

## **COMPARAÇÃO DO AJUSTE CLIMATOLÓGICO UTILIZANDO DIFERENTES FONTES DE LONGO PRAZO**

**Pedro André Carvalho Rosas, [pedro.rosas@ufpe.br](mailto:pedro.rosas@ufpe.br)<sup>1</sup>**  
**Breno de Andrade Loureiro, [brenoloureiro@gmail.com](mailto:brenoloureiro@gmail.com)<sup>2</sup>**  
**Carolina Caheté Silva, [carolcahete@gmail.com](mailto:carolcahete@gmail.com)<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Av. Prof. Moraes Rego, 1235 – Cidade Universitária, Recife – PE – CEP:50670-901

<sup>2</sup>Impsa WPE, Estrada TDR Norte, 1724 Km3,3 – Distrito Industrial de Suape, Cabo de Santo Agostinho – PE – CEP:54590-000

**Resumo:** *O ajuste climatológico é realizado visando a mitigação das incertezas nas variações interanuais da intensidade do vento. Sabe-se que a média anual da velocidade do vento de um dado lugar pode variar significativamente entre anos. Sendo o vento o “combustível” da turbina eólica é imprescindível saber seu comportamento para uma boa estimativa da produção anual energética de um parque eólico. O ajuste climatológico proposto nesse trabalho é realizado entre duas diferentes fontes de longo prazo (uma de medições direta e duas de reanálises) e uma torre anemométrica instalada no estado do Ceará a qual temos disponível cinco anos de dados. Através do método chamado MCP (medir-correlacionar-prever) é mostrada a diferença entre os ajustes propostos pelas diferentes fontes de longo prazo e o realmente medido no lugar.*

**Palavras-chave:** *Energia Eólica, Projetos Eólicos, Ajuste Climatológico, MCP*

### **1. INTRODUÇÃO**

O Projeto de um parque eólico é composto de uma série de fases, entre elas:

- Prospecção de terrenos e arrendamento de terras (normalmente feito em lugares onde mapas eólicos Nacionais ou Estaduais indiquem uma grande intensidade de vento);
- Aquisição das licenças necessárias para implementação;
- Campanha de medição com torre anemométrica;
- Micrositing e estimativa da produção anual de energia (PAE);
- Estudo de viabilidade técnico-econômica;
- Execução do Projeto;
- Operação e manutenção da usina eólica.

A campanha de medição deve ser realizada com uma torre anemométrica que forneça os dados provenientes dos seus sensores da forma mais precisa possível. Para isso devem-se usar sensores calibrados por instituições reconhecidas internacionalmente e credenciadas com o MEASNET (The international Measuring Network of Wind Energy Institutes) e que tenham a precisão necessária para diminuir ao máximo os erros intrínsecos a uma medição. Além disso, a estrutura e a montagem da torre e seus equipamentos devem seguir normas internacionais (como a IEC6400-12 – “Power performance measurements of electricity producing wind turbines” ou IEA11 – “Wind speed measurement and use of cup anemometry”). Essas normas descrevem qual o melhor método de montar uma torre de modo que ela interfira o mínimo possível no fluxo do vento a ser medido, a melhor distribuição dos sensores e a posição mais adequado do terreno para instalá-la.

Para obtenção da outorga de autorização para exploração de usinas eólicas deve-se seguir requisitos presentes na atual Resolução Normativa da ANEEL N°391 de 15 de dezembro de 2009. Essa resolução estabelece que para requerimentos de outorga posteriores a 31 de dezembro de 2011 o período mínimo da campanha de medição deve ser de três anos. Para requerimentos protocolados entre 01 de janeiro de 2011 e 31 de dezembro de 2011 o período mínimo da campanha de medição deve ser de dois anos, e para projetos com requerimentos de outorga protocolados até 31 de dezembro de 2010 o período mínimo da campanha de medição é de um ano.

Logo, para os aproximados 1500MW de projetos decorrentes do PROINFA mais os aproximados 1800MW aprovados no Leilão de Energia de Reserva ocorrido em 25 de novembro de 2009, grande parte recebeu outorga da ANEEL com apenas um ano de campanha de medição.

Sabe-se que a média anual da velocidade do vento de um dado lugar pode variar significativamente entre os anos, logo o período de um ano de medição é curto para verificar essa variação. Acrescenta-se que a vida útil de um parque eólico é de vinte anos ou mais, e para saber se o empreendimento é viável é realizado um estudo para estimar a energia gerada durante sua vida útil. O resultado deste estudo é a estimativa da Produção Anual de Energia (PAE). Uma das incertezas nos cálculos da PAE é a variabilidade da intensidade do vento ao longo dos anos, conforme descrito em Silva [2006]. Nesta incerteza é considerada a variabilidade do vento ao longo dos anos como a probabilidade da velocidade média real do vento ser igual à velocidade média estimada. Ao se realizar uma estimativa anual para a velocidade do vento, a probabilidade desta estimativa ser igual a velocidade de vento real é menor do que quando se realiza a estimativa de uma velocidade média de 10 anos.

A estimativa da PAE é calculada utilizando os dados provenientes da torre de medição instalada na área reservada para o projeto eólico. Se esses dados tiverem apenas um ano, uma prática utilizada para mitigar as incertezas devido a esse curto período de medição é a de correlacionar os dados com uma torre que: (i) possua as mesmas influências climatológicas da anterior, (ii) que tenha um período de medição maior que a torre que se deseja ajustar e (iii) que dentro desse período de longo prazo hajam dados concomitantes com o período da torre anterior. Um dos métodos para calcular esse ajuste é o chamado MCP (medir-correlacionar-prever).

Segundo consta em Guimarães, [2006] a abordagem de estimativa do vento por MCP (Medir-Correlacionar-Prever) consiste em *medir* o vento nos locais chamados “alvo” e “referência” em um período de dados concomitantes, *correlacionar*, os dados de vento medidos. Por fim estimar, ou *prever*, o vento no alvo em um outro período, chamado “período de estimativa”, a partir da aplicação da relação anteriormente obtida ao vento medido na referência neste período, durante o qual o vento não foi medido no alvo.

Esse trabalho utilizará a técnica MCP, no entanto, é preferível substituir o termo “prever” por “ajustar”, uma vez que não se faz uma previsão propriamente dita de dados de vento futuros, mas sim um ajuste da média dos dados para que aquele ano medido seja mais representativo a longo prazo.

Ressalta-se que o ajuste climatológico deve ser realizado com cautela, pois caso o ajuste seja realizado através de dados com pouca ou nenhuma correlação, as incertezas serão maiores, com aumento inversamente proporcionais com o grau de correlação.

Para demonstrar os efeitos e consequências do ajuste climatológico foi utilizada uma torre localizada no estado do Ceará, com 5 anos de medição, sendo a mesma instalada conforma as recomendações da *International Energy Agency – IEA e International Energy Committee – IEC*. Inicialmente foi utilizado o primeiro ano de medição dessa torre para fazer o ajuste climatológico através de séries de dados de vento proveniente de duas fontes de longo prazo: NCEP/NCAR (dados de reanálise) e INMET (dados medidos). Serão demonstradas a seguir as variações entre os ajustes propostos por essas fontes e os anos subsequentes efetivamente medidos na torre alvo.

Os dados NCEP/NCAR são séries provenientes de modelagem numérica atmosférica gerados no Projeto Reanalysis do NCEP/NCAR (Nacional Centers for Environmental Prediction/Nacional Center for Atmospheric Research). Os dados INMET são séries provenientes das estações meteorológicas de superfície do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

## 2. MEDIÇÕES E DADOS DE REANÁLISE

### 2.1. Torre Alvo

Foi utilizado o primeiro ano de medição da torre alvo. Essa é a torre instalada na área reservada para desenvolvimento do projeto. A Tab. (1) apresenta informações gerais sobre a mesma.

**Tabela 1. Informações gerais da torre alvo.**

<b>Local</b>	Aracati, CE
<b>Alturas de medição (Vel. Vento)</b>	60m, 40 m e 20 m
<b>Altura de medição (Dir. Vento)</b>	60m e 40 m
<b>Período de dados disponíveis</b>	2003-2007

Conforme descrito anteriormente essa torre foi instalada conforme melhores práticas recomendadas nas normas internacionais o que faz com que seus dados apresentem bastante confiabilidade.

### 2.2. Dados de Longo Prazo

A Tab. (2) mostra informações da torre de medição meteorológica do INMET.

**Tabela 2. Informações gerais da torre do INMET.**

<b>Local</b>	Natal, RN
<b>Coordenadas Geográficas</b>	35,2° W

	5,9° S
<b>Datum</b>	WGS84
<b>Altura de medição (Vel. Vento)</b>	10 m
<b>Altura de medição (Dir. Vento)</b>	10 m
<b>Período de dados disponíveis</b>	1993 - 2003

Os dados de reanálise são provenientes do instituto NCEP/NCAR e estão disponíveis na internet. A Tab. (3) e Tab. (4) apresentam informações das séries utilizadas provenientes do NCEP/NCAR. As séries foram chamadas de NCAR1 e NCAR2.

**Tabela 3. Informações gerais da série NCAR1.**

<b>Série</b>	NCAR1
<b>Coordenadas Geográficas</b>	37,5° W
	5,0° S
<b>Datum</b>	WGS84
<b>Altura (Vel. Vento)</b>	42 m
<b>Altura (Dir. Vento)</b>	42 m
<b>Período de dados utilizados</b>	1993 - 2003

**Tabela 4. Informações gerais da série NCAR2.**

<b>Série</b>	NCAR2
<b>Coordenadas Geográficas</b>	37,5° W
	2,5° S
<b>Datum</b>	WGS84
<b>Altura (Vel. Vento)</b>	42 m
<b>Altura (Dir. Vento)</b>	42 m
<b>Período de dados utilizados</b>	1993 - 2003

A Fig. (1) apresenta as localizações das fontes de dados. Pode-se observar que a distância entre a torre alvo e as fontes de longo prazo variam significativamente.



**Figura 1. Localizações das fontes de dados.**

A localização das 4 fontes de dados sofrem influências dos Ventos Alísios que conforme descrito em Silva (2003) são ventos de macroescala e são considerados os mais constantes do planeta.

### 3. CORRELAÇÕES

O grau de correlação entre duas séries de dados pode ser medido através do coeficiente de correlação  $r$  que é um parâmetro matemático que mede o grau de comparação entre duas variáveis  $x$  e  $y$  conforme apresentado na Eq. (1).

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\left[ \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 \right] \left[ \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2 \right]}} \quad (1)$$

Conforme apresentado em Camelo *et al.* 2008 quando  $r=1$ , significa uma correlação perfeita positiva entre as duas variáveis. Porém, quando  $r=-1$ , significa uma correlação negativa perfeita entre as duas variáveis, isto é, se uma aumenta, a outra diminui. Se  $r=0$  significa que as duas variáveis não estão correlacionadas.

O período de correlação utilizado na torre alvo foi o período proveniente do sensor que se encontrava na altura mais próxima à altura dos dados das fontes de longo prazo, logo, para os dados do NCAR foi utilizada a altura de 40m da torre alvo e para os dados do INMET foi usada a altura de 20m da torre alvo. Na Tab. (5) são mostrados os coeficientes de correlação através da correlação feita com as médias diárias, semanais e mensais entre os dados de longo prazo e a torre alvo.

Tabela 5. Coeficientes de correlação.

Coeficiente de Correlação (r)			
Média	NCAR1	NCAR2	Inmet
Diária	0,72	0,76	-
Semanal	0,87	0,90	-
Mensal	0,94	0,94	0,91

Conforme pode ser observado só foi feita correlação com média mensal com os dados do INMET, pois só foram disponibilizadas essas médias para a série do INMET, isso aumenta a incerteza com o ajuste calculado através dessa fonte.

As Figuras (2), (3) e (4) mostram o período concomitante entre os dados da torre alvo e dados de referência NCAR1, para médias diárias, semanais e mensais respectivamente.

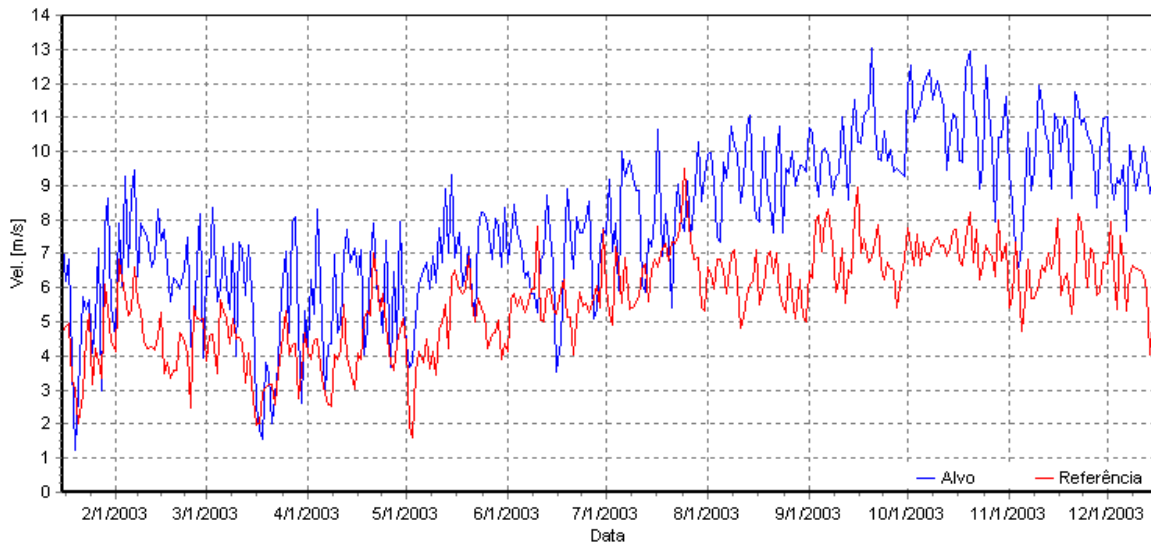


Figura 2. Comparação com médias diárias do período concomitante entre os dados da torre alvo e dados de referência NCAR1.

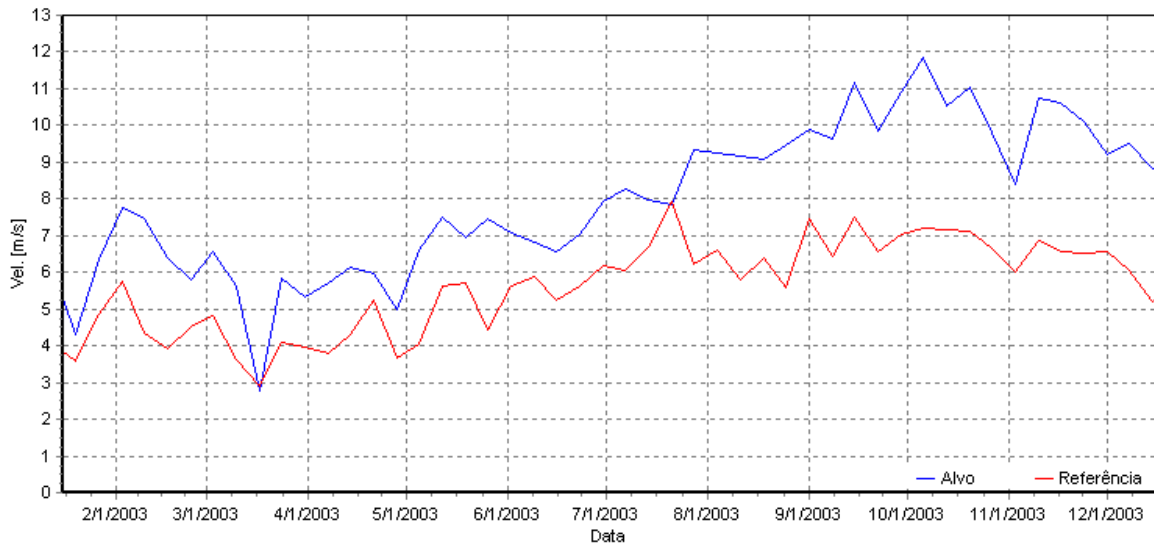


Figura 3. Comparação com médias semanais do período concomitante entre os dados da torre alvo e dados de referência NCAR1.

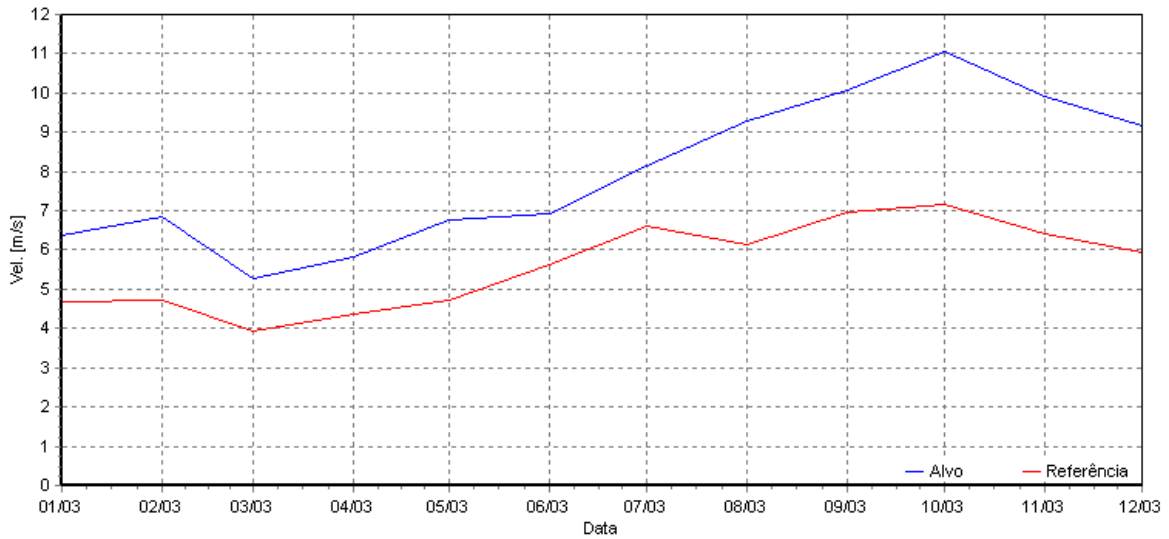


Figura 4. Comparação com médias mensais do período concomitante entre os dados da torre alvo e dados de referência NCAR1.

As Figuras (5), (6) e (7) mostram o período concomitante entre os dados da torre alvo e dados de referência NCAR2, para médias diárias, semanais e mensais respectivamente

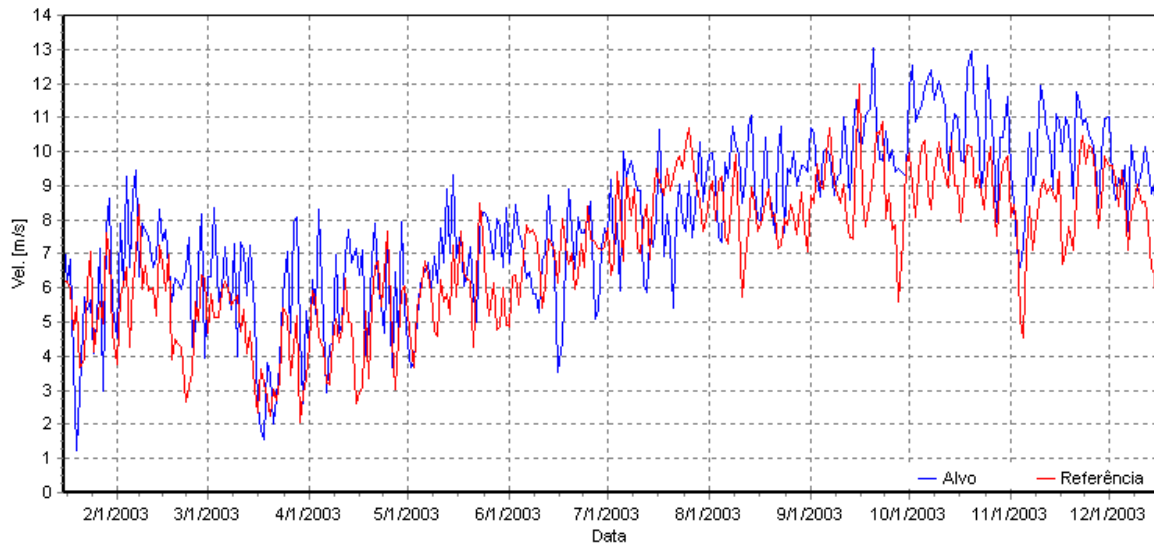
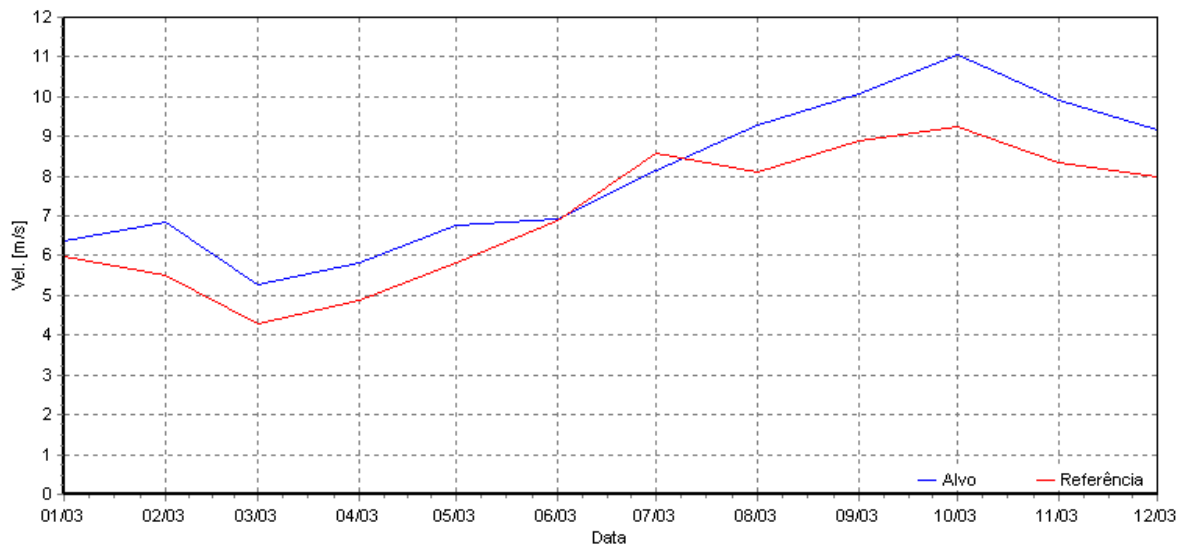


Figura 5. Comparação com médias diárias do período concomitante entre os dados da torre alvo e dados de referência NCAR2.

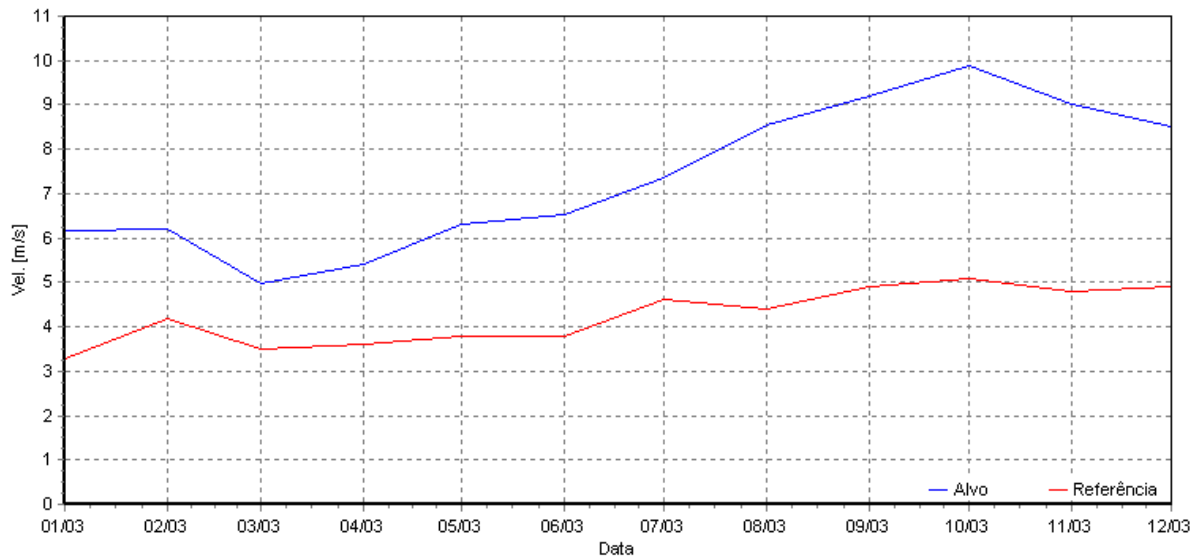


Figura 6. Comparação com médias semanais do período concomitante entre os dados da torre alvo e dados de referência NCAR2.



**Figura 7. Comparação com médias mensais do período concomitante entre os dados da torre alvo e dados de referência NCAR2.**

A Figura (8) mostra o período concomitante entre os dados da torre alvo e dados de referência INMET para médias mensais.



**Figura 8. Comparação com médias mensais do período concomitante entre os dados da torre alvo e dados de referência INMET.**

Outras correlações utilizando como fonte de longo prazo dados do NCEP/NCAR podem ser encontradas em Vieira *et al.* (2006).

#### 4. AJUSTE CLIMATOLÓGICO

Após verificar que os dados possuem uma boa correlação é feito o ajuste climatológico. O mesmo consiste em primeiramente estabelecer uma regressão linear entre os dados da torre alvo e referência. Após a obtenção dos parâmetros da reta da regreção linear é feita a extensão da série de curto prazo para o mesmo período da série de longo prazo através da equação estabelecida. Após a geração da série estendida calcula-se a média da mesma. A média da série estendida deve ser comparada com a média de curto prazo da torre alvo para obter o valor do ajuste climatológico, em seguida para finalizar o ajuste essa porcentagem deve ser aplicada a todos os dados de curto-prazo.

As Figuras (9), (10) e (11) mostram as regressões lineares estabelecidas entre os dados da torres alvo e dados de referência do NCAR1, NCAR2 e INMET, respectivamente.

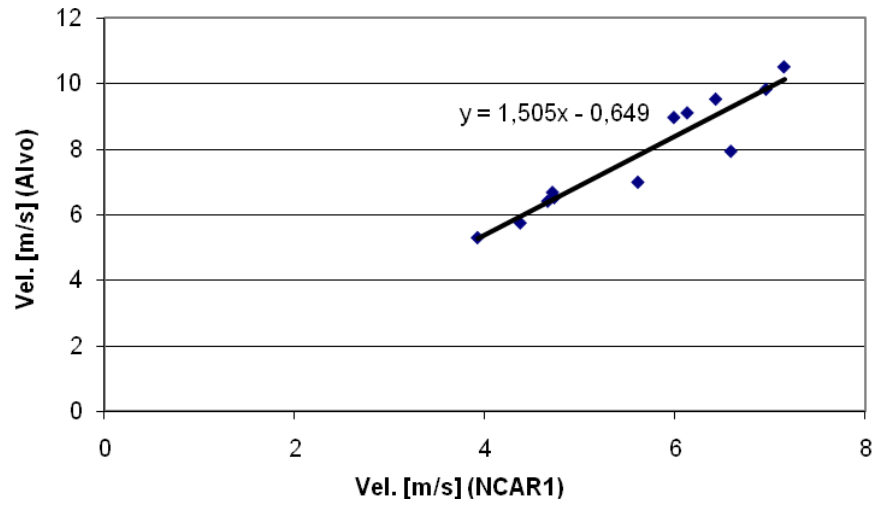


Figura 9. Regressão linear entre os dados da torre alvo e dados de referência NCAR1.

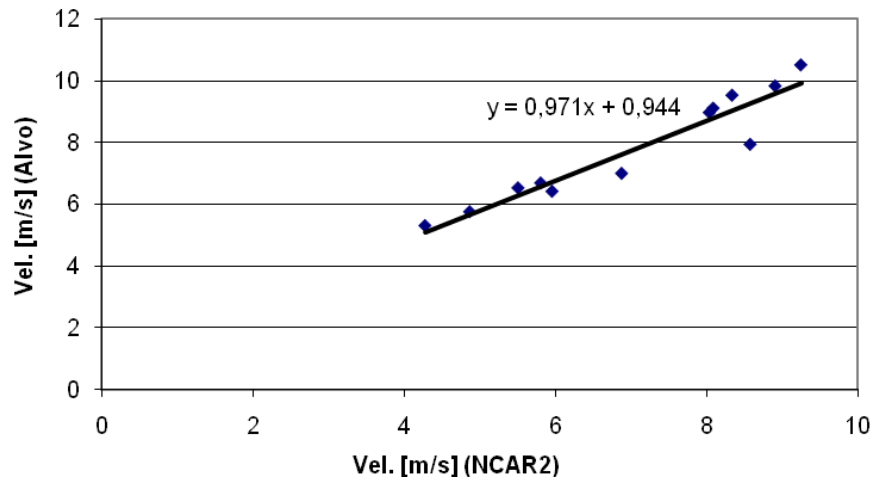


Figura 10. Regressão linear entre os dados da torre alvo e dados de referência NCAR2.

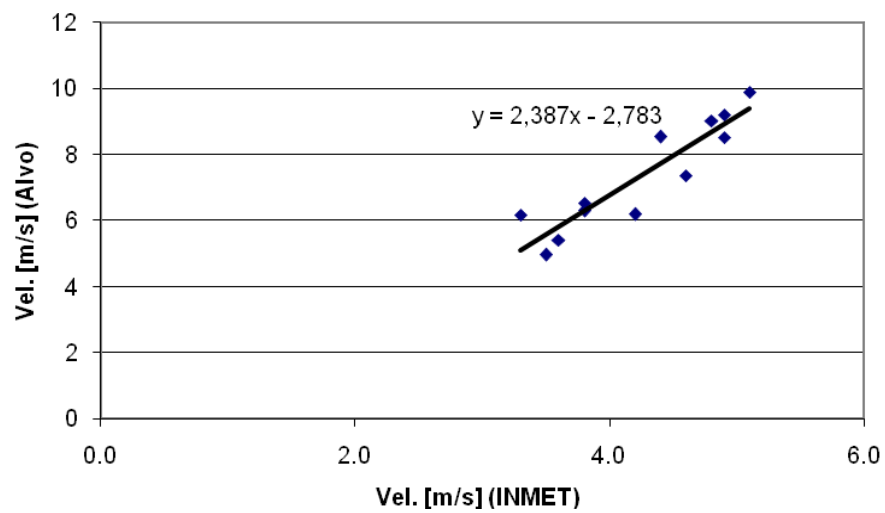


Figura 11. Regressão linear entre os dados da torre alvo e dados de referência INMET.



A média anual da torre alvo do ano de 2003 foi de 7,80m/s, a Tab. (6) mostra os valores dos reajustes calculados e a velocidade média anual resultante após os mesmos serem aplicados aos dados da torre alvo.

**Tabela 6. Ajustes calculados pela série estendida e velocidade média resultante após aplicação do ajuste.**

	Ajuste Calculado	Vel. Média Anual Resultante do Ajuste [m/s]
<b>NCAR1</b>	0,35%	7,83
<b>NCAR2</b>	-1,53%	7,68
<b>INMET</b>	4,48%	8,15

## 5. COMPARAÇÕES ENTRE OS AJUSTES SUGERIDOS E MEDIÇÕES EFETUADAS

Nessa etapa serão mostradas as diferenças provenientes do ajuste sugerido pelas diferentes fontes de longo prazo e a velocidade média registrada considerando as medições dos 4 anos posteriores a 2003. Serão utilizados todos os 5 anos disponíveis da torre anemométrica para verificar qual ajuste sugerido se aproximou mais da realidade para o período estudado.

A Tab. (7) mostra diversas dispersões para os anos medidos e em que porcentagem foi superestimado ou subestimado o valor da velocidade média comparada com os anos efetivamente medidos.

**Tabela 7. Médias anuais torre alvo, dispersões com e sem ajustes climatológicos.**

	2003	2004	2005	2006	2007	Média Total
<b>Média Anual [m/s]</b>	7,80	7,91	8,34	7,71	8,09	<b>7,97</b>
<b>Dispersões com Ajustes</b>						
NCAR1	0,35%	-1,05%	-6,15%	1,52%	-3,25%	<b>-1,79%</b>
NCAR2	-1,53%	-2,90%	-7,91%	-0,38%	-5,06%	<b>-3,63%</b>
INMET	4,48%	3,03%	-2,28%	5,70%	0,73%	<b>2,25%</b>
<b>Dispersões sem Ajustes</b>	0,00%	-1,39%	-6,47%	1,17%	-3,58%	<b>-2,13%</b>

Conforme pode ser observado na tabela, para o período estudado, a fonte que forneceu o ajuste mais próximo a verdadeira variação inter-anual do vento foi a NCAR1, essa fonte é a mais próxima da torre alvo, e forneceu uma boa correlação com os dados de curto prazo. Caso fosse utilizada a referência NCAR2 a PAE seria subestimada para os 5 anos medidos, já com a referência INMET a PAE seria superestimada, nesses últimos casos a PAE calculada seria mais próxima da real caso não fosse utilizado nenhum ajuste conforme pode ser verificado nas dispersões dos ajustes. Verifica-se que com quanto maior o período observado menos dispersões ocorrem em relação a média real.

## 6. CONCLUSÕES E SUGESTÕES

Os estudos feitos demonstram a diferença dos ajustes climatológicos provenientes de diferentes fontes e a importância na escolha apropriada da fonte de longo prazo para realização do ajuste climatológico em dados de vento. Mostrou-se a discrepância que podem haver nesses ajustes, enquanto os cálculos de duas fontes sugeriram um aumento da média os cálculos com a outra fonte sugeriu uma diminuição da mesma. Os dados do ponto NCAR1 foram os que sugeriram o ajuste que mais se aproximou do que foi constatado nos anos subsequentes de medições da torre alvo, enquanto NCAR2 subestimou e o INMET superestimou a média anual de vento.

Devem ser feitos estudos com períodos maiores de medições da torre alvo, se possível igual ou maior que 10 anos, que foi o período de longo prazo utilizado para realizar os ajustes e se aproxima mais da vida útil de um parque eólico. Com apenas os resultados provenientes desse estudo não podemos tirar conclusões definitivas sobre essas fontes de dados, para isso estudos com mais torres em diferentes localidades e com diferentes períodos de dados devem ser realizados.

## 7. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a IMPSA e ao INMET pela permissão da utilização dos dados nos estudos.

## 8. REFERÊNCIAS

Camelo, N.C., Carvalho, P.C.M., Leal, J.B.J. e Accioly, J.B.F., 2008, "Análise estatística da velocidade do vento no estado do Ceará", Rev. Tecnol. Fortaleza, Vol. 29, pp.211-223.

- Guimarães, R.A., 2006, “Análise de estimativas de velocidade de vento utilizando técnicas de MCP”, Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Pernambuco.
- Silva, C.S., 2006, “Análise dos aspectos meteorológicos e estruturais na geração de energia elétrica de centrais eólicas”, Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Energéticas e Nucleares da Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Pernambuco.
- Silva, G.R., 2003, “Característica de vento na região Nordeste – Análise, modelagem e aplicação para projetos de centrais eólicas”, Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Ciência Físicas Aplicadas da Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Ceará.
- Res. Normativa da ANEEL N°391, de 15 de dezembro de 2009.
- Schubert, S., Arkin P., Carton, J., Kalnay, E., Koster R., 2008, “Reanalysis of Historical Climate Data for Key Atmospheric Features”, Chapter 2.
- Vieira, C.F.A., 2008, “Sensibilidade do modelo wasp aos efeitos da estabilidade atmosférica no Nordeste do Brasil”, Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Ciência Físicas Aplicadas da Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Ceará.
- Vieira, C.F.A., Santos, C.C., Lima, F.J.L., Magalhães, R. A., Silva, E.M. 2006, “Avaliação dos dados de vento gerados no projeto *reanalysis* do NCEP/NCAR para futuras aplicações no cálculo do potencial eólico do estado do Ceará”, Rev. Tecnol. Fortaleza, Vol. 27, n. 2, pp.190-194.

## 9. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.

# COMPARISON OF CLIMATOLOGICAL ADJUSTMENT USING DIFFERENT LONG-TERM SOURCES

Pedro André Carvalho Rosas, [pedro.rosas@ufpe.br](mailto:pedro.rosas@ufpe.br)<sup>1</sup>  
Breno de Andrade Loureiro, [brenouloureiro@gmail.com](mailto:brenouloureiro@gmail.com)<sup>2</sup>  
Carolina Caheté Silva, [carolcahete@gmail.com](mailto:carolcahete@gmail.com)<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Av. Prof. Moraes Rego, 1235 – Cidade Universitária, Recife – PE – CEP:50670-901

<sup>2</sup>Impsa WPE, Estrada TDR Norte, 1724 Km3,3 – Distrito Industrial de Suape, Cabo de Santo Agostinho – PE – CEP:54590-000

**Abstract:** *Climatological adjustment is done in order to mitigate the uncertainties in inter-annual variations of wind intensity. It is known that the annual average wind speed for a given location can vary significantly between years. The wind is the "fuel" of the wind turbine so it is essential to know it's behavior for a good estimation of annual energy production from a wind farm. The climatological adjustment proposed in this work is carried out from two different sources of long-term data (one from direct measurement and two from reanalysis) and an anemometric tower installed in the state of Ceará which we have available five years of data. Through the method called MCP (Measure-correlate-predict) is shown the difference between the adjustments proposed by the various sources of long term and actually measured in field.*

**Keywords:** *Wind Energy, Wind Projects, Climatological adjustment, MCP*