

CARACTERIZAÇÃO DE UM AEROGERADOR DE PEQUENO PORTE EM BANCADA

Jean-Marc Stephane Lafay – jeanmarc@utfpr.edu.br
Neri Santos de Vargas – vargas@utfpr.edu.br
Beatriz Fontana de Vargas - bvargas@utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal do Paraná - campus Pato Branco
Grupo de Pesquisa em Energias Renováveis

6.1 Turbinas Eólicas

Resumo. A transformação de energia eólica em energia elétrica por meio de turbinas eólicas constitui uma alternativa para diversos níveis de demanda. A energia elétrica pode ser injetada diretamente na rede elétrica convencional (normalmente máquinas de grande porte) ou utilizada em sistemas isolados (geralmente máquinas de pequeno porte). Atualmente existem pequenos aerogeradores com potências nominais na faixa de 250 W a 6 kW, sendo a maioria deles utilizados em sistemas híbridos com sistemas fotovoltaicos. O objetivo deste trabalho é realizar avaliação de um aerogerador de pequeno porte em bancada. O aerogerador faz parte de um sistema híbrido eólico-fotovoltaico atualmente em estudo. Os componentes da bancada são um aerogerador de 250 W de potência nominal, um motor de potência 1 cv, um controlador de carga, uma bateria 12 V, um inversor de frequência, um voltímetro e um amperímetro interfaciados a dois microcomputadores e um termopar. Foram obtidas as curvas de tensão gerada a vazio e tensão e corrente sob carga. Os resultados obtidos neste trabalho demonstram que a potência produzida pelo aerogerador acionado na rotação nominal é menor do que o valor nominal. Esta avaliação permitiu conhecer as características elétricas e mecânicas do aerogerador, propiciando condições de instalação em torre para continuação da pesquisa sobre a viabilidade do uso desta alternativa energética na região sudoeste do Paraná.

Palavras-chave: Aerogerador, Energia eólica, Bancada.

1. INTRODUÇÃO

A energia eólica atualmente é vista como uma fonte promissora de energia renovável, limpa e com mínimo impacto ambiental. Seu aproveitamento ocorre por meio da conversão da energia cinética de translação em energia cinética de rotação e esta em energia elétrica, com o emprego de turbinas eólicas, também denominadas aerogeradores.

Para que a energia eólica seja considerada tecnicamente aproveitável, é necessário que sua densidade seja maior ou igual a 500 W/m^2 a uma altura de 50 m, o que requer uma velocidade mínima do vento de 7 a 8 m/s (Grubb *et al.*, 1993).

A potência disponível é fortemente dependente da velocidade do vento. As turbinas modernas são projetadas para atingirem a potência máxima para velocidades de vento na ordem de 10 a 15 m/s) (CRESESB, 2007).

As turbinas isoladas ou agrupadas de aerogeradores de pequeno porte para sistemas autônomos de carregamento de baterias evoluíram incorporando novas tecnologias, tendo com isto ampliado sua faixa de utilização. Há turbinas eólicas de pequeno porte disponíveis comercialmente para faixas de potências nominais de 250 W a 6 kW, destinadas tipicamente à utilização em sistemas isolados ou em sistemas híbridos com a sistemas fotovoltaicos (Enersud, 2007 e McGowan, 1999).

O Atlas do Potencial Eólico Brasileiro, lançado pelo Centro de Pesquisas de Energia Elétrica – CEPPEL/Eletróbrás demonstra o grande potencial que o Brasil tem a explorar e oferece informações para identificação de áreas adequadas para aproveitamentos elétrico-eólicos (ANEEL, 2002).

De acordo com (Feitosa, 2003) as regiões estão divididas em quatro classes de energia em função da velocidade média do vento e energia eólica média a uma altura de 50 m para cinco condições topográficas distintas. A classe 4 corresponde aos melhores locais para aproveitamento dos ventos no Brasil, com velocidade média superior a 6 m/s, na região sudoeste do Paraná a velocidade média dos ventos é superior a 8,5 m/s, indicando condições favoráveis para o aproveitamento eólico (Centro Brasileiro de Energia Eólica – CBEE 2007).

O objetivo deste trabalho é realizar a avaliação de um aerogerador de pequeno porte em bancada como etapa inicial de um projeto de instalação de gerador eólico em torre para futura coleta de dados e continuidade da pesquisa sobre a viabilidade do uso desta alternativa energética na região sudoeste do Paraná.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Os componentes da bancada são: um aerogerador de 250 W de potência nominal, (modelo Notus 112); um motor trifásico de potência 1 cv, marca WEG; um controlador de carga; uma bateria 12 V, 105 Ah; um inversor de frequência modelo CFW07 WEG e dois microcomputadores para interface do amperímetro e do voltímetro.

Após montagem e ligação da bancada fêz-se o levantamento dos dados necessários para construção das curvas de tensão gerada a vazio x rotação, tensão x tempo e corrente x tempo durante o carregamento da bateria.

2.1 Características do aerogerador

O aerogerador utilizado é uma unidade do modelo Notus 112, marca Enersud, potência nominal de 250 W e tensão de saída de 12 Vcc. De acordo com o fabricante, ENERSUD (2007), o aerogerador NOTUS 112 foi projetado para captar energia a baixas velocidades de vento, a partir de 2,2 m/s. A Fig. 1 mostra o gerador Notus 112 montado.



Figura 1 - Aerogerador Notus 112 – 250 W
Fonte: Enersud Indústria e Soluções Energéticas Ltda. – 2007.

A Tab. 1 apresenta algumas características do aerogerador.

Tabela 1. Características técnicas do aerogerador Notus 112.

Parâmetro	Valor/especificação
Diâmetro da hélice	1,12 m
Potência a 12,5 m/s	250 Watts
Potência a 15 m/s	350 Watts
Número de pás	3
Tipo de pás	torcida
Início da geração	3 m/s
rpm a 12 m/s	1100
Sistema magnético	Neodímio (ímã permanente)
Torque de partida	0,3 N.m
Velocidade de partida	2,0 m/s
Proteção contra altas velocidades	Controle de passo sincronizado
Controle	Active Stall
Sistema elétrico	trifásico
Tensão de saída	12 volts cc
Topologia	Fluxo Axial
Peso total (alternador + hélice+ cab. Rot.)	10 kg
Material Anti-Corrosão	Alumínio / Inox / Galvanização

Fonte: Enersud Indústria e Soluções Energéticas Ltda. – 2007.

Segundo (ENERSUD 2007), o rotor do NOTUS 112 é composto de uma turbina de três pás feitas em fibra de vidro, fixadas na própria carcaça do alternador por meio de uma raiz tubular de aço e um eixo de aço inox que permitirá a sua modulação, ajustando o ângulo de ataque em função da velocidade do vento. Há uma mola central para a fixação das hélices, que deverá ser comprimida sobre as bases das hélices garantindo que estas atuem de acordo com a regulagem determinada. As pás têm formato helicoidal estreitando da raiz até a ponta o que visa facilitar a partida com vento de baixa velocidade, oferecer alto desempenho nas maiores velocidades e baixo nível de ruído.

O alternador transforma a energia rotacional do rotor em energia elétrica. O NOTUS 112 possui um alternador do tipo axial com duplo rotor, o que permite ter uma máquina de boa potência, compacta e resistente. O alternador utiliza 12 magnetos permanentes feitos à base de neodímio. Sendo o alternador uma máquina própria para uso em baixa velocidade, permite o acoplamento direto à turbina eólica, dispensando o uso de sistemas multiplicadores de velocidade.

O alternador do NOTUS 112 produz corrente alternada trifásica, retificada através do circuito eletrônico interno gerando uma tensão de saída de 12 Vcc.

O leme direcionador tem a função de orientar a turbina eólica de acordo com a direção do vento. A cabeça rotativa cumpre uma série de funções no aerogerador. Por meio desse elemento é feita a fixação no tubo padrão. Os seus rolamentos internos permitem o giro completo facilitando o alinhamento do aerogerador com a direção do vento. No interior da cabeça rotativa é feita a fixação do cabo elétrico que transmite a corrente elétrica do aerogerador para o controlador de carga através de um jogo de escovas, permitindo girar livremente acompanhando a direção do vento.

A Fig. 2 mostra em detalhes os componentes do aerogerador desmontado.

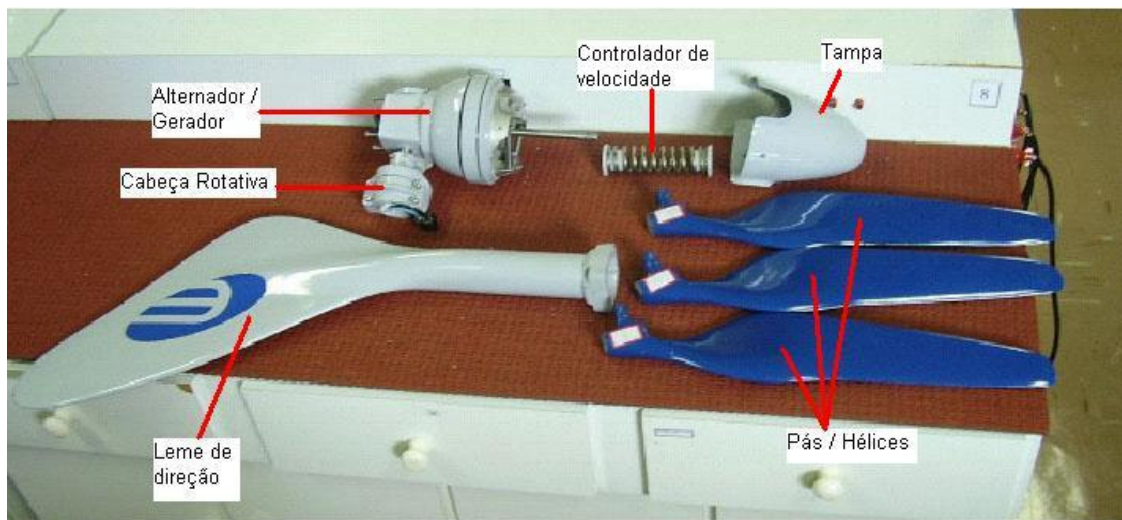


Figura 2 – Aerogerador Notus 112 desmontado.

A curva de potência ou curva característica do aerogerador é a relação entre a velocidade do vento e a potência fornecida pelo aerogerador. A Fig 3 mostra a curva de potência para o aerogerador NOTUS 112, fornecida pelo fabricante.

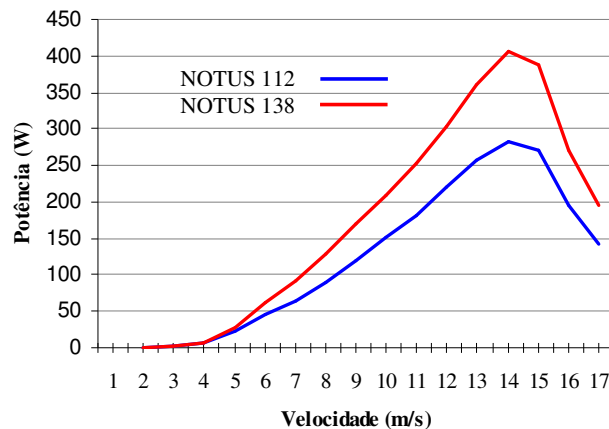


Figura 3 - Curva de potência para o aerogerador NOTUS 112. ENERSUD (2007)

Em operação normal, a turbina eólica do NOTUS 112 começa a girar logo que o vento ultrapassa 2,2 m/s (8 km/h). Com o aumento da velocidade de rotação do rotor tem início o carregamento da bateria. A potência fornecida varia com o cubo da velocidade do vento. Isto mostra o inconveniente dos ventos de alta velocidade, pois o gerador não consegue absorver a potência captada do vento e provoca o disparo do sistema. Na condição de ventos fortes, o aerogerador deve ser capaz de suportar vento de qualquer intensidade, sem que a velocidade de rotação das hélices dispare, pois uma vez que isto ocorra, o resultado será produção de ruído ou até mesmo a quebra das hélices. O sistema mais eficiente e seguro de controle de velocidade é o chamado controle de passo. Este sistema consiste no giro das hélices de acordo com a velocidade do vento e é utilizado por todas as máquinas de grande porte existentes, permitindo que o controle seja feito a velocidades de vento mais altas em geral por volta de 20 m/s ou 72 km/h. (Enersud, 2007).

2.2 Bancada experimental

Um motor elétrico de 1 cv foi acoplado ao eixo do aerogerador, através de um acoplamento flexível. Optou-se por este tipo de acoplamento para evitar quaisquer problemas de linearidade da conexão, evitando-se assim possíveis danos ao conjunto motor/gerador. A Fig. 4 mostra o motor acoplado ao aerogerador na bancada, assim como o detalhe do acoplamento flexível.



Figura 4— (a) Motor de 1 cv acoplado ao alternador do aerogerador na bancada (b) Detalhe do acoplamento

Foi usado um inversor de frequências modelo CFW-07, marca WEG, para variar a rotação do motor e obter dados para análise do comportamento do aerogerador, sob diversas condições.

A tensão fornecida pelo aerogerador foi medida com uso do multímetro ICEL – MD 6450 e o gerenciamento dos dados deu-se via o software VT60E. Para as medidas de corrente usou-se o multímetro IEC 1010-1 e a aquisição dos dados foi realizada via o software Multimeter.

Os testes foram realizados em ambiente fechado, a uma temperatura ambiente em torno de 19°C. O aerogerador, quando com carga, (bateria) apresentou uma perda (efeito Joule) considerável. Quando em operação em torre, o mesmo é resfriado naturalmente pela ação do próprio vento que o aciona, em virtude disto foi necessária realizar a refrigeração com ar forçado por meio da utilização de um ventilador portátil, mantendo a temperatura interna do gerador em torno de 50° C, monitorada por meio de um sensor de temperatura (termopar tipo K) colado na parte interna da carcaça do mesmo.

Uma bateria de 100 Ah foi usada para armazenamento da energia gerada, conectada a um controlador de carga. O controlador de carga é utilizado para controle de carregamento de baterias, proteção para alta/baixa tensão da bateria, com tensão de saída 12 volts.

A figura 5 apresenta o esquema de ligações na bancada de caracterização do aerogerador e a figura 6 mostra a bancada experimental em funcionamento durante a aquisição de dados.

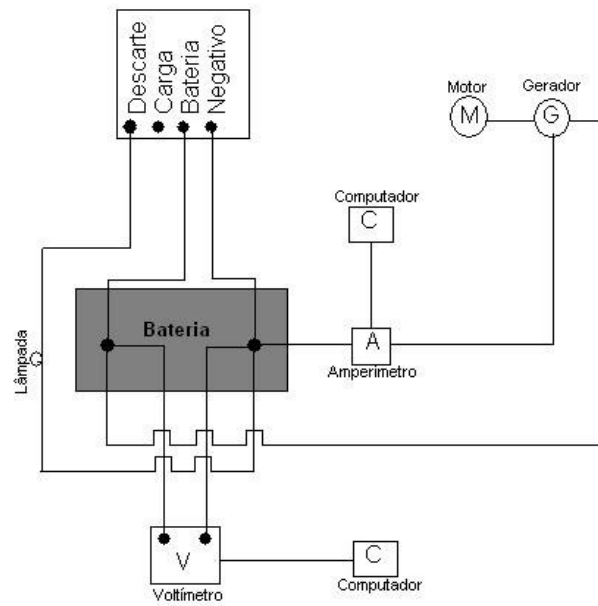


Figura 5 – Esquema de ligações na bancada.



Figura 6 - Bancada experimental.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Curva tensão gerada a vazio x rotação

Os valores de tensão medidos a vazio foram obtidos e são apresentados na Fig. 7. As medidas de rotação foram obtidas diretamente do inversor e o mesmo foi calibrado por um taquímetro. A curva demonstra um comportamento linear ao longo da variação da rotação.

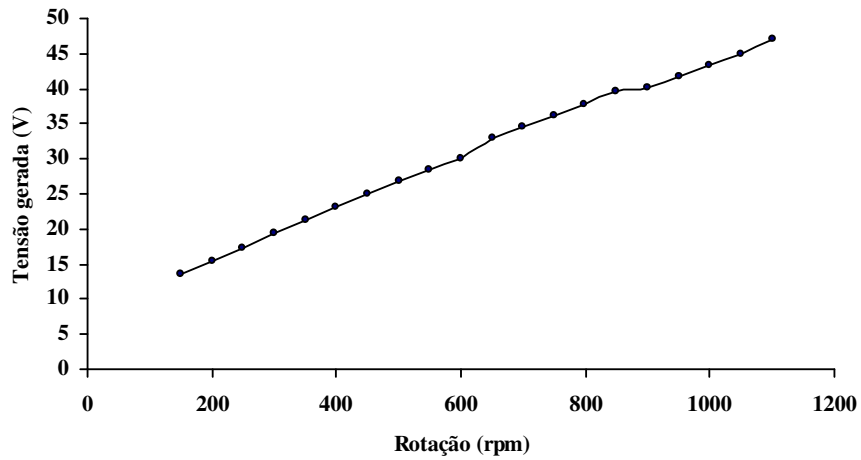


Figura 7 – Curva tensão gerada a vazio (V) x rotação (rpm)

3.2 Curva da tensão gerada com carga (bateria)

A curva de tensão gerada com carga foi obtida com a bateria inicialmente descarregada, sendo a tensão medida nos bornes da bateria igual 12,26 V. A rotação foi fixada pelo inversor em 1100 rpm em virtude de ser esta a velocidade nominal fornecida pelo fabricante.

A Fig. 8 apresenta a curva obtida ao longo de 10 horas de carregamento da bateria pelo aerogerador. A partir da oitava hora a tensão atinge o valor máximo de 16 V e estabiliza.

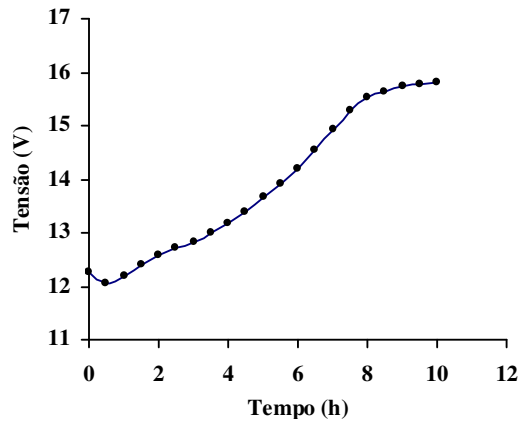


Figura 8 – Curva de tensão gerada (V) x tempo de carga (h)

A Fig. 9 apresenta o comportamento da corrente elétrica no carregamento da bateria pelo aerogerador. Ocorre uma queda suave da corrente ao longo das primeiras seis horas seguidas por uma queda mais acentuada a partir de então.

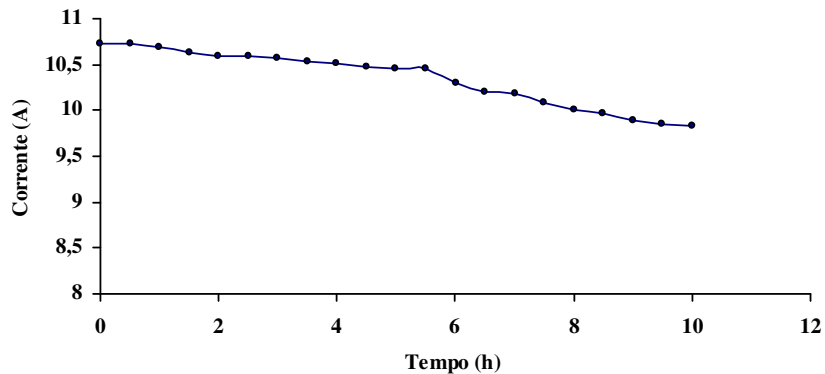


Figura 9 – Curva corrente (A) x tempo (h)

3.3 Curva de potência gerada

Através dos valores de tensão e corrente geradas num mesmo período de tempo, apresentados nas figuras 8 e 9 foi gerada a potência fornecida pelo aerogerador ao longo do ensaio, estes valores são apresentados na Fig. 10.

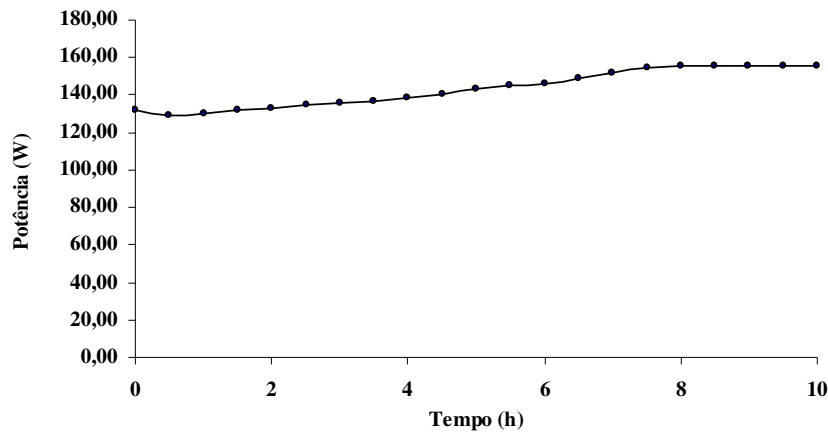


Figura 10 - Curva potência (W) x tempo (h)

Na situação a vazio, a tensão máxima gerada foi de 47,1 V no valor de rotação nominal do aerogerador de 1100 rpm. O comportamento da curva obtida está de acordo com a teoria dos geradores KOSOW (1995) onde o aumento da rotação resulta no aumento da tensão gerada.

O ciclo de carga da bateria ocorreu em 10 horas ininterruptas com o aerogerador acionado na rotação nominal de 1100 rpm. Os valores de tensão gerada sob carga estabilizaram-se a partir de 8 horas de carregamento, aproximadamente em 15,8 V e os valores da corrente em 9,9 A. O comportamento da curva de carga da bateria está de acordo com os resultados obtidos por MOURA (1996).

A máxima potência fornecida pelo aerogerador, para essa carga (bateria), foi de 155,57 W, valor menor que a potência nominal de 250W. Resultados similares foram obtidos por Hernández (2004).

4. CONCLUSÕES

A caracterização efetuada neste ensaio permite subsidiar a escolha por este tipo de aerogerador demonstrando a sua simplicidade construtiva aliada a verificação de seu desempenho.

A falta de um túnel de vento não permitiu efetuar uma correlação entre velocidade de vento e rotação do aerogerador. Na próxima fase, instalação em torre, será possível obter esta correlação por meio da medida da potência gerada e a velocidade do vento medida por um anemômetro, instalado junto ao aerogerador.

O ensaio identificou que o aerogerador atingiu 63% do valor indicado pelo fabricante. Esta situação aplica-se apenas a condição simulada em bancada, novos ensaios serão realizados após a instalação em torre.

REFERÊNCIAS

- ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. 2002. Atlas de Energia Eólica do Brasil. .
- Centro Brasileiro de Energia Eólica (CBEE), 2007. <http://www.eolica.com.br>
- Centro de Referência para a Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito - CRESESB. 2007. www.cresesb.cepel.br
- Enersud Indústria e Soluções Energéticas Ltda. 2007. Catálogo. <http://www.enersud.com.br>
- Feitosa, E. A. N. et al. Panorama do Potencial Eólico no Brasil. Brasília: ANEEL 2003.
- Gipe, P., 2000 Testing the power curves of small wind turbines. <http://www.wind-works.org/articles/PowerCurves.html>.
- Grubb, M. J; Meyer, N. I. Wind energy: resources, systems and regional strategies. In: JO-HANSSON, T. B. et. al. Renewable energy: sources for fuels and electricity. Washington, D.C.: Island Press, 1993.
- Hernández, Felipe Garcia. 2004. Análise Experimental e Simulação de Sistemas Híbridos Eólico Fotovoltaicos. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, Brasil.
- Kosow, Irving L. Máquinas Elétricas e Transformadores. 11ª ed. São Paulo. Editora. Globo, 1995.
- McGowan, J. G., Manwell, J. F. 1999. Hybrid wind/pv/diesel systems experiences. Renewable Energy, 16, 928-933.
- Moura, J.F.C. 1996. Caracterização de baterias automotivas para uso solar fotovoltaico. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, Brasil.

CHARACTERIZATION OF SMALL WIND GENERATOR ON BENCH

Abstract. *The transformation of wind power into electric power through wind turbines is an alternative to different levels of demand. Electric energy can be injected directly into a conventional power network (usually large capacity machines) or used in isolated systems (usually small size machines). Currently there are small wind generators with power ratings ranging from 250 W to 6 kW, and most of them are used in hybrid systems with photovoltaic generation. The objective of this work is to carry out an evaluation of a small size wind generator on bench. The wind generator is part of a photovoltaic-wind hybrid system currently under study. The components of the bench are a wind generator of 250 W of nominal power, a 1 hp (CV) power engine, a loading controller, a 12 V battery, a frequency inverter, a voltmeter and an ammeter interfaced to two computers and a thermocouple. We obtained the curves of tension empty generated and under load voltage and current. The results of this work show that the power produced by wind generator triggered during rated speed is lower than the nominal value. This evaluation helped identify the electrical and mechanical characteristics of a wind generator, providing conditions for installation in towers in order to continue the research concerning the feasible use of that alternative energy in the southwest region of Paraná.*

Key words: Wind generator, Wind Energy, Bench.