

Energia eólica: análise sobre o potencial eólico brasileiro

Diego Barbosa Leite Filipe*
Emanuel de Melo Lobato**
Vinicius Contilio Quintan***

Resumo

Na atual conjuntura mundial, as discussões sobre novas dinâmicas na relação do homem com a natureza dominam o cenário. Buscar outras formas de nos beneficiarmos dela sem destruí-la é fundamental, e, dito por especialistas internacionalmente renomados, de extrema urgência. Diversas maneiras surgem graças a investimentos públicos ou privados, porém, cada país tem seus potenciais naturais bem peculiares. Uma dessas novas maneiras de usufruir o potencial energético da natureza é a geração por massa de ventos. Busca-se, então, analisar o potencial de uso das tecnologias que tem por fim a geração de energia eólica no território brasileiro. Conclui-se que há espaço para o desenvolvimento da geração de energia eólica no Brasil, contudo, barreiras sazonais devem ser dribladas a fim de que se obtenha o melhor aproveitamento de todo o potencial eólico disponível.

Palavras-chave: Potencial. Energia eólica.

Introdução

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 Europeia 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 1.200 GW (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¢centavos/kWh (EWEA; GREENPEACE, 2003)

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).

* Técnico em Automação Industrial pelo IF Fluminense, campus Campos-Centro

** Técnico em Automação Industrial pelo IF Fluminense, campus Campos-Centro

*** Técnico em Mecânica pelo IF Fluminense, Campus campos-Centro

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 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, apenas 53.000 TWh (cerca de 10%) são considerados tecnicamente aproveitáveis (Tabela 2). Ainda assim, esse potencial líquido corresponde a cerca de quatro vezes o consumo mundial de eletricidade.

Tabela 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

Tabela 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

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.

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. 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 1.

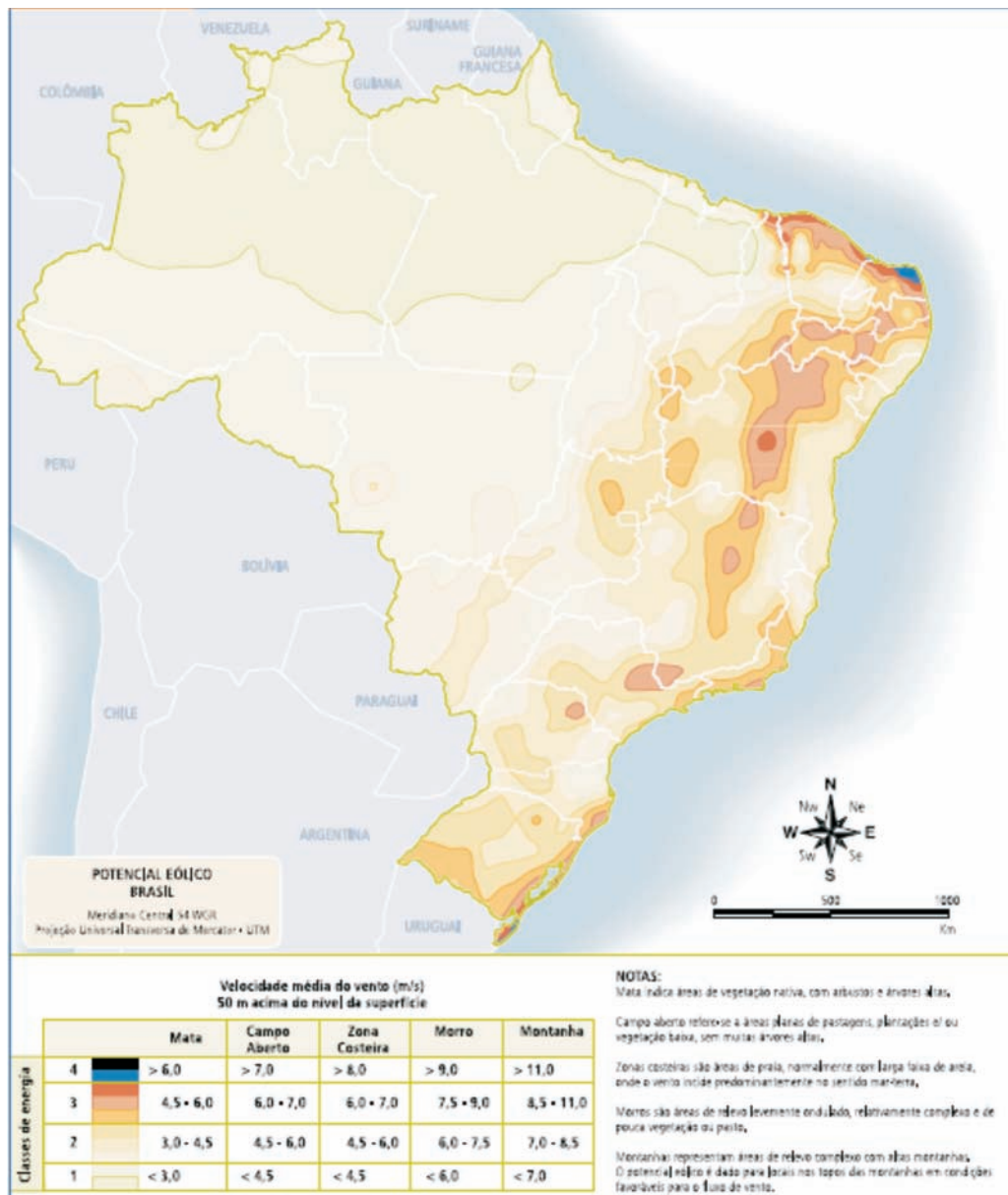


Figura 1 – Velocidade média anual do vento a 50 m de altura

Os recursos apresentados na legenda da Figura 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 complexo, 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 3 mostra a classificação das velocidades de vento e regiões topográficas utilizadas no mapa da Figura 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.

Tabela 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

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.

Tecnologia 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 indução e estrutura não flexível, como ilustrado na Figura 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). 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).

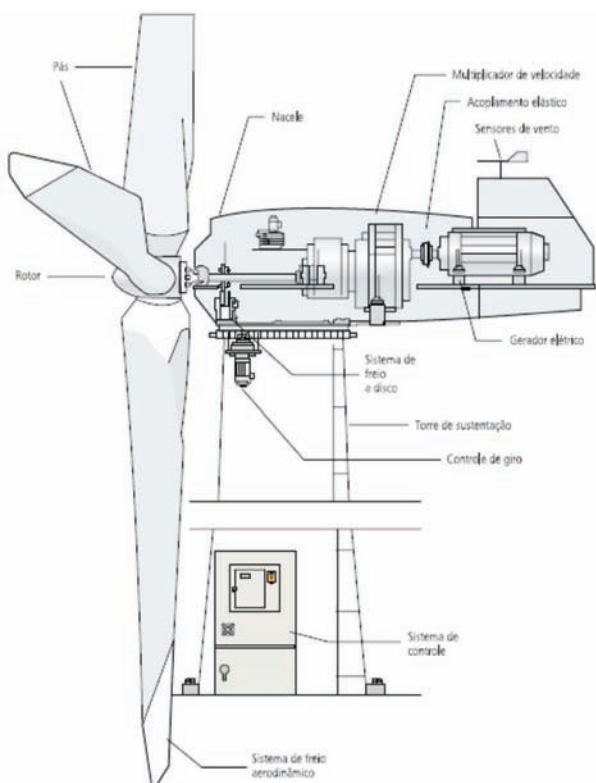


Figura 2 – Desenho esquemático de uma turbina eólica moderna



Figura 3 – Exemplos de turbinas eólicas (da esquerda para a direita: pequena, média e grande)

Quanto ao porte, as turbinas eólicas podem ser classificadas da seguinte forma (Figura 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 3) ou *offshore* (como exemplo, turbinas de grande porte da Figura 3).

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).

Tabela 4 – Energia eólica: capacidade instalada no mundo (MW)

Pais/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

A Tabela 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 4).

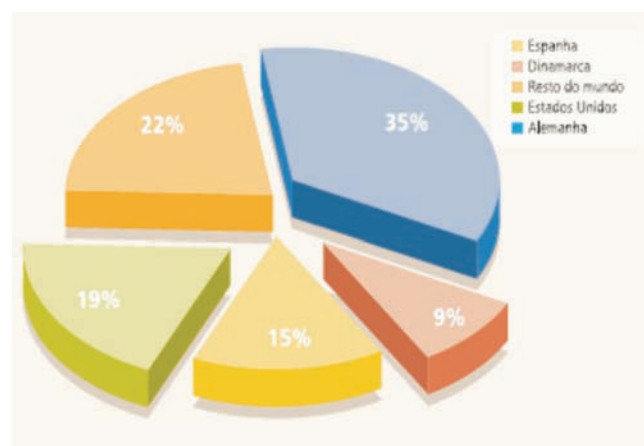


Figura 4 – Energia eólica: distribuição da capacidade instalada no mundo

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 5 e na Figura 5, 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 Taíba e Prainha, no estado do Ceará, que representam 68% do parque eólico nacional.

Tabela 5 – Centrais eólicas em operação no Brasil em setembro de 2003

Nome da Usina	Potência (kW)	Município - UF	Destino da Energia	Proprietário
Eólica	75	Fernando de Noronha - PE	SP	Companhia Energetica 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 Eolica - FADE/UFPE
Eólica de Prainha	10.000	Aquiraz - CE	PIE	Wobben Wind Power Industria e Comercio Ltda.
Eólica de Taíba	5.000	São Gonçalo do Amarante - CE	PIE	Wobben Wind Power Industria e Comercio Ltda.
Eólica Olinda	225	Olinda - PE	PIE	Centro Brasileiro de Energia Eolica - FADE/UFPE
Eólica-Eletrica Experimental do Morro do Camelinho	1.000	Gouveia - MG	SP	Companhia Energetica de Minas Gerais
Eolico - Eletrica de Palmas	2.500	Palmas - PR	PIE	Centrais Eolicas do Parana Ltda.
Mucuripe	2.400	Fortaleza - CE	PIE	Wobben Wind Power Industria e Comercio Ltda.

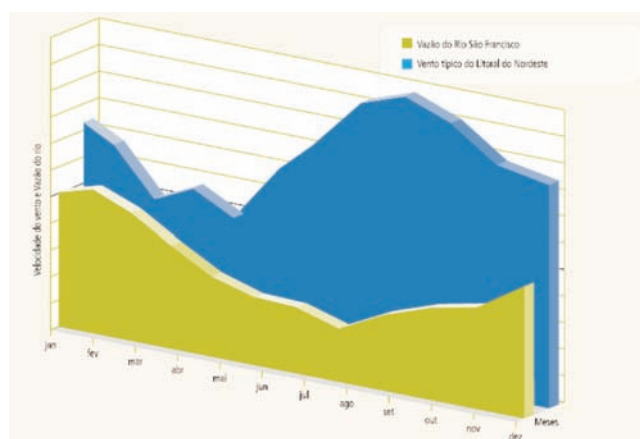


Figura 5 – Localização dos projetos eólicos em operação e outorgados (construção não iniciada) em setembro de 2003

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). 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.



Figura 6 – Complementaridade entre a geração hidrelétrica e a eólica

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 e ilustrado na Figura 5.

Tabela 6 – Centrais eólicas outorgadas (construção não iniciada) em setembro de 2003

Nome da Usina	Potência (kW)	Município - UF	Destino da Energia	Proprietário
Alegria I	51.000	Guamarê - RN	PIE	New Energy Options Ltda.
Alegria II	100.800	Guamarê - RN	PIE	New Energy Options Ltda.
BA 3 - Caetité	192.100	Caetité - BA	PIE	Energias Renováveis do Brasil Ltda.
Bom Jesus	55.800	Aracati - CE	PIE	SIIF Energies 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 - Acarau	49.300	Acarau - 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 / Traini - CE	PIE	Energias Renováveis do Brasil Ltda.
CE 7 - Icapui	29.750	Aracati - CE	PIE	Energias Renováveis do Brasil Ltda.
Eólica Abais	29.700	Estância - SE	PIE	Eletrowind S/A
Eólica Água das Dunas	43.200	Extremoz - RN	PIE	SIIF Energies do Brasil Ltda.
Eólica Água Doce	9.000	Água Doce - SC	PIE	Parque Eólico de Santa Catarina Ltda.
Eólica Arios	16.200	Bebenbe - 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 Energeticos Ltda.
Eólica Fazenda Brigida	30.600	Jandaira - BA	PIE	Eletrowind S/A
Eólica Icarazinho	54.000	Amontada - CE	PIE	Eólica Icarazinho Ltda.
Eólica Jericoacoara	100.800	Jijoca de Jericoacoara - CE	PIE	SIIF Energies do Brasil Ltda.
Eólica Paracuru	23.400	Paracuru - CE	PIE	SIIF Energies do Brasil Ltda.
Eólica Praias de Parajuru	28.800	Bebenbe - CE	PIE	Eletrowind S/A
Eólica Santa Izabel	198.000	Galinhos - RN	PIE	SIIF Energies do Brasil Ltda.
Fabrica da Wobben Windpower no Pecém	600	Caucaia - CE	PIE	Wobben Wind Power Industria e Comercio Ltda.
Fazenda Nova	180.000	Porto do Mangue - RN	PIE	SIIF Energies do Brasil Ltda.
Fortim	93.600	Aracati - CE	PIE	Eólica Fortim Ltda.
Foz do Rio Choro	25.200	Bebenbe - CE	PIE	SIIF Cinco Ltda.
Gameleira	27.000	São Gonçalo do Amarante - CE	PIE	SIIF Três Ltda.
Gargau	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	Petroleo Brasileiro S/A.
Maceio	235.800	Itapipoca - CE	PIE	SIIF Energies do Brasil Ltda.
Paracuru	100.000	Paracuru - CE	PIE	Cataventos Novas Energias Brasil Ltda.
Paraiso 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.
Parque Eólico de Bebenbe	25.200	Bebenbe - CE	PIE	Eco Energy Bebenbe 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 Ceara Ltda.
Parque Eólico Farol da Solidão I	50.000	Mostardas - RS	PIE	Energia Regenerativa Brasil Ltda.
Parque Eólico Gravata	45.000	Touros - RN	PIE	Guascor Empreendimentos Energeticos 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 Mameleiro I	50.000	Santa Vitória do Palmar - RS	PIE	Energia Regenerativa Brasil Ltda.

Nome da Usina	Potência (kW)	Município - UF	Destino da Energia	Proprietário
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	Arapirina - 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 Singi 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 Energies do Brasil Ltda.
Quintanilha Machado II	39.600	Arraial do Cabo - RJ	PIE	SIIF Energies do Brasil Ltda.
Redonda	300.600	Icapui - CE	PIE	Eólica Redonda Ltda.
RN 1 - Mel	89.250	Areia Branca - RN	PIE	Energias Renováveis do Brasil Ltda.

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 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 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 7 – Primeira turbina eólica de Fernando de Noronha-PE



Figura 8 – Segunda turbina eólica de Fernando de Noronha-PE

- **Central Eólica Experimental do Morro do Camelinho – MG:** instalado 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 9).



Figura 9 – Central eólica do Morro do Camelinho (Gouveia - MG)

- **Central Eólica de Taíba – CE:** localizada no município de São Gonçalo do Amarante – CE, a Central Eólica de Taíba (Figura 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 10 – Central eólica de Taíba (São Gonçalo do Amarante - CE)

- **Central Eólica de Prainha – CE:** localizada no município de Aquiraz – CE, a Central Eólica de Prainha (Figura 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 11 – Central eólica de Prainha (Aquiraz - CE)

- **Central Eólica Mucuripe – CE:** situada em Fortaleza - CE (Figura 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 12 – Central eólica Mucuripe (Fortaleza - CE)

- **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 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 Taíba e Prainha.



Figura 13 – Central eólica de Palmas (Palmas - PR)

- **Central Eólica de Olinda – PE:** O CBEE instalou em 1999 uma turbina eólica WindWord (Figura 14) na área de testes de turbinas eólicas em Olinda. Essa turbina conta com sensores e instrumentação para medidas experimentais.



Figura 14 – Central eólica de Olinda - PE

- **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 15) pela CELESC e Wobben Windpower, sendo a mais recente central implantada no País.



Figura 15 – Central eólica de Bom Jardim (Bom Jardim da Serra – SC)

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, elas 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 população 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 esse 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).

Referências

- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). Banco de Informações de Geração – BIG. 2003.
- CENTRO BRASILEIRO DE ENERGIA EÓLICA (CBEE / UFPE). 2000.
- CENTRO DE REFERÊNCIA PARA A ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO DE SALVO BRITO (CRESESB). 2000.
- FEITOSA, E. A. N. *et al.* Panorama do Potencial Eólico no Brasil. Brasília: Dupligráfica, 2003.
- 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.
- MEMÓRIA da eletricidade. Primeira turbina eólica de Fernando de Noronha, 2000.
- WINDPOWER monthly news magazine, [Knebel], v. 19, 2003.
- WOBLEN. 2003.