

Juan Carlos Ceballos 1  
Eduardo J. Brito Bastos 1

## INTRODUÇÃO

O crescimento da demanda de energia e a certeza de uma crise de combustíveis fósseis no próximo século, vêm induzindo o interesse em avaliar o potencial de fontes alternativas. Na última década foram realizados diversos projetos de zoneamento de energia eólica disponível para o Nordeste. Considerando o esforço requerido, é pertinente colocar-se a questão seguinte: até que ponto diversas estimativas são compatíveis, se realizadas para períodos, com instrumentos e segundo critérios diferentes.

O fluxo instantâneo de potência eólica é proporcional ao cubo da velocidade do vento; portanto, seu valor médio temporal não é proporcional ao cubo da velocidade média. Assim, o zoneamento do potencial eólico de uma região apresenta vários problemas; dentre eles:

1. O processamento de dados deveria tomar como base a estatística de pelo menos valores horários da velocidade (CEBALLOS, et al. 1981).

2. Os dados disponíveis encontram-se em geral "in natura", devendo ser lidos de planilhas correspondentes a "aeronaues" de aeroportos ou cataventos do tipo Wild (período anterior a 1971 para a rede meteorológica do Nordeste), ou deduzidos de anemogramas.

3. É recomendável uma série temporal extensa. (Observe-se que 50 estações em 10 anos cobrem 4.380.000 valores horários...) Mesmo assim, o valor "climatológico" da potência eólica num dado local pode não ser representativo do valor médio de um ano particular, sendo que as variações ano-a-ano podem ser muito grandes (REED, 1977; CEBALLOS et al. 1982).

4. A diferença de outras variáveis meteorológicas, o vento é extremamente sensível ao relevo. Uma rede de estações distribuídas com critério sinótico dificilmente permite deduzir informação em mesoescala. Mudanças de local de estações de medida podem afetar sensivelmente a energia eólica detectada.

5. A potência eólica apresenta um ciclo diário com amplitudes que podem ser bastante grandes (BASTOS et al. 1986). Dependendo dos fins perseguidos, valores como a média mensal de potência eólica podem fornecer informação deficiente para o usuário.

6. A estatística de ventos adequada para avaliar conversão de energia por aerogeradores é problema aparte. De fato, considerar um fator de eficiência constante (usualmente 0,3) pode não ser adequado, desde que a máquina possui um comportamento diferente para diferentes regimes de vento. Nesse sentido, é necessário conhecer a distribuição de frequências de velocidade característica do regime de um local, assim como as próprias características de eficiência da máquina (JOHNSON, 1979; CEBALLOS et al., 1979). Nesse sentido, dados horários resultam mais adequados do que médias diárias.

## ALGUNS PROJETOS RECENTES: ELEMENTOS DE COMPARAÇÃO

Basicamente, na última década podem ser considerados os trabalhos da SEPLANTEC (1978), CONSULPUC (ELETROBRAS, 1978) e Núcleo de Meteorologia Aplicada da UFPA (CEBALLOS et al., 1981 e BASTOS et al., 1986). A Tabela abaixo apresenta um esquema das fontes de dados utilizados.

	Região	Instrument.	Fonte	Período	Estç
SEPLANTEC	Bahia	anemógrafo	INEMET*	1976-78	23
CONSULPUC	litoral	aeronave	aeroporto	1972-76	10
CEBALLOS et al.	Nordeste	catavento	INEMET*	1961-70	65
BASTOS et al.	Nordeste	anemógrafo	INEMET*	1977-81	77

\* Rede Climatológica do Nordeste

A SEPLANTEC apresenta um zoneamento de velocidade média, baseando-se em base média diária. Como foi comentado, as cartas de isotacas não fornecem valores quantitativamente confiáveis da energia eólica, embora possam delinear regiões particularmente energéticas. O trabalho evidencia duas regiões com valores médios elevados: no centro-sul (em torno de Caetité) e no centro-oeste, (em particular, a partir da linha Irecê-Jacobina).

O trabalho da CONSULPUC se refere a um período relativamente curto, com dados hora-a-hora de velocidade "instantânea". Pode-se esperar que estes dados sejam compatíveis com resultados de médias horárias, devido ao espectro de Fourier típico do vento (V.p.ex. VAN der HOVEN, 1957).

CEBALLOS et. al. utilizaram só três dados diários correspondentes aos horários sinóticos; observe-se que os dados de catavento correspondem à informação "instantânea". Os resultados descrevem isolinhas de potência eólica (isodinas) para esses horários. Já BASTOS et al. analisaram valores horários, produzindo cartas de isodinas para potência disponível e aproveitável por aerogeradores (V. BASTOS et al., nestes Anais).

A Figura 1 ilustra a evolução da potência eólica disponível (média anual) no período 1961-81, para três estações do litoral oriental. Para 1961-70, têm-se médias "pesadas" dos horários sinóticos. Os resultados da CONSULPUC estão corrigidos com relação ao relatório original (CEBALLOS, et al., 1982). Para Salvador, observa-se que: a) a mudança de local da estação do INEMET (de Itapagipe, perto do atual aeroporto de Ondina) modificou sensivelmente os valores de potência; b) a série de Itapagipe parece coerente com a do aeroporto; c) dez anos depois da década 1961-70, a potência eólica em Ondina continua sendo baixa (da ordem de 20 w/m<sup>2</sup>). Quanto a Maceió, a estação sofreu deslocamentos nos últimos 20 anos; hoje, encontra-se num local com características semelhantes ao aeroporto, relativamente vizinho. Estes fatos explicariam a discrepância de 1961-70 com 1972-81. A potência eólica em Recife parecia seguir uma sequência crescente em 1961-76, apesar das diferenças de localização entre a estação e o aeroporto. Em 1977-81 a potência é menor; uma razão para isso poderia estar ligada ao crescimento urbano em torno da estação. Embora não se inculam na Figura 1, pode-se comentar que outras estações ligadas ao litoral norte apresentaram grandes variações ao longo de 20 anos. Por exemplo, Natal/Ceará-Mirim e Fortaleza,

caíram de  $180 \text{ w/m}^2$  (em 1965-70) para  $30 \text{ w/m}^2$  em 1972-76, atingindo, em 1981, 160 em Natal e 70 em Ceará-Mirim.

Observa-se uma razoável coerência entre os resultados de CE BALLOS et al., CONSULPUC e BASTOS et al., apesar de baseados em três tipos diferentes de instrumento, podendo-se "reconstruir" a evolução da potência eólica em 1961-81. Percebe-se também que: 1) a potência teve variações percentuais grandes nesse período; 2) deslocamentos de estações podem modificar enormemente a informação sobre a potência.

As estatísticas sobre períodos curtos arriscam-se a ser bem pouco representativas. Com relação a este aspecto, a Figura 2 compara as potências médias das estações do Nordeste em 1961-70 e 1977-81, para os horários de 09.00 e 15.00 (hora legal). À primeira vista o resultado é pouco alentador. Por exemplo, estações da Paraíba e Pernambuco que apresentavam  $15-50 \text{ w/m}^2$  no primeiro período, 09 horas, no segundo estão todas em torno de  $70 \text{ w/m}^2$ . Locais do Ceará com  $60-110 \text{ w/m}^2$  podem ter caído a  $40-80 \text{ w/m}^2$ . Para as 15 horas, locais da Bahia com  $20 \text{ w/m}^2$  de média têm agora entre 12 e 50. Assim, períodos de cinco a dez anos podem não fornecer uma média climatológica, a esta não possuir grande valia para um ano determinado, num dado local.

As Figuras 3 e 4 apresentam zoneamentos de potência eólica para o horário de 09.00 horas, 1961-70 e 1977-81. Observa-se, por exemplo, que: 1) existindo mais estações com dados, em 1977-81, a região ocidental do Nordeste apresenta-se também com mais energia eólica que em 1961-70; 2) conservam-se os dois núcleos com altos níveis de potência, em torno de Paulistana-PI e Caetité-BA; 3) a região mais energética do litoral estende-se de Natal-RN até eventualmente Parnaíba-PI (1977-81), estendendo a região já evidenciada em 1961-70 (Natal-Fortaleza). Existindo mais potência eólica no Nordeste, em 1971-81, a isolinha de  $25 \text{ w/m}^2$  desceu desde o centro de Pernambuco até incluir Sergipe. Ainda pode-se comentar que os três zoneamentos que incluem o Estado da Bahia coincidem em evidenciar uma "língua energética" penetrando desde Pernambuco-Piauí pelo centro-norte até Irecê, assim como uma região de mínima potência atravessando a faixa central, desde Salvador até Barreiras. Em termos gerais pode-se dizer que os zoneamentos permitiram evidenciar, em todos os casos, regimes qualitativamente mais energéticos.

BASTOS et al. (1986) avaliaram a produção de energia por diversos aerogeradores, baseando-se na frequência de distribuição de vento e nas curvas de eficiência das máquinas. Ao zonar os resultados, percebe-se que, qualitativamente, as isodinas para máquinas eólicas são semelhantes às de potência disponível. É importante comentar que as máquinas são consideradas são de médio e de grande porte (de forma que velocidades menores do que  $3 \text{ m/s}$  são consideradas "calmaria"). Para máquinas menores, de interesse agrícola, intensidades de vento relativamente baixas podem ser importantes (V. CEBALLOS et al., 1979) e as isodinas de produção de energia mudaram significativamente.

### CONCLUSÕES

1. No Nordeste, assim como em outras regiões do globo (V.p.ex REED, 1977) a potência eólica disponível é muito variável no tempo, mas exibe certos comportamentos de tendência. Portanto, é

conveniente manter atualizada a análise de séries temporais. Seria relevante, também, estudar a relação com outras variáveis climáticas regionais.

2. As determinações de potências média baseadas em instrumentos, como catavento tipo Wild, aeronave e anemógrafo parecem coerentes, desde que referidas a locais vizinhos com topografia equivalente. Seria conveniente, contudo, realizar estudos comparativos entre esses instrumentos, considerando-se séries de medidas contemporâneas.

3. As regiões qualitativamente mais energéticas são evidenciadas tanto por zoneamento de velocidade média como de potência média. Todavia, informações sobre a potência e seu ciclo diário requerem dados horários.

4. Apesar das restrições à dependência da potência com a topografia na escala sinótica, diversos zoneamentos delineiam regiões semelhantes. Isso é possível se as estações meteorológicas são realmente representativas de áreas extensas (não é o caso, de fato, das estações do litoral. A experiência cotidiana indica que na beira-mar a potência é maior do que alguns quilômetros continuamente adentro). Uma vez definidas macroregiões mais promissoras, a especificação detalhada dos melhores locais para máquinas eólicas requer medições "in situ".

5. Isodynas de produção de energia para máquinas relativamente potentes são semelhantes às isodynas de potência disponível. Seria interessante verificar se o mesmo acontece para máquinas de baixa potência.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BASTOS, E.J.B.; SOBRAL, Z.R.; CEBALLOS, J.C. e SIMÕES, F. (1986) - "Zoneamento de Potência Eólica do Nordeste" (Relatório Final) Projeto "Fontes energéticas alternativas-Inventário/Tecnologia", Convênio CHEF-BRASCEP/ATECEL/UFPB-NMA.
- CEBALLOS, J.C.; BASTOS, E.J.B. e LUCENA, G.H. (1979) - "Nomogramas de potência eólica para Campina Grande (PB), período 1978" Pub. Int. Núcleo de Meteorologia Aplicada, CCT-UFPB.
- CEBALLOS, J.C.; BASTOS, E.J.B. e LUCENA, G.H. (1981) - "Zoneamento to eólico preliminar do Nordeste brasileiro (Relatório Final) Convênio FINEP-Grupo de Energia/UFPB-NMA.
- CEBALLOS, J.C.; BASTOS, E.J.B. e LUCENA, G.H. (1982) - "Potencial eólico do Nordeste" - II Congresso Brasileiro de Meteorologia, Anais - Pelotas - RS.
- ELETOBRAS (1978) - "Projeto levantamento do potencial eólico" - Convênio ELETOBRAS/CONSULPUC nôm. ECV-1528, Rio de Janeiro.
- JOHNSON, G.L. (1978) - "Economic design of wind electric systems" V. Pas - 97:554-561.
- REED, J-W. (1977) - "Wind time series analysis for WECS applications" - SAND 77-1701, Sandia Labs., Albuquerque, EUA.
- SEPLANTEC, Subsecretaria de Ciência e Tecnologia do Estado da Bahia (1978) "Potencial eólico do Estado da Bahia"-Em colaboração do IV DISME INEMET, Salvador.
- VAN DER HOVEN, I. (1957) - "Power spectrum of horizontal wind speed in the frequency range from 0,007 to 900 cycles per hour" - J. of Meteor. 14: 160-164.

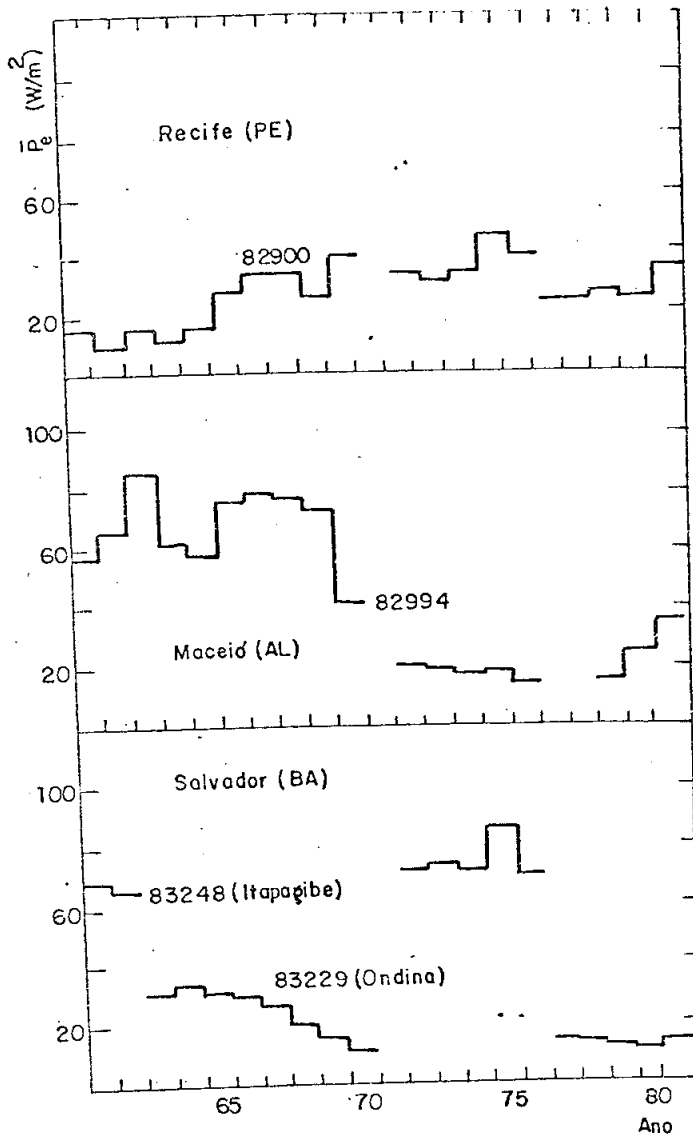


Figura 3 - Potência média anual. 1961-70: cataventos Wild ;  
 1972-76: aerovanes (aerportos); 1977-81: anemógrafos.

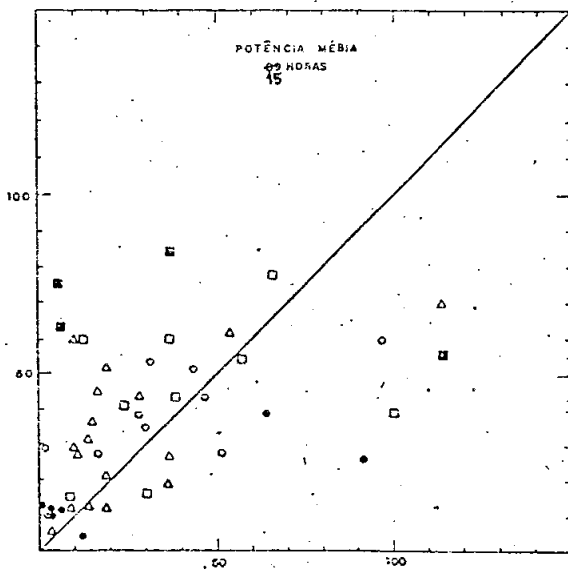
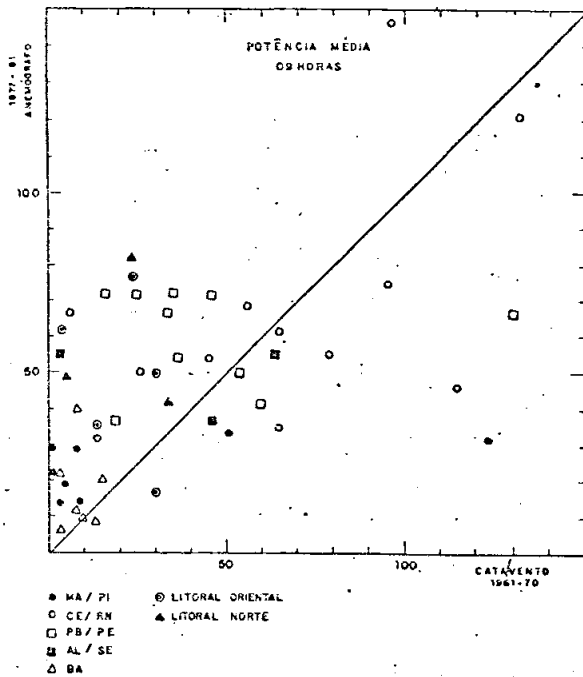


Figura 2 - Comparação entre potências médias para as estações do Nordeste: cataventos Wild (1961-70) versus anemógrafos Fuess (1977-81).

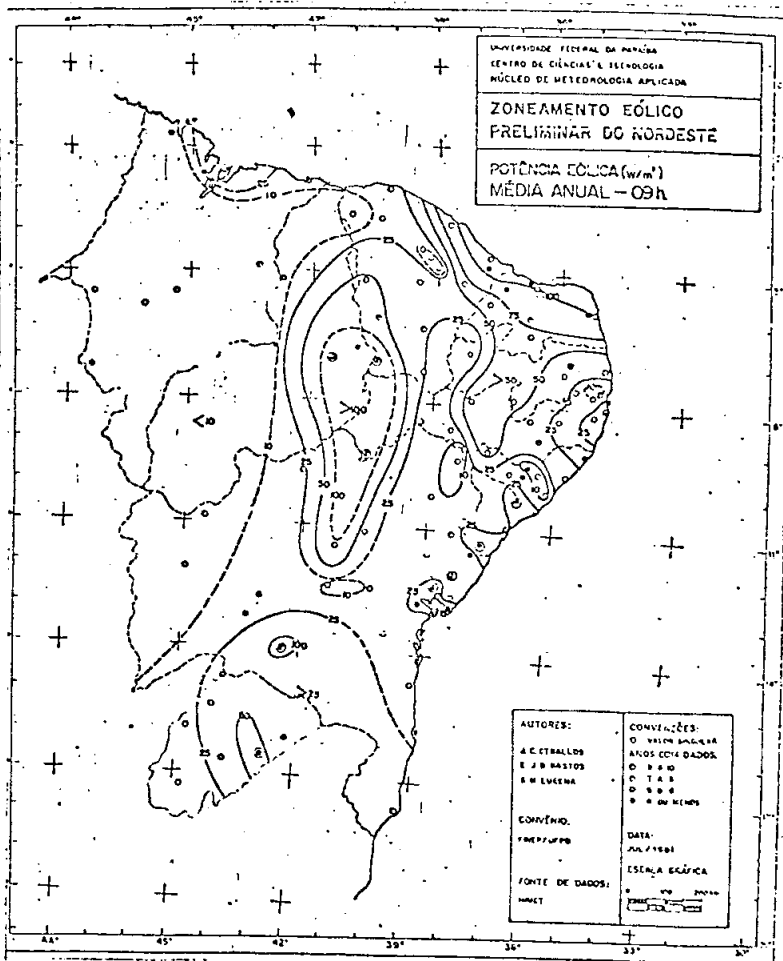


Figura 3 - Isodinas do Nordeste, média 1961-70, segundo cartaventos Wild (CEBALLOS et al., 1981). Horário: 0900 hora legal.

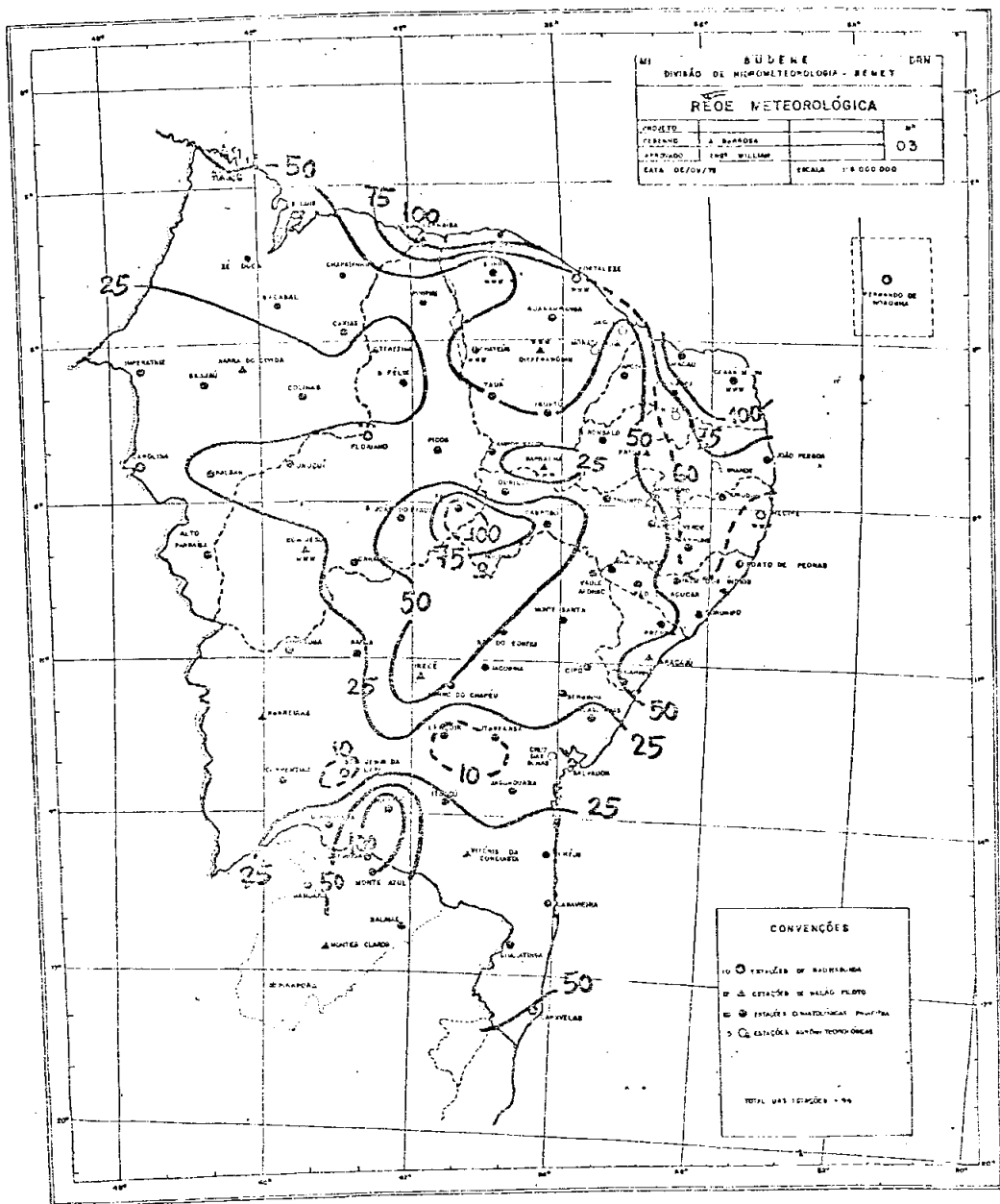


Figura 4 - Isodynes do Nordeste, média 1977-81, segundo anemógrafos (BASTOS et al., 1986). Horário: 0900 hora legal.