primeira turbina eólica de Fernando de Noronha: 2000.

FIGURA 6.8 Segunda turbina eólica de Fernando de Noronha



Fonte: CENTRO BRASILEIRO DE ENERGIA EÓLICA – CBEE / UFPE. 2000. Disponível em: www.eolica.com.br.

Central Eólica Experimental do Morro do Camelinho – MG: instalada em 1994, no Município de Gouveia – MG, com capacidade nominal de 1 MW, o projeto foi realizado pela Companhia Energética de Minas Gerais – CEMIG, com o apoio financeiro do governo alemão (Programa Eldorado). A central é constituída por 4 turbinas de 250 kW, com rotor de 29 m de diâmetro e torre de 30 m de altura (Figura 6.9).

FIGURA 6.9 Central Eólica do Morro do Camelinho (Gouveia – MG)



Fonte: CENTRO DE REFERÊNCIA PARA A ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO DE SALVO BRITO - CRE-SESB. 2000. Disponível em: www.cresesb.cepel.br/cresesb.htm.

Central Eólica de Taíba – CE: localizada no Município de São Gonçalo do Amarante – CE, a Central Eólica de Taíba (Figura 6.10), com 5 MW de potência, foi a primeira a atuar como produtor independente no País. Em operação desde janeiro de 1999, a central é composta por 10 turbinas de 500 kW, geradores assíncronos, rotores de 40 m de diâmetro e torre de 45 m de altura.

FIGURA 6.10 Central Eólica de Taíba (São Gonçalo do Amarante – CE)



Fonte: CENTRO BRASILEIRO DE ENERGIA EÓLICA – CBEE / UFPE. 2000. Disponível em: www.eolica.com.br.

Central Eólica de Prainha – CE: localizada no Município de Aquiraz – CE, a Central Eólica de Prainha (Figura 6.11) é o maior parque eólico do País, com capacidade de 10 MW (20 turbinas de 500 kW). O projeto foi realizado pela Wobben Windpower (do Brasil) e inaugurado em abril de 1999. As turbinas utilizam geradores síncronos, funcionam com velocidade variável e com controle de potência por pitch (ângulo de passo das pás).

FIGURA 6.11 Central Eólica da Prainha (Aquiraz – CE)



Fonte: CENTRO BRASILEIRO DE ENERGIA EÓLICA – CBEE / UFPE. 2000. Disponível em: www.eolica.com.br.

Central Eólica Mucuripe – CE: situada em Fortaleza - CE (Figura 6.12), esta central tinha potência instalada de 1.200 kW. Desativada em 2000, foi posteriormente repotenciada e passou a contar com 4 turbinas eólicas E-40 de 600 kW (2.400 kW).

FIGURA 6.12 Central Eólica Mucuripe (Fortaleza – CE)



Fonte: WOB BEN. 2003. Disponível em: www.wobben.com.br/Espanhol/usinas.htm

Central Eólica de Palmas – PR: inaugurada em 2000, trata-se da primeira central eólica do Sul do Brasil, localizada no Município de Palmas – PR, com potência instalada de 2,5 MW (Figura 6.13). Realizado pela Companhia Paranaense de Energia – COPEL e pela Wobben Windpower (do Brasil), o projeto foi inaugurado em novembro de 1999, com 5 turbinas de 500 kW, idênticas àquelas de Taiba e Prainha.

FIGURA 6.13 Central Eólica de Palmas (Palmas – PR)



Fonte: WOB BEN. 2003. Disponível em: www.wobben.com.br/Espanhol/usinas.htm

Central Eólica de Olinda – PE: O CBEE instalou em 1999 uma turbina eólica WindWord (Figura 6.14) na área de testes de turbinas eólicas em Olinda. Esta turbina conta com sensores e instrumentação para medidas experimentais.

Central Eólica de Bom Jardim – SC: em 2002 uma turbina Enercon de 600 kW foi instalada no Município de Bom Jardim da Serra - SC (Figura 6.15) pela CELESC e Wobben Windpower, sendo a mais recente central implantada no País.

FIGURA 6.14 Central Eólica de Olinda – PE



Fonte: CENTRO BRASILEIRO DE ENERGIA EÓLICA – CBEE / UFPE. 2000. Disponível em: www.eolica.com.br.

FIGURA 6.15 Central Eólica de Bom Jardim (Bom Jardim da Serra – SC)



Fonte: WOBLEN. 2003. Disponível em: www.wobben.com.br/Espanhol/usinas.htm

6.7. IMPACTOS SOCIOAMBIENTAIS

A geração de energia elétrica por meio de turbinas eólicas constitui uma alternativa para diversos níveis de demanda. As pequenas centrais podem suprir pequenas localidades distantes da rede, contribuindo para o processo de universalização do atendimento. Quanto às centrais de grande porte, estas têm potencial para atender uma significativa parcela do Sistema Interligado Nacional (SIN) com importantes ganhos: contribuindo para a redução da emissão, pelas usinas térmicas, de poluentes atmosféricos; diminuindo a necessidade da construção de grandes reservatórios; e reduzindo o risco gerado pela sazonalidade hidrológica, à luz da complementaridade citada anteriormente.

Entre os principais impactos socioambientais negativos das usinas eólicas destacam-se os sonoros e os visuais. Os impactos sonoros são devidos ao ruído dos rotores e variam de acordo com as especificações dos equipamentos (ARAÚJO, 1996). Segundo o autor, as turbinas de múltiplas pás são menos eficientes e mais barulhentas que os aerogeradores de hélices de alta velocidade. A fim de evitar transtornos à po-

pulação vizinha, o nível de ruído das turbinas deve atender às normas e padrões estabelecidos pela legislação vigente.

Os impactos visuais são decorrentes do agrupamento de torres e aerogeradores, principalmente no caso de centrais eólicas com um número considerável de turbinas, também conhecidas como fazendas eólicas. Os impactos variam muito de acordo com o local das instalações, o arranjo das torres e as especificações das turbinas. Apesar de efeitos negativos, como alterações na paisagem natural, esses impactos tendem a atrair turistas, gerando renda, emprego, arrecadações e promovendo o desenvolvimento regional.

Outro impacto negativo das centrais eólicas é a possibilidade de interferências eletromagnéticas, que podem causar perturbações nos sistemas de comunicação e transmissão de dados (rádio, televisão etc.) (TAYLOR, 1996). De acordo com este autor, essas interferências variam muito, segundo o local de instalação da usina e suas especificações técnicas, particularmente o material utilizado na fabricação das pás. Também a possível interferência nas rotas de aves deve ser devidamente considerada nos estudos e relatórios de impactos ambientais (EIA/RIMA).

