

# Avaliação do Potencial Eólico para Geração de Energia em Nossa Senhora da Glória-SE

F. S. B. Sobral & G. G. Faccioli

*Núcleo de Estudos do Semi-Árido – NESA, Universidade Federal de Sergipe, 49100-000, São Cristóvão SE, Brasil  
fabio.stefano@ig.com.br.*

*(Recebido em 12 de maio de 2009; aceito em 30 de junho de 2009)*

---

A produção de energia alternativa pode prover desenvolvimento econômico e oportunidades de emprego, especialmente em áreas Rurais. O trabalho visa como objetivo principal a avaliação do potencial eólico para geração de energia em Nossa Senhora da Glória-SE. Os valores das variáveis meteorológicas foram obtidos em estação meteorológica automática localizada no município. O tratamento estatístico para determinação do comportamento dos ventos no município pesquisado balizou-se no cálculo de médias, variâncias, distribuição de freqüências e da função de distribuição de probabilidade Rayleigh, caso particular da distribuição Weibull, amplamente difundida em estudos de potencial eólico. Estas análises permitiram extrair todas as informações a partir dos dados brutos obtidos da estação e foram simuladas no software Statistica 7.0. O período do dia em que foram registradas as maiores velocidades médias foi o período da tarde compreendido entre 12h00min e 18h00min para o município de Nossa Senhora da Glória-SE, sendo este período escolhido para as simulações em software.

Palavras-chave: energia alternativa, ventos, abastecimento de água

The production of alternative energy can provide economic development and employment opportunities, especially in Rural areas. The work seeks as main objective the evaluation of the potential eólico for generation of energy in Nossa Senhora da Glória-SE. The values of the meteorological variables were obtained in stations automatic meteorological located in the municipal district. The statistical treatment for determination of the behavior of the winds in the researched municipal district was beacon in the calculation of averages, variances, distribution of frequencies and of the function of distribution of probability Rayleigh, case peculiar of the distribution Weibull, thoroughly diffused in studies of potential aeolian. These analyses allowed to extract all the information starting from the obtained gross data of the station and they were simulate in the software Statistica 7.0. The period of the day in that were registered to largest medium speeds it is the period of the afternoon understood between 12h00min and 18h00min for the municipal district of Nossa Senhora da Glória-SE, being this period chosen for the simulations in software.

Keywords: alternative energy, winds, provisioning of water

---

## 1. INTRODUÇÃO

O presente estudo traz uma alternativa energética das mais antigas e conhecidas pela humanidade, que não agride o meio ambiente e nem causa extinção de florestas.

O trabalho visa como objetivo principal a avaliação do potencial eólico para geração de energia em Nossa Senhora da Glória-SE. Como objetivos específicos visam ainda à simulação da energia anual gerada a partir de um aerogerador para uso rural, e a simulação da quantidade de água capaz de ser bombeada através de uma bomba de baixo custo e potência.

Reis (2001), Observa que a questão energética tem um significado bastante relevante no contexto da questão ambiental e na busca do Desenvolvimento Sustentável. O suprimento eficiente de energia é considerado uma das condições básicas para o desenvolvimento econômico.

A sustentabilidade é um dos fatores que mais tem chamado a atenção para esta tecnologia, visto que, além de promover desenvolvimento econômico, constitui-se como um mecanismo de desenvolvimento limpo, e não prevê no seu uso e operação a extinção de recursos. O uso de micro centrais eólicas pode prover energia ao homem do campo e pode ajudar a reduzir a exclusão elétrica do país que atinge cerca de 10 milhões de brasileiros segundo dados do MME em 2004.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. ESTATÍSTICA APLICADA NO LEVANTAMENTO DAS VELOCIDADES DE VENTO.

As médias calculadas para esta pesquisa referem-se às velocidades do período da tarde nos horários entre 12h00min e 18h00min, tendo em vista se tratar de uma região de pequena amplitude térmica e grande déficit de pressão de vapor o que gera variações da velocidade de vento. Nos trópicos estas variações são mais acentuadas sobre as áreas de areia e estações secas, quando a umidade do ar é muito baixa e existem poucas nuvens no céu. O resultado disso é que à tarde nesses locais se registra as máximas velocidades de vento, enquanto que pela manhã as velocidades são as mínimas.

Os softwares utilizados para tratamento estatístico deste estudo são o *STATISTICA 7* da Statsoft, o *PHStat 2.0* e *XLSTAT 2009*. Para as simulações de energia anual gerada foi utilizado o software *EOLUSOFT* do NUTEMA PUC-RS.

Para verificar a estação do ano que melhor representa a amostra de dados pesquisados foi utilizado o teste estatístico de *Kolmogorov-Smirnov* para o município pesquisado.

O teste K-S como também é chamado, é aplicado para verificar se os valores de certa amostra de dados podem ser considerados como provenientes de uma população com distribuição teórica pré-estabelecida, sob a hipótese (H<sub>0</sub>). Ele confronta duas distribuições de frequências, uma teórica e outra provida de dados amostrais verificando o nível de significância rejeitando ou não a hipótese.

A velocidade média é a medida estatística utilizada para calcular a velocidade dos ventos já que a mesma é a mais utilizada nos levantamentos de potencial eólico.

Em seguida foi utilizado o desvio padrão e o coeficiente de variação para verificar a dispersão das médias, pois, o mesmo permite distinguir a intensidade do regime turbulento os ventos.

$$s = \sqrt{\left(\frac{\sum f v^2}{\sum f}\right) - \left(\frac{\sum f v}{\sum f}\right)^2} \quad (1)$$

$$CV = \left(\frac{s}{\text{média}}\right) \cdot 100\% \quad (2)$$

A função Rayleigh é uma boa representação de casos de distribuição de velocidade de vento, principalmente em estudo preliminares, onde não se conhece o perfil exato de vento, pois apenas dispõe-se da velocidade média, o que já é suficiente para determinação da sua frequência de distribuição.

$$f(v) = -\frac{v}{\left(\frac{E}{\sqrt{\pi}}\right)^2} \exp\left(-\frac{v^2}{2\left(\frac{E}{\sqrt{\pi}}\right)^2}\right) \quad (3)$$

onde " $E$ " na equação refere-se a  $E(v)$ , ou seja, a esperança matemática da variável aleatória " $v$ " (velocidade do vento).

ASMUSSEN ET al. (1978) e PARK ET al.(1979) empregaram a distribuição Rayleigh para determinação da energia específica de uma turbina eólica e verificaram que a mesma se ajusta adequadamente.

### 3. DADOS DE VENTO DO MUNICÍPIO DE NOSSA SENHORA DA GLÓRIA

Os dados pesquisados para esta estação compreendem medições entre os anos de 2005 a 2007, foram coletados 7.944 registros de velocidade de vento no período em coletas de 3 em 3 horas.

Em seguida foram retiradas as amostras referentes ao período noturno, eliminadas as amostras dos períodos sem registros de medição, foram separadas as medições do período vespertino para extração das informações estatísticas, os resultados são mostrados nos gráficos e na tabela de estatísticas.

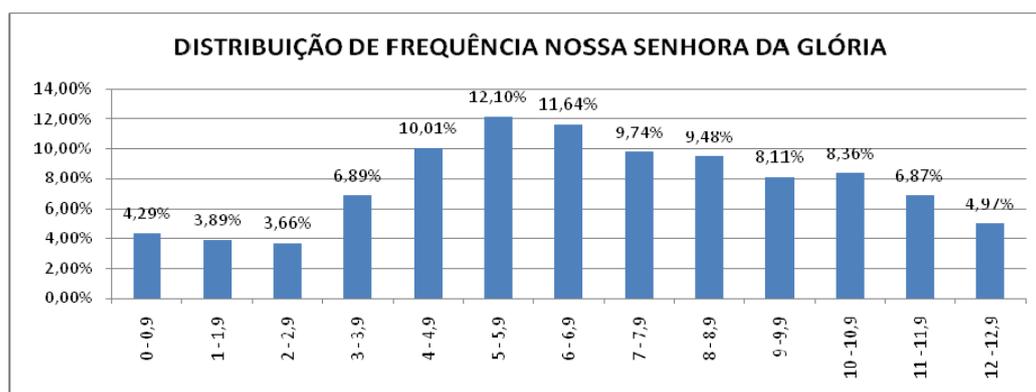


Figura 1: Distribuição de velocidades de vento a 10 metros de altura, N. S. Glória-SE

O gráfico de distribuição das velocidades de vento no município de Nossa Senhora da Glória/SE mostra que 88,16% das velocidades pesquisadas no período diurno são superiores a 3 m/s e 50,37% das velocidades medidas estão na faixa entre 3 e 7,9 m/s.

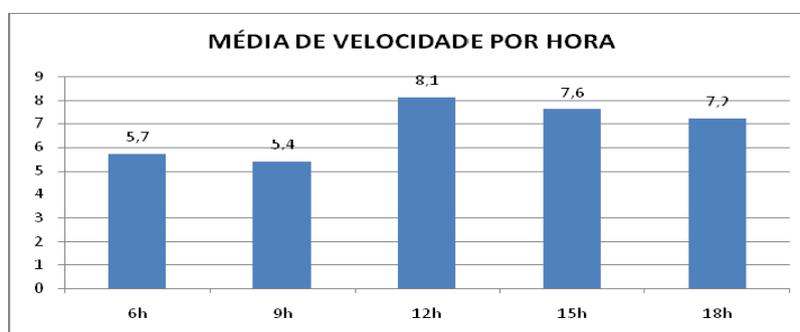


Figura 2: Média de velocidade nos horários pesquisados (m/s), N. S. Glória-SE

O gráfico de média de velocidade a 10 metros do município a cada 3 horas mostra que Nossa Senhora da Glória está em conformidade com o caso geral para regiões equatoriais em que o período da tarde registra as maiores velocidades ao longo do dia, tendo registrado suas maiores velocidades médias as 12 e 15 horas.

O estudo estatístico descritivo das condições de vento no município que são mostradas na tabela abaixo.

	janeiro	fevereiro	março	abril	maio	junho	julho	agosto	setembro	outubro	novembro	dezembro
média	7,701102941	7,170682731	6,881654676	7,338257576	7,788727273	7,927443609	7,959629630	8,025675676	7,528333333	7,940983607	7,783011583	7,880632411
desvio padrão	3,827849815	3,099945358	3,130181734	3,294818838	3,24114462	3,772607157	3,373805702	3,89360983	4,154357946	4,015726381	3,648343179	3,391466356
casos válidos	272	249	278	264	275	266	270	222	180	183	259	253
menor valor	0	0,5	0	0	0,1	0	0	0	0	0	0	0
maior valor	12,7	12,7	12,6	12,7	12,7	12,7	12,7	12,7	12,7	12,7	12,7	12,6
variância	14,6524342	9,609661226	9,798037685	10,85583117	10,50501845	14,23256476	11,38256492	15,16019751	17,25868994	16,12605837	13,31040795	11,50204404
CV (%)	49,70521552	43,23082578	45,48588793	44,89919853	41,61327655	47,58920206	42,38646595	48,51441781	55,18297028	50,56963444	46,87572593	43,03545933
parâmetro Rayleigh ( $\mu$ )	7,701102941	7,170682731	6,881654676	7,338257576	7,788727273	7,927443609	7,959629630	8,025675676	7,528333333	7,940983607	7,783011583	7,880632411

Tabela 1. Estatística descritiva dos dados de velocidade média do vento (m/s), N. S. Glória-SE.

Observa-se no quadro de estatísticas como a velocidade de vento varia ao longo do ano no município, tendo sido registradas maiores médias de Junho a Agosto, com maior valor médio em Agosto (8,0 m/s). Não foi observado velocidades médias menores que 3 m/s durante os meses do ano.

A variabilidade dos dados medida pelo coeficiente de variação (CV) concentrou-se entre 41,61% e 55,18%, tendo sido os meses de Maio e Setembro os responsáveis por estes valores.

O quadro também indica através do desvio padrão e da variância da amostra a dispersão da variável em relação às médias ao longo do ano.

O caso observado no quadro de estatísticas indica que existem plenas possibilidades de uso deste elemento como fonte geradora de energia alternativa, tendo em vista que nos estudos realizados por MARTINS (1993), MARQUES JÚNIOR et al. (1995), SILVA ET al (1997) e LEITE(2006), todos foram unânimes em afirmar o potencial para uso desta fonte em locais com velocidades entre 1,74 a 2,2 m/s como o caso de Botucatu/SP, Pelotas/RS com velocidades inferiores a 4 m/s e em Ponta Grossa/PR com velocidades entre 3,02 e 4,02 m/s.

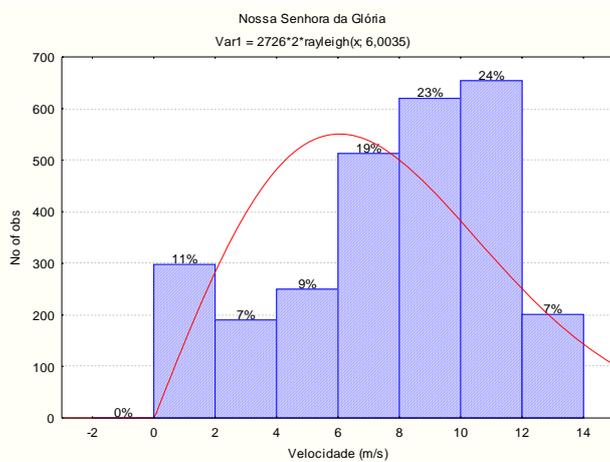


Figura 3: Curva Rayleigh para a média anual

O gráfico de distribuição das velocidades do município de Nossa Senhora da Glória mostra a aderência da curva gerada pela distribuição Rayleigh para a amostra de dados estudada. Abaixo são apresentados os gráficos por estação do ano para o município.

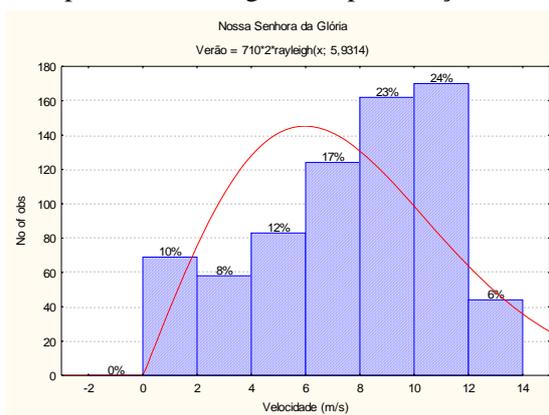


Figura 4: Curva Rayleigh para o verão

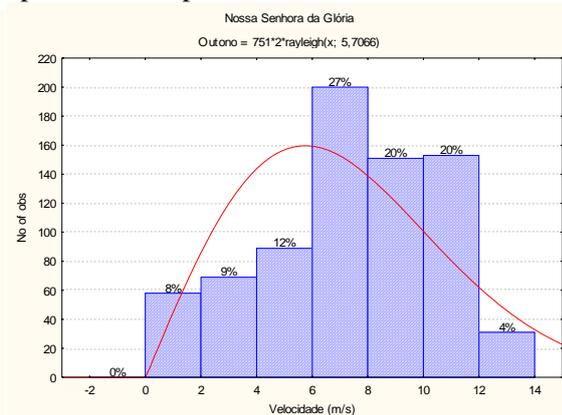


Figura 5: Curva Rayleigh para o outono

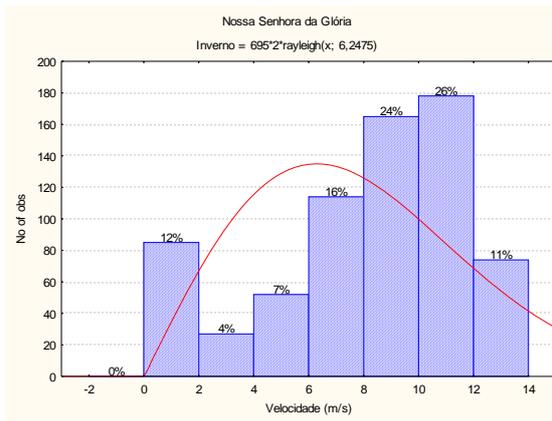


Figura 6: Curva Rayleigh para o inverno

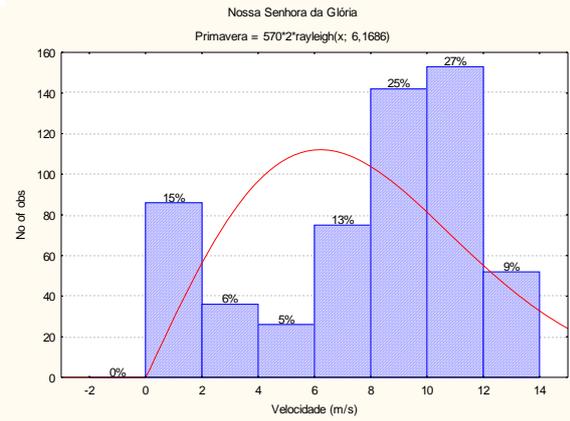


Figura 7: Curva Rayleigh para a primavera

### 3.1. Teste Kolmogorov-Smirnov, Nossa Senhora da Glória-SE

Para verificar a estação do ano que melhor representa a amostra de dados pesquisados foi utilizado o teste estatístico de *Kolmogorov-Smirnov* para o município pesquisado.

Os resultados mostraram que o período do verão é o que melhor reflete as condições de vento do ano na região.

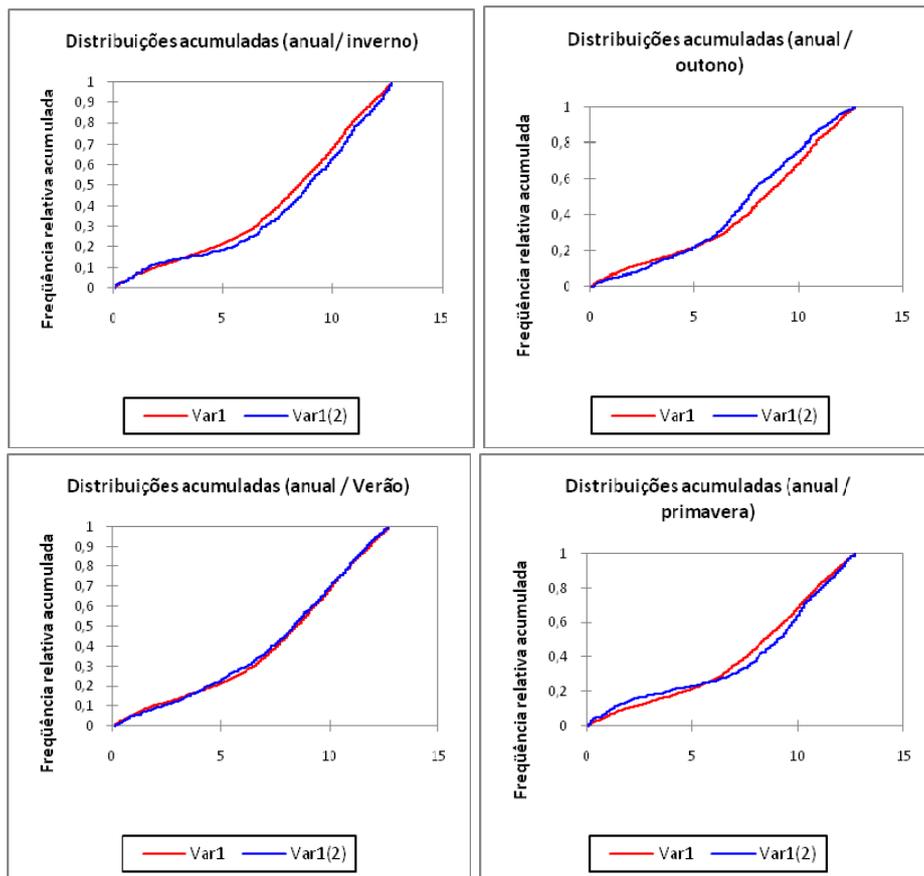


Figura 8: Teste K-S para a distribuição anual / estações do ano de velocidades de vento.

#### 4. SIMULAÇÕES DE APROVEITAMENTO E ENERGIA ANUAL GERADA

Nesta etapa, foi realizada a análise da energia anual que pode ser gerada e verificada as possibilidades de aproveitamento de um sistema eólico de baixo custo para o município sergipano pesquisado.

A finalidade deste estudo foi verificar, utilizando um aerogerador com potência de 400 Watts de uso rural, possibilidades viáveis considerando a utilização de um único aerogerador para a geração de eletricidade para consumo residencial e/ou o bombeamento de água visando irrigação/consumo.

Para realização desta tarefa foi utilizado o software EOLUSOFT – Versão Beta 1.0 NUTEMA-PUCRS para realização dos cálculos e simulação de utilização para o caso padrão de aerogerador utilizado no levantamento.

O primeiro passo foi avaliar a velocidade média anual para o município e simular um tipo de uso (residencial/irrigação) para verificar as possibilidades usando um único aerogerador de 400 Watts preenchendo as informações solicitadas pelo software sobre como a energia será consumida.

A próxima etapa foi preencher as informações para dimensionamento do sistema eólico informando o método utilizado para distribuição, no caso deste estudo a Distribuição Rayleigh, e outras informações visualizadas na tela do software mostradas na seqüência para gerar os dimensionamentos.

The screenshot displays the 'Dimensionamento' (Dimensioning) window of the EoluSoft software. The interface is organized into several sections:

- Estado:** A dropdown menu for selecting the state.
- Cidade:** A dropdown menu for selecting the city.
- Referência:** Input fields for reference wind speed (V<sub>m</sub> and c) and turbulence intensity (k).
- Altura de Referência:** Input field for reference height (10 m).
- Altura da Turbina:** Input field for turbine height (10 m).
- Distribuição:** Radio buttons for 'Weibull' and 'Rayleigh' (selected).
- Massa Específica do Ar:** Input fields for temperature (T = 25 °C) and altitude (Z = 291 m), with a calculated pressure (P = 97.87 kPa) and density (Massa Específica = 1,144 kg/m³).
- Tipo de Turbina:** A dropdown menu set to 'AIR - 403 (400 W)'. A 'Calcular' button is present.
- Tipo de Terreno:** A dropdown menu set to 'Áreas suaves de interior'.
- Classe do Terreno (Z<sub>0</sub>):** A dropdown menu set to 'Classe do Terreno'.
- Tipo de Dimensionamento:** Radio buttons for 'Sistema Eólico' (selected) and 'Sistema Híbrido'.
- ENERGIA ANUAL GERADA:** A text box showing '1089,00 kWh' with an 'E A G' button below it.
- ENERGIA ANUAL REQUERIDA:** A text box showing '1044,39 kWh'.
- SISTEMA:** A summary box showing: Turbina: AIR, Potência Nominal: 400 W, Diâmetro do Rotor: 2,1 m, Rotação Nominal: 2000 rpm, and Velocidade Nominal: 11,2 m/s.

Figura 9: Dimensionamento e resultado energético

##### 4.1. Simulação para o município de Nossa Senhora da Glória

Para Nossa Senhora da Glória foi simulada a utilização residencial possível para o aerogerador utilizando apenas uma bateria para armazenamento de carga. É possível aumentar a frequência de utilização dos aparelhos elétricos selecionados aumentando o número de baterias e/ou o número de aerogeradores, ou ainda com o dimensionamento de aerogeradores de maior porte. Para este estudo foi considerado a configuração mínima e de menor investimento visando determinar a energia anual gerada.

Para o bombeamento de água foi considerado uma bomba de água de 500 Watts com capacidade de bombear 2.340 l/h a 9 metros de altura. Considerando que o reservatório deve

ficar nesta altura para não utilizar energia elétrica para transporte horizontal de água para irrigação, neste caso considerou-se o transporte por força da gravidade.

## 5. CONCLUSÕES

Após análise e discussão dos resultados das pesquisas realizadas no município foram realizadas algumas constatações acerca do estudo das velocidades de vento em Nossa Senhora da Glória-SE, sendo as principais:

O período do dia em que foram registradas as maiores velocidades médias é o período da tarde compreendido entre 12h00min e 18h00min.

Para efeito de geração de energia em pequena escala, ou seja, micro aproveitamentos eólicos o município pesquisado apresenta condições de geração para uso rural com esta fonte alternativa.

O desvio padrão pesquisado demonstrou-se alto o que significa baixa estabilidade em relação à regularidade da velocidade, o coeficiente de variação também foi considerado alto indicando grande amplitude da variação encontrada no desvio padrão.

A distribuição de frequências das velocidades mostrou que para o município pesquisado existe uma maior regularidade da velocidade média no verão, conseqüentemente, no outono, inverno e primavera os regimes são mais sujeitos a variações.

O teste Kolmogorov-Smirnov mostrou através das distribuições acumuladas comparadas entre estações do ano e distribuição anual que o verão é a estação do ano que melhor representa as condições do vento da região.

A curva de distribuição Rayleigh, (caso particular da distribuição Weibull), escolhida para este estudo, apesar de muito utilizada em estudos relacionados à energia eólica no mundo inteiro, não mostrou ajuste adequado para o caso pesquisado nas estações do ano, o que sugere outro estudo para verificação e testes com outras distribuições a fim de se determinar qual a distribuição que melhor se ajusta aos dados para o município pesquisado.

Quanto à utilização e simulações do sistema eólico para atender as necessidades de alimentação elétrica rural foi utilizado como modelo para os testes a turbina eólica do fabricante WINDSTREAM modelo AIR-403 com potência de 400 W, o município apresentou condições de velocidade de vento capaz de fornecer o abastecimento essencial, principalmente no que diz respeito a abastecimento de água para consumo e irrigação.

A capacidade teórica do sistema eólico de referência adotado para as simulações deste trabalho apontaram uma capacidade de geração para a média do município pesquisado de 1089 kWh anualmente para cada 3,46 m<sup>2</sup> de área aproveitada.

As simulações apontaram também uma capacidade de bombear com uma única bomba de água de 500 W ligada ao sistema eólico de referência um total de 2.021.760 litros de água bombeada por ano.

1. ALÉ, J. A. V. e PALUDO, V.A. Modelagem, Simulação e Dimensionamento de Sistemas Híbridos (Eólico, Fotovoltaico, Diesel) – Relatório FAPERGS. PUCRS- Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. Brasil. 2000.
2. HENESSEY, J. P. P. Some aspects of Wind Power statistics. *Journal of applied meteorology*, Boston, V. 16, n. 2, p, 350-353, 1977.
3. JUSTUS, C. G. ET al. Methods for estimating Wind speed frequency distributions. *Journal of applied meteorology*. Boston, v. 17, n. 3, p. 350-353, 1978.
4. LEITE, Maysa de Lima ET al. Avaliação da velocidade média e direção predominante do vento em Ponta Grossa – PR. *Rev.Bras. Agrometeorologia*, v.14, n.2, p157-167, 2006.
5. MARQUES JÚNIOR, S. ET al. Análise de dados de vento para a região de Botucatu – SP utilizando a distribuição beta. *Revista brasileira de agrometeorologia*, Santa Maria, v 3, p, 129-132,1995.
6. MARTINS, D. Comportamento dos ventos na região de Botucatu – SP. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 22, 1993.
7. REIS, L. B., *Energia Elétrica para o Desenvolvimento Sustentável*. São Paulo, EDUSP, 2001
8. SILVA, J. B. ET al. Estudo da velocidade e direção dos ventos em Pelotas, RS. *Revista brasileira de agrometeorologia*, Santa Maria, v.5, n. 2, p, 227-235, 1997.
9. SOBRAL, F. S. B., Avaliação do Potencial Eólico para Geração de Energia na Zona Rural do Estado de Sergipe, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Sergipe. Sergipe. Brasil, 2009.