

# Proposta de um Modelo para Seleção de Estações Meteorológicas

Elaborado por:



**Miguel H. Hirata**  
**Regina Araújo**  
**Cecília Araújo**  
**Renata Machado**

Para:  
**Agência de Cooperação  
Técnica Alemã – GTZ**  
Deutsche Gesellschaft für  
Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH

Novembro 2010



Programa Energia  
Brasileiro-Alemão



## **Proposta de um Modelo para Seleção de Estações Meteorológicas**

**Elaborado por:** Horizonte Energias Renováveis

**Autores:** **Miguel H. Hirata**  
**Regina Araújo**  
**Cecília Araújo**  
**Renata Machado**

**Para:** Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH

**Programa:** Programa Energia Brasileiro-Alemão

**No do Programa:** 2007.2189.4-001.00

**Coordenação:** Torsten Schwab (GTZ),  
Juarez Lopes (EPE)

Novembro 2010

### Informações Legais

1. Todas as indicações, dados e resultados deste estudo foram compilados e cuidadosamente revisados pelo(s) autor(es). No entanto, erros com relação ao conteúdo não podem ser evitados. Conseqüentemente, nem a GTZ ou o(s) autor(es) podem ser responsabilizados por qualquer reivindicação, perda ou prejuízo direto ou indireto resultante do uso ou confiança depositada sobre as informações contidas neste estudo, ou direta ou indiretamente resultante dos erros, imprecisões ou omissões de informações neste estudo.
2. A duplicação ou reprodução de todo ou partes do estudo (incluindo a transferência de dados para sistemas de armazenamento de mídia) e distribuição para fins não comerciais é permitida, desde que a GTZ seja citada como fonte da informação. Para outros usos comerciais, incluindo duplicação, reprodução ou distribuição de todo ou partes deste estudo, é necessário o consentimento escrito da GTZ.

## Conteúdo

<b>Introdução</b>	<b>1</b>
<b>1. Modelos Propostos</b>	<b>2</b>
1.1 Grandezas Relevantes	2
1.1.1. Período de Operação da Estação	2
1.1.2. Frequência dos Registros da Velocidade do Vento	3
1.1.3. Equipamento Utilizado	4
1.1.4. Lacunas nos Registros	6
1.1.5. Altura do Sensor	7
1.1.6. Número de Sensores	9
1.2 Dois Modelos Propostos	9
1.2.1. Apresentação Geral dos Modelos Propostos	9
1.2.2. O Modelo de Comportamento	11
1.2.3. O Modelo Potencial	11
<b>2. Valores das Grandezas</b>	<b>13</b>
2.1. Período de Operação da Estação	13
2.1.1. Modelo de Comportamento	13
2.1.2. Modelo Potencial	14
2.2. Frequência dos registros para velocidade do vento	15
2.2.1. Para o Modelo de Comportamento	15
2.2.2. Para o Modelo Potencial	15
2.3. Equipamento Utilizado	16
2.4. Lacunas Nos Registros	16
2.5. Altura do Sensor	17
2.6. Número de Sensores	17
<b>3. Resultados</b>	<b>19</b>
<b>Referências</b>	<b>21</b>



## Introdução

O objetivo central desta proposta reside no desenvolvimento de dois modelos para a seleção de estações meteorológicas.

O primeiro modelo é apropriado para a seleção de estações meteorológicas tendo como finalidade a análise do comportamento histórico dos ventos.

O segundo modelo é desenvolvido tendo em vista a utilização dos dados de ventos das estações meteorológicas selecionadas para a análise do potencial de geração de energia utilizando turbinas eólicas [1], [2].

A necessidade de desenvolvimento de dois modelos deve-se ao fato de que algumas variáveis são importantes para uma finalidade, enquanto que para outras elas desempenham papel secundário ou de menos importância como analisado na parte 2. Modelos Propostos.

Como resultado final, cada modelo fornece um coeficiente  $Q$ ,  $0 < Q < 10$ . Quanto maior o valor de  $Q$  mais apropriada é a estação meteorológica. Para facilitar a utilização dos modelos são fornecidas tabelas de fácil utilização (ao invés de equações).

Como observação final é importante ressaltar que a necessidade destes modelos está associada a nossa “quase inexistência” de uma tradição de coleta, armazenamento, tratamento e utilização de dados naturais, como são aqueles relacionados com o vento.

## 1. Modelos Propostos

Esta parte é dividida em dois tópicos.

No primeiro tópico identificam-se grandezas que podem influir na seleção das estações meteorológicas e se analisa a sua importância.

No segundo tópico são propostos dois modelos:

- **Modelo de Comportamento** - este primeiro modelo é mais apropriado para a seleção de estações meteorológicas cujos dados serão utilizados em análises do comportamento histórico dos ventos como, por exemplo, nos estudos de complementaridade dos recursos hídricos e eólicos.

- **Modelo de Potencial** - este modelo é mais apropriado para a seleção de estações meteorológicas cujos dados serão utilizados no levantamento do potencial de geração de energia utilizando sistemas eólicos.

### 1.1 Grandezas Relevantes

Apresentamos, a seguir, as grandezas (variáveis) mais relevantes para as finalidades propostas. Cada variável é acompanhada de uma análise qualitativa bastante simples e compacta.

#### 1.1.1. Período de Operação da Estação;

Medido em anos de operação.

		MÉDIAS MENSAIS											
		2009											
Meses		Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
<b>Alturas de Medição</b>													
100 m	V <sub>média</sub> [m/s]	5,88	3,96	4,91	7,79	8,13	8,15	9,03	7,84	6,05	7,92	7,2	6,11
	k - Weibull	2,18	1,62	1,83	2,95	3,35	3,6	3,03	2,26	2,76	1,95	2,38	2,66
	C [m/s]	7,37	5,24	9,33	9,98	9,99	10,82	7,56	9,37	6,64	8,02	7,16	9,49
80 m	V <sub>média</sub> [m/s]	5,51	3,59	4,54	7,42	7,76	7,78	8,66	7,47	5,68	7,55	6,83	5,74
	k - Weibull	2,27	1,66	1,88	3	3,38	3,55	3,07	2,33	2,92	1,98	2,44	2,64
	C [m/s]	6,57	4,77	5,6	8,27	8,91	9,69	8,23	6,8	8,31	5,91	7,13	7,35

Sabe-se que os fenômenos meteorológicos, embora se apresentem de maneira aleatória, possuem um comportamento que pode ser analisado estatisticamente.

Sabe-se, também, que com uma amostra abrangendo um período suficientemente longo, é possível (em muitos casos) identificar um comportamento periódico.

Para o **modelo de comportamento** a identificação desta característica (comportamento periódico) é muito importante e, por esta razão, uma amostra longa (com muitos anos) é de importância crucial.

Para o **modelo de potencial** a identificação desta característica (comportamento periódico), embora importante não é crucial. Isto se justifica tendo em vista uma vida média dos equipamentos estimada em 20 a 25 anos, um período relativamente pequeno para fenômenos atmosféricos. Por outro lado, como será visto no item 2.1.2., num passado recente a frequência de registros da velocidade do vento era relativamente baixa (prejudicando a qualidade dos dados) o que faz com que dados muito antigos possuam importância marginal quando comparados com dados recentes (de boa qualidade).

### 1.1.2.Frequência dos Registros da Velocidade do Vento

Medida e registros por unidade de tempo (registros por hora, por dia, etc.)

Tabela 1: Exemplo de dados com frequência a cada dez minutos.

Código da Estação	Dia do ano	Horário	Velocidade	Direção
83788	32	0	0,1	285
83788	32	20	0,5	289
83788	32	30	0,3	321
83788	32	40	0,1	331
83788	32	50	0,5	326
83788	32	100	0,5	326
83788	32	110	0,5	326
83788	32	120	0,5	328
83788	32	130	0,5	326
83788	32	140	0,8	326
83788	32	150	0,1	326
83788	32	200	0,5	326

Fonte: Elaboração própria com dados do INMET, estação Angra dos Reis.

No passado (até recente) grande parte das estações meteorológicas registravam dados de vento com uma frequência de 4 medidas diárias. Araújo [3] mostra que o cálculo da velocidade média diária a partir destas 4 medidas representa um valor razoável acrescentando informações relevantes para uma análise do regime dos ventos. Certamente, para uma análise precisa visando a determinação do potencial de geração de energia (**modelo potencial**), esta

freqüência deveria ser aumentada para pelo menos 24 registros diários e preferencialmente 144 (registros de 10 em 10 minutos).

Sabe-se, também, que, embora 4 medidas diárias seja o padrão estabelecido pelo INMET, na realidade, grande parte das estações meteorológicas registram apenas 3 valores diários. Utilizando técnicas de IA, Silva [4] mostra, no entanto, que o quarto valor diário pode ser inferido a partir dos 3 disponíveis; desta maneira, 3 registros diários representam (quando apropriadamente tratados) um conjunto importante de informações para fins de análise do comportamento dos ventos (**modelo de comportamento**).

Cabe finalmente observar que a análise dos registros de dados de ventos mostra que nem sempre estes registros são completos. Há lacunas (períodos de tempo em que não há valores registrados) com períodos que variam de algumas horas até meses, veja item 2.1.4 onde tratamos das lacunas de longa duração. A influência das lacunas de curta duração (algumas leituras durante o dia ou mesmo lacunas contínuas com menos de 30 dias), presentes nos registros de vento, são melhor aferidas quando associadas à qualidade dos registros através da sua freqüência (veja o coeficiente  $\beta$ , na equação (2) do item 2.2.2 e 2.2.3

### 1.1.3. Equipamento Utilizado

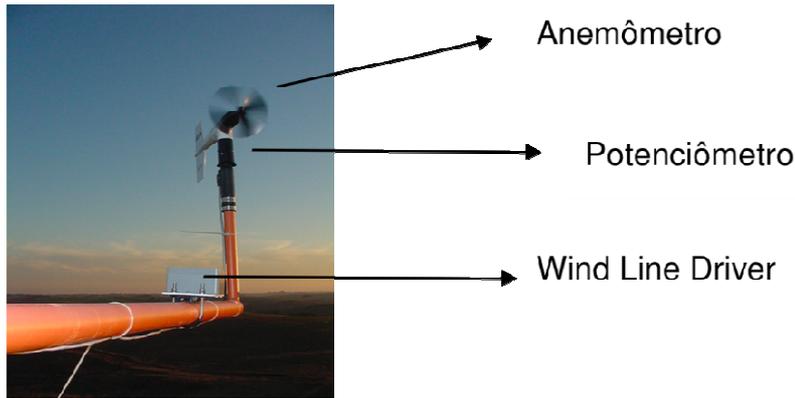
Tipo de equipamento caracterizado no cálculo da medida realizada.

Figura 1: Anemômetro de hélice e anemômetro de conchas



Fonte: Campbellsci (2006) e Rincondelvago (2006) citados em Arsego (2007).

Figura 2: Conjunto de medida de dados eólicos da Estação SONDA – SMS do Observatório Espacial do Sul – OES/CRS/CIE/INPE – MCT.



Fonte: Arsego (2007).

Existem duas características principais que devem ser consideradas na análise de um equipamento utilizado para a medida do vento (além, é claro, da sua qualidade, durabilidade, etc. do equipamento).

A primeira característica refere-se à qualidade da medida.

- equipamentos que medem a velocidade pelo deslocamento de uma placa móvel (**anemômetro Wild**) apresentam pouca precisão e dificuldade de leitura, servindo apenas para se ter uma ordem de grandeza da velocidade.
- equipamentos modernos como os anemômetros de conchas ou tipo hélice apresentam boa precisão.

A segunda característica importante refere-se à maneira com que a medida é efetuada.

- o anemômetro Wild permite apenas leituras instantâneas da velocidade do vento; leituras instantâneas são pouco precisas e de pouca representatividade.
- uma medida mais representativa é obtida calculando-se o valor médio num dado período; assim sendo o valor fornecido a cada minuto na realidade constitui-se no valor médio das velocidades que ocorreram naquele minuto, o valor fornecido a cada 10 minutos deve representar o valor médio das velocidades que ocorreram nos últimos 10 minutos, etc. É evidente que para isto é necessário um registro contínuo da velocidade, a partir do qual se obtém a velocidade média.

Para a determinação da velocidade média é necessária a utilização de equipamentos totalizadores; nesta categoria incluímos:

- **anemômetros totalizadores:** equipamentos mais antigos que fornecem um valor totalizado (de giros ou comprimento, por exemplo) por intervalo de tempo (em geral alguns minutos) em que o valor médio da velocidade do vento será calculado.
- **anemógrafos:** equipamentos relativamente antigos que registram em tiras de papel um valor totalizado (de giros ou uma distância, por exemplo) por intervalo de tempo (em geral 10 minutos). O valor médio da velocidade do vento é calculado neste intervalo.
- **anemômetros digitais:** equipamentos modernos que armazenam digitalmente, em um arquivo temporário, valores instantâneos da velocidade do vento. Após um intervalo de tempo

pré-determinado (em geral 2 a 10 minutos) um valor médio é calculado e armazenado num arquivo permanente.

Desta maneira, podemos apresentar a seguinte classificação para os equipamentos utilizados na medida da velocidade dos ventos:

- Anemômetro Wild: utilização restrita e que fornece apenas uma ordem de grandeza da velocidade do vento; adicionalmente há que se considerar com muito cuidado as incertezas causadas pelos “erros humanos do operador”.
- Anemômetro Totalizador: poderia ser de grande utilidade; no entanto, apresenta uma incerteza grande nos valores medidos devido a dependência da intervenção humana na leitura (erro na leitura, erro na determinação do intervalo de tempo, erro de cálculo). Os dados obtidos com a utilização deste equipamento poderiam ser eventualmente utilizados (com o devido cuidado) na calibração do modelo de comportamento, mas seriam de pouca utilidade para o modelo potencial.
- Anemógrafos: estes equipamentos são bastante confiáveis e de grande importância, principalmente se lembrarmos de que as séries históricas (de qualidade) mais antigas foram obtidas com a sua utilização. Há, no entanto, que se considerar a possibilidade de lacunas importantes de tempo devido a falta de cuidados no armazenamento dos dados; esta, no entanto, é uma variável considerada no item 2.1.4.
- Anemômetros Digitais: estes equipamentos são os mais confiáveis em uso corrente, no Brasil. Infelizmente, a sua utilização generalizada ainda não pode ser considerada como um fato. Grande parte de nossa rede anemométrica ainda não dispõe deste equipamento. Adicionalmente, deve-se considerar que a sua introdução é recente, o que (de certa maneira) restringe a sua importância para a calibração do modelo de comportamento.

#### 1.1.4. Lacunas nos Registros:

Lacunas são caracterizadas pela ausência de dados (por razões diversas) num dado período de operação da estação anemométrica

Figura 3: Exemplo de coleta de dados em uma estação com frequência de 10 minutos no período de 1 ano.

10.0m - %	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31		
All: 38,6%	Effective data period: 4,2 months      Total period: 11,0 months																																
01/1999	41,3	52	141	134	122	87	104	143	115	110	118	52	71	107	55	20	37	18	6	9	13	18	15	54	21	30	35	34	25	45	20	12	
02/1999	25,1	17	31	24	36	30	113	131	67	55	41	8	17	2	2	1	0	4	0	7	0	0	0	80	32	64	33	89	130				
03/1999	53,9	119	141	139	130	142	138	144	136	139	142	142	141	140	116	4	0	0	0	48	14	22	1	5	26	0	44	49	86	89	31	76	
04/1999	2,2	3	12	0	0	7	3	3	0	0	0	0	2	2	3	0	2	5	0	0	0	0	0	32	19	0	0	0	0	0	0	0	
05/1999	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
06/1999	12,8	3	1	6	0	0	1	0	2	1	8	15	17	53	21	0	9	2	62	15	38	38	14	0	0	0	13	30	81	89	36		
07/1999	10,7	73	99	79	90	95	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	0	0	0	0	30	
08/1999	47,8	116	49	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	47	63	113	102	129	62	25	94	141	136	114	135	119	143	139	142	130	136
09/1999	96,8	140	139	143	139	140	143	142	139	142	142	142	135	137	135	134	142	141	142	144	138	140	141	136	136	140	142	139	125	142	140		
10/1999	87,4	142	128	111	139	142	133	141	140	139	139	135	52	83	115	135	127	132	53	88	141	139	140	141	141	126	133	140	132	125	133	138	
11/1999	45,6	131	101	94	105	86	135	136	130	18	70	142	139	129	50	7	18	8	0	0	28	8	25	50	120	45	46	58	1	0	88		
12/1999	66,0	35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
All	38,6																																

Fonte: Elaboração própria com dados do INMET

A existência de lacunas nos registros de dados de vento pode ou não comprometer a qualidade dos dados.

Neste sentido temos que considerar como fator mais importante a extensão das lacunas. Lacunas da ordem de 30 (aproximadamente um mes) podem ser pouco relevantes desde que não sejam repetitivas e não ocorram nos mesmos meses ao longo dos anos.

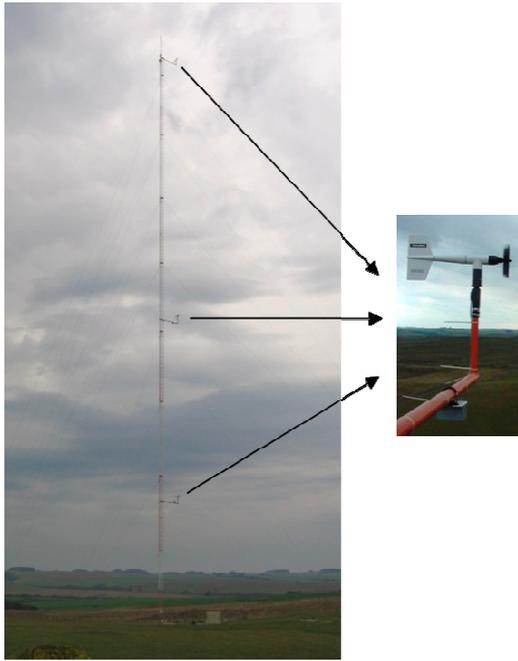
Para simplificar a análise podemos considerar a seguinte classificação:

- sem lacunas: se forem detectadas duas ou menos lacunas por ano e se estas forem com períodos menores do que 30 dias.
- lacunas aceitáveis: se forem detectadas mais de duas lacunas mas todas elas com períodos menores do que 60 dias.
- lacunas críticas: se forem detectadas lacunas com períodos superiores a 90 dias
- Com lacunas supercríticas: se forem detectadas lacunas com períodos superiores a 1 ano.

### 1.1.5. Altura do Sensor

Altura na qual o sensor de velocidade é posicionado acima do solo; NÃO DEVE SER CONFUNDIDO com a altitude da torre meteorológica.

Figura 4: Torre Meteorológica da Estação SONDA no Observatório Espacial do Sul com três anemômetros, a 10, 25 e 50m de altura.



Fonte: Arsego (2007)

Esta é uma variável de pouca importância quando se deseja analisar o modelo de comportamento, desde que:

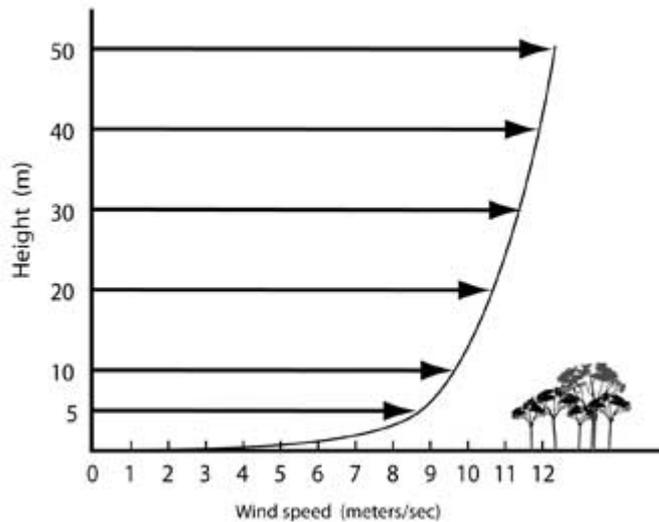
- a altura do sensor se mantenha constante durante todo o período de coleta de dados
- todos os cuidados sejam tomados com referência a fatores que modifiquem os valores da velocidade do vento (rugosidade e obstáculos); este aspecto é importante porque, de uma maneira geral, costuma-se posicionar os sensores a uma altura de 10m, o que o torna bastante vulnerável aos obstáculos (árvores, edifícios, etc.)

Sabe-se, no entanto, que estes aspectos são de difícil aferição. Por esta razão sugerimos assumir que eles são integralmente cumpridos o que, geralmente, ocorre nas estações meteorológicas do INMET, uma das principais fontes de dados disponíveis.

Para o modelo potencial, no entanto, esta variável é da maior importância e deve ser considerada. O eixo das modernas turbinas eólicas localiza-se a uma altura da ordem de (60~80)m e parece-nos pouco confiável a extrapolação dos valores obtidos a 10m de altura.

### 1.1.6. Número de Sensores

Figura 5: Perfil Vertical do Vento ou Camada Limite Atmosférica



A presença de mais de um sensor de velocidade numa torre meteorológica permite a análise do comportamento do perfil de velocidades que, por sua vez, é importante no dimensionamento das torres, nas análises do comportamento da turbina, etc.

Pode-se concluir imediatamente que esta variável não apresenta relevância maior para o modelo de comportamento. No entanto ela é da maior importância para o modelo potencial.

## 1.2 Dois Modelos Propostos

Propõe-se que a importância de uma estação meteorológica, para uma dada finalidade, seja quantificada por um coeficiente  $Q$ .

Este coeficiente pode assumir qualquer valor entre 0 e 10, isto é,  $0 < Q < 10$ . Quanto maior o valor  $Q$ , atribuído a uma estação, mais apropriados serão os dados por ela coletados para a finalidade desejada; assim sendo, estações com valores próximos de 10 serão as preferidas e aquelas com valores menores que 5 ~6, de uma maneira geral, não se adequam à finalidade desejada.

### 1.2.1. Apresentação Geral dos Modelos Propostos

Tendo em vista o que foi analisado na parte 2.1: GRANDEZAS RELEVANTES, a equação funcional que relaciona  $Q$  com as variáveis das quais  $Q$  depende, pode ser escrita como:

$$Q = f(P, F, E, L, A, N) \quad (1)$$

P = período de operação

F = frequência dos registros

E = equipamento utilizado

L = lacunas

A = altura do primeiro sensor

N = número de sensores.

Para facilitar a manipulação da equação, é interessante que ela seja simples e, por esta razão, propõe-se explicitar (1) na seguinte forma:

$$Q = R \{ \alpha P + \beta(F+m) + \delta E + \gamma L + \eta A + \lambda N \} \quad (2)$$

- Os coeficientes  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\delta$ ,  $\gamma$ ,  $\eta$ ,  $\lambda$  são coeficientes que representam os pesos das variáveis.

Alguns destes coeficientes possuem valor nulo (se a variável possui influência desprezível), valor unitário (quando a variável for considerada da maior importância) ou assume um valor entre 0 e 1.

Por exemplo, como o número de sensores (N) não é relevante para o modelo de comportamento, neste modelo faremos  $\lambda = 0$  (e seu valor máximo será  $\lambda_{MAX} = 0$ ) ao passo que  $\lambda = 1$  (e seu valor máximo será  $\lambda_{MAX} = 1$ ) para o modelo potencial.

Outros coeficientes, como por exemplo  $\beta$  variam entre 0 e 1 ( $0 < \beta < 1$ ) e  $\beta_{MAX} = 1$ . Nos itens 2.2.2 e 2.2.3 apresentamos os valores sugeridos para estes coeficientes.

- O parâmetro m é adicionado à variável F para levar em consideração a modernização das estações meteorológicas. Verifica-se em várias estações meteorológicas do INMET a instalação recente de equipamentos digitais. O valor deste parâmetro é apresentado nos itens da parte 3.

- R é o fator de normalização e pode ser calculado como:

$$R = \frac{10}{\alpha_{MAX} + \beta_{MAX} + \delta_{MAX} + \gamma_{MAX} + \eta_{MAX} + \lambda_{MAX}} \quad (3)$$

$\alpha_{MAX}$  = valor máximo que  $\alpha$  pode assumir

$\beta_{MAX}$  = valor máximo que  $\beta$  pode assumir

$\delta_{MAX}$  = valor máximo que  $\delta$  pode assumir

etc.

Veja nos itens 2.2.2. e 2.2.3. os valores máximos assumidos pelo coeficientes.

- O valor atribuído às variáveis P, F, E, L, A e N varia entre 0 e 1, como apresentado nos itens da parte 3.

### 1.2.2. O Modelo de Comportamento

O modelo é apropriado para a seleção de estações meteorológicas cujos dados serão utilizados em análises do comportamento histórico dos ventos como, por exemplo, nos estudos de complementaridade dos recursos hídricos e eólicos.

Para este modelo as variáveis importantes são:

P = período de operação

F = frequência dos registros

E = equipamento utilizado

L = lacunas

A = altura do sensor

Enquanto que N = número de sensores não apresenta nenhuma relevância.

Por simplicidade assumem-se os seguintes valores para os pesos:

$$\begin{array}{lll} \alpha = 3 & \text{e} & \alpha_{MAX} = 3 \\ \delta = \gamma = \eta = 1 & \text{e} & \delta_{MAX} = \gamma_{MAX} = \eta_{MAX} = 1 \\ \lambda = 0 & \text{e} & \lambda_{MAX} = 0 \\ \beta = \text{fator de recuperação} & \text{e} & \beta_{MAX} = 1 \end{array}$$

Resumindo, a expressão (2), para o Modelo de Comportamento toma a forma

$$Q = \frac{10}{6} [3P + \beta(F + m) + E + L + A] \quad (4)$$

OBS: Para a determinação dos valores das variáveis veja itens da parte 3.

### 1.2.3. O Modelo Potencial

O Modelo Potencial é apropriado para a classificação das estações meteorológicas cujos dados serão utilizados no levantamento do potencial eólico para a geração de energia elétrica utilizando a energia dos ventos.

Para este modelo todas as variáveis identificadas são consideradas importantes. Por simplicidade propõe-se:

$$\begin{array}{lll} \alpha = \delta = \gamma = \eta = \lambda = 1 & \text{e} & \alpha_{MAX} = \delta_{MAX} = \gamma_{MAX} = \eta_{MAX} = \lambda_{MAX} = 1 \\ \beta = \text{fator de recuperação} & \text{e} & \beta_{MAX} = 1 \end{array}$$

Resumindo, a expressão (2), para o Modelo Potencial toma a forma:

$$Q = \frac{10}{6} [P + \beta(F + m) + E + L + A + N] \quad (5)$$

OBS: Para a determinação dos valores das variáveis veja itens da parte 3.

## 2. Valores das Grandezas

Os valores das grandezas (variáveis das equações (4) e (5)) são determinados de acordo com os critérios apresentados a seguir.

### 2.1. Período de Operação da Estação

Os valores da variável P dependem do tempo de operação da estação como mostram a TABELA1 e a TABELA 2.

#### 2.1.1. Modelo de Comportamento

Para o Modelo de Comportamento um período longo de operação da estação é de extrema importância. Um período longo de registros de ventos é de grande utilidade para analisar o comportamento dos ventos quando há períodos de secas prolongadas (que prejudica a operação das hidroelétricas); estes períodos de secas prolongadas aparentemente apresentam ciclos de ocorrência relativamente longos.

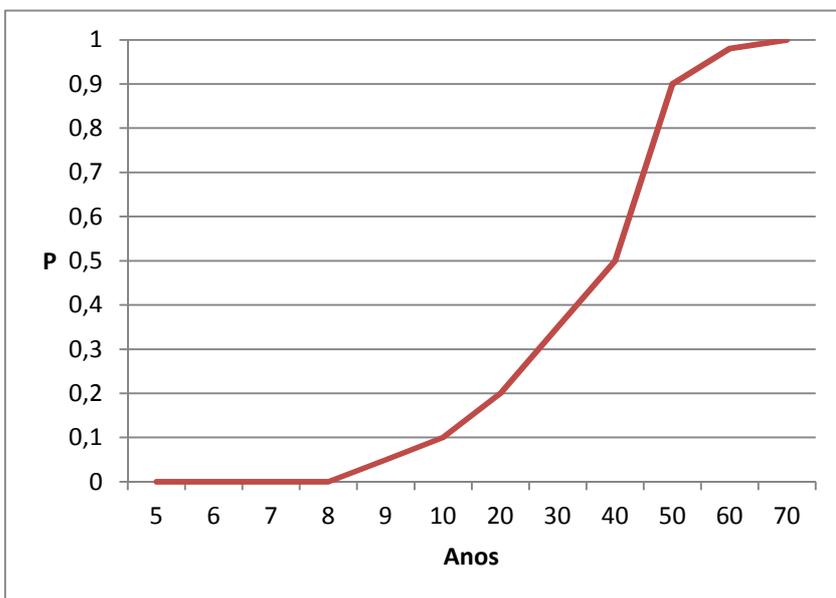
A Tabela 1 fornece valores de P em função dos anos de operação das estações meteorológicas.

Tabela 1: Valores da variável P

Anos de operação	5	6	7	8	9	10	20	30	40	50	60	70
Variável P	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.10	0.20	0.35	0.50	0.90	0.98	1.00

Os valores propostos na Tabela 1 são mostrados graficamente na Figura 1.

Gráfico 1: Representação Gráfica da Tabela 1



OBSERVAÇÃO: O fator de recuperação ( $\alpha$ ) representa percentualmente a taxa de valores da velocidade realmente presentes num arquivo de dados.

### 2.1.2. Modelo Potencial

Para o Modelo Potencial um período muito longo de dados não é tão relevante quanto o é para o Modelo de Comportamento.

Para o Modelo Potencial, fenômenos como o “El Niño” que ocorrem com períodos de poucos anos são mais importantes. Este fato torna-se mais relevante se considerarmos a vida de um parque eólico antes que se faça conveniente um re-potencialização das turbinas.

A Tabela 2 fornece valores de P em função dos anos de operação das estações meteorológicas.

Tabela 2: Valores da Variável P

Anos de operação	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Variável P	0.00	0.20	0.40	0.55	0.70	0.80	0.87	0.93	0.97	1.00

Os valores propostos na Tabela 2 são mostrados graficamente no Gráfico 2.

Gráfico 2: Representação Gráfica da Tabela 2



2.2. Frequência dos registros para velocidade do vento

2.2.1. Para o Modelo de Comportamento

Tabela 3<sup>A</sup>: Valores da variável F – Modelo de Comportamento

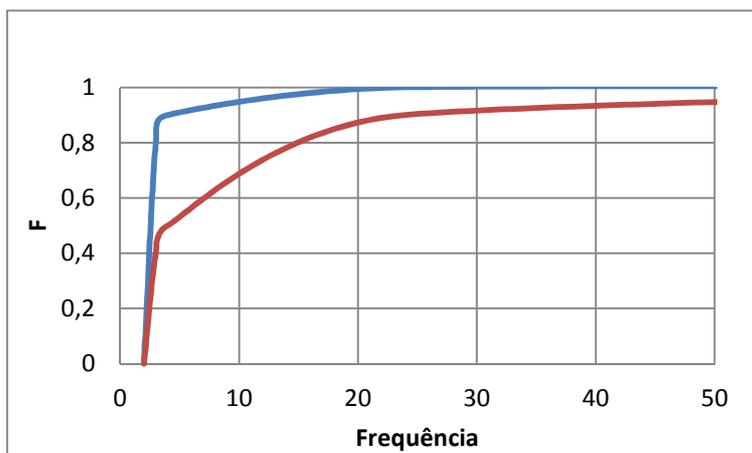
Registros dia	2	3	4	24	144	720
Variável F	0	0.80	0.90	1.00	1.00	1.00

2.2.2. Para o Modelo Potencial

Tabela 3B: Valores da variável P – Modelo Potencial

Registros dia	2	3	4	24	144	720
Variável P	0	0.40	0.50	0.90	1.00	1.00

Gráfico 3: Representação gráfica das Tabelas 3Ae 3B



OBSERVAÇÃO: Várias estações do INMET passam por um processo de modernização, um processo de início recente. Para os propósitos deste projeto a atualização importante consistiu na instalação de anemômetros digitais que permitem a coleta de dados com uma frequência diária grande (24, 144 ou 720 valores por dia). Para levar em consideração este fato, foi acrescentado o fator de modernização (m) nas equações. Este fator pode ser calculado com a utilização da expressão

$$m = 0.025 \text{ (número de anos após a instalação de anemômetros digitais)} \quad (6)$$

### 2.3. Equipamento Utilizado

Tabela 4: Valores da Variável E

EQUIPAMENTO	MODELO	MODELO
	COMPORTEAMENTO	POTENCIAL
Anemômetro Wild	0.02	0.0
Anemômetro Totalizador	0.5	0.2
Anemógrafo	1.0	0.8
Anemômetro Digital	1.0	1.0

### 2.4. Lacunas Nos Registros

Para simplificar a análise foi proposta a seguinte classificação:

- sem lacunas: se forem detectadas duas ou menos lacunas por ano e se estas forem com períodos menores do que 30 dias consecutivos

- lacunas aceitáveis: se forem detectadas mais de duas lacunas, mas todas elas com períodos menores do que 60 dias.

- lacunas críticas: se forem detectadas lacunas com períodos superiores a 90 dias

- lacunas supercríticas: se forem detectadas lacunas com períodos superiores a 1 ano.

Tabela 5: Valores da Variável L

<b>TIPO DE LACUNAS</b>	<b>MODELO COMPORTAMENTO</b>	<b>MODELO POTENCIAL</b>
<b>Sem lacunas</b>	<b>1</b>	<b>1</b>
<b>Lacunas aceitáveis</b>	<b>0.9</b>	<b>0.7</b>
<b>Lacunas razoáveis</b>	<b>0.7</b>	<b>0.5</b>
<b>Lacunas críticas</b>	<b>0.4</b>	<b>0.3</b>
<b>Lacunas super-críticas</b>	<b>0.2</b>	<b>0.0</b>

## 2.5. Altura do Sensor

Tabela 6: Valores da Variável A

<b>ALTURA DO SENSOR</b>	<b>MODELO COMPORTAMENTO</b>	<b>MODELO POTENCIAL</b>
<b>&lt; 10m</b>	<b>0.5</b>	<b>0.0</b>
<b>= 10m</b>	<b>0.8</b>	<b>0.5</b>
<b>Entre 10m e 50m</b>	<b>1.0</b>	<b>0.8</b>
<b>Maior do que 50m</b>	<b>1.0</b>	<b>1.0</b>

## 2.6. Número de Sensores

Tabela 7: Valores da Variável N

<b>NÚMERO</b>	<b>MODELO</b>	<b>MODELO</b>
---------------	---------------	---------------

---

<b>DE SENSORES</b>	<b>COMPORTAMENTO</b>	<b>POTENCIAL</b>
<b>1</b>	-	<b>0.7</b>
<b>2</b>	-	<b>0.8</b>
<b>3</b>	-	<b>0.9</b>
<b>&gt;3</b>	-	<b>1.0</b>

### 3. Resultados

Apresentamos, neste item, alguns exemplos utilizando dados reais e os resultados obtidos com a utilização dos modelos propostos.

Tabela 8: Dados Das Estações Meteorológicas

Estação	anos após instalação de equipamento digital	P (Anos)	$\beta$	F (por dia)	E	L	A (m)	N
Iguaba	0	1	96,11%	144	Anemógrafo	sem lacunas	10	1
Vitória	4	87	56,78%	3	Anemógrafo	criticas	10	1
Santa Cruz	0	1	35,30%	144	Anemógrafo	criticas	10	1
Itaperuna	0	1	94,39%	144	Anemógrafo	sem lacunas	10	1
Ilha Guaiba	0	1	94,27%	144	Anemógrafo	sem lacunas	10	1
Angra	0	1	78%	144	Anemógrafo	sem lacunas	10	1

Tabela 9: Modelo Para Análise Do Comportamento Dos Ventos

Estação	m	P	$\beta$	F	$\beta(F+m)$	E	L	A	Total	Normalizado
Iguaba	0	0	96,11%	1	0,9611	1,0	1	0,8	2,76	3,94
Vitória	0,2	1	56,78%	0,8	0,61424	1,0	0,4	0,8	4,81	6,88
Santa Cruz	0	0	35,30%	1	0,353	1,0	0,4	0,8	1,55	2,22
Itaperuna	0	0	94,39%	1	0,9439	1,0	1	0,8	2,74	3,92
Ilha Guaiba	0	0	94,27%	1	0,9427	1,0	1	0,8	2,74	3,92
Angra	0	0	77,87%	1	0,77874545	1,0	1	0,8	2,58	3,68

Tabela 10: Modelo Para Levantamento Do Potencial Eólico

Estação	m	P	$\beta$	F	$\beta(F+m)$	E	L	A	N	Total	Normalizado
Iguaba	0	0	96,11%	1	0,9611	1	1	0,5	0,7	4,2	6,9
Vitória	0,2	1	56,78%	0,4	0,34068	1	0,4	0,5	0,7	3,9	6,6
Santa Cruz	0	0	35,30%	1	0,353	1	0,4	0,5	0,7	3,0	4,9
Itaperuna	0	0	94,39%	1	0,9439	1	1	0,5	0,7	4,1	6,9
Ilha Guaiba	0	0	94,27%	1	0,9427	1	1	0,5	0,7	4,1	6,9
Angra	0	0	77,87%	1	0,77874545	1	1	0,5	0,7	4,0	6,6

---

## Referências

1. HIRATA, M.H., PETRUCCI, D.R., ARAÚJO, M.R.O.P. and BODSTEIN, G.C.R., (2006), A Normalization, Filtering and Data Reduction System for an Internet-Accessed Wind-Data Bank, DEVEK, Alemanha.
2. HIRATA, M.H., ARAÚJO, M.R.O.P. and BODSTEIN, G.C.R., (2006), "The Role of a Wind Data Bank in the Development of Wind Energy in Brazil", ENCIT 2006 - 11th Brazilian Congress of Thermal Sciences and Engineering, Paper CIT06-0843, Curitiba.
3. ARAUJO, M. R. O., (1989), "Estudo Comparativo de Sistemas Eólicos Utilizando Modelos Probabilísticos de Velocidade de Vento", Dissertação de Mestrado PEM-COPPE/UFRJ
4. SILVA, P.C., (1999), "Sistema para Tratamento, Armazenamento e Disseminação de Dados de Vento", Dissertação de Mestrado PEM-COPPE/UFRJ
5. ARSEGO, D.A. et al. (2007) "Avaliação do potencial eólico no sul do Brasil", Relatório final de projeto de iniciação científica PIBIC/INPE-CNPq/MCT. Santa Maria.
6. HIRATA, M.H., GUEDES, V.G.,SIQUEIRA, L.P., ARAUJO, M.R.O.P, SILVA, J.I. (1997) Additional Data dor the Analysis of Wind Resources in Brazil. Anais do WindPower'97, Austin, Estados Unidos da América.

