

ROBERSON ROBERTO PARIZOTTO

**INSTALAÇÃO E AVALIAÇÃO DE UM SISTEMA DE BOMBEAMENTO D'ÁGUA
COM AERÓGERADOR DE PEQUENO PORTE PARA PROPRIEDADES RURAIS,
NA CIDADE DE CASCAVEL-PR**

**CASCAVEL
PARANÁ – BRASIL
JANEIRO – 2014**

ROBERSON ROBERTO PARIZOTTO

**INSTALAÇÃO E AVALIAÇÃO DE UM SISTEMA DE BOMBEAMENTO D'ÁGUA
COM AERÓGERADOR DE PEQUENO PORTE PARA PROPRIEDADES RURAIS,
NA CIDADE DE CASCAVEL-PR**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Oeste do Paraná, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Energia na Agricultura, para obtenção do título de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Jair Antonio Cruz Siqueira

Coorientador: Prof. Dr. Carlos Eduardo Camargo Nogueira

**CASCAVEL
PARANÁ – BRASIL
JANEIRO – 2014**

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

Ficha catalográfica elaborada por Jeanine da Silva Barros CRB-9/1362

P26i Parizotto, Roberson Roberto
Instalação e avaliação de um sistema de bombeamento d'água com aerogerador eólico de pequeno porte para propriedades rurais, na cidade de Cascavel - PR. / Roberson Roberto Parizotto — Cascavel, PR: UNIOESTE, 2014.
54 p.

Orientador: Prof. Dr. Jair Antonio Cruz Siqueira
Coorientador: Prof. Dr. Carlos Eduardo Camargo Nogueira
Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná.
Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Energia na Agricultura, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas.
Bibliografia.

1. Energia eólica. 2. Geração eólica. 3. Bombeamento de água. I. Universidade Estadual do Oeste do Paraná. II. Título.

CDD 21^oed. 621.45

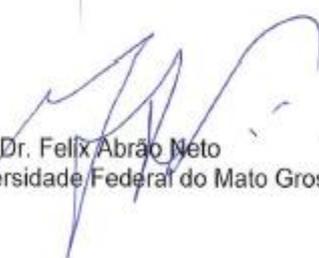
ROBERSON ROBERTO PARIZOTTO

“Instalação e avaliação de um sistema de bombeamento d’água com aerogerador de pequeno porte para propriedades rurais em Cascavel - PR”

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Energia na Agricultura em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Mestre em Energia na Agricultura, área de concentração Agroenergia, **aprovada** pela seguinte Banca Examinadora:


Orientador: Prof. Dr. Jair Antonio Cruz Siqueira
Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE/Cascavel


Prof. Dr. Samuel Nelson Melegari de Souza
Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE/Cascavel


Prof. Dr. Felix Abrão Neto
Universidade Federal do Mato Grosso do Sul – UFMS/Campo Grande

Cascavel, 21 de fevereiro de 2014.

***Aos meus heróis: meu pai
Airton e minha mãe Deonice.***

AGRADECIMENTOS

Dedico meus sinceros agradecimentos

Primeiramente à Deus por sempre me iluminar e dar força para estar aqui e cumprir mais uma fase da minha vida.

À minha irmã Rubiani pela paciência, incentivo, ajuda, apoio.

À minha esposa Karina, por todo seu amor, apoio e dedicação, obrigado amor.

Ao meu ultra paciente orientador, Prof. Dr. Jair Antônio Cruz Siqueira que me deu suporte por tanto tempo. Pela sua orientação, calma, generosidade e amizade.

Ao Professor Dr. Carlos Eduardo Camargo Nogueira pela co-orientação, pois seu auxílio foi fundamental para que os dados fossem coletados corretamente.

Ao professor Dr. Reginaldo Ferreira dos Santos, pela ajuda em momentos fundamentais da instalação do sistema.

Aos meus amigos e colegas de trabalho pela seriedade em momentos em que suas opiniões e atitudes valeram muito mais do que eles imaginam, em especial ao Gilson Debastiani, Jeferson Manenti Acorci e Darlison Bentes dos Santos.

Ao Senhor Lucas Sartori e à empresa Consilos, pela doação da torre autoportante, pois sem a mesma tal estudo não seria possível.

Ao programa de mestrado em Energia na Agricultura, pela oportunidade ímpar que me foi concedida.

A Faculdade Assis Gurgacz – FAG pelo apoio em todo momento da pesquisa e pelo apoio financeiro.

Infelizmente não é possível citar todos que me ajudaram, pois espero um dia que Deus me permita demonstrar meu agradecimento àqueles que aqui não constam.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Moinhos eólicos para moer grãos.....	8
Figura 2: Aerogerador.....	9
Figura 3: Aerogerador de eixo horizontal.....	10
Figura 4: Aerogerador de eixo vertical.....	11
Figura 5: Classificação dos aerogeradores.....	14
Figura 6: Especificações técnicas (sistemas) de uma turbina.....	14
Figura 7: Distribuição geral dos ventos.....	17
Figura 8: Formação dos ventos.....	20
Figura 9: Projeto CASA – local de instalação do aerogerador de pequeno porte.....	24
Figura 10: Fundação e estrutura interna.....	25
Figura 11: Torre e base de fixação.....	26
Figura 12: Aterramento.....	27
Figura 13: Flange de união.....	27
Figura 14: Aerogerador Greatwatt S-600.....	29
Figura 15: Curva de potência do aerogerador.....	29
Figura 16: Bomba hidráulica SHURflo modelo 8000.....	30
Figura 17: Hidrômetro Sappel Aquarius.....	31
Figura 18: Reservatórios – sistema hidráulico.....	32
Figura 19: Datalogger CR1000 da Campbell.....	33
Figura 20: Anemômetro YOUNG WIND MONITOR.....	34
Figura 21: Anemômetro Instalado.....	35
Figura 22: Isolador.....	35
Figura 23: Fonte de alimentação.....	36
Figura 24: Bateria de alimentação – 100 Ah.....	37
Figura 25: Aerogerador instalado.....	38
Figura 26: Esquema de instalação do sistema.....	39

Figura 27: Velocidades média do vento no local nos dias de observação no período de 20/12/2013 à 02/01/2014.....	44
Figura 28: Média horária da velocidade do vento durante os dias de observação	45
Figura 29: Frequência de ocorrência do vento de acordo com as classes de velocidade	46
Figura 30: Energia elétrica gerada pelo sistema eólico durante o período de coleta de dados.....	47
Figura 31: Energia elétrica gerada e energia eólica disponível	48
Figura 32: Quantidade de água bombeada no período de observação em função da energia eólica disponível.	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1:	Conflitos – engenharia x socioambiental	5
Tabela 2:	Requerimento médio de água para consumo humano e de alguns animais domésticos	7
Tabela 3:	Descrição técnica de um aerogerador de grande porte	14
Tabela 4:	Os 10 países líderes em energia eólica	15
Tabela 5:	Aerogeradores instalados no Brasil.....	18
Tabela 6:	Especificações técnicas do aerogerador	28
Tabela 7:	Especificações técnicas da bomba d'água	30
Tabela 8:	Especificações técnicas do datalogger CR 1000 da Campbell.....	33
Tabela 9:	Especificações técnicas do anemômetro	34
Tabela 10:	Especificações técnicas da bateria	36

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1: Energia elétrica gerada pelo aerogerador, Wh.....	40
Equação 2: Potência disponível no vento, W.....	40
Equação 3: Energia eólica disponível, Wh	41
Equação 4: Rendimento do sistema eólico, %	41
Equação 5: Altura de recalque, m.....	41
Equação 6: Energia na bateria, Wh.....	42
Equação 7: Energia consumida pela bomba, Wh	42
Equação 8: Rendimento do sistema de bombeamento, %.....	43

RESUMO

Este projeto teve como objetivo a instalação de um sistema de bombeamento d'água com gerador eólico e avaliação do desempenho do mesmo em campo, considerando a disponibilidade de energia eólica no local. O sistema foi composto de um aerogerador de pequeno porte de eixo horizontal da marca Greatwatt instalado sobre uma torre autoportante e uma bomba d'água da marca SHURflo modelo 8000, o mesmo foi instalado no projeto CASA (Centro de Análises de Sistemas Alternativos). Foram coletados dados de velocidade do vento no local, a energia gerada pelo aerogerador e a vazão d'água bombeada pela moto bomba. Com esses dados foi possível determinar a energia eólica no local, a energia gerada pelo aerogerador, o rendimento do aerogerador e a relação entre a energia gerada e a vazão da bomba. Com isso determinou-se os horários de melhor incidência de vento onde foi possível avaliar a melhor faixa de horário para geração de energia eólica e o desempenho do sistema de bombeamento sob a ação de diferentes patamares de velocidade do vento.

PALAVRAS-CHAVE: energia eólica, geração eólica, bombeamento de água.

ABSTRACT

This project aimed to install a water pumping system with wind generator and evaluation of the performance of the same field, considering the availability of wind energy on site. The system was composed of a small wind turbine Horizontal axis Greatwatt the brand mounted on a self-supporting tower and a water pump from SHURflo brand model 8000, it was installed on CASA (Center for Analysis of Alternative Systems) project. Data on the local wind speed, the power generated by the wind turbine and the water flow pumped by the motor pump were collected. With these data it was possible to determine the wind energy in place, the energy generated by the wind turbine, the wind turbine performance and the relationship between energy generated and the pump flow. Thus, by determining the best times of incidence of wind where it was possible to evaluate the best time range for wind power generation and performance of the pump under the action of different levels of wind speed system.

KEYWORDS: wind energy, wind power generation, water pumping.

ÍNDICE

LISTA DE FIGURAS.....	v
LISTA DE TABELAS.....	vii
LISTA DE EQUAÇÕES.....	viii
RESUMO.....	ix
ABSTRACT.....	x
1. INTRODUÇÃO.....	01
2. REVISÃO DA LITERATURA.....	03
2.1 Energias Renováveis.....	03
2.1.1 O Conceito de Energia.....	03
2.1.2 Energia e Meio Ambiente.....	04
2.1.3 O Desenvolvimento Sustentável.....	05
2.1.4 Consumo médio de água: Humano – Animal.....	06
2.2 Energia Eólica.....	07
2.2.1 Histórico da Energia Eólica.....	07
2.2.2 Aerogeradores (Turbinas Eólicas).....	09
2.2.3 Aerogeradores de Eixo Horizontal e de Eixo Vertical.....	10
2.2.4 Princípio de Funcionamento.....	12
2.2.5 Vantagens e Desvantagens da Energia Eólica.....	12
2.2.5.1 Vantagens da Instalação.....	12
2.2.5.2 Desvantagens da Instalação.....	13
2.3 Classificação dos Aerogeradores.....	13
2.3.1 Energia Eólica no Mundo.....	15
2.3.2 Energia Eólica no Brasil.....	16
2.3.2.1 Ventos no Brasil.....	16
2.3.2.2 Condições Climáticas da Região Sul do Brasil.....	18
2.4 Determinação do Potencial Eólico.....	19
2.5 Desempenho de Aerogeradores de Pequeno Porte.....	20
2.6 A energização Rural no Brasil.....	22
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	24

3.1 Material.....	24
3.1.1 Localização do Experimento.....	24
3.2 Sistema de Geração Eólica.....	25
3.2.1 Fundação.....	25
3.2.2 Torre.....	25
3.2.3 Aterramento.....	26
3.2.4 Flange de união.....	27
3.2.5 Gerador eólico.....	28
3.3 Sistema de Bombeamento D'água.....	29
3.3.1 Moto Bomba.....	29
3.3.2 Hidrômetro.....	30
3.3.3 Reservatórios.....	31
3.4 Sistema de Coleta de Dados.....	32
3.4.1 Datalogger.....	32
3.4.2 Anemômetro.....	33
3.4.3 Isolador.....	35
3.4.4 Baterias.....	36
3.5 Métodos.....	37
3.5.1 Instalação dos Sistemas.....	37
3.5.1.1 Aerogerador Greatwatt.....	37
3.5.1.2 Diagrama esquemático do experimento.....	38
3.5.1.3 Coleta de dados meteorológicos.....	39
3.5.1.4 Análise dos dados meteorológicos.....	39
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	44
4.1 Velocidade do vento – média diária.....	44
4.2 Velocidade do vento média diária – média horária.....	45
4.3 Ocorrência das velocidades do vento.....	45
4.4 Energia elétrica gerada pelo aerogerador.....	46
4.5 Energia eólica disponível.....	47
4.6 Volume bombeado.....	48
5. CONCLUSÃO.....	50

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	51
APÊNDICE.....	54

1. INTRODUÇÃO

A busca pela produção de energia renovável é uma necessidade atual. Grandes esforços têm sido despendidos por empresas, governos e centros de pesquisas em todo o mundo, com a finalidade de substituir a geração de energia proveniente de fontes fósseis por fontes renováveis. Neste sentido, conhecidas fontes de energia renovável, como é o caso do vento, passaram a ser olhadas com maior interesse.

Segundo Dutra (2009), com o avanço da agricultura, o homem necessitava cada vez mais de ferramentas que o auxiliassem nas diversas etapas do trabalho. Tarefas como a moagem dos grãos e o bombeamento de água exigiam cada vez mais esforço braçal e animal. Isso levou ao desenvolvimento de uma forma primitiva de moinho de vento, utilizada no beneficiamento dos produtos agrícolas, que constava de um eixo vertical acionado por uma longa haste presa a ela, movida por homens ou animais caminhados numa gaiola circular.

O alto potencial eólico em algumas regiões do Brasil e o desenvolvimento de tecnologias mais eficientes para o aproveitamento deste potencial tornou a possibilidade de geração de energia elétrica a partir da energia eólica uma opção bastante atraente. Com o predomínio da geração hidrelétrica no Brasil, a estabilização sazonal da oferta de energia tem sido um desafio histórico ao planejamento da operação dos sistemas interligados, pois os regimes hidrológicos têm caráter estocástico com flutuações sazonais de amplitude significativa (ENERGIA EÓLICA – PRINCÍPIOS E TECNOLOGIA, 2008).

O perfil do crescimento da energia eólica na década de 90 indica perspectivas promissoras para o crescimento da indústria eólica mundial para as próximas décadas (ENERGIA EÓLICA – PRINCÍPIOS E TECNOLOGIA, 2008)

De acordo com COPEL (2007), o potencial de geração eólica do estado do Paraná é de 1360 MW a 75 metros de altura, com ventos iguais ou superiores a 7 m/s. Já para a região de Cascavel os ventos variam de 6,5 m/s a 7 m/s também para uma altura de 75 metros.

Para Tibola (2009), os sistemas eólicos de baixa potência podem trazer significativa contribuição no fornecimento de energia, sendo muito úteis onde há

vento suficiente e espaço para sua instalação. Esse tipo de empreendimento sempre foi muito conhecido, mas não para a utilização direta em abastecimento elétrico.

Tendo em vista a busca incessante por fontes renováveis, o presente estudo teve como objetivo determinar o desempenho de um sistema de bombeamento d'água com um aerogerador de pequeno porte para abastecimento de propriedades rurais. Para tanto, após a instalação do sistema foi determinada a energia eólica disponível em função da velocidade do vento e a energia elétrica gerada, com isso avaliou-se o rendimento do sistema e uma avaliação do nível ótimo de geração de energia para o funcionamento do sistema de bombeamento d'água.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Energias Renováveis

Energia renovável é originada de fontes naturais e que se regeneram. Sendo geralmente produtoras de baixo impacto ambiental, e com isso são excelentes alternativas na produção de energia.

Exemplos de energias renováveis:

- Energia Solar;
- Energia Eólica;
- Energia Hidráulica;
- Biomassa;
- Geotérmica;
- Maremotriz.

Para esclarecer sobre os tipos de energias existentes atualmente, elas são divididas em dois tipos conforme suas fontes:

A energia de fonte não renovável, é aquela presente na natureza em quantidade limitada e se extinguem com a sua utilização como é o caso dos combustíveis fósseis (carvão, petróleo bruto e gás natural) e do urânio, que é uma matéria-prima necessária para a energia resultante do processo de fusão nuclear (CUNHA, 2013).

O outro tipo de energia utilizada é a energia renovável, que segundo Silva (2012), não é possível estabelecer um fim temporal para a sua utilização, como por exemplo, os raios solares, o vento, as marés ou dos cursos de água sendo assim consideradas inesgotáveis, mas limitadas em termos da quantidade de energia que é possível extrair em cada momento.

2.1.1 O Conceito de Energia

Define-se energia, como quantidade de trabalho que um sistema físico é capaz de produzir. Energia não é criada, nem consumida ou destruída, mas é convertida em outras formas, como é o caso da energia cinética que utiliza o

movimento de moléculas do ar podendo ser convertida em energia de movimento pelo rotor de uma turbina eólica, e que por sua vez é convertida em energia elétrica por um gerador acoplado à turbina (BLASQUES, 2005).

A porcentagem de energia dos ventos que pode ser transformada em energia elétrica é muito baixa, não sendo possível converter mais de 59,3% da energia total (ALDABÓ, 2002).

2.1.2 Energia e Meio Ambiente

A demanda energética apresenta um crescimento vertiginoso para atender as necessidades da humanidade, em torno de sete bilhões de pessoas. O homem tem buscado na natureza elementos que possam fornecer energia sustentável, para poder ter desenvolvimento social e tecnológico. Dessa forma, os recursos naturais renováveis estão sendo retomados, como fonte alternativa para geração de energia.

A sobrevivência da humanidade é o objetivo mais propagado dependendo ou não da natureza a qual pertence. Conservar o meio ambiente é valorizar o homem, desenvolvendo condições para a qualidade de vida.

Segundo Aldabó (2002) os fatores relevantes em torno de um projeto para geração de energia elétrica são:

- Execução da avaliação dos impactos socioambientais;
- Implantação de mecanismos de consulta e participação da sociedade, especialmente nos aspectos que lhe afetam diretamente;
- Distribuição das responsabilidades e dos custos socioambientais.

Os entendimentos entre a engenharia e o ambiente resolvem os eventuais conflitos existentes na fase inicial de um projeto. Esses entendimentos não são fáceis devido às diferenças no pensamento lógico que existem entre as duas áreas. Algumas dessas diferenças são citadas na Tabela 1.

Tabela 1: Conflitos – engenharia x socioambiental.

Engenharia	Sociambiental
Determinística	Probabilística
Orientada por tarefa	Orientada por finalidade
Dedutiva	Indutiva
Objetiva	Subjetiva
Quantitativa	Qualitativa
Análise operacional	Análise da dinâmica do sistema
Análise do custo-benefício	Análise por múltiplos-atributos
Decisões tecnológicas	Sistemas Alternativos
Utilização otimizada de recursos	Conservação da integridade socioambiental
"Podemos fazer?"	"Devemos fazer?"

Fonte: Aldabó, 2002.

2.1.3 O Desenvolvimento Sustentável

Visando a conservação da natureza, com a meta de manter o planeta sustentável e com desenvolvimento, o homem busca preservar o meio ambiente prevendo necessidades das futuras gerações, isso quer dizer usar os recursos naturais com conscientização, preservando os bens naturais e a dignidade humana.

O desenvolvimento sustentável é aquele que atende as necessidades do presente, sem comprometer a possibilidade das gerações futuras de atenderem as suas próprias necessidades. É um processo de transformação no qual a exploração dos recursos, a direção dos investimentos, a orientação do desenvolvimento tecnológico e a mudança institucional se harmonizam e reforçam o potencial presente e futuro, a fim de atender as necessidades e aspirações humanas (ALDABÓ, 2002).

A expressão produção “Mais Limpa” refere-se a uma abordagem de produção ambiental mais ampla, considerando todas as fases de produção e o ciclo de vida do produto, incluindo a sua utilização. Segundo Feiden (2009), isso requer ações contínuas e integradas para conservar energia e minar substâncias tóxicas e reduzir os desperdícios e a poluição resultante dos produtos e dos processos produtivos.

Produção “Mais Limpa” significa a aplicação contínua de uma estratégia econômica, ambiental e tecnológica integrada aos processos e produtos, a fim de aumentar a eficiência no uso de matérias-primas, água e energia, através da não geração, minimização ou reciclagem de resíduos gerados, com benefícios ambientais e econômicos para os processos produtivos (FIESP, 2010).

As tecnologias de produção mais limpa contemplam mudanças nos produtos e seus processos de produção para reduzir ou eliminar todo tipo de rejeitos antes que eles sejam criados. Dessa forma, elas contribuem para a redução da necessidade de insumos para um mesmo nível de produção e para a redução da poluição resultante do processo de produção, distribuição e consumo. Os produtos devem ser projetados para facilitar a sua fabricação, utilização e disposição final após a sua vida útil (CARDOSO, 2004)

Mello (2002) comenta sobre a relação entre crescimento econômico e meio ambiente, que apresenta conflitos desde tempos remotos. A degradação dos recursos naturais renováveis e não renováveis, a poluição (água, solo, ar) e a criação de situações de risco de desastres ambientais são as manifestações básicas deste processo de destruição. Merece destaque alguns problemas ambientais de abrangência global e de consequências graves sobre o equilíbrio da vida no planeta, como o efeito estufa (retenção de calor radiado da terra), a extinção das espécies e a destruição da camada de ozônio.

O aquecimento do planeta é uma realidade e, se nada for feito, ele trará consequências catastróficas para a biodiversidade e para o ser humano. Por isso, pressionamos empresas e governos a abandonarem fontes fósseis de geração de energia, como o petróleo e o carvão, e substituí-las pelas novas renováveis, como solar e eólica. Essa é uma estratégia não só para reduzir as emissões de gases-estufa, mas para consolidar um crescimento econômico baseado em tecnologias que não prejudicam o planeta (GREENPEACE, 2012).

2.1.4 Consumo médio de água: Humano – Animal

Suprir de água, adequadamente, comunidades ou mesmo propriedades rurais isoladas é dotá-las de sistemas de bombeamento de água. No entanto, para

muitas regiões, primeiro será necessário disponibilizar rede elétrica com regularidade e custo razoável, sendo assim será avaliada a configuração de conexão dos dois sistemas, pois cada projeto tem suas características peculiares, sendo essas características otimizadas para uma determinada condição de operação de uma região específica.

Mediante tal desafio foi estudada a possibilidade de utilização de tecnologias de geração de energia que possibilitem o aproveitamento dos recursos energéticos locais, com isso se abre um campo promissor para as energias renováveis. Para justificar tal estudo segue a Tabela 2, referente às necessidades mínimas relacionadas ao consumo de água.

Tabela 2: Requerimento médio de água para consumo humano e de alguns animais domésticos de acordo com Manual de Energización Rural Mediante Energia Fotovoltaica (1996).

Humano	Litros por dia
sobrevivência	5
condição em vilas rurais	70
consumo urbano país industrializado	400
animais	Cabeça por dia
gado de leite	70
gado de corte	40
ovinos/caprinos	5
suínos	15
equinos	40
frango de corte	0,15

Fonte: Manual de Energización Rural Mediante Energia Fotovoltaica (1996).

2.2 Energia Eólica

2.2.1 Histórico da Energia Eólica

Utilizada a milhares de anos com a mesma finalidade: bombeamento de água, moagem de grãos e outras aplicações que envolvem energia mecânica. As

primeiras tentativas para geração de energia elétrica surgiram no final do século XIX, mas somente com a crise do petróleo, um século depois, é que houve interesse e investimento suficiente para viabilizar o desenvolvimento em escala comercial (ANEEL, 2013)

A energia eólica como fonte geradora de força propulsora para movimentação dos mais variados engenhos idealizados pelo homem, esta sendo empregada desde os primórdios da civilização (ALDABÓ, 2002).

No século VII, na Pérsia, os moinhos já eram utilizados para moer grãos, como mostra na Figura 1, porém eles não eram eficazes.



Figura 1: Moinhos eólico para moer grãos.

Na Europa, os primeiros moinhos surgiram no século XII na França e Inglaterra. Como características comuns, eles possuíam na sua parte superior um eixo horizontal de 3 a 9 metros. As vigas eram cobertas com telas ou pranchas de madeira e a energia gerada pelo giro do eixo era transmitida por um sistema de engrenagens para as máquinas do moinho, instaladas na base da estrutura (CASTRO, 2005).

Contudo, na segunda metade do século XIX surge o moinho de pás múltiplas americano, sendo considerado um dos mais importantes avanços na tecnologia de aproveitamento do vento, utilizando praticamente em todo o mundo para o bombeamento de água e cujas características fundamentaram as bases para

o projeto dos modernos geradores eólicos. A partir daí, outras aplicações foram desenvolvidas para os moinhos: serrarias, fábricas de papel e prensa de grãos para produção de azeite (CASTRO, 2005).

Monteiro (2007) esclarece que melhoramentos foram introduzidos na aerodinâmica das pás e freios hidráulicos utilizados para deter o movimento das hélices. A aplicação de turbinas eólicas para geração de eletricidade iniciou-se na Dinamarca, ao final do século XIX, sendo que o primeiro aerogerador de grande dimensão foi construído na França em 1929, e era constituído por duas pás com 20 metros de diâmetro.

2.2.2 Aerogeradores (Turbinas Eólicas)

É um gerador elétrico integrado ao eixo de um cata-vento, cuja missão é converter energia eólica em energia elétrica. Conforme mostra a Figura 2.



Figura 2: Aerogerador.

Segundo Fadigas (2011), o movimento das massas de ar na atmosfera é percebido como ventos e a sua formação têm como causas o aquecimento e a rotação da terra e a influência de efeitos térmicos.

Os aerogeradores modernos, que estão sendo utilizados para geração de energia elétrica tanto em aplicações isoladas quanto conectadas às redes elétricas,

apresentam-se em duas configurações básicas conforme a orientação do eixo com relação ao solo: turbinas de eixo horizontal e turbina de eixo vertical (FADIGAS, 2011).

De acordo com Aldabó (2002), as turbinas começam a funcionar quando o vento alcança uma velocidade de 19 km/h, atinge rendimento máximo com ventos entre 40 km/h e 48 km/h, e param de funcionar quando os ventos atingem 100 km/h. Os lugares ideais para instalação dos aerogeradores são aqueles que apresentam ventos com velocidade média anual de no mínimo 21 km/h.

2.2.3 Aerogeradores de Eixo Horizontal e de Eixo Vertical

- Aerogerador de eixo horizontal: Os rotores de eixo horizontal são mais comuns, como mostra a Figura 3, são predominantemente movidos por forças de sustentação (atuam perpendicularmente ao escoamento) e devem possuir mecanismos capazes de permitir que o disco varrido pelas pás esteja sempre em posição perpendicular ao vento (ROSSI, 2010).



Figura 3: Aerogerador de eixo horizontal.

- Aerogerador de eixo vertical: As turbinas de eixo vertical captam a energia dos ventos sem precisar alterar a posição do rotor com a mudança na direção dos ventos. Podem ser movidos por forças de sustentação e por forças de arrasto, como mostra a Figura 4 (ROSSI, 2010).



Figura 4: Aerogerador de eixo vertical.

Segundo Rossi (2010) e Oliveira (2010), os rotores de eixo horizontal são mais comuns, e grande parte das experiências internacionais estão voltadas para a sua utilização. São predominantemente movidos por forças de sustentação (atuam perpendicularmente ao escoamento) e devem possuir mecanismos capazes de permitir que o disco varrido pelas pás esteja sempre em posição perpendicular ao vento. Já as turbinas de eixo vertical captam a energia dos ventos sem precisar alterar a posição do rotor com a mudança na direção dos ventos. Podem ser movidos por forças de sustentação e por forças de arrasto.

Os geradores de eixo vertical caracterizam-se pela disposição das pás da turbina que giram sobre um eixo vertical, sendo assim o eixo de rotação dessas turbinas é perpendicular ao solo e perpendicular a direção do vento. De acordo com Duarte (2010), considera-se que uma de suas vantagens é de não necessitar de um dispositivo de controle de direção elaborado e seus componentes podem ser montados na altura do solo.

2.2.4 Princípio de Funcionamento

O combustível do sistema de energia eólica é o vento, movimento do ar na atmosfera terrestre. Esse movimento do ar é gerado principalmente pelo aquecimento da superfície da Terra nas regiões próximas ao Equador e pelo resfriamento nas regiões próximas aos polos. Dessa forma, os ventos das superfícies frias circulam dos polos em direção ao Equador para substituir o ar quente tropical que, por sua vez, desloca-se para os polos (ALDABÓ, 2003).

Segundo Lucrécio (2010) e Silva (2010), a quantidade de energia disponível no vento varia de acordo com as estações do ano e as horas do dia. A topografia e a rugosidade do solo também têm grande influência na distribuição de frequência de ocorrência dos ventos e de sua velocidade em um local. Além disso, a quantidade de energia eólica extraível numa região depende das características de desempenho, altura de operação e espaçamento horizontal dos sistemas de conversão de energia eólica instalados.

2.2.5 Vantagens e Desvantagens da Energia Eólica

Os dados citados abaixo das vantagens e desvantagens da energia eólica estão sendo descrito conforme o Portal da Energia – Energias Renováveis (2008).

2.2.5.1 Vantagens da Instalação

As vantagens de se produzir energia eólica para a comunidade e para o estado estão listados abaixo:

- É inesgotável;
- Diminui a emissão de gases de efeito de estufa;
- Pode-se utilizar o terreno com agricultura e criação de gado mesmo com a implantação das turbinas;
- O crescimento de investimento em zonas desfavoráveis;
- Benefícios financeiros;
- Reduz a utilização de combustíveis fósseis;

- Fonte mais barata de energia podendo competir com energias tradicionais;
- Não necessita de combustível para funcionar e requer escassa manutenção.

2.2.5.2 Desvantagens da Instalação

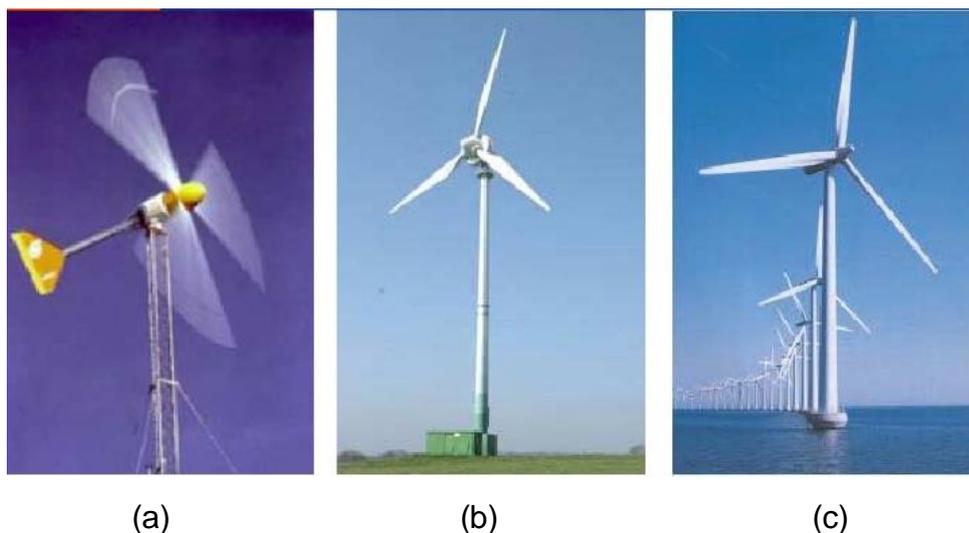
- Intermitência, tornando difícil a produção de energia devido à falta de vento.
- Considerável impacto visual;
- Mortes de aves do local, devido ao choque das aves nas pás;
- Ruído constante produzido devido ao vento bater nas pás (43dB (A));
- As moradias deveram estar no mínimo de 200 metros de distancia.

2.3 Classificação dos Aerogeradores

As turbinas eólicas podem ser consideradas de pequeno, médio e grande porte, como é descrito abaixo:

Segundo a ANEEL (2013), as turbinas eólicas podem ser classificadas da seguinte forma, Figura 5:

- Turbina eólica de pequeno porte (a): Potência nominal menor que 500kW;
- Turbina eólica de médio porte (b): Potência nominal entre 500kW a 1000kW;
- Turbina eólica de grande porte (c): Potência nominal maior que 1000kW.



(a) (b) (c)
 Figura 5: a) Turbinas eólicas de porte pequeno. b) turbina eólica de médio porte. c) turbina eólica de grande porte.

A Figura 6 mostra um modelo de turbina de grande porte:

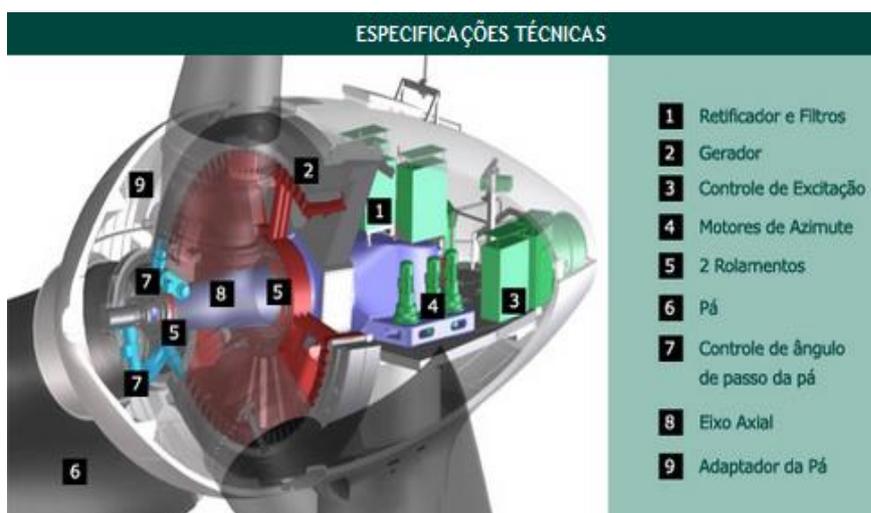


Figura 6: Especificações técnicas (sistemas) de uma turbina.

Tabela 3: Descrição técnica de um aerogerador de grande porte.

Potência nominal: 2.000kW - 2.300kW - 3000kW

Velocidade do vento nominal: 12,5m/s - 13,5m/s - 16m/s

Velocidade de início de operação: 2,5m/s

Rotação das pás: 6 a 18rpm

Velocidade do vento de sobrevivência: 70m/s - 59,5m/s

Torre/ Altura do tubo: 78m - 85m - 98m - 108m - 138m

2.3.1 Energia Eólica no Mundo

A grande parte das turbinas eólicas se concentrou na Europa, onde sempre houve tecnologia e estímulo da política para investir em tecnologias limpas. Atualmente, apenas 27% das turbinas foram instaladas na Europa, deixando o continente em terceiro lugar no ranking de energia eólica (RABE, 2011).

O crescimento mais rápido é verificado na Ásia. O continente assumiu a produção eólica mundial e em 2009 foi responsável por 40% de turbinas instaladas. Das turbinas instaladas a grande maioria está na China, a qual reconheceu que o investimento vem trazendo energia barata e limpa. Além de possuir grandes parques eólicos, a China possui micro parques especialmente em áreas rurais que não possuem acesso a rede elétrica, sendo assim a energia gerada por essas turbinas chegam a abastecer o vilarejo inteiro, sendo um investimento barato, pois gera em torno de 2KW/h e custam de 800 a 1000 euros cada aerogerador (RABE, 2011).

De acordo com o Relatório Mundial de Energia Eólica (2009) toda a energia gerada pelas turbinas no mundo inteiro poderia abastecer a Itália durante um ano inteiro, o qual foi gerado 340 TW/hora (RABE, 2011).

Segundo Ramos (2011) e Seidler (2011), a energia eólica pode garantir 10% das necessidades mundiais de eletricidade até o ano 2020, reduzindo a emissão global de dióxido de carbono na atmosfera em mais de 10 bilhões de toneladas. Podendo chegar em 2020 a serem instalados ao redor do mundo um total de 1,2 milhão de MW, que é o total de energia necessária para abastecer toda a Europa.

A seguir Tabela 4 apresentando os dez países líderes em energia eólica.

Tabela 4: Os 10 países líderes em energia eólica.

Posição	País	MW
1º	China	62,7 mil
2º	Estados Unidos	46,9 mil
3º	Alemanha	29 mil
4º	Espanha	21,6 mil
5º	Índia	16 mil
6º	França	6,8 mil
7º	Itália	6,7 mil
8º	Reino Unido	6,5 mil
9º	Canadá	5,2 mil
10º	Portugal	4 mil

Fonte: Barbosa, 2012.

2.3.2 Energia Eólica no Brasil

O parque elétrico brasileiro é majoritariamente hidrelétrico e a energia gerada por hidrelétricas corresponde a mais de 80% de toda a matriz elétrica do país, o que não significa que este seja o melhor modelo de produção de energia, sendo modelos de obras faraônicas que causam profundos impactos socioambientais e que precisam ser abandonados. Só o potencial de energia dos ventos, de acordo com o Ministério de Minas e Energia, é de 143 Gigawatts, o equivalente à produção de dez Itaipus (LEITÃO, 2012).

Ainda, segundo Leitão, diretor de campanhas do Greenpeace Brasil, o Brasil apresentou a maior taxa de expansão da fonte eólica no mundo nos últimos 12 meses, o que deve colocá-lo entre os dez maiores produtores em 2013. O país tem hoje a energia eólica mais barata do mundo, o que oferecerá a oportunidade de complementar nossa produção energética com a exploração do “pré-Vento”, muito menos oneroso que o pré-sal que investirá mais de R\$ 600 bilhões até 2020 para viabilizar a sua exploração no exato momento em que o uso de combustíveis fósseis é cada vez mais inviável devido ao aquecimento global e às mudanças climáticas.

2.3.2.1 Ventos no Brasil

O ordenamento geral dos ventos sobre o Brasil é controlada pelas características da circulação geral planetária da atmosfera, conforme Figura 7. Dentre esses, sobressaem os sistemas de alta pressão anticiclone subtropical do Atlântico Sul e do Atlântico Norte e a faixa de baixas pressões da depressão Equatorial.

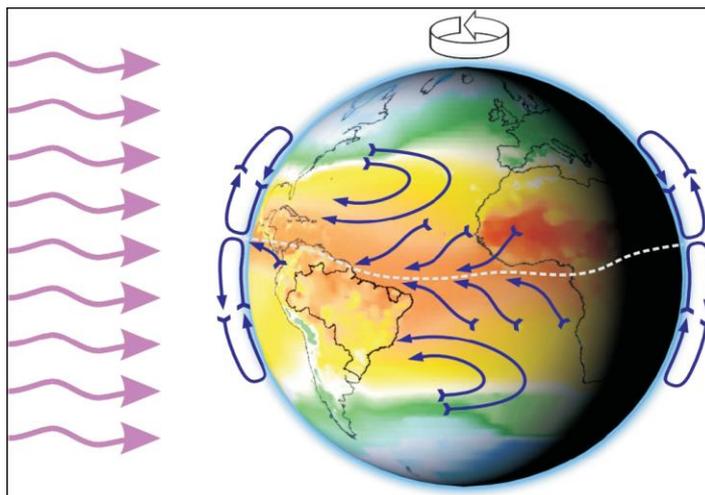


Figura 7: Distribuição geral dos ventos.

Conforme o Atlas do Potencial Brasileiro (2001), a posição média da Depressão Equatorial estende-se de oeste a leste ao longo da região Norte do Brasil e sobre o Oceano Atlântico adjacente. Ela coincide com a localização e orientação da Bacia Amazônica, no centro da qual existe uma faixa persistente de baixas pressões.

A Depressão Equatorial é geralmente uma zona de pequenos gradientes de pressão e ventos fracos. Ao norte da Depressão Equatorial os ventos são persistentes de leste a nordeste. Ao sul, os ventos são persistentes de leste a sudeste entre a Depressão Equatorial e o Anticiclone Subtropical Atlântico, o qual tem uma posição média anual próxima a 30°S, 25°W. Esse perfil geral de circulação atmosférica induz ventos de leste ou nordeste sobre o território brasileiro ao norte da Bacia Amazônica e no litoral nordeste. Os ventos próximos à superfície são geralmente fracos ao longo da Depressão Equatorial, porém aumentam de intensidade ao norte e ao sul dessa faixa (CRESESB, 2001).

A área entre a Depressão Equatorial e a latitude de 10°S é dominada pelos ventos alísios de leste a sudeste. Ao sul da latitude 10°S, até o extremo sul brasileiro, prevalecem os efeitos ditados pela dinâmica entre o centro de alta pressão Anticiclone Subtropical Atlântico, os deslocamentos de massas polares e a Depressão do Nordeste da Argentina – centro de baixas pressões a leste dos Andes (CRESESB, 2001).

Segundo ABEAMA - Associação Brasileira de Energias Renováveis (2011) e Meio Ambiente, o Brasil possui num total seis estados com projetos de aerogeradores, alguns em operação e outros ainda em estudo, como mostra a Tabela 5.

Tabela 5: Aerogeradores instalados no Brasil.

Estado	Local	Geradores	Capacidade Instalada	Produção Anual Prevista	Estado Atual
Ceará	Taíba	ENERCON	5 MW	17.500 MWh	Operação
	Prainha	ENERCON	10 MW	35.000 MWh	Operação
	Mucuripe	TAKE	1,2 MW	3.800 MWh	Operação
	Paracurú	-	30 MW	-	Estudo
	Camocim	-	30 MW	-	Estudo
Minas Gerais	Morro do Camelinho	TAKE	1,0 MW	800 MWh	Operação
Pará	Vila Joanes	BERGEY	40 KW	-	Operação
	Costa NE	-	100 MW	-	Estudo
Paraná	Palmas I	ENERCON	2,5 MW	7.000 MWh	Operação
	Palmas II	ENERCON	9,5 MW	-	Estudo
	Palmas III	ENERCON	75 MW	-	Estudo
Pernambuco	F. Noronha	FOLKCENTE R	75 KW	-	Operação
Rio de Janeiro	Cabo Frio	-	10 MW	-	Estudo

Fonte: Associação Brasileira de Energias Renováveis e Meio Ambiente.

2.3.2.2 Condições Climáticas da Região Sul do Brasil

Na região mais ao sul do Brasil estão os Planaltos do Sul, que se estendem por volta de 24°S (São Paulo) até os limites ao sul do Rio Grande do Sul. O escoamento atmosférico geral nessa área é controlado pela Depressão do Nordeste da Argentina, uma área quase permanente de baixas pressões, geralmente estacionária ao leste dos Andes sobre planícies secas e o Anticiclone Subtropical Atlântico. A posição média da Depressão do Nordeste da Argentina é aproximadamente 29°S, 66°W, sendo criada pelo bloqueio da circulação atmosférica geral pelos Andes e por intenso aquecimento da superfície na região (CRESESB, 2001).

O gradiente de pressão entre a Depressão do Nordeste da Argentina e o Anticiclone Subtropical Atlântico induz um escoamento persistente de nordeste ao longo dessa área. Desse escoamento resultam velocidades médias anuais de 5,5m/s a 6,5m/s sobre grandes áreas da região. Entretanto, esse escoamento é significativamente influenciado pelo relevo e pela rugosidade do terreno (CRESESB, 2001).

Os ventos mais intensos estão entre 7m/s e 8m/s e ocorrem nas maiores elevações montanhosas do continente, bem como em planaltos de baixa rugosidade, como os Campos de Palmas. Outra área com velocidades superiores a 7m/s encontra-se ao longo do litoral sul, onde os ventos predominantes leste-nordeste são acentuados pela persistente ação diurna das brisas marinhas (CRESESB, 2001).

2.4 Determinação do Potencial Eólico

Para poder realizar uma avaliação técnica e econômica é necessária a determinação do potencial eólico de Cascavel, mais precisamente da região em estudo, que no caso será o campus da UNIOESTE. Pois se sabe que a energia eólica é aquela captada por aparelhos chamados aerogeradores, que transformam a energia cinética dos ventos em eletricidade (PIRES, 2010), embora um gerador eólico consiga transformar a energia dos ventos em energia elétrica ele não transforma a totalidade da massa de vento que passa pelas pás, inserido nesse conceito estão os geradores de eixo horizontal.

A desproporcionalidade existente entre a velocidade média e a energia disponível no vento, deve-se ao fato de que esta última corresponde à soma de todos os dados coletados originalmente para cada instante de coleta. Avalia-se, com base nesta observação, que a velocidade média não é um parâmetro que reflete a energia eólica realmente disponível no vento (SIQUEIRA, 2005).

O vento é uma variável aleatória, dessa forma sua utilização para o aproveitamento de energia exige uma análise probabilística, assim não há garantia de geração de energia de forma linear e constante (CUSTÓDIO, 2009).

O potencial eólico é um aspecto de grande importância para o estudo da viabilidade da instalação, pois através dele é possível determinar a potência disponível no vento, capaz de ser convertida por uma turbina eólica. O potencial eólico é definido como a energia cinética, passando por unidade de tempo em uma coluna de ar com a mesma área de seção transversal de varredura das pás em rotação, viajando a uma velocidade V (MELLO; SILVA, 2003).

O vento é o principal agente na geração de energia eólica, é ele que faz com que a turbina trabalhe e gere energia.

A formação e as características dos ventos tem relação com fatores como temperatura, incidência dos raios solares, taxa de aquecimento e resfriamento da terra e até a rotação da terra, esses componentes formam as massas de ar quente e frias, oceânicas e terrestres e o choque dessas massas, formam os ventos (SANTOS, 2006).

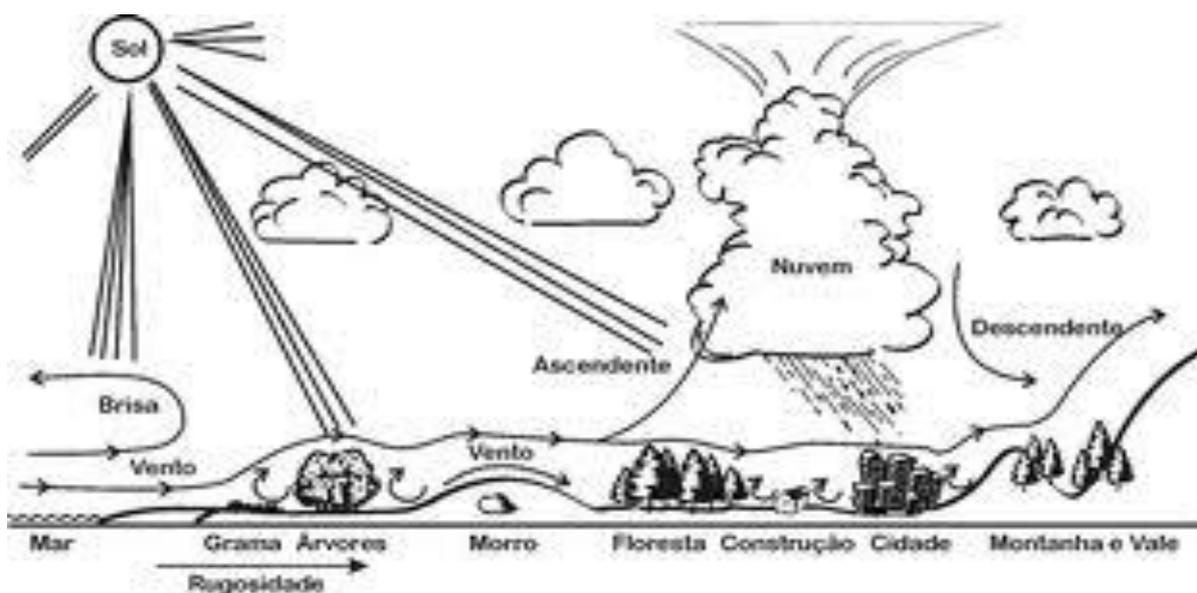


Figura 8: Formação dos ventos

Fonte: Centro de referência para energia solar e eólica Sérgio de Salvo Brito.

2.5 Desempenho de Aerogeradores de Pequeno Porte

Conforme publicação da Plataforma Itaipu, a região Oeste do Paraná tem grande potencial para instalação de sistemas híbridos de geração de energia.

Devido à compatibilidade entre produção de energia elétrica e produção agropecuária, tem se tornado cada vez mais viável a forte implantação de aerogeradores em pequenas propriedades, bem como o aproveitamento da biomassa residual.

Para Hansen (1999), estes sistemas delimitam uma gama de potências entre 25 W e 10 kW e são usados para carga de baterias, bombeamento de água, aquecimento, etc. Para sistemas de carga de pequenas baterias, com potências entre 25 W e 150 W (usando turbinas com diâmetro de rotor de 1 a 3 m), sendo este tipo de sistemas o mais bem sucedido comercialmente. Aproximadamente 200 mil pequenos sistemas de carga de baterias estão neste momento em uso.

Porém, para uma avaliação confiável segundo a publicação do Ministério do Meio Ambiente, em 22/04/2013, a avaliação técnica do potencial eólico exige um conhecimento detalhado do comportamento dos ventos. Os dados relativos a esse comportamento auxiliam na determinação do potencial eólico de uma região, no que se refere à intensidade da velocidade e a direção do vento. Faz-se necessário analisar também, os fatores que influenciam o regime dos ventos na localidade do empreendimento, para que se obtenham os dados com precisão.

O conhecimento sobre a velocidade predominante do vento determina o dimensionamento das características de posicionamento de aerogeradores e a viabilidade de implantação dos mesmos (GNOATTO, 2006)

Souza (1993) afirma que, para tornar um sistema eólico viável, a velocidade do vento deve ser superior a 3m/s. De acordo com a publicação do Jornal Gazeta do Povo (04/01/2012), Cascavel está em 9º lugar, no ranque das 10 cidades onde mais venta no Paraná, com uma velocidade média de 4m/s e altitude média de 785 metros, acima do nível do mar.

Entretanto, a instalação de uma turbina não pode ser feita em qualquer lugar. Segundo estudos realizados por Souza (2003), a velocidade do vento em Cascavel não é constante e, desta forma, deve-se analisar a instalação caso a caso.

Vendramini (1986) destaca também que a direção do vento é bastante variável no tempo e no espaço, fazendo-se necessário, então, a caracterização climática da região. Essa variação é decorrente da situação geográfica do local, da vegetação, do clima, rugosidade da superfície, do relevo e da época do ano. A

caracterização climática é importante para que o conhecimento da velocidade dos ventos no local forneça informações sobre o posicionamento de quebra-ventos, orientações de construções, distribuições de diferentes culturas no campo e sua predominância.

Em geral, a instalação de um sistema de conversão de energia eólica de pequeno porte é bastante rápida, dispensa mão-de-obra especializada, proporcionando um baixo custo de instalação (JUNIOR, 2006).

2.6 A energização Rural no Brasil

Do começo e até o meio do século XX, a eletricidade era vista como um vetor no incentivo ao desenvolvimento econômico nas áreas rurais. Porém, os resultados coletados geraram dúvidas sobre a eficácia dessa solução. Fazendo com que a euforia das agências internacionais de desenvolvimento, com relação a programas de eletrificação rural tradicionais nos países de terceiro mundo, desse lugar ao ceticismo na década de 1980 (RANGANATHAN, 1992).

Porém, os programas de eletrificação rural não estão escassos, pois o Banco Mundial e o Banco Interamericano – BID financiaram grandes programas de eletrificação rural no Brasil com o intuito de baixar o custo das ligações. Dois são exemplares, pelo seu alcance social. Um desenvolvido no Paraná, implementado pela Companhia Paranaense de Energia – COPEL e o outro no estado de Minas Gerais, implementado pela CEMIG. Entretanto os bancos multilaterais, com base em resultados puramente econômicos e interesse das indústrias de fontes alternativas, deixaram de investir em programas de eletrificação rural com fontes tradicionais e passaram a induzir que a eletrificação rural só deveria ser feita por meio de fontes alternativas de energia (CARMO, 2005).

Cruz *et al.* (2004), afirmam que a inexistência de energia elétrica impossibilita o acesso da população a diversos serviços sociais básicos, tais como água, saneamento, educação e comunicação. Partindo dessa perspectiva, percebe-se, portanto, que há uma íntima relação entre os indicadores de eletrificação e o grau de modernização do espaço rural, redundando na qualidade de vida da população rural.

Então, de acordo com Massochin (2006), a utilização da energia elétrica no abastecimento de água, a elevação de consumo *per capita* de energia elétrica, o crescimento na aquisição de equipamentos eletrodomésticos indicam maior poder aquisitivo e melhores condições de vida da população rural.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Material

3.1.1 Localização do Experimento

O experimento foi realizado no Centro de Análise de Sistemas Alternativos (CASA) localizado na Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE, campus de Cascavel-Pr, como demonstrado na Figura 9 tendo latitude $24^{\circ}59'$ Sul, Longitude $53^{\circ}23'$ Oeste e altitude de 750 metros com relação ao nível do mar. O sistema de geração eólica foi composto por um aerogerador de pequeno porte da marca GREATWATT com 400 watts de potência nominal à velocidade de vento de 12,5 m/s. O aerogerador foi instalado em uma torre cilíndrica de aço a 11 metros de altura do solo.



Figura 9: Projeto CASA – Local de instalação do aerogerador de pequeno porte.

Para avaliar o potencial de bombeamento d'água foi utilizado como fonte geradora de energia o aerogerador de pequeno porte e uma bomba com vazão nominal de 6,5 litros por minuto.

O sistema de bombeamento eólico é composto basicamente três subitens principais subdivididos da seguinte forma, o aerogerador e estrutura de suporte, a bomba hidráulica para bombeamento d'água e por último o sistema de medição e controle.

3.2 Sistema de Geração Eólica

3.2.1 Fundação

Para a instalação da torre foi necessário realizar uma fundação, então se optou por uma fundação clássica com três pilares de sustentação e uma base triangular. No interior da fundação foi instalada uma estrutura para fixação da torre, conforme Figura 10, representada abaixo.



Figura 10: Fundação e estrutura interna.

3.2.2 Torre

A torre de uma turbina eólica é o elemento que recebe toda a carga estrutural de um aerogerador. Para a realização da pesquisa e elevação do

aerogerador à altura desejada foi instalada uma torre tubular de aço autoportante de 10 metros de altura, sendo 1 metro de base para sustentação e mais três módulos de 3 metros cada, como a mesma é modular caso seja necessário o aumento de altura tal operação é viável, a torre tubular possui tratamento de galvanização, com isso a mesma fica protegida da ação do tempo. A torre de sustentação pode ser observada na Figura 11.



Figura 11: Torre e base de fixação.

3.2.3 Aterramento

O sistema de aterramento foi feito em delta, com 3 barras de cobre de 2,4 metros de comprimento distantes 3 metros uma da outra e interligadas com uma malha de cobre de 10 mm de diâmetro, o mesmo pode ser visto na Figura 12.



Figura 12: Aterramento.

3.2.4 Flange de união

Para o acoplamento da torre tubular com o aerogerador foi fabricada uma flange de fixação, conforme Figura 13, a mesma foi fabricada em aço 1020, possui altura de 1 metro, e um canal interno para a passagem da fiação do aerogerador.



Figura 13: Flange de união.

3.2.5 Gerador eólico

Como fonte geradora de energia elétrica foi utilizada uma das configurações mais comuns de aerogeradores que são os de eixo horizontal que segundo Hau, (2006) basicamente são compostos de uma torre que eleva a turbina até a altura mais adequada para seu funcionamento, uma nacela que armazena seus componentes mecânicos e de controle, as pás que são responsáveis por captar a energia cinética dos ventos e um sistema de controle de potência.

Utilizou-se um aerogerador de pequeno porte da marca Greatwatt modelo S-600, conforme Figura 14, o mesmo será utilizado com tensão de 12 V. O detalhamento das características técnicas do aerogerador está apresentado na Tabela 6 e o mesmo pode ser observado na Figura 15.

Tabela 6: Especificações técnicas do aerogerador.

Configuração	3 pás, eixo horizontal
Diâmetro do Rotor	1,2 metros
Peso	6,3 kg
Tensão	12V/24V
Potência Nominal 12V	400 W
Potência Máxima 12V	550 W
Velocidade do Vento para Start	3 m/s
Velocidade Nominal para 12V	12,5 m/s
Velocidade do Vento para Máxima	25 m/s
Potência	
Velocidade Limite	60 m/s



Figura 14: Aerogerador Greatwatt S-600.

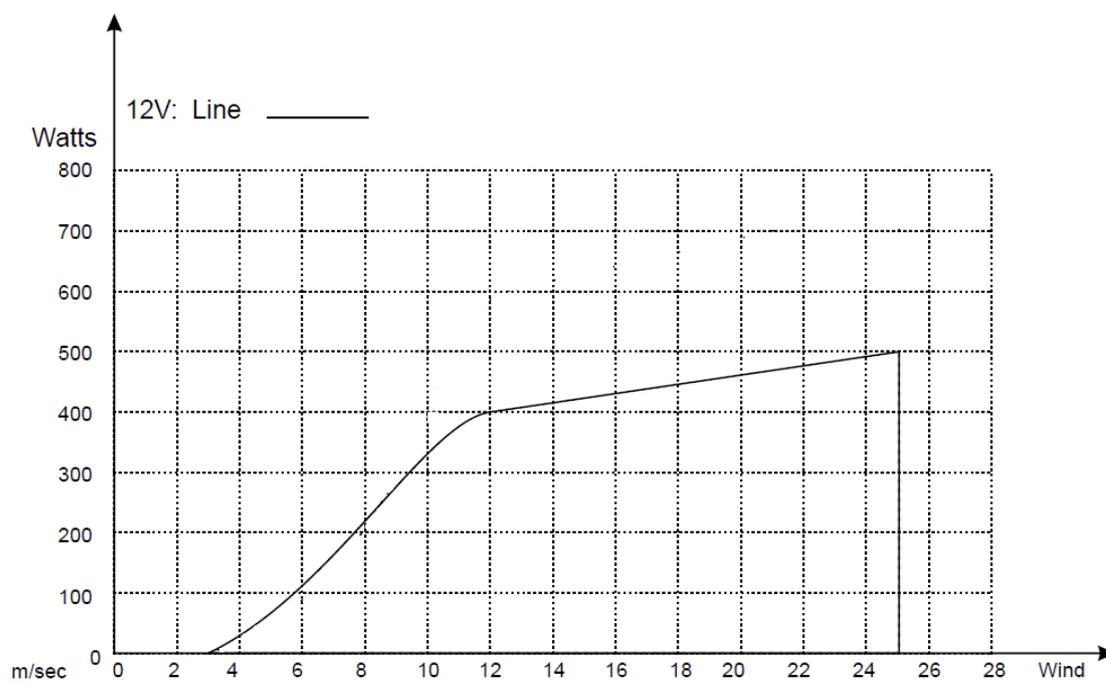


Figura 15: Curva de potência do aerogerador.

3.3 Sistema de Bombeamento D'água

3.3.1 Moto Bomba

O bombeamento d'água foi realizado utilizando uma bomba de superfície com bombeamento por diafragma da marca SHURflo modelo 8000 conforme figura

16, ideal para aplicações residenciais ou rurais que necessitem de alta pressão, a mesma possui vazão de até 6,5 l/min e baixo consumo de energia. Especificações técnicas conforme Tabela 7.

Tabela 7: Especificações técnicas da bomba d'água.

Altura de Recalque Máxima	42,25 metros
Peso	2 Kg
Alimentação	12 volts
Conexão	1/2"
Diâmetro de Tubulação	1/2" a 1"
Dimensões	215 X 114 X 104 mm
Vazão	490 L.h-1 (sem recalque)
Consumo	5.0A até 7.3A



Figura 16: Bomba hidráulica SHURflo modelo 8000.

3.3.2 Hidrômetro

Para a realização da medição do volume de água bombeada foi utilizado um hidrômetro do fabricante SAPPEL AQUARIUS, o mesmo possui vazão nominal de $0,75 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ e uma vazão mínima de 15 L h^{-1} , o mesmo está demonstrado na Figura 17, representada abaixo.



Figura 17: Hidrômetro Sappel Aquarius.

3.3.3 Reservatórios

Como reservatórios serão utilizadas duas caixas d'água de fibra, onde uma será utilizada como reservatório inferior e a outra como reservatório superior para onde será bombeada a água, todo o sistema de bombeamento será fechado, ou seja, a água ficará recirculando entre os dois reservatórios.

O sistema hidráulico do experimento foi montado sobre uma estrutura metálica com dimensão de 2,50 m de altura, onde foram dispostas duas caixas d'água com 100 L cada, uma sendo a caixa inferior e a outra a caixa d'água superior, conforme Figura 18.

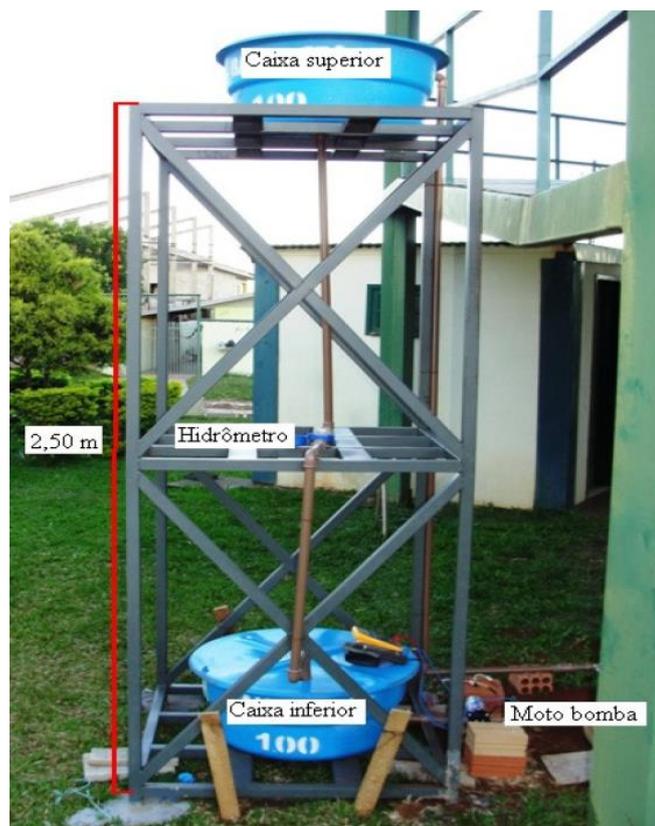


Figura 18: Reservatórios – sistema hidráulico.

Para o funcionamento do sistema de sucção e recalque, da caixa inferior para a superior, foram utilizados tubos e conexões (luvas, curvas de 90° e reduções) de PVC com diâmetro de 1" para interligar a caixa inferior até a moto-bomba e desta até a caixa superior. Para o processo de esvaziamento da caixa superior também foram utilizados tubos e conexões com 1" para interligar a caixa superior até a caixa inferior. Toda a água que foi bombeada para a caixa superior desce imediatamente por gravidade pela tubulação, passando pelo hidrômetro, para a caixa inferior de onde foi bombeada novamente, gerando assim um ciclo contínuo.

3.4 Sistema de Coleta de Dados

3.4.1 Datalogger

Dentro do sistema de medição e controle será utilizado o datalogger CR 1000 do fabricante Campbell conforme Figura 19, o mesmo é fundamental para a

realização das coletas de variáveis elétricas na Planta de Bombeamento Eólico. Mais detalhes das características técnicas do datalogger podem ser observadas na Tabela 8.

Tabela 8: Especificações técnicas do datalogger CR 1000 da Campbell.

Alimentação	9,6 a 16 Vcc
Marca	Campbell Scientific
Peso	1000 g
Modelo	CR 1000
Memória Interna	4 MB
Peso	1000 g
Temperatura de operação	-25 °C a 50 °C
Entradas/Saídas	8

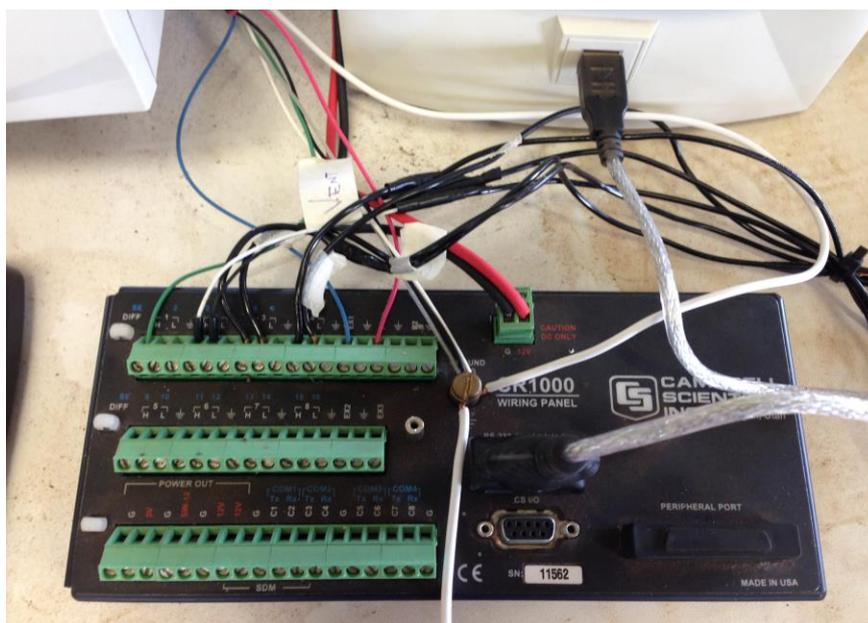


Figura 19: Datalogger CR 1000 da Campbell.

3.4.2 Anemômetro

Para a medição da velocidade e direção do vento foi utilizado um anemômetro de hélices com quatro lâminas, o mesmo está instalado no topo da torre eólica, a uma altura de 10 metros. Fabricado pela YOUNG, modelo 05106. Conforme Figura 20 e Figura 21 e especificações na Tabela 9.

Tabela 9: Especificações técnicas do anemômetro.

Velocidade Máxima de Operação	100 ms⁻¹ (360 km⁻¹)
Hélices	4 hélices de polipropileno de 18cm
Sensibilidade Mínima	1 ms ⁻¹ (3,6 km ⁻¹)
Alimentação Máxima	15 V DC
Sinal de Saída	De 0 à 1 VDC
Ângulo de Medição	360°
Sensibilidade Mínima	1,1 ms ⁻¹ (4 km ⁻¹) com 10° de deslocamento
Potência Requerida	5mA em 12 VDC.
Temperatura de Operação	De -50°C à 50°C.



Figura 20: Anemômetro YOUNG WIND MONITOR.



Figura 21: Anemômetro instalado.

3.4.3 Isolador

Para a medição das correntes elétricas do aerogerador, moto bomba e bateria foi instalado um dispositivo eletrônico, com o objetivo principal de proporcionar um isolamento para os canais, evitando possíveis interferências entre eles, além de converter os dados de corrente elétrica em valores proporcionais de tensão elétrica, dentro das faixas de até 5 V suportadas pelo datalogger. Conforme Figura 22.

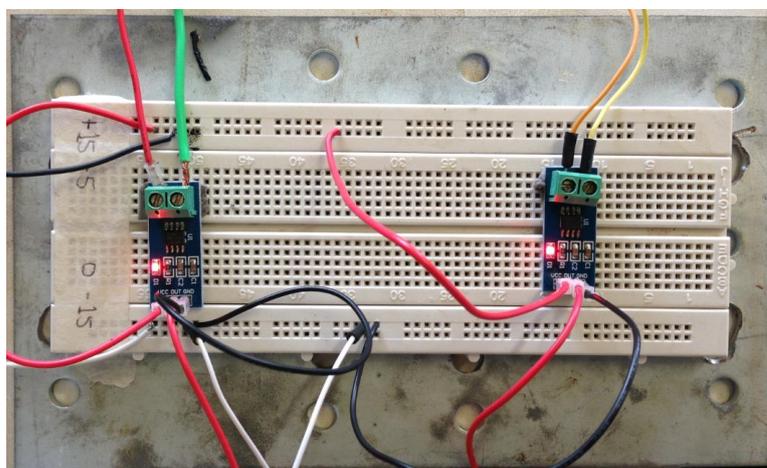


Figura 22: Isolador.

Para o correto funcionamento do isolador e fornecer energia ao mesmo utilizou-se uma fonte de alimentação universal – LUCAS NULLE LM 4501 (DC/AC/3fases) com gerador de função de potência 50 W. A Figura 23 mostra o equipamento.

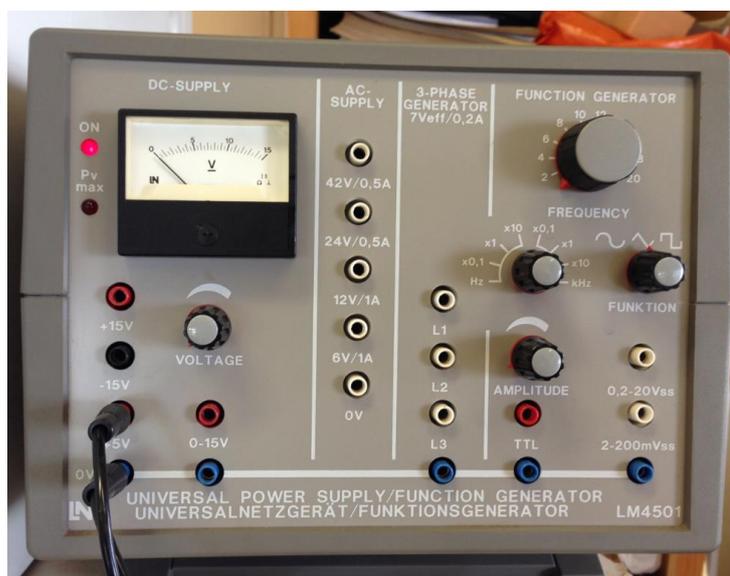


Figura 23: Fonte de alimentação.

3.4.4 Baterias

Para armazenar a energia proveniente do aerogerador e alimentar a bomba hidráulica foi utilizada uma bateria automotiva da marca MAXXICARGO modelo MRT100LE com capacidade de 100 Ah e tensão de 12 V, livre de manutenção de acordo com a Figura 24. Segue Tabela 10 com as demais especificações técnicas.

Tabela 10: Especificações técnicas da bateria.

Tensão Nominal	12 V
Capacidade de Referência	100Ah
Reserva de Capacidade	160 min
Peso Total	22,3 kg
Dimensões	341x175x230



Figura 24: Bateria de alimentação 100 Ah.

3.5 Métodos

3.5.1 Instalação dos Sistemas

3.5.1.1 Aerogerador Greatwatt

O Sistema de Bombeamento Eólico foi instalado na parte externa do projeto CASA, onde um aerogerador de pequeno porte está sobre uma torre autoportante com altura total de 11 metros, sendo 10 metros de torre e 1 metro de tubulão que será utilizado para a união do aerogerador com a torre. Conforme Figura 25.



Figura 25: Aerogerador instalado.

O aerogerador possui controlador de carga, sendo assim a energia gerada será enviada ao banco de baterias com tensão de 12 VDC

3.5.1.2 Diagrama esquemático do experimento

A integralização do gerador eólico, da moto bomba e dos equipamentos de medição e controle resultará em um Sistema para Bombeamento Eólico (SBE), conforme Figura 26.

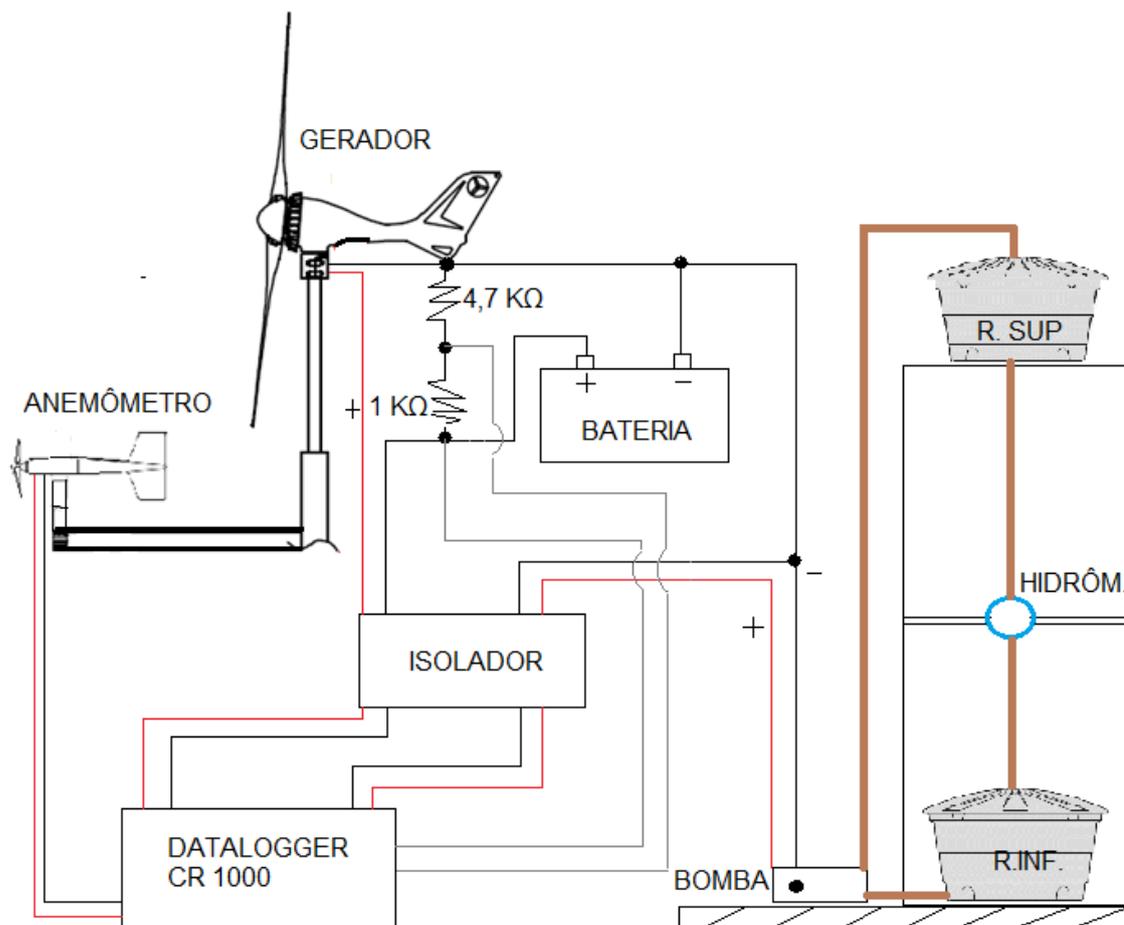


Figura 26: Esquema de instalação do sistema.

3.5.1.3 Coleta de dados meteorológicos

O sistema de aquisição dos dados meteorológicos e elétricos foi programado para efetuar leituras a cada 10 segundos e fazer médias dos valores lidos a cada 5 minutos. Os dados coletados durante 14 dias foram armazenados no próprio datalogger CR1000, pois o mesmo possui memória interna de 4 MB.

3.5.1.4 Análise dos dados meteorológicos

Os dados salvos a cada 5 minutos foram tabulados e processados utilizando o programa Microsoft EXCEL.

Segundo Siqueira (2005), com a medição dos dados de direção do vento obtidos pelo anemômetro, será determinada a velocidade do vento, energia disponível no vento e energia gerada pelo aerogerador.

Ainda, de acordo com Siqueira (2005), com os dados de tensão e corrente elétrica medida para o aerogerador, poderá ser calculada a energia elétrica gerada (Equação 01) e com os dados meteorológicos da velocidade e temperatura ambiente, calcula-se a energia eólica contida no vento pelas Equações 02 e 03. A massa específica do ar, utilizada na Equação 02, será calculada em função apenas da variação da temperatura ambiente.

$$EGA = \sum_{i=1}^n (Vaero_i \times Iaero_i) \times t \quad (01)$$

$$t = \frac{1}{12} \times h$$

Onde:

n = Enésimo valor do conjunto de dados;

$Vaero$ = Tensão média na saída do aerogerador, V;

$Iaero$ = Corrente média na saída do aerogerador, A;

EGA = Energia elétrica gerada pelo aerogerador, Wh.

A energia cinética do vento, em uma determinada área por um determinado tempo é denominada potencial eólico, utilizando a equação (02) para cálculo de potencial eólico.

$$Pv = \frac{\rho v^3 A}{2} \quad (02)$$

Onde:

ρ = Massa específica do ar calculada em função da temperatura ambiente, kgm^{-3} ;

v = Velocidade do vento, ms^{-1} ;

A = Área varrida pelo rotor do aerogerador, m^2 ;

P_v = Potência disponível no vento, W.

$$EE = \sum_{i=1}^n P_{v_i} \times t \quad (03)$$

$$t = \frac{1}{12} \times h$$

Onde:

n = Enésima média do conjunto de dados;

EE = Energia eólica disponível, Wh.

Assim poderá ser calculado o rendimento do sistema eólico por meio da equação 04, que é a razão entre a energia elétrica gerada pelo aerogerador e a energia eólica disponível.

$$\eta = \frac{EGA}{EE} \times 100 \quad (04)$$

Onde:

η = Rendimento do sistema eólico, %.

3.5.1.5 Análise do sistema de bombeamento

A tubulação de sucção tem por objetivo conduzir a água do poço até a entrada da bomba e a de recalque transportar a água da saída da bomba até o reservatório superior. Encontra-se contíguo ao tubo de recalque medidor de vazão.

Para achar a altura de recalque (h) da bomba utiliza-se a equação (05):

$$h = A + \frac{B}{15} + C + D \quad (05)$$

Onde:

h = altura de recalque, m.

A = profundidade do poço, m.

B = distância na horizontal entre o poço e a caixa d'água, m.

C = desnível entre a base da bomba a base da caixa d'água, m.

D = altura da caixa d'água, m.

Segundo Siqueira (2005) A energia fornecida pela bateria para o sistema de bombeamento pode ser calculada pela Equação 06.

$$EB = \sum_{i=1}^n (Vbat_i \times Ibat_i) \times t \quad (06)$$

Onde:

$$t = \frac{1}{12} h$$

n = Enésimo valor do conjunto de dados;

$Vbat$ = Tensão na bateria, V;

$Ibat$ = Corrente na bateria, A;

EB = Energia na bateria, Wh.

A energia consumida pelo sistema de bombeamento d'água, em corrente contínua, será calculada pela Equação 07. Fazendo então a relação da energia fornecida pela energia gerada é possível determinar o rendimento do sistema de bombeamento, de acordo com a Equação 08.

$$ECB = \sum_{i=1}^n (Vbomba_i \times Ibomba_i) \times t \quad (07)$$

Onde:

$$t = \frac{1}{12} h$$

n = Enésimo valor do conjunto de dados;

$Vbomba$ = Tensão na bomba, V;

I_{bomba} = Corrente na bomba, A;

ECB = Energia consumida pela bomba, Wh.

$$\eta = \frac{EB}{ECB} \times 100 \quad (08)$$

η_b = Rendimento do sistema de bombeamento, %.

A moto bomba foi ligada sempre no mesmo intervalo de tempo durante todos os dias de coleta, pois após uma análise do horário de ocorrência de vento na região optou-se por ligá-la às 19 horas e desligá-la às 22 horas, pois no referido intervalo de tempo havia uma tendência de diminuição da incidência de vento.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Velocidade do vento – média diária

A Figura 27 apresenta os valores da velocidade média do vento no local de instalação do sistema de geração eólica no período de aquisição dos dados. Pode-se observar que o maior valor de velocidade do vento médio encontrado foi de 4,49 m.s⁻¹, bombeando um volume 385 L.h⁻¹ d'água, e o menor valor de velocidade do vento foi de 1,27 m.s⁻¹, bombeando um volume de 118,6 L.h⁻¹, obtendo assim um coeficiente de variação da velocidade do vento de 38%. A velocidade média geral no período foi de 2,4 m.s⁻¹. Apesar de tal velocidade não ser a ideal o sistema é viável, pois Bruni (2007) conseguiu em seu experimento bombear 630 L.h⁻¹ utilizando um aerogerador com potência de 300 Watts a uma velocidade média do vento de 6,44 m.s⁻¹ a uma altura de 10 m.

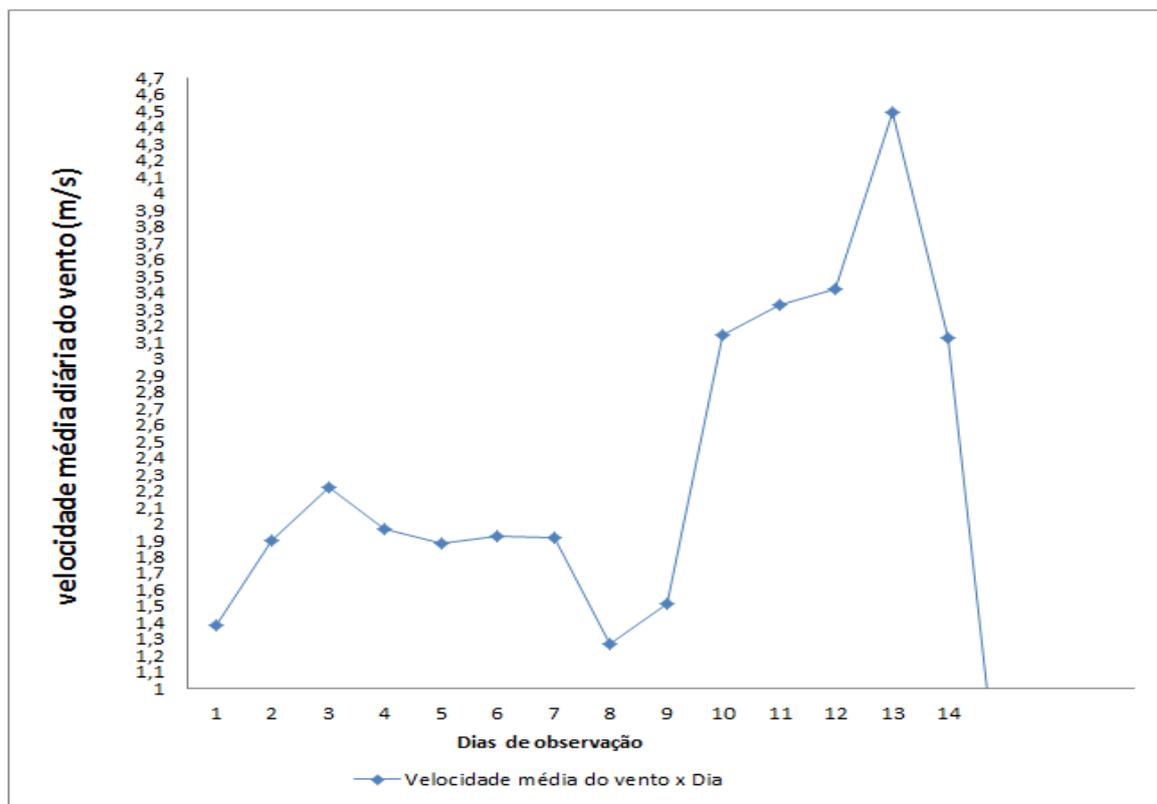


Figura 27: Velocidades média do vento no local nos dias de observação no período de 20/12/2013 à 02/01/2014.

4.2 Velocidade do vento média diária – média horária

A análise da velocidade média diária do vento mostrou uma média de $2,39 \text{ m.s}^{-1}$. Os picos máximos de vento eram próximos às 10:00 hs com velocidade de $3,38 \text{ m.s}^{-1}$, mantendo uma velocidade em patamares próximos até às 14:00 hs, onde a velocidade começava a diminuir, chegando a níveis de menor incidência de velocidade do vento por volta das 23:00 hs com valores de $1,42 \text{ m.s}^{-1}$, conforme é possível observar na Figura 28.

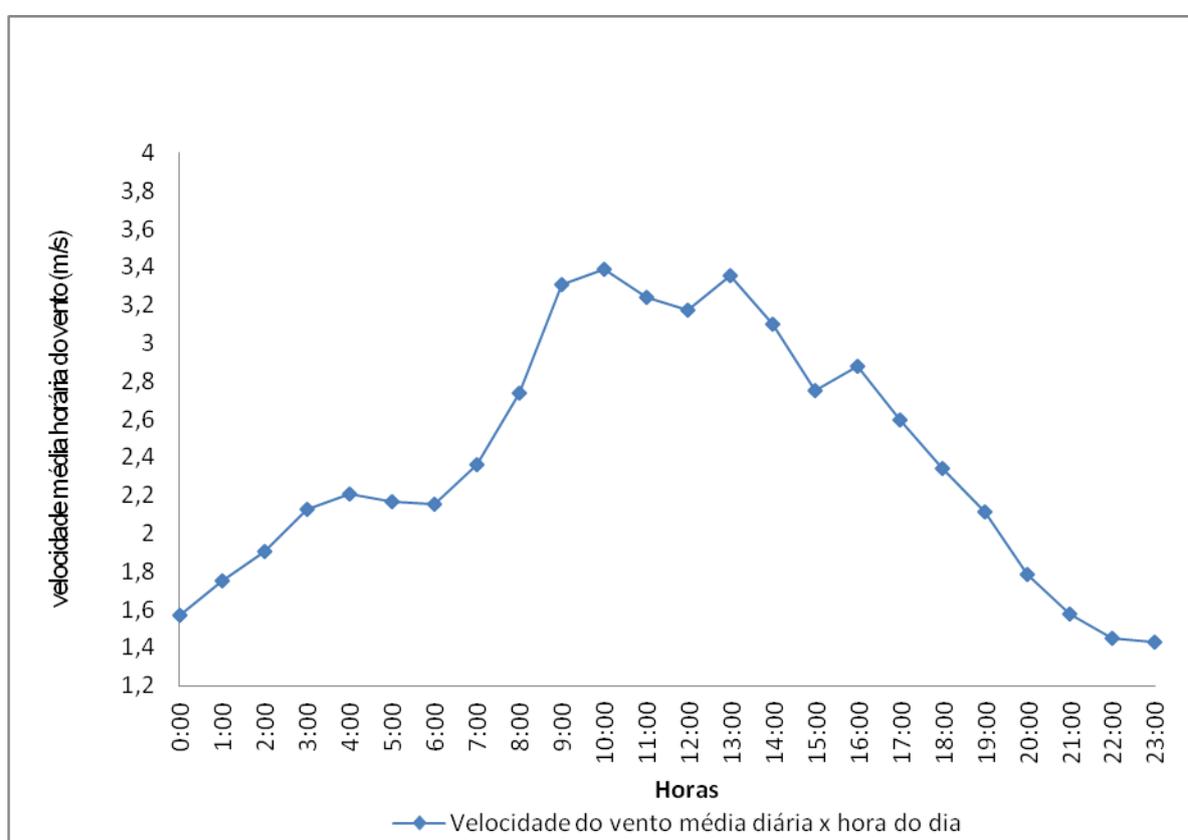


Figura 28: Média horária da velocidade do vento durante os dias de observação.

4.3 Ocorrência das velocidades do vento

A análise de frequência de ocorrência da velocidade do vento possibilitou observar as classes de velocidade e a influência das mesmas na geração de energia elétrica. Durante o período de coleta de dados as velocidades de vento entre 3 m.s^{-1} e 4 m.s^{-1} tiveram uma ocorrência de 43,2 %, essas velocidades são consideradas

importantes, pois o aerogerador Greatwatt inicia sua geração com velocidades acima de 3 m.s^{-1} . Já as velocidades acima de 5 m.s^{-1} somam uma ocorrência de 10% dos ventos no período considerado. A frequência de ocorrência pode ser observada na Figura 29.

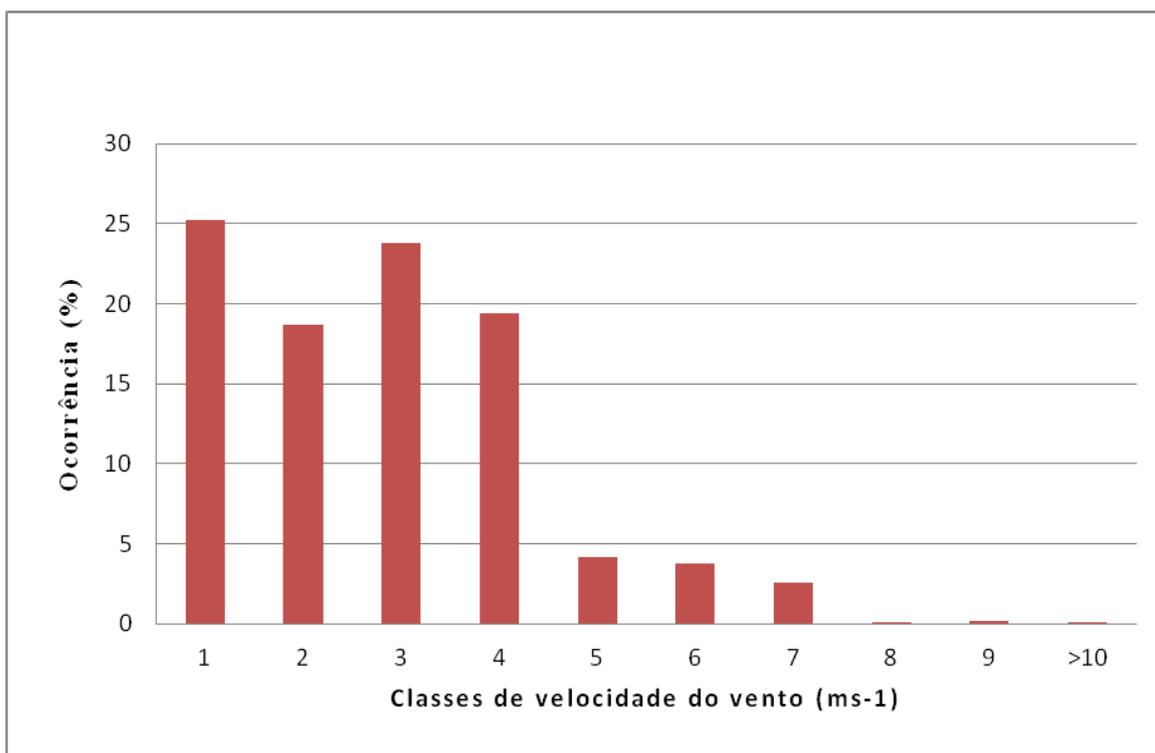


Figura 29: Frequência de ocorrência do vento de acordo com as classes de velocidade.

4.4 Energia elétrica gerada pelo aerogerador

Na Figura 30 representada a seguir é possível concluir que no 7º dia foi obtida a menor geração de energia com valor de $0,13 \text{ kW.h}^{-1}$, já durante o 13º dia houve a maior geração de energia com valor de $13,88 \text{ kW.h}^{-1}$. Durante o 10º, 11º, 12º e 14º dia ocorreu um patamar médio de produção de energia. O valor médio de geração de energia elétrica por dia foi de $2,76 \text{ kW.h}^{-1}$ e uma geração total durante os dias de coleta de $38,6 \text{ kW.h}^{-1}$. Segundo Lopes (2011) em seu estudo com um aerogerador de 1000 Watts submetido a uma velocidade média de $3,75 \text{ m.s}^{-1}$ foi possível obter $48,5 \text{ kW.h}^{-1}$ de energia elétrica no período de um mês de análise.

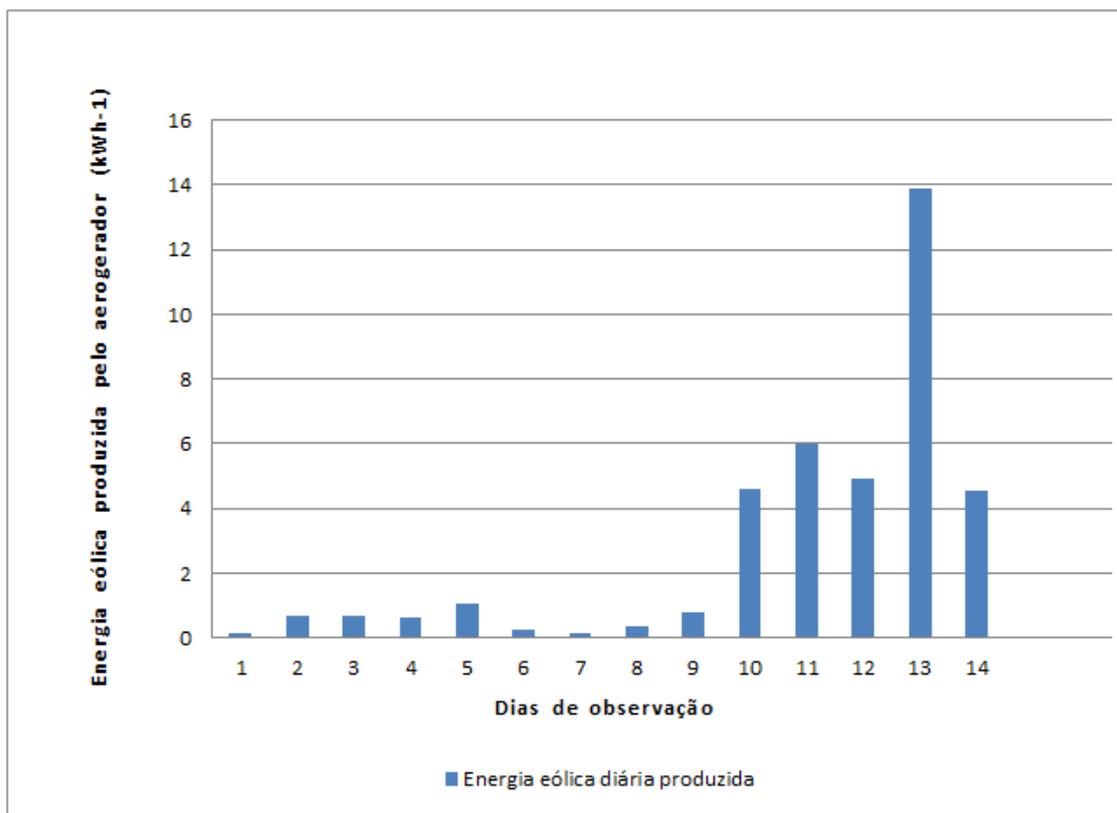


Figura 30: Energia elétrica gerada pelo sistema eólico durante o período de coleta de dados.

4.5 Energia eólica disponível

Na Figura 31 está representada a energia eólica disponível e a energia eólica gerada, sendo que a maior disponibilidade foi no 13º dia com $24,11 \text{ kW.h}^{-1}$ e a menor disponibilidade de geração no 8º dia com $1,14 \text{ kW.h}^{-1}$. A eficiência do sistema foi de 33 %, porém de acordo com Lopes (2011) em seu experimento com uma velocidade média de $6,5 \text{ m.s}^{-1}$, utilizando um aerogerador de 1000 Watts foi possível 12% de eficiência em termos de energia elétrica com relação a energia eólica disponível.

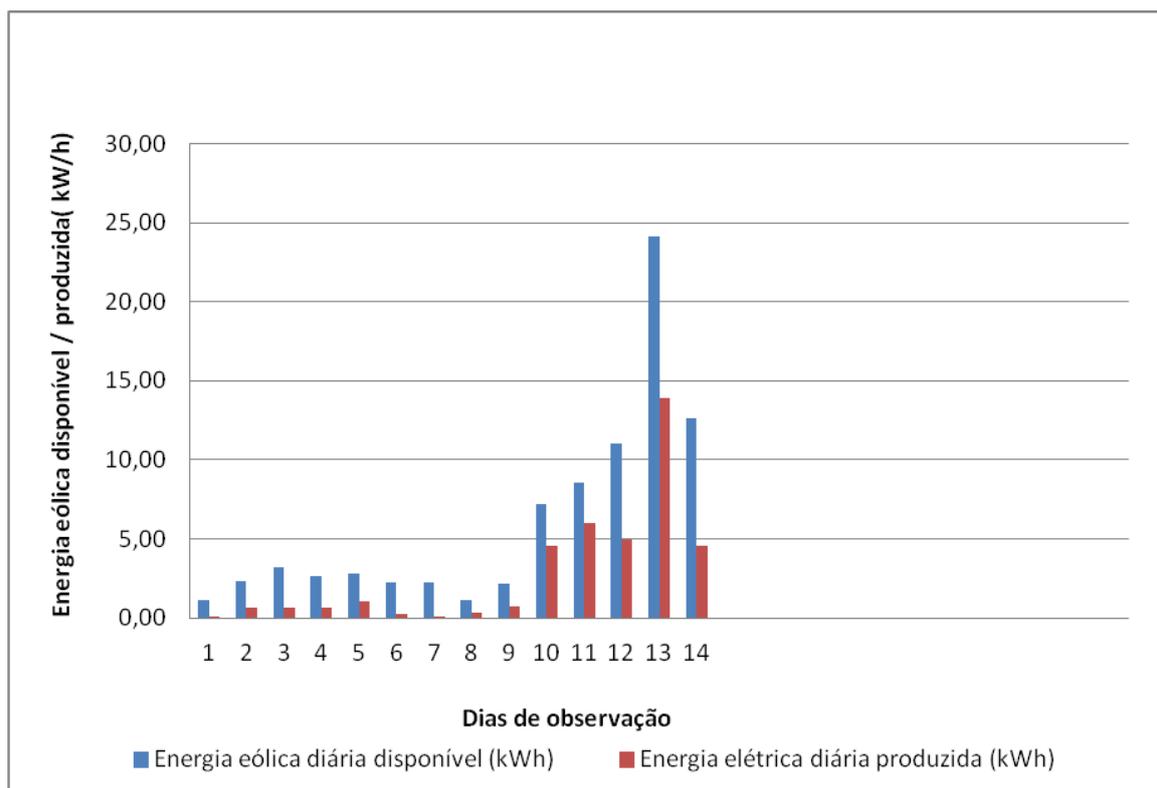


Figura 31: Energia elétrica gerada e energia eólica disponível.

4.6 Volume bombeado

Na Figura 32, representada a seguir, é possível avaliar o volume bombeado por dia em função da energia eólica disponível. Durante o período de observação foi bombeado um volume total de 13.645 litros com média diária de 974 litros. No 1º dia foi constatado o maior volume bombeado de 1179 litros, já no 9º dia foi medido o menor volume com 356 litros, o volume do 9º dia foi baixo devido à baixa energia eólica disponível, fato que acarretou na menor energia elétrica gerada. Segundo Moreira (2009) um volume médio diário de 1200 litros de água é capaz de atender uma pequena propriedade rural típica onde vivem em torno de 6 pessoas, 30 aves, 5 bovinos, 10 suínos e com uma área cultivada 100m².

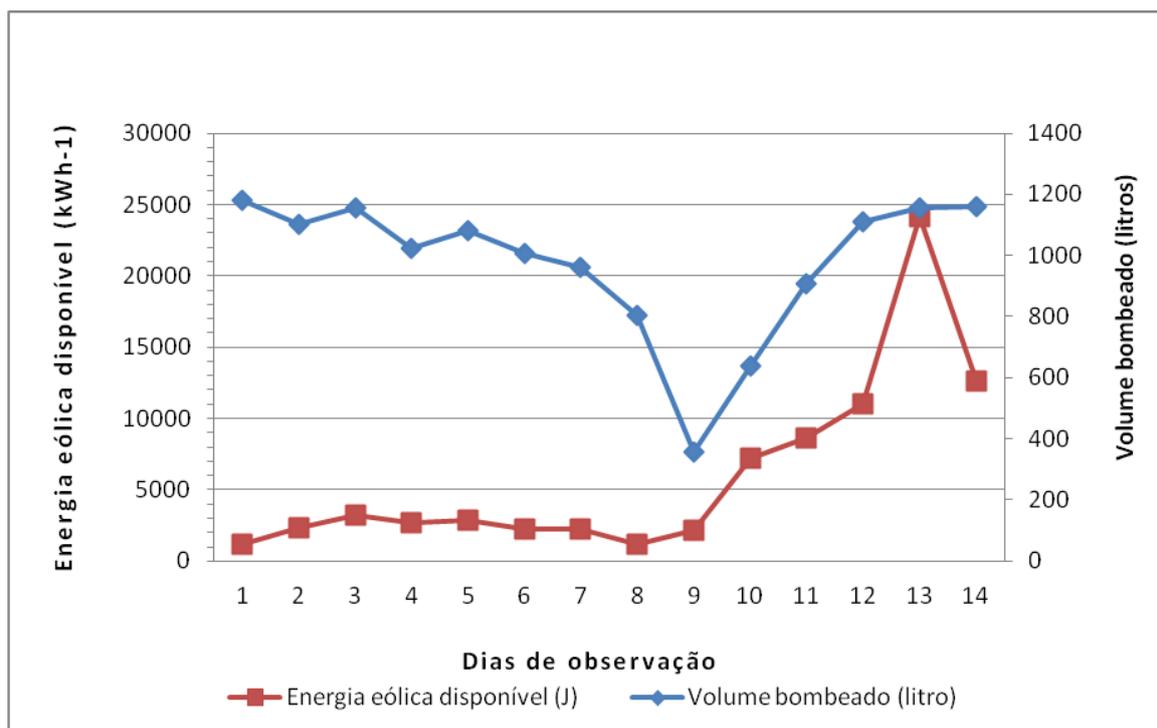


Figura 32: Quantidade de água bombeada no período de observação em função da energia eólica disponível.

5. CONCLUSÃO

O presente trabalho avaliou o rendimento de um sistema de bombeamento d'água alimentado por um gerador eólico de pequeno porte, avaliou-se a vazão da moto bomba utilizando a energia elétrica gerada pelo aerogerador considerando que o mesmo estava sobre solicitação de variações da velocidade do vento.

Com velocidade média de ventos de $2,26 \text{ m.s}^{-1}$ a energia eólica disponível por dia teve média diária de $5,98 \text{ kW.h}^{-1}$, considerando o valor de densidade do ar de $1,2157 \text{ kg.m}^{-3}$. A energia total disponível durante os dias de observação foi de $83,7 \text{ kW.h}^{-1}$ e a energia elétrica gerada durante o período foi de $38,6 \text{ kW.h}^{-1}$ dando uma eficiência do sistema eólico de 33%.

O volume total bombeado com a energia elétrica gerada foi de 13.645 litros de água, tendo como média diária de volume bombeado 974 litros. A energia elétrica gerada no 13º dia foi a maior do período bombeando 1155 litros, porém o valor máximo bombeado foi de 1179 litros no 1º dia, já o volume mínimo foi de 356 litros no 9º dia, tal fato ocorreu devido ao baixo valor da tensão na bateria, pois no 8º dia a energia elétrica gerada foi de $0,125 \text{ kW.h}^{-1}$.

Com o experimento foi possível avaliar que tal sistema é viável para auxiliar no abastecimento de água de uma pequena propriedade rural ou sistema de irrigação, pois apesar de não suprir a totalidade do volume necessário o sistema bombeou água em patamares próximos ao necessário.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABEAMA – Disponível em: < <http://www.abeama.org.br/>> Acesso em: 24 Mar 2011.

ALDABÓ, R. L. **Energia eólica**. 1. ed. São Paulo: Artliber, 2002.

AMARANTE. O. A. C; ZACK J; BROWER M; SÁ L. A. **Atlas do potencial eólico brasileiro**. Brasília, 2001.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/>> Acesso em: 04 Abr 2013.

BARBOSA. **Os 10 países líderes em energia eólica**. Disponível em: <<http://planetasustentavel.abril.com.br/noticia/energia/10-paises-lideres-energia-eolica-676876.shtml>> Acesso em: 02 Mai 2012.

BRUNI, C. D. **Otimização de sistema de bombeamento com energia eólica: sistema de bombeamento de São Gabriel – BA**. Natal, 2007. [Dissertação Mestrado] Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2007.

BLASQUES. 2005. Disponível em: <<http://blogdoengenharioeletricista.blogspot.com.br/>> Acesso em: 02 Abr 2012.

CARDOSO, L. F. M - **Indicadores de produção limpa uma proposta para análise de relatórios ambientais de empresa**. Salvador, 2004. [Dissertação Mestrado] Profissional em gerenciamento e tecnologia ambiental no processo produtivo. Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2004.

CASTRO. A. C.F; OLIVEIRA. E. B. **O Desenvolvimento sustentável e as implicações da produção mais limpa: um estudo de caso no setor moveleiro**. Porto Alegre: 2009.

CRESESB - Centro de Referência em Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito. **FAQ Eólica (Perguntas freqüentes)**. Disponível em: <www.cresesb.cepel.br/content.php> Acesso em: Fev 2011.

COMISSIÓN EUROPEA DG XII. **Manual de energización rural mediante energia fotovoltaica**. APAS 94 Energías Renovables, Programa de Fortalecimiento de la Cooperación Global en el Campo de las Energías Renovables, Acción Estratégica Concertada para la Aplicación Sostenible de Tecnologías Fotovoltaicas y Bioelectricidad em los Países del Cono Sul, 1996.

COPEL – Companhia Paranaense de Energia. Disponível em: <<http://www.copel.com>> Acesso em: 21 Mar 2013.

CRUZ, C. N. P.; MOURAD, A. L.; MORÍNIGO, M. A.; SANGA, G. Eletrificação rural: benefícios em diferentes esferas. In: AGRENER 2004 - ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 5, 2004, Campinas. **Anais...**Campinas: NIPE/UNICAMP, 2004. 9p. CDROM

CUNHA, I. – Disponível em: < <http://bellacunha.zip.net/>> Acesso em: 11 Mar 2013.

CUSTÓDIO, R. S. **Energia eólica para produção de energia elétrica**. Rio de Janeiro: Eletrobás, 2009. 280p.

DUARTE, P. A. S. C. **Interface de um gerador eólico de pequena potência com a rede elétrica**. 2010. [Dissertação Mestrado]. Universidade do Minho, 2010, Braga.

DUTRA, R. **Energia eólica: princípios e tecnologia**. CRESESB – Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito, 2009. 58 p.

FADIGAS. E. A. F. A. **Energia eólica**. São Paulo: Manole, 2011.

FEIDEN A. **O retorno do alumínio no processo de produção visando à logística reversa**. [Dissertação de Mestrado]. Novo Hamburgo, 2009.

FIESP. Disponível em: <<http://www.fiesp.com.br/energy/telas/producao/eolica.asp>> Acesso em: 30 Abr 2012.

HANSEN, J.C. Keys to success for wind power in isolated power systems. In: 1999 EWEC - European Wind Energy Conference, 1999, França. **Proceedings...**New Delhi: Allied Publishers Ltd., 1999, 6p.

HAU, E. **Wind Turbines: fundamentals, technologies, application, economics**. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2th, ISBN: 13-978-3-540-24240-6, 2006.

LEITÃO. S. **Greenpeace**. Disponível em: < <http://www.greenpeace.org/brasil>> Acesso em: 02 Mar 2013.

LOPES, L. C. N. **Avaliação de sistema eólico-elétrico de bombeamento d'água**. Fortaleza, 2011. [Dissertação Mestrado] Eletrônica de Potência e Acionadores. Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2011.

MELLO C. A. **Produção mais limpa: um estudo de caso na AGCO do Brasil**. Porto Alegre, 2002.

MONTEIRO. R. R. **Análise técnica da implantação de um sistema híbrido eólico-solar para alimentar ERBs em lugares isolados: o caso da estação Antonina/PR**. [Dissertação Mestrado]. Curitiba: UFPR, 2007.

MOREIRA, C. A. M. **Avaliação do desempenho hidro-energético de sistemas fotovoltaicos utilizados no bombeamento de água.** 2009. 129 p. [Dissertação Mestrado] Energia na Agricultura. Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho/ Faculdade de Ciências Agrônomicas da UNESP, Botucatu, 2009.

OLIVEIRA. T. F. F; SANTOS. H. I. **Uso da energia eólica como alternativa para mitigar o agravamento do efeito estufa.** Goiana 2010.

PIRES, J. C. P. **Estudo de rotor para turbina eólica de eixo horizontal de pequeno porte com aplicação de modelagem e simulação virtual.** 2010. [Dissertação Mestrado]. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2010, Porto Alegre, 2010.

PROCOPIAK, L. A. J. *et al.* **Desenvolvimento e validação de nova metodologia para avaliação técnico-econômica de empreendimentos eólicos.** 2006. CITENEL – Congresso de Inovação Tecnológica, 2006.

RABE. J. **Energia eólica no mundo cresce de vento em popa.** Disponível em: <<http://www.dw.de/dw/article/0,,6365833,00.html>>. Acesso em: 13 Abr 2013.

RANGANATHAN, V. **Direct Power Control of Grid-Connected Wound Rotor Induction Machine Without Rotor Position Sensors.** IEEE Transactions on Power Electronics, 2001.

RAMOS F.G; SEIDLER, N. **Estudo da energia eólica para aproveitamento em pequenos empreendimentos.** Disponível em: <<http://www.reitoria.uri.br>> Acesso em: 13 Abr 2013.

ROSSI H. P.; OLIVEIRA. P. C. Disponível em <http://www.pucrs.br/ce-eolica/publica_2010.php> Acesso em: 14 Abr 2013.

SILVA. L. O. **Dossiê técnico: energia eólica.** Distrito Federal: UNB, 2012.

SIQUEIRA, J. A. C. **Desempenho de um sistema híbrido eólico-fotovoltaico de pequeno porte para energização rural.** 2005. 190p. [Tese Doutorado] Agronomia Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Ciências Agrônomicas, Botucatu, 2005. Disponível em: < <http://acervodigital.unesp.br/handle/123456789/50849>>. Acesso em 29 Mai 2011.

TIBOLA, G. **Sistema eólico de pequeno porte para geração de energia elétrica com rastreamento de máxima potência.** [Dissertação Mestrado]. Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, 2009.

VENDRAMINI, E.Z. **Distribuições probabilísticas de velocidades do vento para avaliação do potencial energético eólico.** Botucatu: UNESP, 1986. 110 p. [Tese Doutorado]. Curso de Pós-Graduação em Agronomia, Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, 1986.

APÊNDICE

DIA	DATA	VELOC. DO VENTO	EED	EEG	CP (EEG/EED)	VOLUME BOMBEADO (L)
1	20/12/2013	1,389	1,16	0,12	0,10	1179
2	21/12/2013	1,900	2,36	0,67	0,28	1104
3	22/12/2013	2,218	3,22	0,69	0,21	1154
4	23/12/2013	1,972	2,69	0,63	0,23	1025
5	24/12/2013	1,884	2,84	1,05	0,37	1081
6	25/12/2013	1,925	2,28	0,24	0,11	1006
7	26/12/2013	1,919	2,27	0,13	0,06	961
8	27/12/2013	1,274	1,14	0,35	0,31	805
9	28/12/2013	1,520	2,19	0,78	0,36	356
10	29/12/2013	3,146	7,20	4,60	0,64	639
11	30/12/2013	3,324	8,60	5,98	0,70	907
12	31/12/2013	3,423	11,05	4,94	0,45	1112
13	01/01/2014	4,492	24,11	13,88	0,58	1155
14	02/01/2014	3,130	12,60	4,55	0,36	1161
		Velocidade média				
		2,260	$\Sigma = 83,7$	$\Sigma = 38,6$	33	13645

Velocidade do Vento (m.s^{-1})

EED – Energia Eólica Disponível (W)

EEG – Energia Elétrica Gerada (W)

CP – Coeficiente de Potência (%)

Volume Bombeado (litros)