

Mapeamento do Potencial Eólico do Estado do Espírito Santo em Resolução de 250m x 250m

J.E. Pereira; C.A.G. Filho; F. Zorzanelli; E. Escopel; O.A.C. Amarante; F.J.L. Silva; L. G. R. Filho

RESUMO

Este trabalho apresenta os resultados do Projeto de Pesquisa e Desenvolvimento da Espírito Santo Centrais Elétricas S.A. (ESCELSA), autorizado pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), referente ao Mapeamento do Potencial Eólico do Estado do Espírito Santo. Este mapeamento foi realizado a partir de uma rede de medições anemométricas específica e de um modelo numérico de simulação de camada-limite atmosférica, calculado sobre modelos digitais de terreno na resolução horizontal de 250m x 250m. O processo de mapeamento utilizou modelamento de mesoescala na resolução horizontal de 3,6 km x 3,6 km, e posterior interpolação para a resolução final um por modelo tridimensional de camada-limite. Os resultados são apresentados na forma de mapas temáticos de velocidades médias anuais e sazonais, rosas-dos-ventos (frequência e velocidade média por direção), fator de forma (k) da Distribuição Estatística de Weibull e análises dos regimes diurnos, mensais e sazonais. Foram identificadas as áreas mais promissoras para empreendimentos eólicos no Estado e estimado o potencial de geração eólio-elétrica. Os resultados foram consolidados no Atlas Eólico do Espírito Santo.

PALAVRAS-CHAVE

Energia Renovável, Mapeamento Eólico, Medições Anemométricas, Modelos Numéricos.

I. METODOLOGIA

A. O Processo de Mapeamento

O mapeamento do potencial eólico do Estado do Espírito Santo foi realizado a partir de uma rede de medições anemométricas e de um modelo numérico de simulação da camada-limite atmosférica, calculado sobre modelos digitais de terreno na resolução horizontal de 250m x 250m. O modelo numérico aplicado foi o MesoMap, neste caso, constituído por modelamento de mesoescala (MASS) na resolução horizontal de 3.6km x 3.6km, e posterior interpolação para a resolução final por modelamento tridimensional de camada-limite (WindMap).

1. O Modelo de Mesoescala

O núcleo do sistema MesoMap é o MASS (Mesoscale Atmospheric Simulation System), que é um modelo numérico de mesoescala similar aos modelos de previsão do tempo ETA e MM5, incorporando os princípios físicos fundamentais da dinâmica atmosférica, que incluem: (a) princípios de conservação de massa, momentum e energia; (b) fluxos de calor e mudanças de fase do vapor d'água; e (c) módulo de energia cinética turbulenta, que simula os efeitos viscosos e de estabilidade térmica sobre o gradiente vertical de vento.

Dados de Entrada: Um amplo conjunto de dados meteorológicos e geográficos é utilizado como entrada para o MASS. Os principais dados geográficos de entrada são a topografia, uso do solo e índice de vegetação por diferença normalizada (IVDN). Os principais dados de entrada meteorológicos foram os provenientes de reanálises, radiossondagens e temperaturas sobre a terra e oceanos. No modelamento deste estudo foi utilizado o banco de dados de reanálises produzido pelo US National Center for Atmospheric Research (NCAR). Estes dados contêm seqüências de parâmetros meteorológicos dos principais níveis de toda a atmosfera terrestre, em intervalos de 6 horas e resolução de 200km x 200km. O sistema MesoMap precisa ser rodado de forma sucessiva em áreas que são subdivididas em mosaicos de resolução gradualmente maior, onde cada malha utiliza como dados de entrada os parâmetros da respectiva região anterior, até que a resolução desejada seja atingida.

2. O Modelo WindMap

A partir dos modelos digitais de terreno (relevo e rugosidade), dos dados das medições anemométricas e do resultado do modelamento de mesoescala MASS, as velocidades médias e direções de vento são calculadas para a resolução final pelo software WindMap.

Desenvolvimento recente dos métodos baseados na equação da continuidade (conservação de massa ou escoamento não-divergente), originários do NOABL (Numerical Objective Analysis of Boundary Layer), o WindMap utiliza o método dos elementos finitos para calcular o campo de velocidade do escoamento em todo o domínio de cálculo, que constitui-se de uma malha tridimensional de pontos

J. E. Pereira - ESCELSA (eficiencia@escelsa.com.br).

C. A. G. Filho - ESCELSA (eficiencia@escelsa.com.br).

F. Zorzanelli - ESCELSA (zorzanel@escelsa.com.br).

E. Escopel - ESCELSA (scopel@escelsa.com.br).

O. A. C. Amarante - CAMARGO SCHUBERT (ventar@terra.com.br).

F. J. L. Silva - CAMARGO SCHUBERT (ventar@terra.com.br).

L. G. R. Filho - CAMARGO SCHUBERT (ventar@terra.com.br).

sobre o terreno. O grid (malha tridimensional de pontos de cálculo) é gerado utilizando-se um sistema de coordenadas conformes ao terreno e que permite um maior refinamento da malha próximo à superfície do mesmo. Juntamente com os dados efetivamente medidos nas torres anemométricas, os sumários estatísticos das simulações MASS compõem as condições de contorno e dados de inicialização, constituindo-se de estatísticas por direção numa malha regular de 3.6km x 3.6km, para distintos níveis de altura sobre o terreno (10m, 25m, 50m, 75m, 100m, 200m e 500m).

3. Resultados do Mapeamento

O modelamento de mesoescala foi realizado para todo o território do Estado do Espírito Santo na resolução horizontal de 3.6 km, permitindo a simulação de mecanismos tais como brisas marinhas, descolamento de escoamento em relevos complexos, brisas montanha-vale, entre outros. A interpolação para a resolução final foi realizada pelo WindMap, utilizando-se modelos digitais de terreno e rugosidade, desenvolvidos em resolução horizontal de 250m x 250m, a partir de cartas topográficas vetorizadas, imagens de satélite, modelos de vegetação e uso do solo e amostragens em campo. Os principais resultados da simulação são apresentados em mapas temáticos de velocidades médias anuais e sazonais, calculadas a 50m, 75m e 100m de altura sobre o terreno, rosas-dos-ventos (frequência e velocidade média por direção) e parâmetros das distribuições estatísticas de vento, além de análises dos regimes diurnos sobre o Estado.

4. Efeitos de Subescala

Como todo método numérico de simulação, o método não é sensível às variáveis cujas dimensões características sejam inferiores ao tamanho da malha de cálculo utilizada (resolução dos modelos de relevo e rugosidade, por exemplo), ou seja, os efeitos de subgrade ou subescala, não podem ser adequadamente resolvidos, gerando discrepâncias em relação ao valor esperado real da variável em análise. No presente mapeamento, os resultados apresentam as variáveis médias obtidas com uma malha de 250m x 250m. Apesar da relativa alta resolução, desvios significativos em torno das médias podem ocorrer, devido às características locais de subescala e eventuais obstáculos.

5. Filtragem do Efeito de Subescala

Ao utilizar-se dados de medição na composição do modelo atmosférico (que introduz as condições de contorno e iniciais no modelo numérico), deve-se observar que um anemômetro mede as condições locais de vento, e estas são afetadas pelas condições de relevo, rugosidade e obstáculos, que podem ter grandes variações na escala de metros, e assim, introduzir erros pelo efeito de subescala. Para avaliar e filtrar essas influências de relevo e rugosidade na subescala, o presente Atlas utilizou metodologia desen-

volvida pela Camargo-Schubert a partir do software WindMap. Os pontos centrais desta metodologia aplicados ao presente mapeamento são:

- (a) filtragem dos efeitos de subescala através da integração de modelos de terreno em alta resolução (50m x 50m ou 100m x 100m), numa área de 12km x 12km no entorno de cada estação, gerando parâmetros médios no modelo atmosférico que sejam compatíveis com o modelo final, na resolução de 250m x 250m. O modelo de alta resolução é resolvido pelo WindMap e integrado através de recursos de geoprocessamento, obtendo-se valores médios locais das variáveis de interesse (Figura 1);
- (b) Na solução WindMap sobre o modelo de alta resolução, também são avaliados - de forma iterativa, para cada estação - os parâmetros de estabilidade térmica vertical da atmosfera e a altura da camada-limite, que complementam o modelo de escoamento atmosférico.

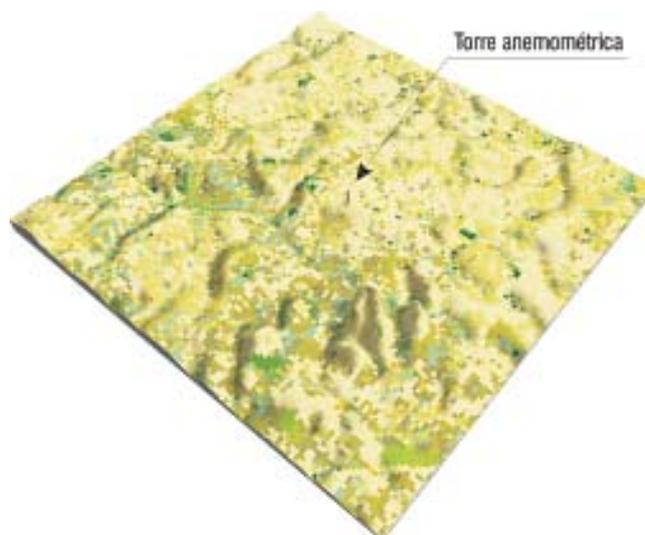


FIGURA 1 - Exemplo de modelos de relevo e rugosidade em alta resolução: Estação Anemométrica de Montanha.

B. Medições Anemométricas

O presente mapeamento contou com uma rede qualificada de 6 torres anemométricas e um período de 16 meses de medições. As torres foram instaladas em locais criteriosamente selecionados, representativos das principais regiões do Estado, em áreas de baixa rugosidade e devidamente afastadas de obstáculos. Para a escolha das regiões mais representativas, foi realizado um mapeamento eólico preliminar de todo o Estado, que evidenciou as áreas mais representativas e promissoras para a instalação de torres anemométricas. Estas áreas foram inspecionadas in loco, definindo-se a posição definitiva das torres com o auxílio de GPS (Sistema de Posicionamento Global), imagens de satélite, modelos de topografia e mapa eólico preliminar. Foram instaladas 2 torres no litoral sul (Praia das Neves, Piúma), 1 torre na região serrana (Aracê), 2 torres no litoral norte (Urussuquara, Guriri) e 1 torre no extremo norte do Estado (Montanha).

As torres, com 50m de altura, foram equipadas com anemômetros em 2 níveis (30 e 48m) e 1 sensor de direção a 48m. Todos os anemômetros foram previamente calibrados em túnel de vento, segundo os padrões europeus de certificação (MEASNET, DEWI). Foram utilizados armazenadores de dados (dataloggers) de 2 tipos: tipo (a), registra apenas um resumo das estatísticas medidas, instalados em 4 torres (Piúma, Aracê, Guriri e Montanha); tipo (b), registra as estatísticas e toda a série temporal de dados medida no período, instalados em 2 torres (Praia das Neves e Urussuquara).

Em cada período de medição são registrados os histogramas de velocidade e as velocidades médias e máximas (rajadas) nas duas alturas de medição, rosas-dos-ventos (frequências de ocorrência e velocidades médias por direção), frequência de calmarias e velocidades médias horárias (regime diurno). Para as estações anemométricas com dataloggers tipo (b), além das séries temporais das variáveis médias, são registradas ainda as velocidades máximas por direção e as séries temporais instantâneas de ocorrência de rajadas. A Figura 2 mostra a torre anemométrica instalada em Praia das Neves.

1) Tratamento e Validação dos Dados

Os dados anemométricos foram auditados utilizando rotinas e algoritmos de validação e verificação, de modo a excluírem-se possíveis falhas (e.g. atrito em anemômetros) ou incoerências nos registros. Após a análise, os dados foram agrupados e consolidados no modelo atmosférico utilizado no mapeamento do Estado do Espírito Santo.

2) Representatividade Climatológica

O modelamento MesoMap utilizado para este Atlas amostrou dados meteorológicos de reanálise de 15 anos - abrangência que pode ser considerada razoável em relação à sua representatividade em relação à vida útil de usinas eólicas. Por outro lado, os dados anemométricos considerados são bastante recentes (de Dezembro/2001 a Março/2003) e cobriram um período pouco superior a um ciclo climatológico mínimo de 12 meses. Assim, tornou-se necessária uma avaliação da representatividade do período medido e a eventual necessidade de ajustes climatológicos. Tal avaliação requer dados consistentes, representativos do longo prazo e com a maior abrangência possível - idealmente da ordem de décadas. Para ajustes climatológicos, tais dados também devem possuir um período de simultaneidade com os dados de curto prazo, permitindo a avaliação das correlações entre as séries medidas. Entre os registros de longo prazo disponíveis, sobressaíram os dados de medições indiretas de ventos de superfície sobre o oceano (fonte: NASA, NOAA). O ajuste climatológico foi aplicado apenas às estações litorâneas, cujo regime de ventos é fortemente controlado pela interação das brisas oceânicas e terrestres. Para estas estações, os respectivos coeficientes de correlação das séries

mensais de velocidade de vento no período de Dez/01 a Nov/02, situaram-se entre 0,76 e 0,87, o que induz a uma aceitável consistência nos ajustes climatológicos.

B. Modelos de Terreno

Os regimes de vento são fortemente influenciados pelas topografia e rugosidade do terreno. A acurácia dos resultados é afetada diretamente pela qualidade dos modelos digitais empregados; além disso, os modelos devem ser georreferenciados, de modo a possibilitar o sincronismo das variáveis de terreno e atmosféricas, realizando-se também, amostragens de validação em campo e comparações com modelos já existentes.



FIGURA 2 - Torre anemométrica.

O Modelo Digital de Relevo foi elaborado a partir de cartas vetorizadas, em escala 1 : 50.000 e 1 : 100.000, abrangendo toda a área do Estado, em resolução 250m x 250m.

O Modelo Digital de Rugosidade do Estado do Espírito Santo foi elaborado em resolução horizontal de 250m x 250m a partir de interpretação do mosaico de imagens LANDSAT5, aferições por comparação com o Mapa de



FIGURA 3 - Modelos Digitais de Terreno (Relevo e Rugosidade).

Vegetação do Brasil (IBGE) e com o Modelo de Uso do Solo desenvolvido pela USGS, Universidade de Nebraska e o Joint Research Centre da Comissão Européia, e aferições por amostragens em campo das áreas mais representativas. Estes modelos são apresentados na Figura 3.

II. O POTENCIAL EÓLICO DO ESPÍRITO SANTO

A. Regimes de Vento

A distribuição geral dos ventos sobre o Brasil, e que afeta o Espírito Santo, é controlada pelas grandes escalas atmosféricas: a escala sinótica e a circulação geral planetária (Figura 4). Este perfil geral apresenta variações significativas na mesoescala e na microescala, devido à diversidade das características do terreno, tais como geometria e altitude, presença de obstáculos, cobertura vegetal, albedo, e existência de grandes extensões de massas de água. Estes fatores atuantes nas escalas menores podem resultar em regimes de vento locais bastante distintos.

O Espírito Santo está situado numa zona de predomínio da influência do centro de alta pressão Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (figura acima), resultando em acentuada ocorrência de ventos de quadrante leste e nordeste. Sobreposto a este mecanismo, agem as intermitentes incursões de massas polares, as frentes frias, resultando em uma marcante sazonalidade. Estes mecanismos são as principais influências na escala sinótica da dinâmica atmosférica, ao qual se sobrepõem os mecanismos de mesoescala, tais como as brisas marinhas, terrestres e lacustres, ventos montanha-vale, jatos noturnos, e outros.

As regiões com ventos médios anuais mais intensos no Espírito Santo situam-se nos litorais sul e centro-norte. Ao longo do litoral, a influência da mesoescala é mais



FIGURA 4 - Escalas atmosféricas atuantes no Espírito Santo.

pronunciada, atuando através das brisas marinhas e terrestres, criando um ciclo diurno característico, com acentuada variação da velocidade do vento ao longo do dia. O litoral sul do Estado apresenta as maiores variações das médias diurnas anuais: no início da manhã, as velocidades atingem um mínimo, com o nascer do sol, o aquecimento do continente acentua a influência das brisas marinhas, que atingem um máximo no período que se estende do final da tarde ao início da noite; com o poente, o continente vai progressivamente esfriando, a atmosfera torna-se mais estável, e a intensidade das brisas marinhas diminui, até o raiar do novo dia, onde a dinâmica recomeça. O litoral norte do Estado também possui um regime diurno anual semelhante, apresentado, entretanto, uma menor amplitude de velocidades. Durante um ciclo climatológico de medições (1 ano), o sul do Estado apresentou velocidades médias horárias abaixo de 4,5m/s no início da manhã (7-9hs) e acima de 8,0m/s no período que vai do meio da tarde ao início da noite (15-20hs).

Em regiões serranas, ocorrem os efeitos de brisas montanha-vale, acelerações orográficas, eventuais canalizações do escoamento entre passos de montanhas e outros fenômenos decorrentes da topografia e da complexidade do terreno. Os ventos anuais mais intensos são geralmente encontrados nas maiores elevações, onde o efeito de compressão do escoamento atmosférico é mais acentuado.

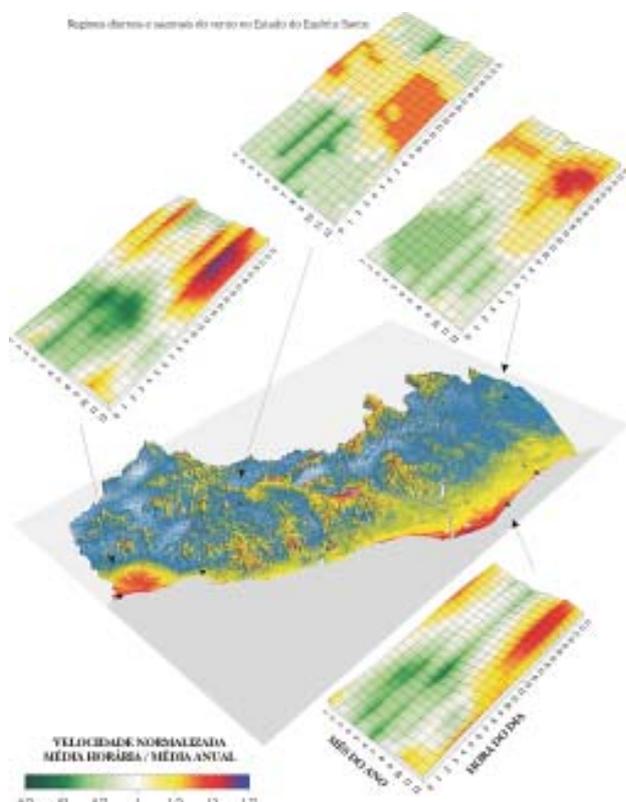


FIGURA 5 - Regimes de Vento no Espírito Santo.

Na figura abaixo são apresentados os regimes diurnos e sazonais do Estado do Espírito Santo medidos em 4 diferentes torres anemométricas. As velocidades médias do vento sobre o Estado apresentam uma grande sazonalidade, em geral, com a ocorrência de ventos mais intensos nos meses de primavera (setembro a novembro), e mais brandos nos meses de final de outono e início de inverno (abril a junho). Na região serrana, o vento é mais intenso no período que vai do final da manhã ao meio da tarde; nas demais regiões, o vento se intensifica no período que se estende do meio da tarde ao início da noite.

B. Mapas do Potencial Eólico

A seguir são apresentados os mapas de velocidades médias anuais e sazonais na altura de 50m, rosas-dos-ventos (frequências de ocorrência e velocidades médias por direção) e fator de forma de Weibull anual para todo o Estado do Espírito Santo.

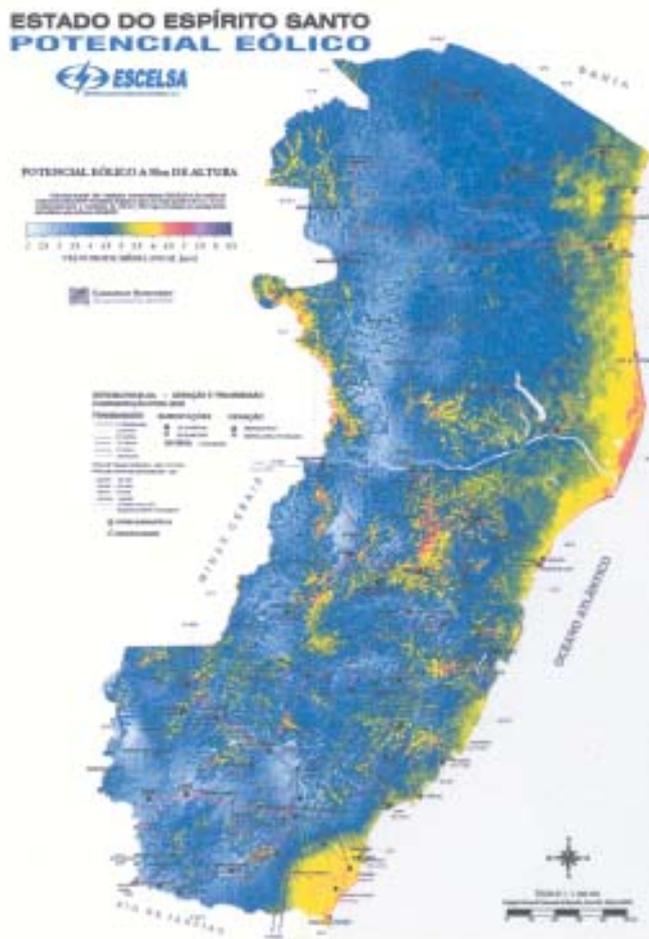


FIGURA 6 - Potencial Eólico do Espírito Santo (Velocidades Médias Anuais) na altura de 50 metros (abaixo).

A seguir são apresentados os mapas de rosas-dos-ventos, fator de forma de Weibull e velocidade sazonal:

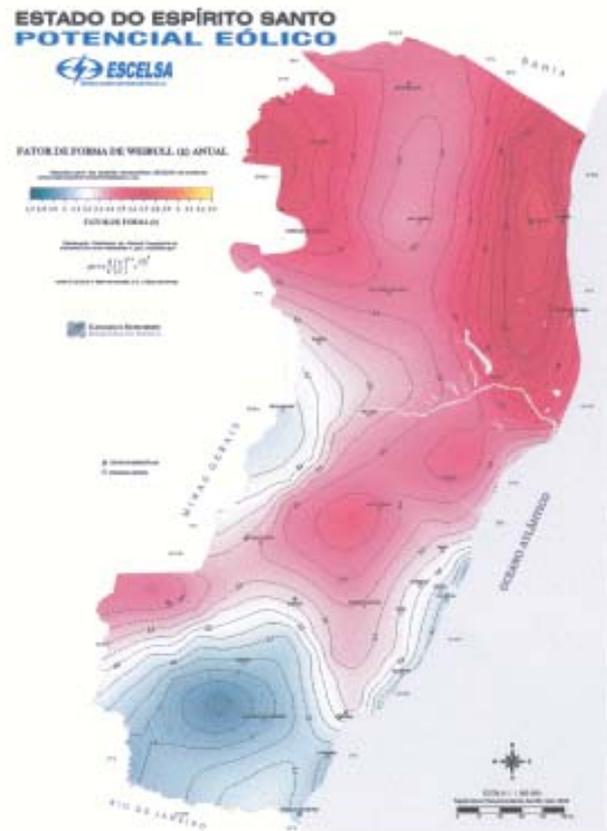
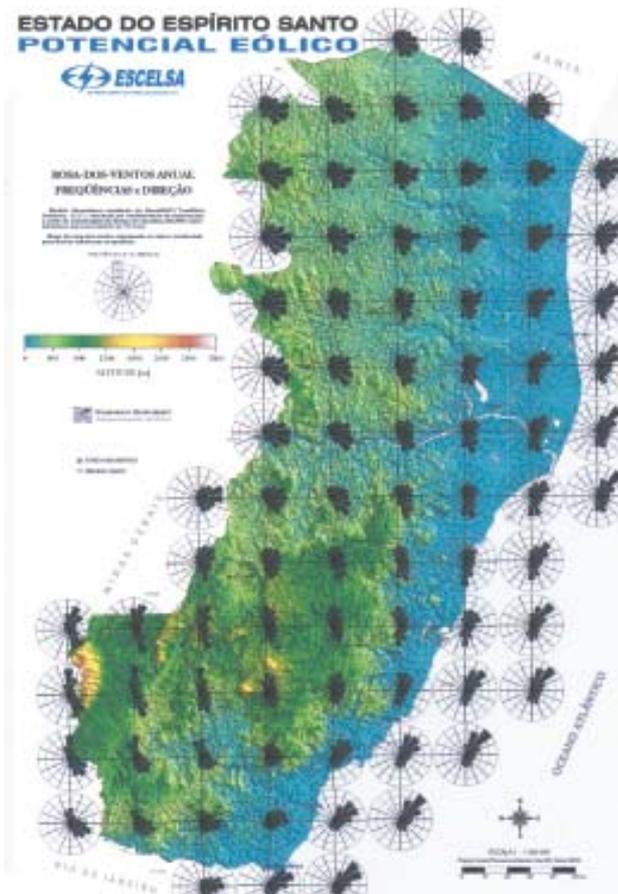


FIGURA 8 – Fator de Forma (k) médio anual da Distribuição Estatística de Weibull.

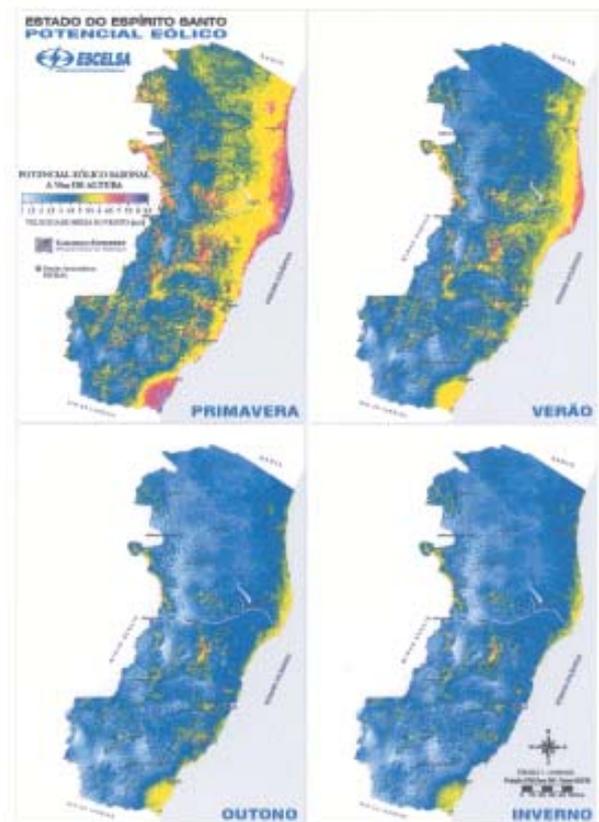
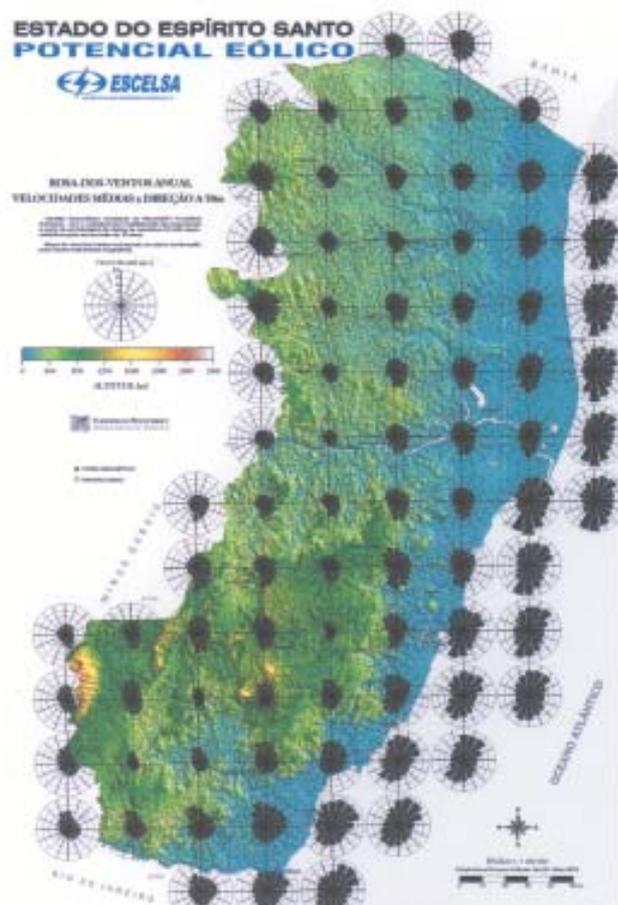


FIGURA 9 – Velocidade Média Sazonal a 50m de altura.

FIGURA 7 - Rosa-dos-Ventos Anual a 50m: (a) freqüências de ocorrência e (b) velocidades médias por direção.

C. Potencial Eólico Estimado

O potencial eólico do Estado do Espírito Santo foi calculado a partir da integração dos mapas de velocidades médias anuais, utilizando-se recursos de geoprocessamento e cálculos de desempenho e produção de energia de usinas eólicas no estado-da-arte mundial. Nesse processo foram adotadas as seguintes considerações:

- Para as velocidades de vento calculadas nas 3 alturas, 50m, 75m e 100m, foram consideradas curvas médias de desempenho de turbinas eólicas comerciais nas classes de 500 kW, 1,5 MW e 3,0 MW, com diâmetros de rotor de 40m, 80m e 100m, e torres de 50m, 75m e 100m de altura, respectivamente.
- Foi considerada uma taxa de ocupação média de terreno de 1,5 MW/km², o que representa cerca de 20% do realizável por usinas eólicas comerciais em terrenos planos, sem restrições de uso do solo (e.g. topografia desfavorável, áreas habitadas, difícil acesso, áreas alagáveis, restrições ambientais) e sem obstáculos.
- Para todo o território do Espírito Santo, nos respectivos mapas com resolução de 250m x 250m, foram integradas as áreas com velocidades médias anuais a partir de 5,5m/s, em faixas de 0,5m/s. A integração e o cálculo do potencial de geração foi realizado considerando-se usinas eólicas implantadas em terra (onshore), sendo descartadas as áreas abrangidas pelas principais lagoas, rios, represas e mar.
- Os fatores de capacidade foram corrigidos para o efeito da densidade local do ar.
- Na integração das curvas de potência das turbinas, foram calculadas as distribuições de velocidade do vento locais, considerando os Fatores de Forma de Weibull (k) apresentados no mapa correspondente.
- No cálculo de geração e desempenho de usina foi considerado um fator de disponibilidade de 98%, um fator de eficiência (interferência aerodinâmica entre rotores) de 97% e um fator de perdas de 2%.

A tabela a seguir apresenta o resultado da integração dos mapas e o Potencial Eólico do Estado do Espírito Santo. Deve ser observado que os fatores de capacidade e o potencial de geração não apresentarão variações significativas ao utilizar-se curvas de potência de turbinas eólicas com dimensões próximas das consideradas, por exemplo, considerar-se turbinas de 1,2 MW-1,8 MW ao invés de 1,5 MW.

Os resultados da integração cumulativa indicam um potencial estimado de 0,56 GW, 1,85 GW e 3,58 GW, para áreas com ventos iguais ou superiores a 6,5m/s (Tabela 1), nas alturas de 50m, 75m e 100m, respectivamente. O fator de capacidade médio estimado para as áreas com velocidades médias anuais na faixa de 6,5 a 7,0m/s é de 0,239 na altura de 50m.

Como referência comparativa, o sistema elétrico brasileiro possuía uma capacidade total instalada de 82,3 GW até

o final de 2002, e o total de recursos hidráulicos no Brasil (inventariado mais estimado) é de 143,4 GW. O Estado do Espírito Santo possui uma capacidade instalada de 870 MW. O consumo de energia elétrica no Estado foi de 6,11 TWh no ano de 2001, ao passo que a estimativa de geração eólica anual é de 1,24 TWh, 3,83 TWh e 6,58 TWh nas alturas de 50m, 75m e 100m, para ventos acima de 6,5m/s.

D. Análise

O mapeamento do Potencial Eólico do Espírito Santo evidenciou duas principais áreas para empreendimentos eólio-elétricos no Estado, ambas situadas ao longo do litoral capixaba.

Área 1, Litoral de Linhares: extensa planície costeira, atravessada ao sul pelo Rio Doce, com baixa rugosidade do terreno e regimes de vento apresentando velocidades médias anuais em torno de 6,5m/s (a 50m de altura) nas melhores áreas. Área com vocação para grandes usinas eólicas (dezenas a centenas de Megawatts), necessárias para diluir os custos da interligação ao sistema elétrico regional. O principal centro de consumo próximo à região é o município de Linhares (com 115 mil habitantes, 2001, e um consumo anual de energia de 150 GWh, 1999). Ao sul desta área situam-se os distritos de Regência e o povoado de Povoação.

Área 2, Litoral Sul, Municípios de Presidente Kennedy e Marataízes: área litorânea de baixa rugosidade com velocidades médias anuais em torno de 6,5m/s (a 50m de altura) nas melhores áreas. Apresenta vocação para usinas eólicas de dezenas até centenas de Megawatts. Área com menores custos de interligação ao sistema elétrico. Como principais centros de consumo, destacam-se os municípios de Cachoeiro de Itapemirim (181 mil, 496 GWh), Itapemirim (29 mil, 31 GWh), Marataízes (31 mil, 29 GWh) e Presidente Kennedy (10 mil, 6 GWh).

III. CONCLUSÕES

Ainda que os resultados apresentados neste Atlas sejam bastante representativos das condições médias anuais do vento sobre o Estado, mapeando as áreas mais promissoras com anemometria qualificada e avançadas técnicas de modelamento e simulação numérica, variações significativas em torno da média podem ocorrer na microescala, uma vez que o vento é bastante sensível às características locais de relevo, rugosidade e presença de obstáculos.

A análise da viabilidade técnica e econômica de implantação de usinas eólicas nas áreas aqui indicadas como mais promissoras requer campanhas de medições e modelamentos específicos, compreendendo medições anemométricas qualificadas nas áreas de projeto e o desenvolvimento de modelos de terreno em alta resolução.

O potencial de geração eólica do Espírito Santo é promissor (1,85 GW a 75m de altura para áreas com ventos

iguais ou superiores a 6,5m/s) e poderá ser aproveitado gradativamente, nos limites de inserção do sistema elétrico regional.

De modo complementar, o aproveitamento da energia dos ventos pode alavancar o crescimento econômico e a auto-sustentabilidade energética do Estado do Espírito Santo, gerando energia e qualidade de vida para milhares de pessoas.

IV. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Amarante, O.A.C. do, Schultz, D.J., Wind Energy Resource Map of the State of Paraná, Brazil. *Dewi Magazin*, Germany, n. 15, p. 70-75, Aug. 1999.
- [3] Torrey, V., *Wind Catchers, American Windmills of yesterday and tomorrow*. The Stephen Geene Press, 1976.
- [4] Wind Market Status, *WindPower Monthly News Magazine*, Vol. 18, No.3, pp 33-65, March 2002.
- [5] Molly, J. P., Technical Trends in Wind Turbine Development, *DEWI Magazin*, No. 20, pp 52-59, Feb 2002.
- [6] The Windicator, *WindPower Monthly News Magazine*, Vol. 19, No.4, pp 78, April 2003.
- [7] AWS Scientific, Inc., *Wind Resource Assessment Handbook*, National Renewable Energy Laboratory. *WindPower '96 Training Seminar Edition*, Denver, CO, June 23th, 1996.
- [9] Jensen, N.O., *A Note on Wind Generator Interaction*, Riso National Laboratory, Report Riso-M-2411, Roskilde, Denmark, 1984.
- [11] Troen, I., Mortensen, N. G., Petersen, E. L., *Wind Atlas Analysis and Application Program*, Riso National Laboratory. Denmark.
- [12] Phillips, G.T. - *A Preliminary User's Guide for the NOABL Objective Analysis Code*, DOE/ET/20280-T1, U.S. Department of Energy, July 1979.
- [15] Brower, M., *WindMapTM Version 3.10*, Brower & Company. 2001. <http://www.browerco.com>.
- [17] Rohatgi, J. S., Nelson, V., *Wind Characteristics - An Analysis for the Generation of Wind Power*, Alternative Energy Institute - West Texas A&M University, 1994.
- [18] do Amarante, O. A. C., *Atlas do Potencial Eólico do Estado do Ceará*. SEINFRA/CE. 2001.
- [19] do Amarante, O. A. C., Brower, M., Zack, J., *Atlas do Potencial Eólico Brasileiro*, MME/ELETRÓBRÁS/CEPEL. 2001.
- [20] do Amarante, O. A. C., da Silva, F. J. L., *Atlas do Potencial Eólico do Estado da Bahia*, Camargo Schubert Engenharia Eólica, COELBA/Iberdrola Empreendimentos do Brasil. Outubro 2001.
- [21] do Amarante, O. A. C., da Silva, F. J. L., Custódio, R. S., Gravino, N., *Atlas Eólico do Rio Grande do Sul*, SEMC/RS. Agosto 2002.
- [22] ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica, <http://www.aneel.gov.br>, consultado em 03/04/2003.
- [24] BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL 2000. DNDE Secretaria de Energia, Ministério de Minas e Energia, Brasil, Brasília, 2000.
- [25] Censo Demográfico 2000, IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.
- [27] Milborrow, D., *Size Matters - Getting Bigger and Cheaper*, *WindPower Monthly News Magazine*. January 2003. pp 35-38.
- [32] Stull, R. B., *An Introduction to Boundary Layer Meteorology*, Atmospheric Sciences Library. Kluwer Academic Publishers, 1991.
- [33] Brower, M., Bailey, B., Zack, J., *Micrositing Using the MesoMap System*, American Wind Energy Association, 2002. <http://www.truewind.com>.
- [34] U.S. Standard Atmosphere, National Oceanic and Atmospheric Administration and National Aeronautics and Space Administration, Washington, D.C., 1962.
- [35] Energia Eólica, DEWI, Deutsches Windenergie-Institut, Wilhelmshaven, 1998.
- [38] MME; ANELL; Eletrobrás: *Boletim Semestral: Síntese 2001 - SIESE - Sistema de Informações Empresariais do Setor de Energia Elétrica*, Ministério das Minas e Energia, 2001.
- [39] INMET - Instituto Nacional de Meteorologia, <http://www.inmet.gov.br>.
- [40] MEASNET - Measuring Network of Wind Energy Institutes. <http://www.measnet.com>.