

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DE UMA MICROTURBINA EÓLICA EM ÁREA
URBANA – ESCOLA DE ENGENHARIA/UFRGS

por

Pierre Oberson de Souza

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Mecânica da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Engenheiro Mecânico.

Porto Alegre, dezembro de 2012.



Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Escola de Engenharia
Departamento de Engenharia Mecânica

VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DE UMA MICROTURBINA EÓLICA EM ÁREA
URBANA – ESCOLA DE ENGENHARIA/UFRGS

por

Pierre Oberson de Souza

ESTA MONOGRAFIA FOI JULGADA ADEQUADA COMO PARTE DOS
REQUISITOS PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE
ENGENHEIRO MECÂNICO
APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELA BANCA EXAMINADORA DO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

Prof. Arnaldo Ruben Gonzalez
Coordenador do Curso de Engenharia Mecânica

Área de Concentração: **Energia e Fenômenos de Transporte**

Orientador: Prof. **Adriane Prisco Petry**

Comissão de Avaliação:

Prof. Bardo Ernst Josef Bodmann

Prof. Daniel Dall'Onder dos Santos

Prof. Sergio Luiz Frey

Porto Alegre, 17 de dezembro de 2012.

SOUZA, P. O. **Viabilidade Técnica e Econômica De Uma Microturbina Eólica em Área Urbana – Escola De Engenharia/UFRGS**. 2012. 15 folhas. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso em Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

RESUMO:

O uso de geradores eólicos de pequeno porte é uma alternativa de energia limpa e barata, considerando os danos ambientais que outros tipos de fontes de energia causam. Pensando nisto o presente trabalho analisa a viabilidade técnica e econômica da instalação de um microgerador eólico no prédio novo da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Para que isto seja possível é feita uma análise do local de possível instalação, munido de dados sobre o vento são analisados diferentes modelos de aerogeradores e com isto são obtidos dados sobre o potencial de produção de energia de cada equipamento. Com os resultados é feita a análise econômica de cada modelo e os resultados são comparados para que seja possível a definição de qual o modelo mais adequado para o local. Posteriormente, são apresentadas alternativas que sejam potencialmente vantajosas para a implementação de aerogeradores na UFRGS.

Palavras-Chave: Aerogerador eólico. Energia alternativa. Viabilidade.

SOUZA, P. O. **Technical and Economic Feasibility of a Small Wind Turbine at Urban Location – School of Engineering/UFRGS**. 2012. 15 folhas. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso em Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

ABSTRACT:

The use of small wind turbines is an alternative energy that is clean and cheap with respect to environmental damage that other types of energy sources cause. With this in mind the present study examines the technical and economic feasibility of installing a wind microgenerator in the new building of the School of Engineering of the Federal University of Rio Grande do Sul. To this end, an analysis of the possible location of installation is made and provided with wind data the different models of wind turbines are analyzed so that the data of each device are obtained. With the results, an economic analysis is made of each model and the results are compared so that is possible to define which model is most appropriate for the site. Finally are alternatives presented that are potentially advantageous for the implementation of wind turbines at UFRGS.

Keywords: Wind turbines. Alternative energy. Feasibility.

INDICE:

1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS.....	1
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	1
3.1 Potência do Vento	1
3.2 Velocidade do Vento Conforme a Altura.....	2
3.3 Distribuição da Frequência do Vento.....	3
3.4 Energia Produzida pelo Aerogerador.....	3
3.3 Fator de Capacidade.....	3
4. METODOLOGIA	4
4.1 Análise do Local.....	4
4.1.1. Definição do Local.....	4
4.1.2. Dados sobre o Vento.....	5
4.2 Definição do Equipamento.....	6
4.2.1. Cálculo da Energia.....	7
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	9
5.1 Viabilidade Econômica.....	9
6. CONCLUSÕES	11
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	12
APÊNDICES	13
Apêndice I	13
Apêndice II	13
Apêndice III	14
Apêndice IV.....	14
Apêndice V.....	15
Apêndice VI.....	15

1. INTRODUÇÃO:

Utilizar energia vinda do vento pode parecer uma idéia moderna, porém isto já é realizado há muito tempo, existindo referências sobre o uso de moinhos de vento que datam do século X dC. Com o descobrimento da energia elétrica, logo foram criadas tecnologias que possibilitaram a transformação da energia eólica em elétrica, contudo, a mesma só começou a ser considerada viável nas décadas de 1970 e 1980, devido às crises do petróleo e da rejeição a energia nuclear.

Ammonit, 2012, explica que hoje, este tipo de energia é bastante aceito e pode ser considerado economicamente viável em muitos casos, se considerados o local de instalação e principalmente os danos ambientais, uma vez que a energia eólica é extremamente limpa em comparação as fontes energéticas usuais. Alguns países são grandes utilizadores da energia eólica com aerogeradores, como por exemplo, a Dinamarca que possui 28% de toda sua energia vinda de aerogeradores eólicos, assim como diversos outros países que estão utilizando esta forma de energia, especialmente com o uso de aerogeradores de grande porte, como participação importante em suas matrizes energéticas. No Brasil, assim como em diversos outros países, existem incentivos para que sejam implantados modelos de energia limpa, tornando economicamente atrativo o uso deste tipo de tecnologia.

Diante deste crescimento na tendência de utilização de energias eólicas, o presente estudo pretende analisar a viabilidade técnica e econômica de sua utilização em uma realidade corriqueira, sendo esta a instalação de uma microturbina eólica no Prédio Novo da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

2. OBJETIVOS:

O objetivo deste estudo é verificar a viabilidade técnica e econômica da instalação de uma microturbina eólica no topo do Prédio Novo da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Ainda, pretende-se com a presente pesquisa apresentar alternativas de locações e instalações viáveis caso não seja constatada a viabilidade da instalação da microturbina no local escolhido.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA:

O uso de aerogeradores eólicos consiste na transformação da energia cinética do ar, que é o vento, em energia elétrica. O vento é resultado de diferentes fatores, mas basicamente consiste na busca pelo equilíbrio de pressões, pois em razão da variação de incidência de sol conforme o ponto no globo há diferenças de temperatura, gerando movimentos de ar (CUSTÓDIO 2002) que também são afetados pelo movimento de rotação da terra.

3.1. Potencia do Vento:

A potência disponível no vento pode ser calculada e é função da velocidade que incide no gerador, a área do rotor e a massa específica do ar, portanto a potência do vento pode ser obtida por meio da seguinte equação:

$$P = \frac{1}{2} \rho \cdot A \cdot v^3 \quad (3.1)$$

Onde:

P – Potencia do vento [W]

ρ – Massa específica do ar [kg/m³]

A – Área de seção transversal do rotor [m²]

v – Velocidade do vento [m/s]

Porém, como destaca Custódio, 2009, nem toda a energia do vento pode ser transformada em energia elétrica, pois para haver uma eficiência de 100% a velocidade do ar após a turbina deveria ser igual a zero, porém isto não é possível. Portanto esta parcela, em uma turbina eólica ideal, representa 16/27 da potência total, sendo este valor dado pela Lei de Betz. Portanto, tem-se a potência máxima de uma turbina eólica dada como:

$$P_{MÁX} = \frac{16}{27} P \quad (3.2)$$

Onde:

$P_{MÁX}$ – Potência máxima [W]

P – Potência do vento [W]

Este valor de potência máxima só é possível em uma turbina ideal, por isto temos o coeficiente de potência, que representa a relação entre a potência extraída e a potência disponível. Com isto temos o coeficiente de potência C_P dado por:

$$C_P = \frac{P_E}{\frac{1}{2} \rho A v^3} \quad (3.3)$$

Onde:

C_P – Coeficiente de potência

P_E – Potencia extraída pela turbina [W]

ρ – Massa específica do ar [kg/m³]

A – Área de seção transversal do rotor [m²]

v – Velocidade do vento [m/s]

Vale ressaltar que em uma turbina ideal o coeficiente de potência não seria 1, mas sim 59,3%, sendo que as turbinas de grande porte têm coeficientes de potência de até 50%.

3.2. Velocidade do vento conforme a altura:

Os dados sobre vento para aproveitamento eólico geralmente são obtidos para a altura de 50 metros. Como ressalta Ludwig, 2011, para termos os valores correspondentes a outras alturas podemos utilizar a seguinte relação fenomenológica:

$$\frac{V_{(1)}}{V_{(2)}} = \frac{\ln\left(\frac{h_{(1)}}{z_0}\right)}{\ln\left(\frac{h_{(2)}}{z_0}\right)} \quad (3.4)$$

Onde os índices 1 e 2 indicam os diferentes pontos de estudo da velocidade e da altura, z_0 é a altura de rugosidade do terreno, dada em metros. Com esta relação, munido da velocidade do vento em uma altura de referência, é possível estimar a velocidade do vento em altura diversa.

Para que seja considerada a variação da velocidade do vento com o tempo, é necessário que dados experimentais sejam tratados estatisticamente. A função de distribuição de Weibull é a que mais usualmente se adapta aos dados de vento, sendo ela determinada por dois fatores, os quais são discutidos a seguir.

Os fatores “ c ” e “ k ” que representam, respectivamente, a escala de distribuição - dada na unidade de velocidade do vento - e o fator de forma do vento - onde quanto maior o valor de “ k ” menor é o desvio padrão da distribuição de frequências da velocidade do vento. Este fato pode ser visto na figura 3.1, que mostra a variação da distribuição de Weibull devido a alteração do fator “ k ”. Estes fatores também devem ser adequados para a altura da estudo, para isto seguem as seguintes relações:

$$c_h = c_{ref} \cdot \left(\frac{h}{h_{ref}} \right)^n \quad (3.5)$$

Sendo,

$$n = \frac{0,37 - 0,088 \cdot \ln(c_{ref})}{1 - 0,088 \cdot \ln\left(\frac{h_{ref}}{10}\right)} \quad (3.6)$$

$$k_h = k_{ref} \cdot \frac{1 - 0,088 \cdot \ln\left(\frac{h_{ref}}{10}\right)}{1 - 0,088 \cdot \ln\left(\frac{h}{10}\right)} \quad (3.7)$$

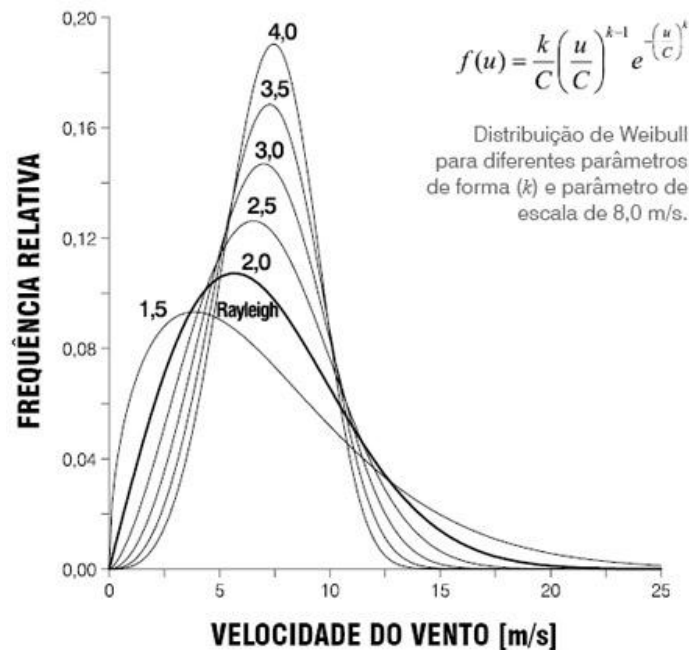


Figura 3.1 – Variação da distribuição de Weibull conforme “k”. Fonte: Atlas Eólico do Espírito Santo.

3.3 Distribuição de frequência do vento:

A distribuição da velocidade do vento é geralmente representada por uma função de densidade de probabilidade, sendo que a mais utilizada é a distribuição de Weibull, que é dada por:

$$f(v) = \frac{k}{c} \left(\frac{v}{c} \right)^{k-1} e^{-\left(\frac{v}{c}\right)^k} \quad (3.9)$$

Onde os fatores “c” e “k” são respectivamente os fatores de escala e de forma.

3.4. Energia produzida pelo aerogerador:

Cada aerogerador possui uma curva de potência, que representa a quantidade de potência que é convertida para cada velocidade de vento. Para que seja possível calcular a energia gerada em certo intervalo de tempo deve-se utilizar a integral da potência no intervalo de tempo:

$$E = \int_t P(v(t)) dt \quad (3.8)$$

Onde:

E – Energia gerada no intervalo de tempo t

$P(v(t))$ - Potência em função da velocidade do vento (retirado da curva de potência)

3.5. Fator de capacidade:

Para a seleção do aerogerador mais adequado, um ponto importante é o fator de capacidade da turbina, que é dado por:

$$FC = \frac{E_P}{E_N} \quad (3.10)$$

Onde E_P é a energia pretendida, que depende da distribuição dos ventos no local e das características do equipamento, e E_N é a energia que seria gerada pela máquina no mesmo intervalo de tempo trabalhando em sua potência nominal. Este valor, segundo Petry e Mattuella, 2007, pode ser considerado como o indicativo de qualidade do projeto em termos de potencial eólico e eficiência de instalação do aerogerador selecionado.

4. METODOLOGIA

4.1. Análise do Local

4.1.1 Definição do local

O local escolhido para a acomodação da microturbina é o prédio novo da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, localizado na Avenida Osvaldo Aranha, número 99, Campus Centro/UFRGS, na cidade de Porto Alegre/RS.

Este prédio tem sete andares, com o terraço ficando a uma altura de 36,8 metros em relação ao solo e 58,8 metros em relação ao nível do mar. A seguir será realizada uma análise do vento na região bem como seu potencial energético. Na figura 1.1 pode-se ver a localização do prédio escolhido. Nos apêndices estão fotos do local, as quais mostram em mais detalhes o local mais adequado para a instalação do aerogerador.

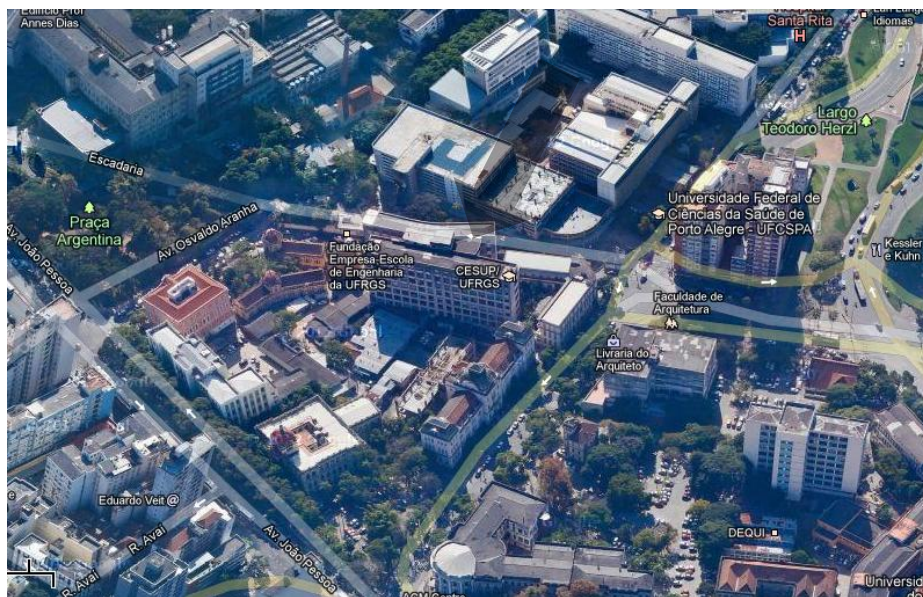


Figura 4.1- Localização do prédio novo da Escola de Engenharia.

4.1.2. Dados sobre o vento

Para que seja possível analisar o potencial eólico de certo local são necessários dados sobre a incidência de vento no ponto desejado e, para isto, podem-se fazer medições no próprio local ou retirar dados sobre a região (BORGES, 2009). A primeira opção certamente é mais precisa, pois apresenta dados sobre o ponto exato em que se deseja saber a real incidência do vento, porém, para que a medição seja eficiente ela deve abranger uma amostragem adequada, o que não é factível no período de realização deste trabalho (BORGES, 2009). Em razão disso, o presente trabalho apresenta dados sobre ventos retirados do *Atlas do Potencial Eólico Brasileiro*, que é fornecido pelo Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito (CRESESB). Neste atlas são providos dados sobre a velocidade média do vento durante o ano à uma altura de 50 metros do solo, bem como os fatores “c” e “k”.

A seguir serão vistos os dados sobre o vento na região onde se deseja instalar a turbina eólica. Estes dados fornecem as médias de vento ao longo do ano bem como os fatores “c” e “k”:

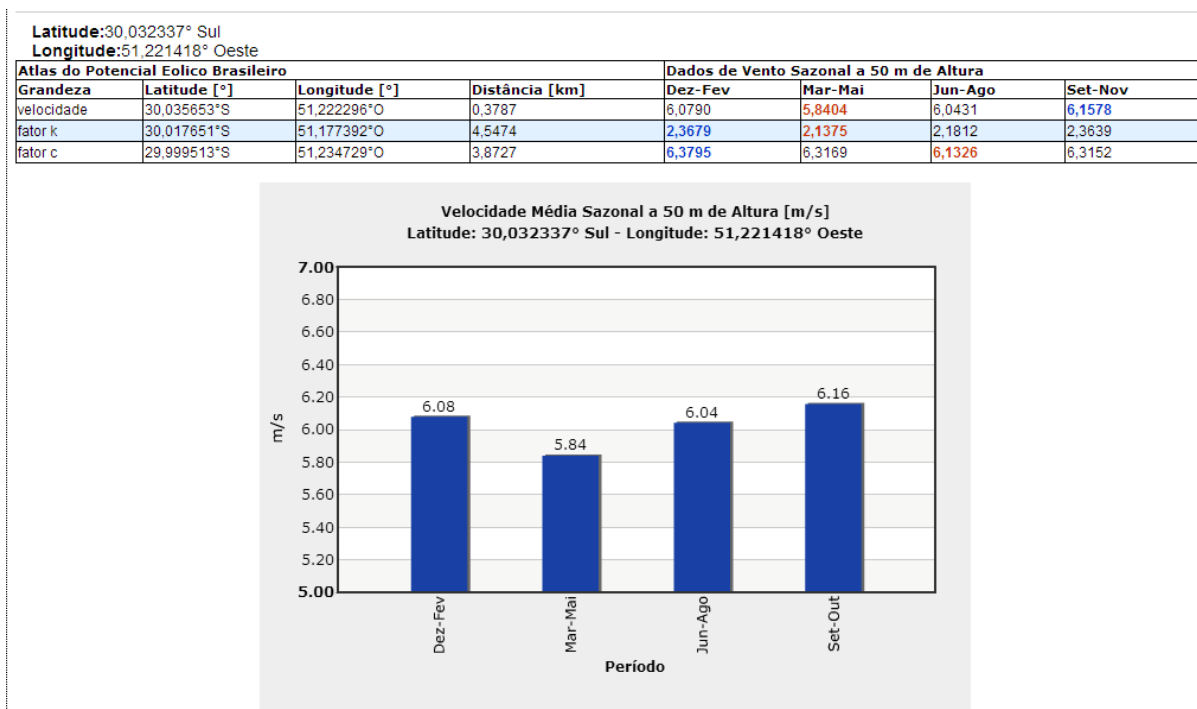


Figura 4.2 - Dados sobre o vento na região de estudo. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/atlas_eolico/index.php#data>. Acesso em: 08/10/2012.

Munido dos dados relativos ao vento na região, é possível, por meio das equações 3.5, 3.6, 3.7 e 3.9, a obtenção das distribuições de Weibull e Rayleigh para esta região na altura do aerogerador, sendo que as três primeiras tem o objetivo de ajustar os fatores “c” e “k” para a altura desejada. Este gráfico pode ser visto no gráfico 4.1 a seguir:

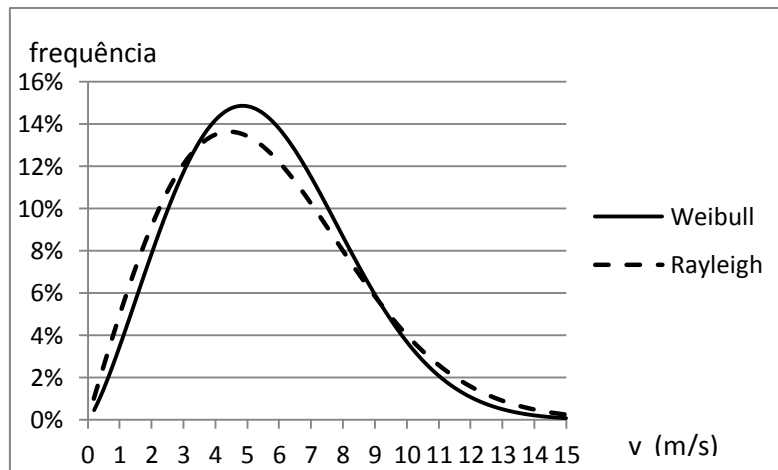


Gráfico 4.1 - Distribuições de vento de Weibull e Rayleigh para a região de estudo

4.2. Definição do equipamento

Existem diversas tecnologias que podem ser empregadas em um projeto como este. A fim de tornar o estudo o mais objetivo possível, foram pré-selecionados três turbinas eólicas que são produzidas em série pela empresa ENERSUD. As turbinas pré-selecionadas têm velocidade de partida de 2,2 m/s, o que a princípio é adequado para o local, e têm potências que variam de 350W até 6kW; todos os modelos escolhidos podem ser conectados diretamente à rede elétrica do prédio em um sistema chamado de “Grid –Tie”, o qual possibilita interligar o sistema eólico a rede da concessionária. Os aerogeradores pré-selecionados são:

350 W – Notus 138

1 kW – Gerar 246

6 kw – Verne 555

Os três aerogeradores são considerados de pequeno porte, porém o último (Verne 555) é significativamente maior que os dois primeiros, tendo o diâmetro das pás igual a 5,5 metros, o que torna mais complexa a sua instalação no local indicado, porém foi considerado adequado avaliar esta possibilidade para tornar o trabalho o mais abrangente possível.

As especificações de cada aerogerador foram fornecidas pela Enersud. Nelas estão as curvas de potência e as demais características relevantes de cada tecnologia. Abaixo podemos ver as curvas de potência de cada aerogerador compiladas em um mesmo gráfico:

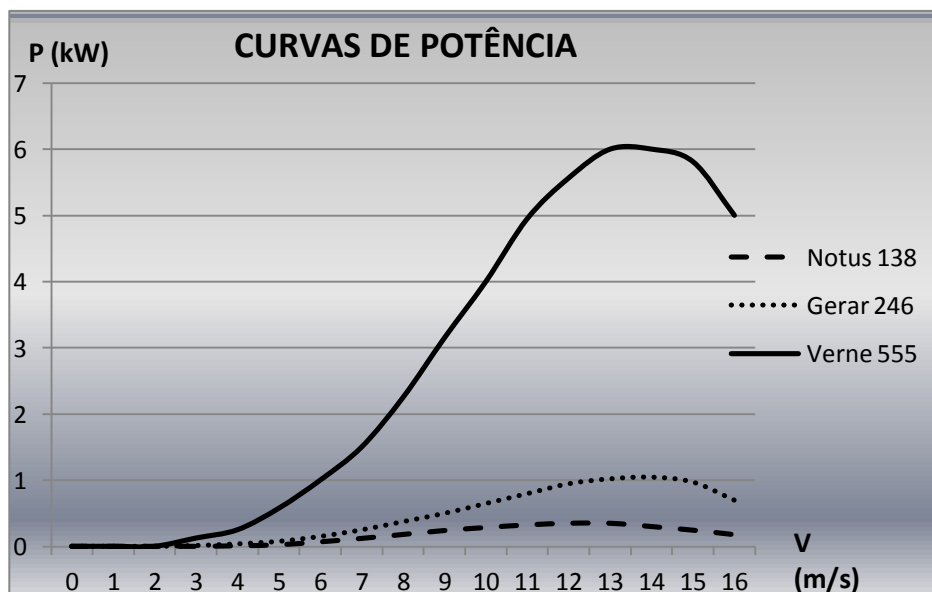


Gráfico 4.2 - Curvas de potência dos diferentes aerogeradores da empresa Enersud

4.2.1. Cálculo da energia

Munido das curvas de potência, dos dados sobre a distribuição do vento e sobre o local (altura em relação ao solo e altitude) é possível verificar a energia que se pretende obter de cada aerogerador através do software livre "ALWIN" (PETRY et. al., 2007). O software citado fornece a energia obtida para cada modelo ao passar de um ano. Isto é possível pois o software "ALWIN" utiliza as equações 3.8 e 3.9. O local de estudo pode ser considerado uma área densamente ocupada, com prédios de altura regular, por isto foi utilizada a altura de rugosidade $z_0=1,2\text{m}$ (FERREIRA, 2009). Estes resultados são mostrados através das imagens dos gráficos a seguir. As curvas de potência foram inseridas manualmente no software e podem ser vistas nos apêndices do trabalho, onde também são vistas as curvas de distribuição de vento obtidas no mesmo software. Nas figuras a seguir o fator de forma "k" é denominado pelo software como "c", e o fator de escala "c" é denominado pelo software com "a".

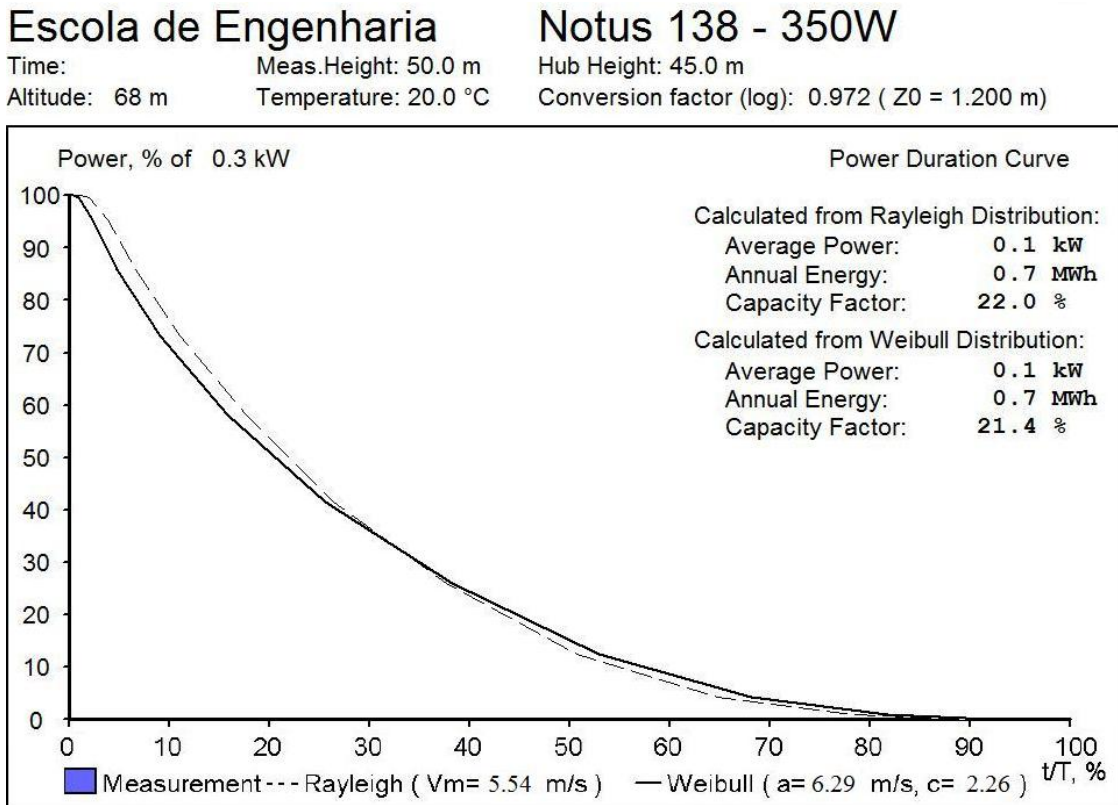


Figura 4.3 - Previsão de energia produzida pela turbina Notus 138

Escola de Engenharia

Gerar 246 - 1kW

Time: Meas.Height: 50.0 m
 Altitude: 68 m Temperature: 20.0 °C

Hub Height: 45.0 m
 Conversion factor (log): 0.972 (Z0 = 1.200 m)

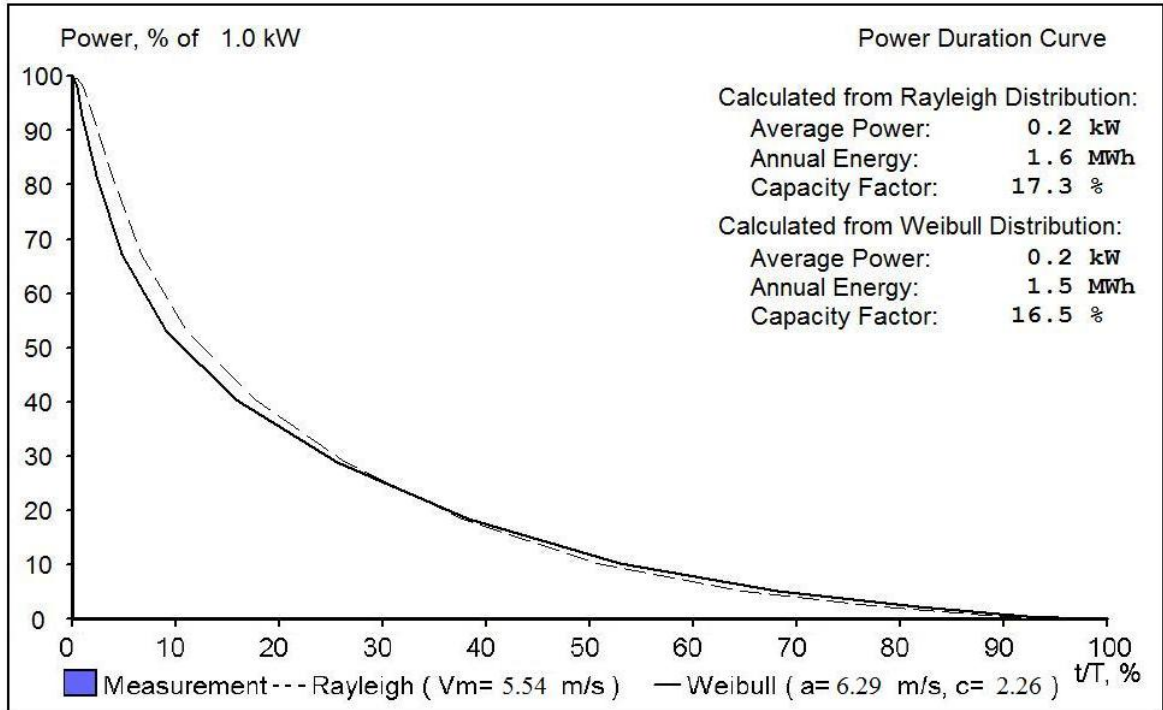


Figura 4.4 - Previsão de energia produzida pela turbina Gerar 246

Escola de Engenharia

Verne 555 - 6kW

Time: Meas.Height: 50.0 m
 Altitude: 68 m Temperature: 20.0 °C

Hub Height: 45.0 m
 Conversion factor (log): 0.972 (Z0 = 1.200 m)

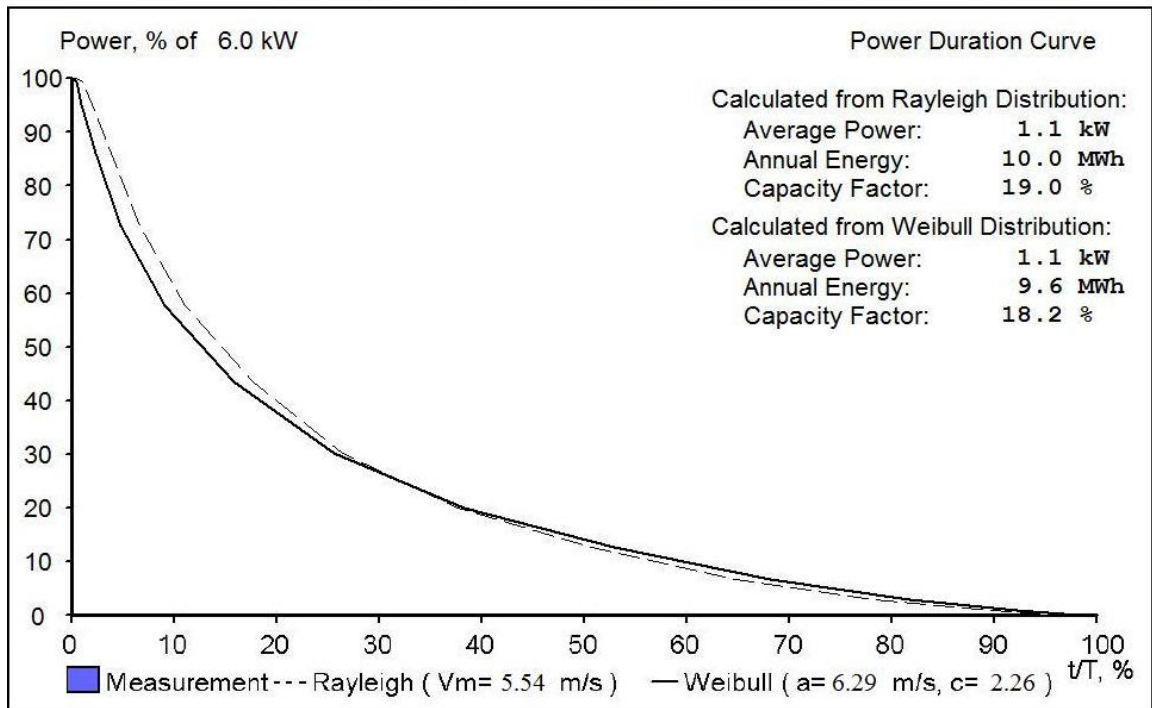


Figura 4.5 - Previsão de energia produzida pela turbina Verne 555

5. RESULTADO E DISCUSSÕES

5.1. Viabilidade Econômica

Foi fornecido pelo fornecedor um orçamento preliminar para cada aerogerador. Com estes dados é possível analisar o resultado econômico ao longo de 15 anos, que é a previsão de vida útil para os modelos estudados. Para que esta análise seja adequada, é utilizado o VPL (Valor Presente Líquido) para cada modelo e com este valor é possível prever se o resultado é positivo ($VPL > 0$) ou se não é viável ($VPL < 0$).

Para encontrar este valor, são estimados os ganhos a cada ano com o uso de cada aerogerador (economia de energia), e o custo de compra e instalação (investimento). Em uma análise preliminar não são considerados custos com manutenção e obras civis necessárias para a instalação dos modelos escolhidos. Tal metodologia é uma alternativa para simplificar o fluxo de caixa em um primeiro momento. Se o VPL for negativo mesmo com estes custos desconsiderados não se faz necessária uma abordagem mais detalhada, que só tornaria o VPL ainda mais negativo.

A seguir temos os fluxos de caixa simplificados para cada aerogerador e os respectivos VPL's, onde o custo de 1MWh é considerado de 360 reais, o qual é calculado através do valor médio ponderado entre os valores da energia elétrica em horário de ponta e fora de ponta. Tanto é necessário pois a UFRGS é tarifada na classe A4, tarifa verde (valor calculado a partir de dados fornecidos pela prefeitura do Campus do Vale).

Tabela 5.1 - Fluxo de caixa para os diferentes modelos de aerogeradores

	NOTUS 138			GERAR 246			VERNE 555		
	GASTOS	RECEITAS	TOTAL	GASTOS	RECEITAS	TOTAL	GASTOS	RECEITAS	TOTAL
INICIAL	18000		-18000	30000		-30000	95000		-95000
ANO 1		256	256		548	548		3504	3504
ANO 2		256	256		548	548		3504	3504
ANO 3		256	256		548	548		3504	3504
ANO 4		256	256		548	548		3504	3504
ANO 5		256	256		548	548		3504	3504
ANO 6		256	256		548	548		3504	3504
ANO 7		256	256		548	548		3504	3504
ANO 8		256	256		548	548		3504	3504
ANO 9		256	256		548	548		3504	3504
ANO 10		256	256		548	548		3504	3504
ANO 11		256	256		548	548		3504	3504
ANO 12		256	256		548	548		3504	3504
ANO 13		256	256		548	548		3504	3504
ANO 14		256	256		548	548		3504	3504
ANO 15		256	256		548	548		3504	3504
VPL	-R\$ 14.167,50			-R\$ 21.787,50			-R\$ 42.440,00		

Como pode ser visto no fluxo de caixa acima apresentado, os VPL's são negativos, o que torna desnecessária uma análise mais complexa de custos e demonstra que economicamente não é adequada a implementação desta tecnologia no local indicado. No próximo capítulo são indicadas alternativas que tornem o projeto possível, bem como uma análise de outros aspectos que podem ser considerados.

Outra forma de avaliar qual a tecnologia é a mais adequada é apresentada no gráfico de sensibilidade, que é apresentado na figura 5.1, o qual mostra qual deve ser o fator de capacidade de cada aerogerador para que os mesmos sejam economicamente viáveis. Neste gráfico é possível visualizar a influência do preço da energia elétrica, pois são colocadas curvas para diferentes tributações. Portanto, pode-se ver no gráfico a seguir, no eixo "x", o valor por potência nominal dos diferentes aerogeradores, onde é dividido o custo do equipamento por sua potência, e no eixo "y", tem-se o fator de capacidade. Pode-se, portanto, ver onde se localizam no gráfico os pontos reais de cada modelo de aerogerador. Observando o gráfico é possível perceber que para alcançar a viabilidade econômica seriam necessários fatores de capacidade mais elevados que os obtidos, ou então o preço da energia elétrica deveria ser mais elevado que o atual.

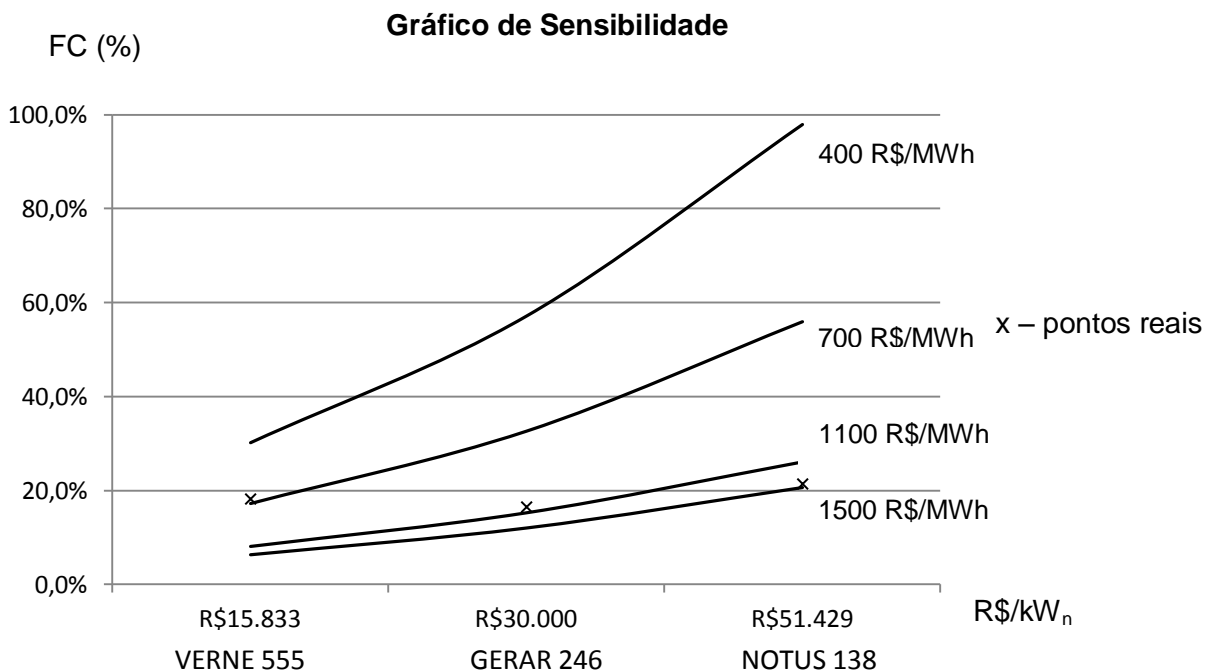


Figura 5.1 - Sensibilidade dos diferentes aerogeradores em relação ao preço da energia elétrica

Observando-se o gráfico acima é possível observar claramente que o modelo mais eficiente economicamente é o Verne 555, pois seu custo por unidade de energia é significativamente mais baixo que os outros modelos apresentados. O modelo Verne 555 seria viável economicamente se o preço da energia elétrica fosse de 700 R\$/MWh, enquanto os outros modelos só seriam viáveis com preços acima de 1000 R\$/MWh, o que ratifica a maior eficiência do aerogerador Verne 555. Outra forma de verificar a maior viabilidade do modelo Verne 555 é observando-se o fator de capacidade, pois se o mesmo fosse de aproximadamente 32% este modelo seria viável a um preço de 400 R\$/MWh, enquanto os outros modelos, para o mesmo preço de energia teriam que ter fatores de capacidade maiores que 50%.

6. CONCLUSÕES

Como observado no capítulo anterior, o uso da energia eólica no local indicado não é uma alternativa energética satisfatória, o que acontece em grande parte devido ao baixo preço da energia elétrica e aos baixos fatores de capacidade. Porém, não foram levados em consideração os ganhos em publicidade que a Universidade teria com este projeto, uma vez que muitas empresas utilizam como forma de marketing o uso de energias renováveis e a preocupação com o meio ambiente, tendo resultados extremamente satisfatórios. Portanto seria adequada uma análise que levasse em conta estes ganhos, mesmo que de difícil mensuração.

Neste trabalho, pôde ser observado que o ponto negativo do local escolhido é a baixa incidência de vento, portanto uma alternativa seria a busca por um local mais alto, o que proporcionaria uma grande possibilidade de maiores velocidades de vento. Outro ponto relevante é a possibilidade de medições mais precisas da velocidade do vento no local, porém o custo destas medições é muito elevado em relação ao preço das turbinas. Estes fatos tornam as tecnologias existentes no mercado inadequadas. Tal conclusão mostra um campo de estudo extremamente promissor, pois certamente o desenvolvimento de aerogeradores para baixas velocidades seria facilmente aceito no mercado e tornaria a microgeração de energia eólica mais viável economicamente. Outra alternativa para viabilizar o projeto na UFRGS seria a busca por um local mais adequado, sendo algumas das opções o prédio da Faculdade de Educação e o Campus do Vale, que como pode ser visto no gráfico 6.1, o qual sobrepõe as distribuições de Weibull no prédio da Escola de Engenharia e no Campus do Vale, tem maiores incidências de vento.

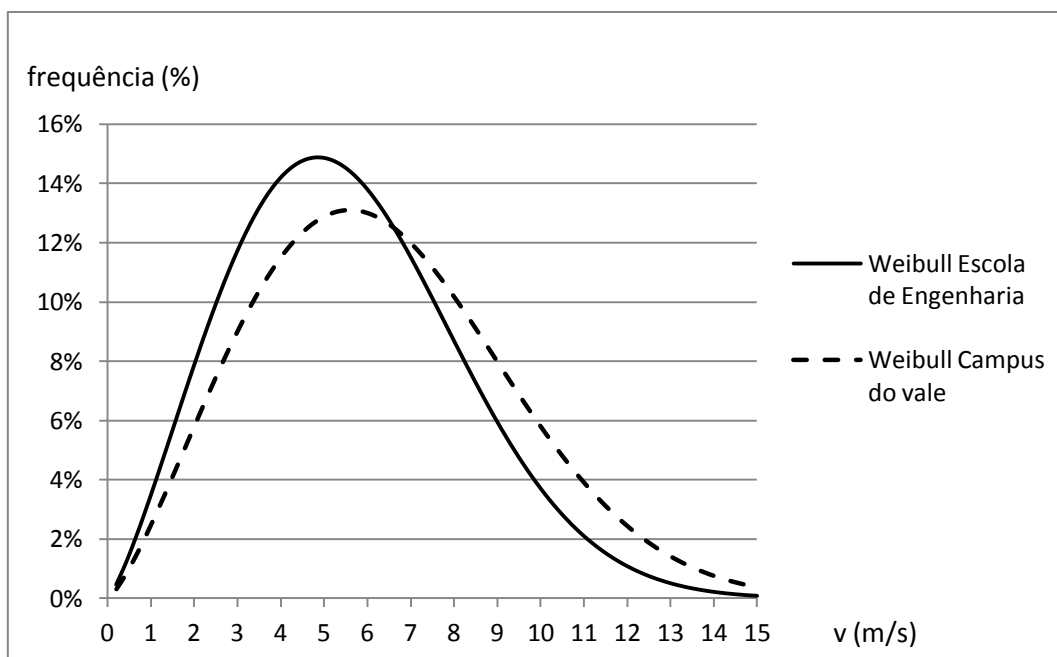


Figura 6.1 - Distribuições de Weibull na Escola de Engenharia e no Campus do Vale

Pode-se concluir, portanto, que no local de estudo a instalação de um aerogerador eólico apenas seria adequada se o objetivo fosse a divulgação e incentivo a estudos acadêmicos sobre o tema. Por outro lado, um estudo similar na região do Campus do Vale seria de grande valia, principalmente com o modelo "Verne 555", que se mostrou como sendo uma tecnologia mais viável que as outras e seria de fácil instalação neste local, pois há muito espaço, tornando possível a instalação do aerogerador diretamente no solo, e não sobre um prédio.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMMONIT. “**O que é energia eólica?**”. Disponível em: <<http://www.ammonit.com/energia-eolica/energia-eolica#top>>. Acesso em: 16 de setembro de 2012.

AMARANTE, O. A.C., BROWER, M., SA, A.L., ZACK, J. “**Atlas do Potencial Eólico Brasileiro**”. Brasília, 2011. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/index.php?task=livro&cid=1>>. Acesso em: 20 de setembro de 2012.

BORGES, L. C. “**Estudo de viabilidade técnica e econômica de energia elétrica distribuída utilizando pequenos aerogeradores: análise dos principais aspectos para ampliar a viabilidade**”, monografia de conclusão de curso em Engenharia Mecânica/UFRGS. Porto Alegre, 2009

CUSTÓDIO, R.S. “**Energia eólica para produção de energia elétrica, Eletrobrás**”. Rio de Janeiro, 2009.

DEUTSCHES WINDENERGIE-INSTITUT, AMMONIT GESELLSCHAFT FÜR MESSTECHNIKMBH. Alwin MFC, versão 1.0.0.1. Berlin.

ESPÍRITO SANTO. “**Atlas Eólico do Espírito Santo**”. Vitória, 2009. Disponível em: <<http://www.aspe.es.gov.br/atlaseolico/>>. Acesso em: 06 de outubro de 2012.

FERREIRA, D. G. “**O uso do solo e os padrões de vento: O caso da cidade de Belo Horizonte, MG**”, dissertação de mestrado em Arquitetura/UFMG. Belo Horizonte 2009.

LUDWIG, D. E. “**Análise numérica da influência de fatores atmosféricos na esteira aerodinâmica de turbinas eólicas**”, dissertação de mestrado em Engenharia Mecânica/UFRGS. Porto Alegre, 2011.

PETRY, A. P., MATTUELLA, J. M. L., “**Análise do Potencial Eólico e Estimativa da Geração de Energia Empregando o “Software” Livre Alwin**”. Porto Alegre, 2007.

APÊNDICES:

Apêndice I - Imagem aérea do local escolhido para instalação da microturbina eólica

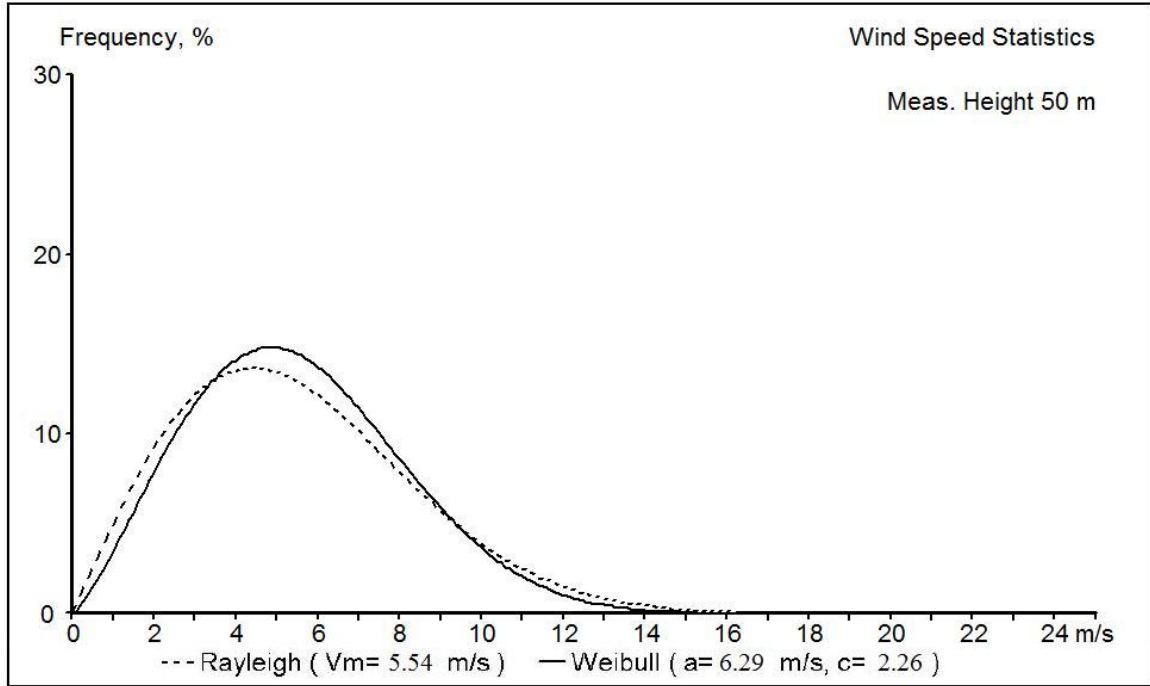


Apêndice II - Fotografia do local escolhido para instalação da microturbina eólica



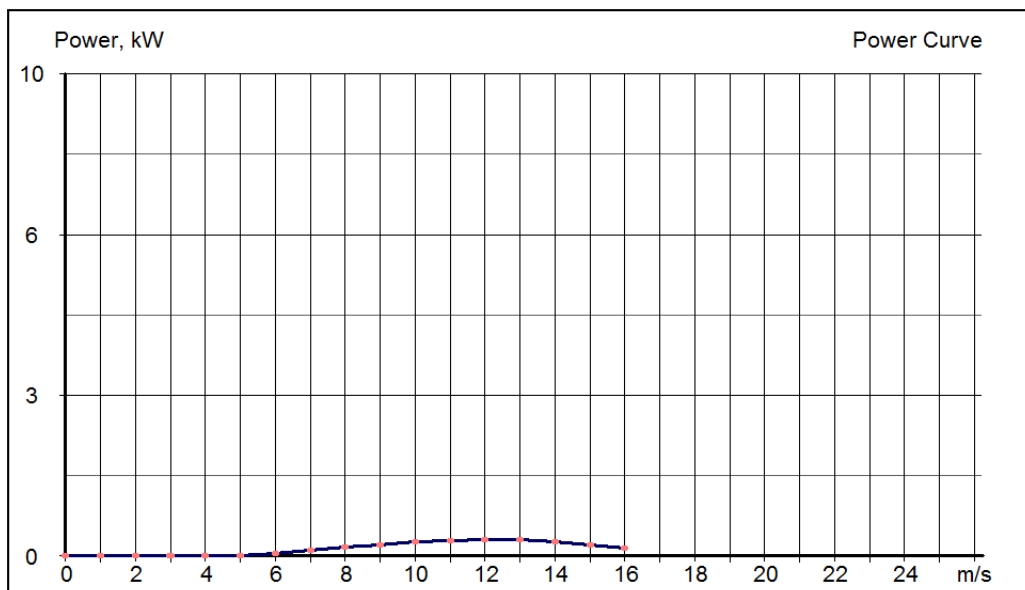
Apêndice III - Gráfico da distribuição do vento no local escolhido para instalação da microturbina eólica obtido pelo software "ALWIN"

Site: **Escola de Engenharia** Altitude: 68 m
Start Meas.: Temperature: 20.0 °C
No. of Averages: 0 days (à min.)



Apêndice IV – Gráfico da Curva de Potência da Microturbina Notus 138 inserido no software "ALWIN"

Wind Energy Converter: **Notus 138 - 350W** Catalog: c:/ammonit/alwin/catalogs/wka_demo.cat
Hub Height: 43.0 m
Control: PITCH



Apêndice V - Gráfico da curva de potência da microturbina Gerar 246 inserido no software
"ALWIN"

Page 5

Wind Energy Converter:

Gerar 246 - 1kW

Catalog:

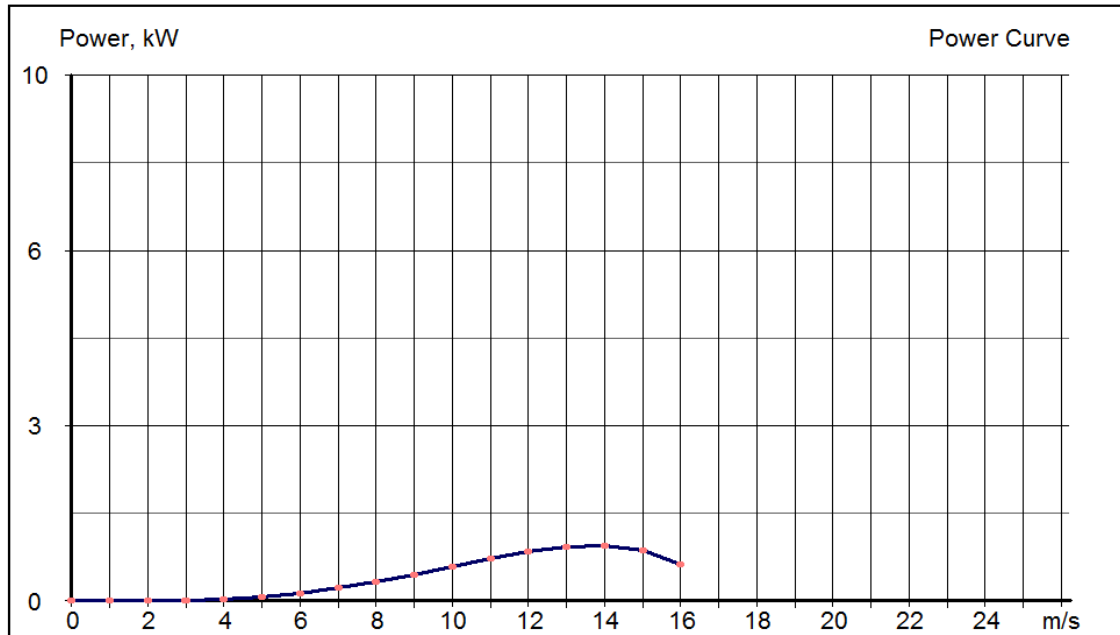
c:/ammonit/alwin/catalogs/wka_demo.cat

Hub Height:

43.0 m

Control:

PITCH



Apêndice VI - Gráfico da curva de potência da microturbina Verne 555 inserido no software
"ALWIN"

Page 5

Wind Energy Converter:

Verne 555 - 6kW

Catalog:

c:/ammonit/alwin/catalogs/wka_demo.cat

Hub Height:

43.0 m

Control:

PITCH

