



XVIII Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica

SENDI 2008 - 06 a 10 de outubro

Olinda - Pernambuco - Brasil

Integração de Parques Eólicos na Rede Elétrica do Brasil

Gustavo de Almeida Siqueira	Milthon Serna Silva
Universidade Federal de Sergipe	Universidade Federal de Sergipe
gustavo.asiqueira@gmail.com	milthons@ufs.br

Palavras-chave

Energia Eólica

Integração à Rede Elétrica

Potencial Eólico Estimado

Resumo

O Brasil possui um potencial estimado de 143 GW para geração de energia por fonte eólica, no qual metade deste localiza-se na região nordeste do país. Esse fator tem levado a criação de programas de incentivo público e privado para a construção de parques eólicos nos últimos anos, fazendo do Brasil o maior produtor de energia por esta fonte da América Latina. No entanto, há ainda no país uma carência de estudos detalhados sobre o potencial de geração e uma preocupação com a estabilidade do sistema, especialmente nas linhas de transmissão de energia, devido às variações da velocidade do vento e ao crescimento rápido da inserção de parques eólicos nas redes elétricas. O objetivo deste trabalho é apresentar uma visão geral do estado atual da energia eólica no Brasil e com especial ênfase nos problemas de integração dos novos parques eólicos a serem instalados no país, cuja potência representará aproximadamente 4% da capacidade total do sistema nos próximos anos.

1. Introdução

As energias renováveis vêm gerando grande interesse nos últimos anos, sendo a energia eólica uma das que mais crescem no mundo. Este fato é resultado de uma preocupação crescente com o aumento da concentração de gases do efeito estufa na atmosfera e com os impactos, principalmente o aquecimento global, que este aumento poderá ocasionar à humanidade nas próximas décadas.

Há também uma preocupação com as reservas de combustíveis fósseis e, no Brasil, principalmente com a dependência das chuvas para a geração de energia elétrica, a qual poderia ser diminuída com o uso de geração eólica para evitar o esvaziamento excessivo das bacias hidrográficas exploradas pelas hidroelétricas e principalmente das bacias do rio São Francisco, pois a intensidade do vento no nordeste brasileiro e a vazão do rio se complementam ao longo do ano, como pode ser visto na figura 1.

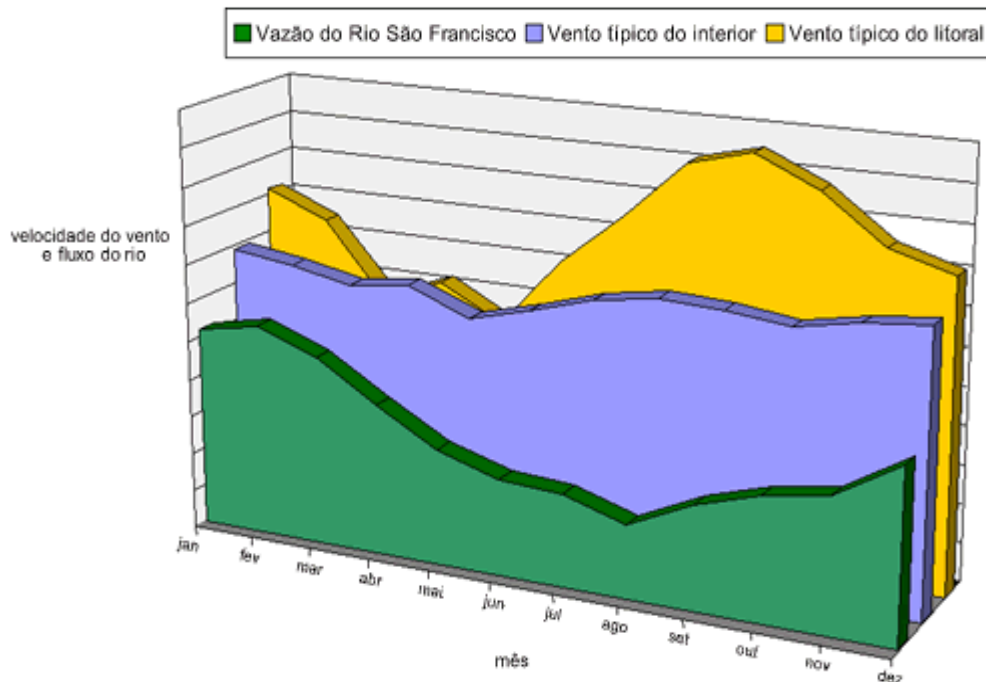


Figura 1: Comparação entre o fluxo de água do rio São Francisco e a velocidade do vento no nordeste do Brasil [11].

O Brasil é um dos países de grande potencial eólico, e em 2005 possuía uma capacidade de geração eólica instalada de 29 MW. Mas, com o advento do Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA), este número aumentou para 247 MW até o início de 2008 e de acordo com a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) existem mais 12 parques em construção e 89 que foram outorgados e deverão ser instalados nos próximos anos, os quais totalizarão 4.700 MW de geração eólica na matriz energética brasileira.

Há, entretanto, uma carência de estudos sobre o potencial eólico brasileiro, havendo a necessidade de instalar uma série de estações meteorológicas, espalhadas estrategicamente pelo país, que permita determinar o verdadeiro mapa eólico de cada um dos estados, já que as atuais informações das diferentes instituições que trabalham nessa área não coincidem.

Existe também uma preocupação com o impacto que a integração dos parques eólicos a serem instalados ao longo dos próximos anos, poderá ocasionar ao sistema elétrico conectado aos parques e aos usuários da rede elétrica próxima, já que a geração eólica possui características de funcionamento diferentes das fontes de energia tradicionais, como variação constante de produção de energia ocasionada pela oscilação da velocidade e direção do vento.

2. Energia Eólica no Brasil

O Brasil possui um dos maiores potenciais em produção de energia elétrica a partir de fontes renováveis. Estudos feitos pelo Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito (CRESESB) estimaram que somente a energia eólica tenha um potencial de 143 GW, 50% deste localizado no nordeste brasileiro (ver tabela 1). Entretanto, apenas 247 MW estão em operação em todo o país [1]. Toda a geração por fontes renováveis descentralizadas corresponde a 4% da matriz de energia elétrica nacional [12].

TABELA 1 - POTÊNÇAL DE GERAÇÃO POR REGIÃO [8]

Região	Capacidade (GW)	Potencial de Produção de Energia(TW.h)	Fator de Utilização (%)
Norte	12,84	36,45	32,4
Nordeste	75,05	144,29	21,9
Centro-Oeste	3,08	5,42	20,1
Sudeste	29,74	54,93	21,1
Sul	22,76	41,11	20,6
Total	143,47	282,2	23,22

Contudo, essa conjuntura tem mudado. Nos últimos anos, estão sendo efetuadas muitas modificações na regulamentação brasileira para aumentar a participação das fontes renováveis na matriz energética. Em 2002, especialmente, quando foi introduzido no Brasil o PROINFA, que assinalou como uma das metas um aproveitamento, até o final de 2006, de 3,3 GW, para serem gerados a partir da biomassa, energia eólica e pequenas centrais hidrelétricas (PCH's), cada uma com um potencial de 1,1 MW [3]. Devido a uma série de problemas, a meta não foi alcançada. Depois de cinco anos da criação do PROINFA, aproximadamente 835 MW, que equivale a 25% da meta, foi instalada [4]. Conseqüentemente, o prazo de entrada em operação dos empreendimentos participantes do PROINFA foi prorrogado, de 30 de dezembro de 2006 para 30 de dezembro de 2008 [6], e uma série de novas medidas foi tomada para aperfeiçoar a eficiência do programa.

A primeira revisão do PROINFA foi em 2003, que garantiu a participação de um maior número de estados. O programa passou também a incentivar mais a participação da indústria brasileira e a proteger consumidores de baixa renda do aumento de preços da energia causado pelo ingresso das fontes renováveis na matriz energética.

Por meio do PROINFA, o aproveitamento eólico no Brasil aumentou de 28 MW, em 2005, para 247 MW em janeiro de 2008, correspondendo a aproximadamente 47% da capacidade instalada da América Latina. Em seguida encontra-se o México com 88 MW e a Costa Rica com 74 MW instalados [1, 9].

Atualmente, a geração de energia com o uso do vento é a que mais cresce no mundo. Em 2007, a capacidade instalada global aumentou 27% (20 GW), alcançando 94 GW no final deste ano. A Europa é a líder no mercado de energia eólica com uma capacidade instalada de mais de 57 GW no final de 2007 e obteve um crescimento de 8.5 GW neste mesmo ano[5].

No Brasil, 60% da capacidade total instalada encontra-se em três parques eólicos localizados no município de Osório, Rio Grande do Sul. Como apresentado na Tabela 2, há no Nordeste do Brasil oito parques eólicos com um montante total de 79,15 MW, equivalente a 32% do total construído no Brasil [1].

TABELA 2 - PARQUES EÓLICOS EM OPERAÇÃO NO BRASIL [1]

Parque Eólico	Potência (kW)	Município
1 - Eólica de Prainha	10.000	Aquiraz – CE
2 - Eólica de Taíba	5.000	São Gonçalo do Amarante - CE
3 - Eólica de Fernando de Noronha	225	Fernando de Noronha – PE

4 - Mucuripe	2.400	Fortaleza – CE
5 - RN 15 - Rio do Fogo	49.300	Rio do Fogo – RN
6 - Eólica Olinda	225	Olinda – PE
7 - Macau	1.800	Macau – RN
8 - Millennium	10.200	Mataraca – PB
9 - Eólica-Elétrica Experimental do Morro do Camelinho	1.000	Gouveia - MG
10 - Eólico-Elétrica de Palmas	2.500	Palmas - PR
11 - Eólica de Bom Jardim	600	Bom Jardim da Serra - SC
12 - Parque Eólico do Horizonte	4.800	Água Doce - SC
13 - Eólica Água Doce	9.000	Água Doce - SC
14 - Parque Eólico de Osório	50.000	Osório - RS
15 - Parque Eólico Sangradouro	50.000	Osório - RS
16 - Parque Eólico dos Índios	50.000	Osório - RS
Total: 16 Usinas	Potência Total: 247.050 kW	

Em março de 2008, existiam mais dois parques eólicos em construção no estado do Ceará e dez na Paraíba. O Parque Eólico de Beberibe com 25,2 MW e a Eólica Paracuru com 23,4 MW e os outros dez no município de Mataraca com uma potência total de 45 MW. Após a conclusão desses parques, a região nordeste será responsável por 70% da capacidade instalada por fonte eólica no Brasil[1].

Há ainda pouco conhecimento sobre o potencial eólico real do Brasil. Fato que pode ser comprovado pela alta discrepância entre os dados do potencial eólico no Nordeste, estimado pela CRESESB de 70 GW e pelo Centro Brasileiro de Energia Eólica (CBEE) de 6 GW. E para que haja um aproveitamento do vento para a geração de energia elétrica, há a necessidade de estudos detalhados com os dados do vento do país.

Todavia, existem poucas estações meteorológicas no Brasil, específicas para a análise do potencial energético dos ventos. E os dados de estações meteorológicas para outros fins (previsão do tempo e condições aeroportuárias), não possuem aplicabilidade para este propósito, pela inadequada medição a uma altura abaixo de 50 metros. [11]

Por este motivo, atualmente está em estudo, a implementação de sistemas de medição e monitoramento para o mapeamento do potencial eólico e direção do vento do estado de Sergipe, através de uma parceria entre a Universidade Federal de Sergipe (UFS), a Petrobras, a Energisa e a Secretaria de Desenvolvimento Tecnológico de Sergipe (SEDETEC), com o objetivo de obter dados reais necessários para a instalação de parques eólicos no estado nos próximos anos.

3. Integração de Parques Eólicos na Rede Elétrica

No Brasil, aproximadamente 97% da capacidade de produção de eletricidade está interligada através do Sistema Integrado Nacional (SIN). Em março de 2008, estavam contabilizadas cerca de 90 mil quilômetros de linhas nesse sistema, o qual possibilita a troca de energia entre as diferentes regiões do país. [14]

A entidade que é responsável pela coordenação e controle da operação das instalações de geração de energia elétrica no SIN é o Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), criado em 1998 e tem como um dos objetivos principais definir as condições de acesso à malha de transmissão do país.

Para ser efetuada a integração dos Parques Eólicos no SIN, primeiramente deve ser feita uma solicitação de acesso à linha com o ONS. Este processo envolve várias entidades ligadas ao ONS e outros agentes conectados a rede que possam ser afetados pela integração do Parque.

Após a solicitação, é efetuada uma série de estudos para analisar a viabilidade e efeitos da integração do sistema eólico ao SIN. Uma das formas mais importantes para analisar a capacidade de uma linha

suportar falhas geradas pelo sistema eólico é através do nível de curto circuito ou de falha da rede. Este estudo também é necessário para determinar o tamanho e as características do Parque que pode ser integrado a um determinado sistema elétrico.

Tais análises são feitas através de uma série de cálculos, que antigamente eram manuais, mas que hoje são utilizados softwares específicos para este propósito. Na Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), por exemplo, foi desenvolvido um programa que simula os efeitos das variações do vento nas redes de distribuição, após a integração com os parques eólicos.

Um dos cálculos mais utilizados atualmente é o de fluxo de carga dinâmico onde é considerada a potência gerada pelos parques eólicos a intervalos de 15 minutos, tempo que representa a mudança do comportamento do vento em uma determinada central eólica[13].

Outro fator importante a ser considerado antes da instalação dos Parques Eólicos é a sua distância em relação à rede elétrica, isto para diminuir custos por expansão da rede, já que, por exemplo, cada quilômetro de linha de transmissão de 69 kV tem um custo aproximado de 85 mil reais no nordeste brasileiro. Para isso, deve ser efetuado um estudo para identificar regiões em que tenham tanto um bom potencial eólico quanto uma distância mínima possível para uma linha de transmissão de energia.

3.1 Problemas Causados pelos Parques Eólicos

Com o aumento do uso do potencial eólico para a geração de energia elétrica no Brasil, há uma necessidade crescente de estudos detalhados sobre as influências da integração dos parques eólicos nas linhas de distribuição e transmissão, para assegurar que a qualidade de energia da rede elétrica seja satisfatória após a instalação desses parques.

Ao contrário das termoelétricas, usinas nucleares e hidroelétricas, que podem controlar a energia a ser produzida, pois utilizam formas de armazenamento de energia antes da geração de eletricidade, a produção de energia pelas turbinas eólicas é sujeita a variações constantes do vento e não podem ser previstas com a mesma precisão que as outras fontes. Em razão das mudanças de velocidade do vento, os parques eólicos podem introduzir distúrbios e conseqüentemente diminuir a qualidade da energia elétrica, o que pode resultar em má operação ou até falha de equipamentos dos consumidores finais de energia da rede na área de operação dos parques.

Um dos parâmetros mais relevantes para a conexão de turbinas eólicas nas linhas de distribuição é a variação de tensão elétrica. Esta variação é causada por todos os tipos de turbinas eólicas e são causadas tanto pelas mudanças lentas da velocidade do vento como por mudanças abruptas.

As variações lentas de tensão ou também chamadas de variações de tensão em regime estacionário, são causadas principalmente por variações cíclicas diárias do vento. As variações de tensão em regime estacionário são normalmente consideradas assumindo condições mínimas de carga de rede com um máximo de geração e carga máxima de rede, com uma mínima geração [10].

Já as variações rápidas da tensão são normalmente ocasionadas pelas variações em escalas de tempo bem pequenas, como as rajadas de vento. As variações rápidas de tensão estão também relacionadas com aspectos estruturais e construtivos das turbinas. Essas variações são causadoras dos fenômenos de cintilação (*flickers*) [11].

Existe ainda o problema ocasionado quando as condições dos ventos são fortes e o consumo de energia, no mesmo momento, é baixo. O que pode ocasionar sobrecargas na rede. Este é um dos maiores problemas encontrados na Alemanha, país que depois de muitos programas eficientes de incentivo ao uso de energia eólica nas últimas décadas, é responsável por aproximadamente 25% de toda energia gerada no mundo por turbinas eólicas. Uma grande parte dos parques eólicos na Alemanha está integrada nas linhas de transmissão e distribuição do leste desse país, especialmente no estado de Brandenburgo que fica ao redor da cidade-estado de Berlim [13].

Para solucionar e controlar o problema de sobrecarga da rede elétrica Alemã, as concessionárias necessitam reestruturar as redes existentes, e construir novas. No entanto, o tempo para que essas novas redes fiquem prontas pode durar até 10 anos devido à entrega das licenças e dos estudos de impacto ambiental. Por este motivo, para que as linhas elétricas permaneçam operando satisfatoriamente, está sendo usado o sistema *Network Safety Management* (NSM), que é um sistema que controla remotamente o ligamento ou desligamento de Parques Eólicos, de acordo com prioridades pré-determinadas [13].

Ao contrário das formas de geração tradicionais, alguns tipos de turbinas eólicas não podem fornecer energia reativa necessária tanto pelos conversores de frequência usados pelos Parques Eólicos quanto para gerar campo magnético necessário por alguns equipamentos dos consumidores finais da rede elétrica. Por isso, são necessários dispositivos localizados nos parques eólicos para suprir a energia reativa à rede elétrica.

3.2 Características Construtivas das Turbinas Eólicas

A qualidade de energia produzida é dependente também do tipo da turbina eólica. Os sistemas que operam com velocidade variável estão ficando mais populares, pois possuem a vantagem de não transmitir variações rápidas de energia na rede. Além de poder gerar energia de 6 a 15% a mais que as turbinas de velocidade constante. As turbinas eólicas de velocidade variável também podem controlar tanto a energia ativa como reativa produzida, podendo assim ajudar na correção do fator de potência da rede [10].

Outra vantagem das tecnologias de velocidade variável é que estas reduzem a variação dos picos de torque gerados pelas rajadas de vento, o que diminui as flutuações de energia na rede. E conseqüentemente produzem menos *flickers* do que os sistemas de velocidade fixa.

No Brasil, a energia gerada pelo potencial eólico é na maioria dos casos precedente de Turbinas Eólicas da empresa alemã ENERCON GmbH e fabricadas no Brasil pela sua subsidiária Wobben Windpower. Os principais modelos em operação no país são os E-40 com potência nominal de 600 kW, os E-48 de 800kW e os E-70 de 2000kW. Todos estes são geradores síncronos de velocidade variável [7].

Essas turbinas da ENERCON possuem um tipo de sistema SCADA próprio, que fornece informações sobre o fluxo de energia, níveis de tensão, falhas, posições das chaves e condições meteorológicas. E ainda possibilita que a central de comando faça algumas mudanças remotamente, como abrir e fechar chaves e ajustar a tensão.

4. Conclusões

Nesse artigo, foram apresentados fatos que demonstram a situação da energia eólica e seu desenvolvimento ao longo dos últimos anos no Brasil. Foi visto que o uso da geração eólica ainda está em fase inicial de desenvolvimento, havendo problemas para cumprir com as metas do PROINFA. Mas que nos próximos anos está previsto um aumento considerável da capacidade instalada através desse programa, o que tornará o Brasil um dos grandes produtores mundiais de energia eólica.

Entretanto, para que haja um aproveitamento eficiente da energia dos ventos é necessário fazer um mapeamento detalhado do potencial eólico brasileiro, através de estações meteorológicas específicas para este objetivo, para que aponte os locais onde há maior viabilidade de instalação dos Parques Eólicos.

Com este propósito, a UFS em parceria com outras instituições está estudando a instalação de estações para o monitoramento das características do vento de Sergipe, para serem adquiridos dados suficientes para a instalação de futuros Parques no estado. Será também utilizado um Sistema de Informação

Geográfica ou GIS (Geographic Information System), que é um programa computacional que permite uma representação geográfica e dos fenômenos que nele ocorrem de forma eficiente.

Além disso, foi visto que para que haja um crescimento do uso do potencial eólico sem introduzir impactos no sistema elétrico brasileiro é necessário fazer um estudo da rede onde será integrado o Parque, usando cálculos normalmente por software. Em alguns casos, o uso de dispositivos para complementar as turbinas eólicas na instalação dos Parques Eólicos também é necessário.

5. Referências Bibliográficas

- [1] AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (Brasil) (ANEEL). Banco de Informações de Geração: BIG. Disponível em: <www.aneel.gov.br/15.htm>. Acesso em: 25 mar. 2008.
- [2] Brasil. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética Balanço Energético Nacional 2007: Ano base 2006: Resultados Preliminares / Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. – Rio de Janeiro: EPE, 2007.
- [3] BRASIL. Lei nº 10.438, de 26 de abril de 2002. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 29 abr. 2002. Seção 1, p. 2.
- [4] SEMINARIO INTERNACIONAL DE ALTO NIVEL: VISIÓN ESTRATÉGICA DE LAS ENERGÍA SOSTENIBLES EN AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE. PROINFA: POLÍTICA PÚBLICA DE ENERGIA RENOVÁVEL, jun. 2007. Chile. Disponível em <http://www.cepal.org/dni/noticias/noticias/1/28921/Laura_Porto.pdf>. Acesso em: 30 ago. 2007.
- [5] GLOBAL WIND ENERGY CONCIL. Continuing boom in wind energy – 20 GW of new capacity in 2007. Disponível em: <[http://www.gwec.net/index.php?id=30&no_cache=1&tx_ttnews\[tt_news\]=121&tx_ttnews\[backPid\]=4&cHash=f9b4af1cd0](http://www.gwec.net/index.php?id=30&no_cache=1&tx_ttnews[tt_news]=121&tx_ttnews[backPid]=4&cHash=f9b4af1cd0)>. Acesso em: 29 jan. 2008.
- [6] BRASIL. Lei nº 11.075, de 30 de dezembro de 2004. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 31 dez. 2004. Seção 1, p. 1.
- [7] WOBLEN WINDPOWER. Disponível em: <<http://www.wobben.com.br>>. Acesso em: 06 jan. 2008.
- [8] AMARANTE, O. A.. et al. Atlas do potencial eólico brasileiro. Brasília: MME; Rio de Janeiro: Eletrobrás, 2001. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/atlas_eolico_brasil/atlas-web.htm>. Acesso em: 15 out. 2007.
- [9] LATIN AMERICA WIND ENERGY ASSOCIATION . Latin America Operating Wind Power. Disponível em: <<http://www.lawea.org/ing/energia.php?secc=mw>>. Acesso em: 31 nov. 2007.
- [10] BURTON, T.. at all. Wind Energy Handbook. Chichester: JOHN WILEY & SONS, 2001.
- [11] CENTRO BRASILEIRO DE ENERGIA EÓLICA - CBEE. Recife: UFPE, c1999. Disponível em: <www.eolica.org.br>. Acesso em: 15 nov. 2007.
- [12] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. BRAZIL: A COUNTRY PROFILE ON SUSTAINABLE ENERGY DEVELOPMENT, VIENNA, 2006. Disponível em: <http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1247_web.pdf>. Acesso em: 15 nov. 2007.
- [13] SCHWARZ, H.; PFEIFFER, K.; ROSKODEN, L.: Integration of Renewable Energies to the East German Grid – Actual Problems and Possible Solutions. Proceedings of the WSEAS PE '06. P. 7-13, 2006.
- [14] OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO – ONS. Disponível em: <<http://www.ons.org.br>>. Acesso em: 17 jan. 2008.