

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

COORDENAÇÃO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

CURSO SUPERIOR DE ENGENHARIA ELÉTRICA

FÁBIO ROSSONI

**ESTUDO DA VIABILIDADE TÉCNICA PARA IMPLANTAÇÃO DE PARQUE
EÓLICO NA MICROREGIÃO SUDOESTE DO PARANÁ E OESTE DE
SANTA CATARINA**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

PATO BRANCO

2013

FÁBIO ROSSONI

**ESTUDO DA VIABILIDADE TÉCNICA PARA IMPLANTAÇÃO DE
PARQUE EÓLICO NA MICROREGIÃO SUDOESTE DO PARANÁ E
OESTE DE SANTA CATARINA**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso, do Curso de Engenharia Elétrica da Coordenação de Engenharia Elétrica – COELT – da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Campus Pato Branco, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro.

Orientador: Prof. Dr. Emerson G. Carati

PATO BRANCO

2013

TERMO DE APROVAÇÃO

O trabalho de Diplomação intitulado **Estudo da Viabilidade Técnica Para Implantação de Parque Eólico na Microregião Sudoeste do Paraná e Oeste de Santa Catarina** do aluno **FÁBIO ROSSONI** foi considerado **APROVADO** de acordo com a ata da banca examinadora N° **33** de 2013.

Fizeram parte da banca os professores:

Prof°. Emerson Giovani Carati

Prof°. Miguel Moreto

Prof°. César Augusto Portolann

AGRADECIMENTOS

Agradeço a toda minha família pelo empenho e ajuda, durante o período do curso, fornecendo todo o suporte para se conciliar os horários de estudo, com o trabalho. A todos os professores que sempre se mostraram presente e prontos para auxiliar nas horas de dúvidas e conselhos para encaminhamento para resolução dos problemas.

RESUMO

ROSSONI, Fabio. Estudo da Viabilidade Técnica para Implantação de Parque Eólico na microrregião Sudoeste do Paraná e Oeste de Santa Catarina. 2013. 57 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2013.

Este trabalho busca avaliar a viabilidade técnica para implantação de um parque de geração de energia elétrica através de geradores eólicos, entre as regiões Oeste de Santa Catarina e Sudoeste do Paraná. São tratados os dois principais fatores que devem ser analisados, antes da implantação de um parque de geração, são abordados fatores como intensidade de ventos, rugosidade da região, vias de acesso para equipamentos, os principais relatórios ambientais necessários, e redes de distribuição para conexão do parque de geração, até os consumidores finais. A energia dos ventos é uma das alternativas que vem se mostrando cada vez mais forte e necessária para segurança de nossa matriz energética, tendo em vista que em épocas de estiagem os ventos tem maior intensidade. O Brasil é um país de grande extensão territorial, e em algumas regiões apresenta um potencial de ventos favoráveis a implantação de usinas eólicas, o que torna ainda mais interessante se pensar no aproveitamento da energia dos ventos.

Palavras-chave: Energia Eólica, Aerogeradores, Análise de Viabilidade.

ABSTRACT

ROSSONI, Fabio. Study Technical Feasibility for the Implementation of Wind Farm in the micro Southwest of Paraná and Santa Catarina West. 2013. 58 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2013.

This work sought to determine the technical feasibility to implement a park generation of electricity through wind generators, between the regions west of Santa Catarina and Paraná Southwest. Are treated the main factors that must be analyzed before the implementation of a generation park, are addressed factors such as intensity of winds, surface roughness of the area, access roads for equipment, the main environmental reports required, and distribution networks to connect the generation park, to the final consumers. The wind energy is one alternative that is proving increasingly strong and necessary for the security of our energy supply, considering that in times of drought the winds are strongest. Brazil is a country with a large territory, and in some regions presents a potencial of favorable winds deployment of wind farms, which makes it even more interesting to think about the use of wind energy.

Keywords: Wind Energy, Wind Turbines, Feasibility Analysis.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1- Crescimento da potência eólica instalada entre 2011-2012.....	17
Figura 2.2 – Atlas Eólico Brasileiro.....	19
Figura 2.3 - Mapa dos Ventos com Foco na Região em Interesse.....	22
Figura 2.4 - Distribuição de Weibull de acordo com o k	24
Figura 2.5 – Deslocamento de uma massa de ar em uma turbina eólica.....	24
Figura 3.1 - Diagrama de sequência para aprovação de relatórios.....	29
Figura 3.2 - Diagrama de sequência implementação do projeto.	30
Figura 3.3 – Torre anemométrica.	32
Figura 3.4 – Análise dos perfis de vento.	33
Figura 3.5 – Regime de velocidade diário.	34
Figura 3.6 (a)– Gráfico de ocorrência da velocidade.....	35
Figura 3.6 (b) – Gráfico de sentido da velocidade.....	35
Figura 3.7 – Gráfico de distribuição de Weibull, para o projeto em Ane1.....	36
Figura 3.8 – Gráfico de distribuição de Weibull, para o projeto em Ane2.....	36
Figura 3.9 – Gráfico de distribuição de Weibull, para o projeto em Ane3.....	37
Figura 3.10 – Curva de potência em função da velocidade do vento para a máquina empregada.	39
Figura 3.11 - Localização do Parque (Mapa Rodoviário Estadual – DNIT 2002).	41
Figura 3.12 - Foto Google Maps de área Das Torres de Geração.	41
Figura 3.13 – Limites de território entre os estados de Santa Catarina e Paraná.	42
Figura 3.14 – Estrada principal de acesso.	42
Figura 3.15 – Vias de acesso.....	43

Figura 3.16 – Aproximação do acesso ao parque eólico.....	43
Figura 3.17 – Relevo do parque eólico.....	44
Figura 3.18 – Vista de aproximação ao acesso 2.....	45
Figura 3.19 – Vista de relevo ao acesso 2.	45
Figura 3.20 – Aproximação ao acesso 3.	46
Figura 3.21 – Vista do relevo de acesso 3.	46
Figura 3.22 - Distancia Aproximada entre subestação de energia da cidade até SC-473, rodovia que dá acesso a estrada vicinal que leva até a área em estudo.	47
Figura 3.23 - Visualização da localização da subestação de energia da cidade até o ponto de chegada a SC-473	48
Figura 3.24 – Alocação dos aerogeradores.	48

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Principais capacidades de energia eólica instalada no mundo 2011/2012 (MW).	17
Tabela 2- Principais projetos de parques eólicos no Brasil em 2011	20
Tabela 3 - Velocidades obtidas com os anemômetros.....	38
Tabela 4 - Dados gerais para a turbina.....	39
Tabela 5 - Dados do rotor da máquina.....	39
Tabela 6 - Dados da torre da turbina.....	40
Tabela 7 - Dados do gerador empregado	40
Tabela 8 - Dados operacionais da turbina.....	40
Tabela 9 – Estimativa de custos e receitas do empreendimento.	51
Tabela 10 – Fatores atendidos na construção de parque eólico.....	52

LISTA DE SIGLAS

EPE	Empresa de Pesquisa Energética
PROINFA	Programa de Incentivo às Fontes Alternativas
FC	Fator de Capacidade

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	11
1.1. JUSTIFICATIVA.....	12
1.2. OBJETIVO GERAL.....	13
1.3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	13
2. REVISÃO DA LITERATURA.....	15
2.1 O CENÁRIO DA ENERGIA EÓLICA.....	16
2.1.1 A energia eólica no mundo	16
2.1.2 Energia eólica no Brasil	18
2.1.3 Energia eólica na região Sul.....	21
2.2 FATORES DE INTERESSE.....	22
3. PROJETO.....	26
3.1 CARACTERÍSTICAS GERAIS DE UM PROJETO PARA PARQUE EÓLICO ..	26
3.1.1 Relatórios necessários para aprovação do projeto.....	27
3.1.2 Metodologia do para levantamento dos dados de ventos.....	31
3.1.3 Máquinas escolhidas para o projeto	38
3.1.4 Características do local de projeto.....	40
4. RESULTADOS	49
5. CONCLUSÕES.....	53
5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	54
REFERÊNCIAS.....	55

1. INTRODUÇÃO

Dentre os inúmeros fatores que possuem influência direta em um sistema econômico, tem-se como um dos principais destaques seu sistema elétrico. A eletricidade é um dos fatores responsável pelo conforto atribuído à vida moderna, pelo desenvolvimento de indústrias e, evolução dos processos de produção. O que resulta em um alto consumo de energia elétrica, resultando em uma crescente demanda. Logo, faz-se necessário encontrar soluções que viabilizam o aumento da produção de energia elétrica, aliada a minimização de impactos com o meio ambiente, obtendo assim energia limpa de fontes renováveis.

No caso do Brasil, que possui um grande potencial hídrico, o qual tem sido largamente explorado, é necessário pensar em fontes alternativas que possam suprir sua demanda, especialmente em períodos prolongados de estiagem, que podem afetar diretamente o fornecimento de energia elétrica. Embora, tenha-se a possibilidade de contar com geração a diesel e gás natural, estas fontes além de não serem renováveis, agredem de forma considerável nosso planeta, intensificando o efeito estufa. Portanto, necessita-se ter soluções prontas, que na falta da geração hídrica, possam atuar no suprimento energético de parte da demanda e, que não causem graves prejuízos ao meio ambiente.

Uma solução que vem sendo muito explorada é o uso de aerogeradores, ou turbinas eólicas, que em parques eólicos, são os responsáveis em transformar a energia cinética oriunda dos ventos, em energia elétrica nos terminais do gerador elétrico que o compõem. Uma forma de energia renovável, que com as constantes evoluções tecnológicas, e com estímulos governamentais, no Brasil com o PROINFA (Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica), vem reduzindo seus custos de geração (CERESB, 2012).

O que se nota no cenário mundial atualmente é o grande investimento em parques eólicos. Em muitos países europeus, como a Alemanha, Dinamarca, Holanda e a Espanha, também na América, expressivamente nos EUA, e em países como a China, onde se tem atualmente a maior capacidade de energia eólica instalada no mundo (GWEC, 2011), os parques eólicos já são comuns em suas paisagens.

Os parques eólicos são estruturas montadas em uma determinada área que apresenta condições de velocidade de vento favoráveis a exploração de energia. São estruturas relativamente simples, constituídas basicamente por aerogeradores, que em caso de 2MW de potência, podem chegar a possuir 110 metros de altura e 300 toneladas, podem ser usados para o consumo de cerca de 400 casas (SALAZAR e COSTA, 2012). Um parque eólico também é constituído por uma subestação, responsável pela elevação da energia gerada e conexão com as linhas de transmissão do sistema, e estradas de acesso que permeiam o parque.

Atualmente no Brasil existem 93 parques eólicos, em sua maioria concentrados na região Nordeste (PIERROT, 2013), mas até o final de 2013 o governo federal pretende ter 140 empreendimentos que deverão estar em operação. Esta expansão está atraindo grandes empresas internacionais que apostam no crescimento deste tipo de energia no Brasil. Um número cada vez maior de empreendimentos eólicos em microrregiões vem surgindo, como solução para o fornecimento de energia elétrica limpa local, como é o caso da microrregião Sudoeste do Paraná e Oeste de Santa Catarina.

1.1. JUSTIFICATIVA

Com o grande avanço da tecnologia empregada na geração de energia elétrica por meio dos ventos, os incentivos governamentais no setor e, com a crise europeia, inúmeras empresas veem no Brasil um grande mercado a ser explorado neste setor energético. O que se nota é um mercado aquecido, o qual proporciona a construção de diversos parques eólicos, em regiões suscetíveis a velocidades de vento adequadas, com um custo competitivo de mercado. A construção de pequenos parques eólicos possui algumas vantagens, como: A sua pequena área de construção; pequenas movimentações de terra; mínimo impacto ambiental; menor tempo de construção.

Durante a construção do parque eólico sugerido, tem-se a possibilidade de acompanhar seu desenvolvimento logo nas primeiras etapas, com a possibilidade de visita ao local e conversas com os responsáveis. Deste modo, um estudo quanto

a viabilidade de sua construção e, estudo das etapas de projeto que o envolvem, podem ser melhor explorados.

1.2. OBJETIVO GERAL

Este trabalho possui como objetivo realizar um estudo da viabilidade técnica de implantação de um parque eólico na microrregião Oeste de Santa Catarina e Sudoeste do Paraná. O mesmo compreende uma área de aproximadamente 36 equitares (36.000 m²), com uma potência de geração de até 10 MW, constituído por 5 aerogeradores de 2 MW de potência nominal, podendo atender até 2.000 residências.

1.3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para a análise da viabilidade da implantação de um parque de geração de energia elétrica a partir de energia eólica, devem ser realizadas as seguintes etapas:

- Definição do local apropriado para implantação do parque, e os principais fatores que devem ser levados em conta no momento da escolha do local.
- Determinação de tempo mínimo para medição de ventos, a sazonalidade dos ventos e predominância de sentido de sopro através da rosa dos ventos, para melhor alocação das torres de geração.
- Análise do gerador com melhor rendimento de acordo com as características de ventos e rugosidade da região.
- Cálculo aproximado de capacidade de geração do parque eólico.
- Aproximação de cálculo de energia gerada através de dados de ventos aplicados a região em estudo.

- Pesquisa das redes de conexão próximas do parque de geração de energia elétrica visando distribuição desta energia até consumidor final.

Para melhor descrever as etapas acima citadas, esta monografia está organizada como segue:

Capítulo 1 - É apresentada a contextualização, justificativa e objetivo do trabalho.

Capítulo 2 - Neste capítulo é apresentado o cenário da produção de energia eólica Mundial, no Brasil, e na sua região Sul. Assim, é visto através do mapa dos ventos a região na qual se dá os estudos abordados, bem como o equacionamento para o potencial eólico gerado.

Capítulo 3 - É abordado os contextos referentes a características gerais do projeto, quais o principais relatórios necessários para aprovação e encaminhamento de um parque de geração, metodologia aplicada para levantamento de dados de ventos, apresentação e localização da área que sugerimos a implantação do parque. Também são apresentados dados de ventos colhidos em torre de medição de ventos instalada próxima ao local do estudo, qual a direção predominante dos ventos e suas medias de velocidade no decorrer do dia.

Capítulo 4 - Neste capítulo são discutidos alguns pontos relevantes que norteiam a implantação de um parque de geração eólico e, servem como fatores de tomada de decisão quanto a escolha de um local e suas principais características, que podem inviabilizar o projeto.

Capítulo 5 – Tem-se apresentada a conclusão relativa à viabilidade ou não do presente projeto, bem como sugestões de possíveis trabalhos futuros.

2. REVISÃO DA LITERATURA

A crescente preocupação com a demanda energética, aliada ao crescente interesse para com o desenvolvimento sustentável, vêm proporcionando avanços de pesquisas em tecnologias com fontes renováveis no setor energético. Assim, tecnologias cada vez mais baratas e eficazes, capazes de suprir a demanda deste setor além de proporcionar um contínuo desenvolvimento de uma nação, têm aberto cada vez mais espaço a utilização de fontes energéticas limpas, que reduzem as causas do efeito estufa, como a energia eólica.

A energia eólica se dá pelo movimento das massas de ar, que ao incidirem em uma turbina eólica, ou aerogerador, provocam seu movimento de rotação, o que permite que um gerador elétrico conectado a extremidade desta turbina opere e gere eletricidade. A energia eólica contribui para redução das emissões dos gases de efeito estufa, devido à substituição de combustíveis fósseis utilizados para geração de energia (CERESB, 2012).

Embora a velocidade do vento varie regionalmente, todos os continentes possuem áreas com potencial para geração e, devido a esta distribuição, o mercado de energia eólica tem se expandido rapidamente (OLIVEIRA, 2011). Os parques eólicos em todo o mundo chegam a um número de 13.227 parques, em 97 países, totalizando uma potência instalada de 262.6 GW contando com cerca de 887 geradores em operação (PIERROT, 2013).

A instalação de um parque eólico é mais rápida e causa menos impacto ambiental quando comparado com a instalação de outras formas de geração energética. Porém, existem alguns empasses que fazem com que os parques eólicos não se tornem alvos certos de todos os investidores. O regime dos ventos é natureza estocástica, a energia elétrica gerada por usinas eólicas não é contínua. Uma vez que, não se tem controle sobre a fonte primária de energia, ou seja, se tem variações na potência elétrica gerada, que causa variações na tensão em pontos do sistema eletricamente próximos a usina, da mesma forma que as alterações de carga elétrica do sistema devido ao aumento e redução do consumo de energia elétrica ao longo de um período (OLIVEIRA, 2011).

Para o desenvolvimento de qualquer projeto de fonte energética, necessita-se conhecer qual a potencialidade de geração da fonte a ser explorada na

localidade de sua implantação. Além do levantamento e estudo dos dados da fonte relacionada em um cenário geral, e então de modo específico, adentrar no cenário proposto.

2.1 O CENÁRIO DA ENERGIA EÓLICA

Com o intuito de se ter melhor abordagem dos conceitos referentes a implantação de um parque eólico, apresenta-se nas seguintes seções o cenário em que se encontra o desenvolvimento da exploração de energia elétrica por meio dos ventos.

2.1.1 A energia eólica no mundo

A energia eólica é hoje uma das fontes de energia com maior viabilidade econômica em todo o mundo. Segundo a Associação Mundial de Energia Eólica (WWEA, na sigla em inglês), só em 2011 foram instaladas cerca de 40 GW de energia produzida, em todo o mundo no final deste ano a potência eólica instalada chegou a 237 GW, o equivalente a potência de 280 reatores termonucleares. Atualmente há cerca de 380 reatores desse tipo fornecendo energia, nota-se aí uma tendência de desligamento de usinas nucleares (RUETER, 2012).

A cada ano, o número de aerogeradores cresce 20%. A WWEA estima que até 2020 o volume energético gerado pelo vento irá quadruplicar, chegando a mais de 1000 GW. A China é o país que mais cresce nesse cenário, em 2011 sua parcela foi de cerca de 50% do total de produção em todo o mundo. O país é líder no setor de energia eólica, seguido por Estados Unidos e Alemanha (GWEC, 2011).

O crescimento entre os anos de 2011 e 2012 em todo o mundo pode ser visto na Tabela 1 a seguir. O Brasil obteve um crescimento em torno de 40% em 1 ano, e deve crescer ainda sete vezes em volume nos próximos três anos, para 7.098 MW até 2014, segundo a Empresa de Pesquisa Energética (EPE).

Tabela 1- Principais capacidades de energia eólica instalada no mundo 2011/2012 (MW).

País	MW em 2011	MW em 2012
China	62.733	67.774
EUA	46.919	49.802
Alemanha	29.060	20.016
Espanha	21.674	22.087
Índia	16.084	17.351
França	6.800	7.182
Itália	6.747	7.280
Reino Unido	6.540	6.840
Canadá	5.265	5.511
Portugal	4.083	4.398
Brasil	1.509	2.400
Total Mundial	238.351	253.741

Fonte: (GWEC, 2012)

Também, pode se notar no gráfico de barras apresentado na Figura 2.1 abaixo. A China foi o país que mais instalou parques eólicos, com um crescimento em torno de 7,5% em um semestre.



Figura 2.1- Crescimento da potência eólica instalada entre 2011-2012.
Fonte: (GWEC, 2012).

A produção de energia elétrica por meio dos ventos possui algumas vantagens além por ser uma fonte renovável, dentre elas cita-se:

- Possui um tempo reduzido de construção do parque eólico, quando comparado a outras construções do ramo energético;
- Possibilidade de uso do terreno de instalação para outros fins, como a agricultura ou pecuária;
- Facilidade da criação de sistemas híbridos, com uma geração através de energia solar e também aerogeradores eólicos.

Quanto às desvantagens, nota-se:

- Poluição visual, causada pelas grandes torres com os aerogeradores;
- A sua instalação muitas vezes se dá em rotas de pássaros, o que causa um maior número de acidentes, como consequência havendo a necessidade de mais manutenção;
- A questão dos ventos não serem de natureza, constante pode gerar uma incerteza sobre o fornecimento de energia.
- Ruído audível durante a rotação das pás, tal é minimizado caso a turbina seja de pequeno porte.

2.1.2 Energia eólica no Brasil

O Brasil tem um grande potencial de geração de energia eólica, possui um volume de ventos duas vezes maior do que a média mundial, e por ter baixa oscilação da velocidade o que garante maior previsibilidade à geração de eletricidade (WWF-BRASIL, 2012). As usinas eólicas vem recebendo significativos investimentos, e ocupam um espaço cada vez maior na matriz energética brasileira. De 2009 a 2012, a participação dessa fonte foi ampliada em 216%. Em junho do ano passado, possuía 2GW instalados, o que representa mais de 1,5% da matriz. Tem-se em tal fonte energética uma opção para a diversificação da matriz energética nacional.

A geração de energia a partir de turbinas eólicas teve início, no Brasil, em julho de 1992, com a instalação de uma turbina de 75 KW na ilha de Fernando de Noronha, em iniciativa pioneira do Centro Brasileiro de Energia Eólica. O Brasil

passou a investir de fato nesse tipo de geração em 2004, mas só em 2006 entrou em operação o primeiro parque eólico do Brasil. Atualmente, o país possui parques no Nordeste, nos estados do Ceará, Rio Grande do Norte, Bahia, Pernambuco e Paraíba; e no Sul, no Rio Grande do Sul e Santa Catarina.

As regiões com maior potencial são o Nordeste, principalmente no litoral, com 75 milhões de kW, o Sudeste, com 29,7 milhões de kW, e o Sul, com 22,8 milhões de kW. Esse potencial pode ser ainda maior se considerarmos os novos sistemas offshore, ou seja, de captação de vento com turbinas instaladas no mar (WWF-BRASIL, 2012). Na figura 2.2 pode-se verificar uma visão geral das condições de ventos no país.

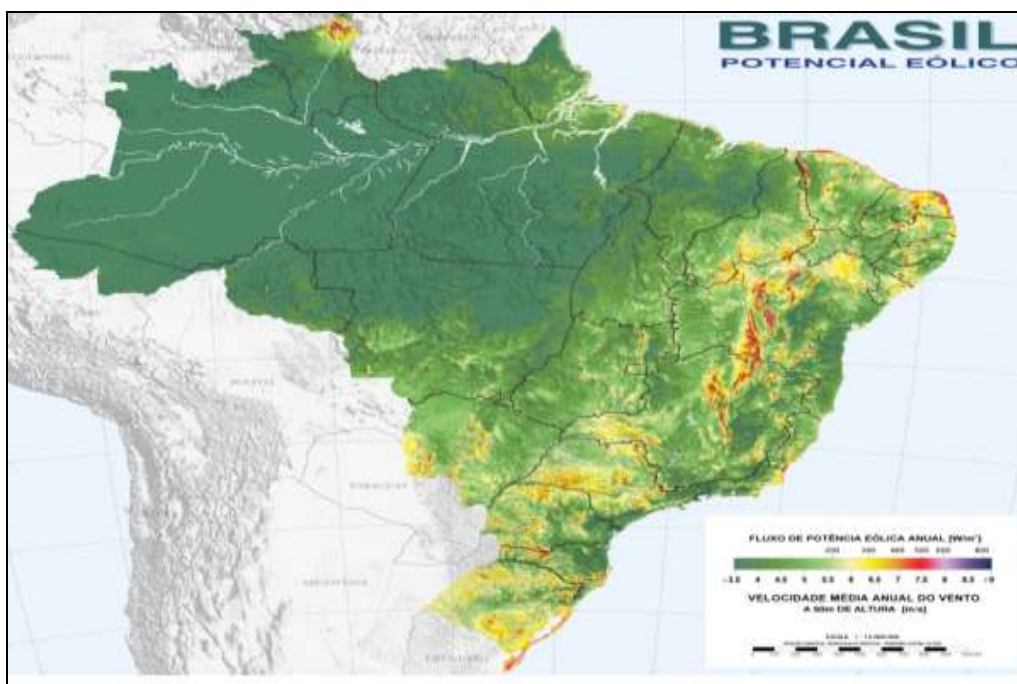


Figura 2.2 – Atlas Eólico Brasileiro.
Fonte: (CERESB, 2012).

Uma das principais motivações para o uso de energia elétrica proveniente dos ventos no Brasil se dá pela possibilidade de uma fonte energética alternativa e renovável. Sabe-se que, cerca de 75% da potência elétrica no Brasil provem de energia hidráulica. Entretanto, o potencial hidráulico nacional vem estabilizando com o passar dos anos, uma vez que a fonte hidráulica é limitada, quanto ao número de rios, além de se terem períodos de estiagem.

Uma das maiores desvantagens no uso da energia eólica, dava-se aos custos logísticos de implementação dos projetos, como à precariedade das estradas

nordestinas, região onde se encontra o maior potencial eólico no país, e ao número restrito de ofertantes nacionais de aerogeradores associado às restrições de importação destes equipamentos. Porém, atualmente existem muitos programas governamentais que tem viabilizado a expansão significativa de tal mercado, especialmente o governo brasileiro.

O desenvolvimento do país vem crescendo ano após ano, o que resulta na criação de meios para suprir a demanda energética nacional. Assim, os incentivos vigentes para o setor elétrico brasileiro, como o PROINFA (Programa de Incentivo as Fontes Alternativas), tem levado o Mercado nacional à construção de novos e modernos parques eólicos, como forma alternativa para geração de energia.

Na tabela 2 tem-se listado o número de parques eólicos que foram negociados em leilões de energia em 2011, onde foram comercializados 3GW a R\$105,00 MW/hora. Tais leilões servem para unir de um lado os geradores de energia e, de outro, as distribuidoras. Neste leilão, participaram um total 205 parques eólicos em seis estados.

Tabela 2- Principais projetos de parques eólicos no Brasil em 2011

Projetos em 2011		
Estado	Núm. de Projetos	Oferta (MW)
<i>R.G. do Sul</i>	58	1.515
<i>R.G. do Norte</i>	53	1.390
<i>Ceará</i>	51	1.219
<i>Bahia</i>	34	784
<i>Pernambuco</i>	6	160
<i>Piauí</i>	3	80
<i>Total</i>	205	5.148

Fonte: Empresa de Pesquisa Energética (EPE).

A exploração da energia eólica e sua conversão em energia elétrica têm sido realizadas em diferentes escalas, desde pequenos aproveitamentos com alguns Watts, até parques eólicos de grande porte com capacidade acima de 100MW. Embora pequenos aproveitamentos sejam utilizados para suprir cargas específicas, os parques eólicos possuem importância mais significativa na ampliação da característica renovável da matriz energética.

2.1.3 Energia eólica na região Sul

O início do estudo das condições de energia eólica no Brasil se deu com a elaboração de um atlas eólico da região Nordeste (WANEB), publicado pelo Centro Brasileiro de Energia Eólica (CBEE) com o apoio da ANEEL, em 1998. A partir de então, vários esforços vêm sendo empregados no sentido de ampliar o conhecimento sobre a capacidade eólica do país, com a confecção de atlas eólicos por alguns estados como, por exemplo, o Rio Grande do Sul (2002), Ceará (2001), Bahia (2001) e Rio de Janeiro (2003).

Na região Sul do Brasil, o estado do Rio Grande do Sul é que possui a maior disponibilidade energética fonte eólica, atualmente estão em funcionamento 15 parques eólicos no estado, são produzidos 460 MW de energia eólica no estado, o que seria suficiente para abastecer a demanda de apenas alguns bairros de Porto Alegre. Até 2017, serão mais 40 empreendimentos, assim, em quatro anos, quando todos os parques projetados já estiverem em operação, esse número chegará a 1.418 MW, o suficiente para suprir a potência consumida pela capital rio grandense por mais de um ano (RBSTV, 2013).

Na região de Palmas no Paraná, podemos verificar a presença de uma grande quantidade de aerogeradores, que compõem cerca de seis parques de geração de energia eólica.

Ao se analisar com mais detalhes a região de interesse, verifica-se, através do mapa da Figura 2.2, que existe uma área com considerável intensidade de ventos entre os estados do Paraná e Santa Catarina, destacada de cor vermelha e amarela. Ao se verificar na régua indicativa de velocidade dos ventos nota-se uma variação entre 6 e 7,5m/s, que é um dos fatores necessários para viabilidade de instalação de torres de geração. A região para estudo deste trabalho localiza-se no Sudoeste do Paraná e Oeste de Santa Catarina, entre as divisas dos municípios de São Lourenço Do Oeste, Campo Erê em Santa Catarina, Vitorino, Pato Branco, Renascença e Marmeleiro no Paraná. Sendo destacada na Figura 2.3 a seguir.

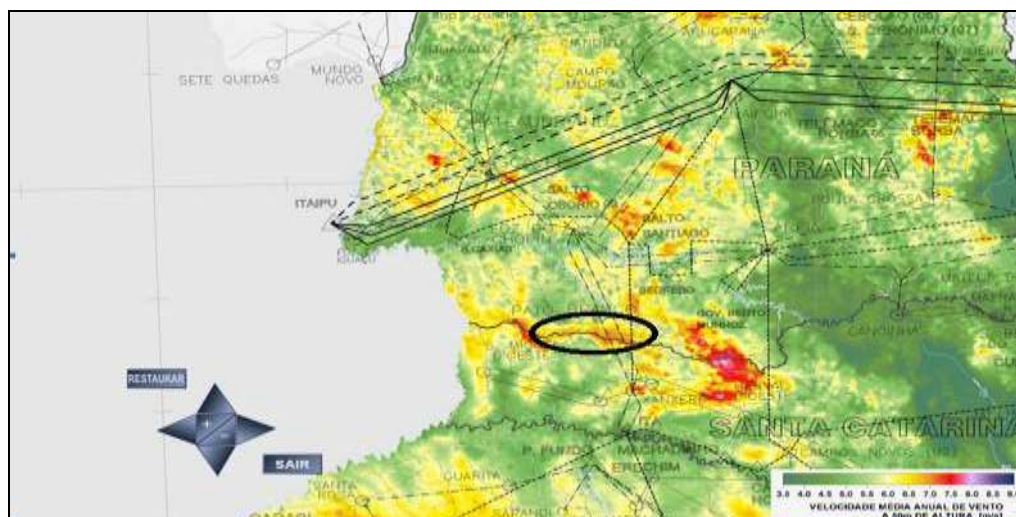


Figura 2.3 - Mapa dos Ventos com Foco na Região em Interesse.
Fonte: (CERESB, 2012).

Um estudo de viabilidade sobre condições de ventos na microrregião Oeste de Santa Catarina e Sudoeste do Paraná, através de análise de mapas de ventos, pode dar subsídios iniciais para implantação de um parque de geração de energia elétrica através de geradores eólicos.

Além das características de ventos, também existem diversos outros fatores que devem ser analisados para determinar a viabilidade de implantação de um parque eólico. Também, a escolha do gerador mais apropriado com base nas características da região, de forma a apresentar um melhor rendimento; análise da rugosidade e facilidade de acesso ao terreno; questões de deliberação de órgãos ambientais; disponibilidade e custo de linhas de transmissão, entre outros. Desta forma, pretende-se analisar tais questões de modo a subsidiar um possível projeto de implantação de um parque eólico na região de interesse.

2.2 FATORES DE INTERESSE

Devido ao regime de ventos sofrer significativas variações ao longo do dia, é necessário que haja um monitoramento contínuo nas medições do mesmo, para que se possa minimizar o máximo possível o impacto que tais oscilações provocam. Portanto, faz-se necessária uma base de dados consistentes e confiáveis para a implementação de um parque eólico. Apesar de existir muitos postos de

coletas de dados meteorológicos no país, atualmente faltam estações apropriadas para monitoramento eólico voltado para geração elétrica. Uma tentativa de contornar este problema foi a divulgação do Atlas Eólico Brasileiro (MME, 2001). Com as informações do atlas, é possível ter uma noção prévia dos locais com maior potencial eólico para geração.

Um dos fatores que é utilizado pela empresa (A) na análise dos dados coletados nas medições é a Distribuição de Weibull. A Distribuição de Weibull é uma distribuição de probabilidade contínua, usada para melhor entender o comportamento dos ventos em relação ao tempo. Esta distribuição de Weibull leva em consideração o desvio padrão dos dados coletados, como se trata de um parâmetro estatístico traz informações das incertezas que podem ocorrer com a velocidade dos ventos coletados em certo período. A distribuição de Weibull é determinada pela equação (1)

$$g(V) = \frac{k}{c} \left(\frac{V}{c}\right)^{k-1} \exp \left[-\left(\frac{V}{c}\right)^k \right] \quad (1)$$

em que

k - Parâmetro ou fator de forma da distribuição dos ventos [adimensional];

c - Parâmetro ou fator de escala, a velocidade média [m/s].

O parâmetro do fator de escala c define a escala da distribuição, e esta diretamente relacionado com velocidade média. O parâmetro k define a forma da distribuição e, esta relacionado ao desvio padrão k na curva de distribuição. A curva de distribuição de Weibull pode ser vista na Figura 2.4 a seguir.

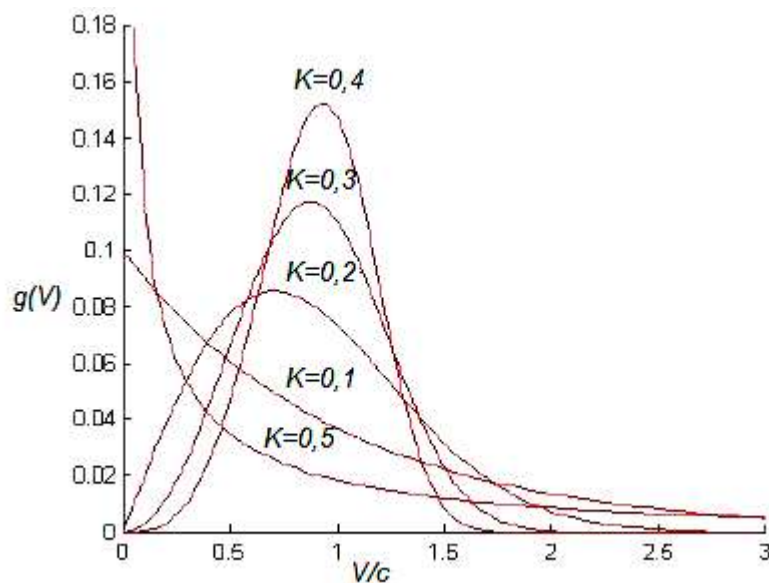


Figura 2.4 - Distribuição de Weibull de acordo com o k.
Fonte: (LAGE, 2011).

A determinação da potência mecânica disponível em uma massa de ar pode ser expressa através da equação (2),

$$P_v = \frac{\rho}{2} AV^3 \quad (2)$$

onde, ρ é a densidade do ar ($1,225 \text{ kg/m}^3$ ao nível do mar), A (m) a área de varredura e V (em m/s), a velocidade do vento para um dado instante. Tais parâmetros podem ser vistos na Figura 2.5 a seguir.

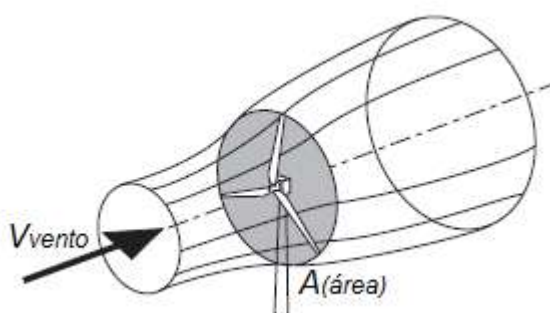


Figura 2.5 – Deslocamento de uma massa de ar em uma turbina eólica.
Fonte: Adaptado de relatório de empresa (A).

Entretanto, segundo (PUC-RS, 2012) a turbina eólica não pode extrair completamente a potência disponível no vento. Em 1926, Betz e Glauert descobriram que a máxima potência que pode ser extraída por uma turbina eólica é dada por,

$$P_{ap} = \frac{\rho}{2} AV^3 C_p \quad (3)$$

em que C_p é o coeficiente de potência do aerogerador. O máximo valor teórico que C_p pode alcançar é 0,593, portanto, é impossível aproveitar mais do que 59,3% da energia cinética do vento.

Durante o processo de escolha do equipamento, além da curva característica de potência (Potência gerada x Velocidade do vento) também deve-se levar em conta outros parâmetros como fator de capacidade. O fator de capacidade (FC) é a relação entre a energia elétrica gerada no ano e a capacidade de produção conforme equação abaixo:

$$FC = \frac{PAE}{24 \times 365 \times P} \quad (4)$$

Onde:

PAE - Produção anual de energia [kWh].

P - Potência nominal do aerogerador [kW].

O fator de capacidade (FC) do aerogerador deve ser maior que 30% o que é essencial para que o projeto seja viável. Caso este parâmetro não seja atendido a viabilidade de implantação já é descartada.

3. PROJETO

No capítulo 2 abordou-se a revisão da literatura sobre geração de energia elétrica a partir de energia eólica. Neste capítulo são abordadas as características do projeto de parque eólico anteriormente citado. Os principais relatórios exigidos pelos órgãos que regulamentam a construção de um parque de geração eólico, a metodologia aplicada para levantamento de dados, também gráficos colhidos na região em estudo, principais características de comportamento de ventos na região, qual tipo de máquina utilizada para tais citações, e localização do parque de geração com as principais vias de acesso e localização da subestação de São Lourenço do Oeste SC.

3.1 CARACTERÍSTICAS GERAIS DE UM PROJETO PARA UM PARQUE EÓLICO

O projeto desenvolvido deve possuir a finalidade de ser viabilizado, tanto energeticamente quanto economicamente, assim, um grupo de empresários ou alguma cooperativa, deseje suprir sua necessidade de geração própria de energia e, seu excedente pode ser comercializado junto aos leilões de energia. A área que esta sendo sugerida para sua implantação, conta com os três principais requisitos necessários para viabilização deste tipo de empreendimento, as quais são:

Recurso Eólico Disponível: Ventos com intensidades suficientes e consideravelmente constantes, para fatores de geração.

Infraestrutura do Local: Redes que possam levar esta energia gerada até os consumidores, estradas acessíveis para transportes dos equipamentos até o local de implantação do parque de geração.

Disponibilidade de Locais: Terrenos que suportem o tamanho do empreendimento, e as documentações das terras devem estar regulares junto aos proprietários e órgãos competentes.

Sabendo que estes primeiros itens são atendidos pode-se iniciar os primeiros trabalhos para implantação deste tipo de projeto. Deste modo, as fases de

implantação de projeto devem seguir disponibilidades do local, sendo que para isto os fatores abaixo devem ser levados em conta:

Implantação do Canteiro de Obras: Deve ter espaço para alocação de pessoal, maquinário, guindastes, com infraestrutura necessária para manter estes recursos.

Construção de alojamentos: Caso não se tenha possibilidade de transporte diário dos trabalhadores da cidade para o canteiro de obras, deve-se prever alojamento adequado, com recursos para manter o pessoal.

Construção de Estradas Acessos: Caso não se tenha acesso de caminhões e guindastes até os locais da obra e alojamento, deverão os mesmos serem planejados e executados com antecedência para deslocamentos necessários.

Demarcação dos Locais a serem trabalhados: Demarcação dos pontos onde serão alocadas as torres, e pontos de acesso, execução das movimentações de terras e vias de acesso.

Execução das escavações para base das torres: Nesta etapa devemos considerar que para cada torre a ser implantada temos uma área afetada de 18,4 metros de diâmetro por 6 metros de profundidade, gerando aproximadamente 575m³ de escavação para cada estrutura. Já a plataforma de montagem, ao entorno da base, deve conter uma área aproximada de 50x50 metros onde serão executados os trabalhos pelos guindastes e caminhões.

Construção da Subestação: Esta é a responsável por elevar o nível de energia gerada pelas turbinas, e permitir que a mesma seja transmitida a maiores distâncias sem grandes perdas, e é a rede que interliga o sistema interno ao sistema integrando Nacional (SIN).

3.1.1 Relatórios necessários para aprovação do projeto

Após processos de mediação e coleta de dados, além das características de medida de ventos atingirem as expectativas, as condições do local atenderem os primeiros pré-requisitos, o projeto deve prosseguir para a etapa de autorização e licenças, que darão as condições para que o projeto possa adquirir recursos para

implantação. O licenciamento ambiental deve ser seguido conforme tramites dos órgãos competentes, conforme o diagrama da Figura 3.1.

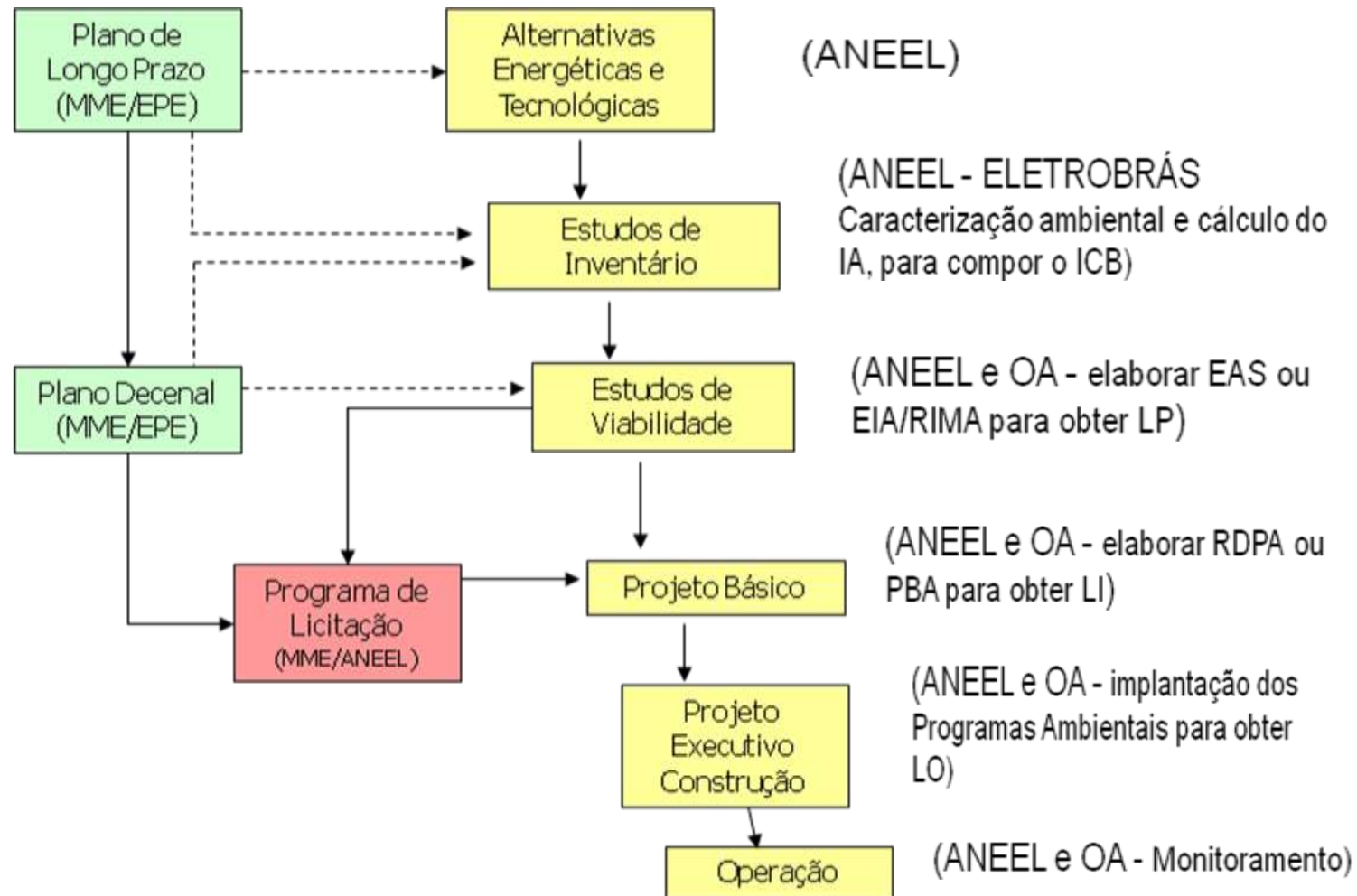


Figura 3.1 - Diagrama de sequência para aprovação de relatórios.
Fonte: Relatório Empresa (A).

Após, faz-se necessários mais alguns relatórios e licenças para liberações e operação do parque eólico, que são:



Figura 3.2 - Diagrama de sequência implementação do projeto.
Fonte: Empresa (A).

3.1.2 Metodologia do para levantamento dos dados de ventos

Os dados foram colhidos junto a uma torre de medição instalada pela empresa **(A)**. A mesma vem desenvolvendo um trabalho para implantação de 2 parques eólicos, o tipo de equipamento instalado para as medições, é uma torre treliçada com altura aproximada de 101 metros, que conta com os seguinte equipamentos de medição:

- Anemômetro 1 a 101 metros (Ane 1);
- Anemômetro 2 a 76 metros (Ane 2);
- Anemômetro 3 a 51 metros de altura (Ane 3);
- Dois sensores de direção: o primeiro (Dir1) a 99 metros e o segundo (Dir2) a 49 metros,
- Um termo-higrômetro (instrumento de precisão para medição de temperatura e umidade do ambiente);
- Um barômetro a 99 metros.

Esta torre fornece medições diversas das características do local, e as envia para um banco de dados da empresa, que esta efetuando o levantamento dos dados para implantação do parque.

Segundo a empresa **(A)**, os anemômetros foram calibrados individualmente no túnel de vento da *Deutsche WindGuard Wind Tunnel Services GmbH*, conforme os procedimentos padrões estabelecidos pela MEASNET (*Network of European Measuring Institutes*). Logo após a montagem da torre anemométrica e de seus equipamentos de medição, a *GL Garrad Hassan* realizou uma inspeção da torre, verificando as instalações dos equipamentos e arranjos dos sensores.

A empresa *GL Garrad Hassan* certifica que a campanha de medições de vento segue suas recomendações e está em conformidade com as normas da Comissão Eletrotécnica Internacional – IEC 61400-12 (IEC - International Electrotechnical Commission).

Os dados de vento são coletados nos instrumentos da torre anemométrica a cada 1 segundo. Então, o *datalogger* registra a média e o desvio padrão desses dados a cada 10 minutos. Deste intervalo, obtêm-se também os valores máximos e mínimos medidos nos anemômetros. Nos casos onde há falhas ou problemas nos sensores, os dados são eliminados e a série corrigida, quando possível.

Através de contato com a empresa (A), pode-se ter alguns dados pontuais da torre instalada na área de interesse, a torre é do mesmo modelo da Figura 3.3 abaixo.

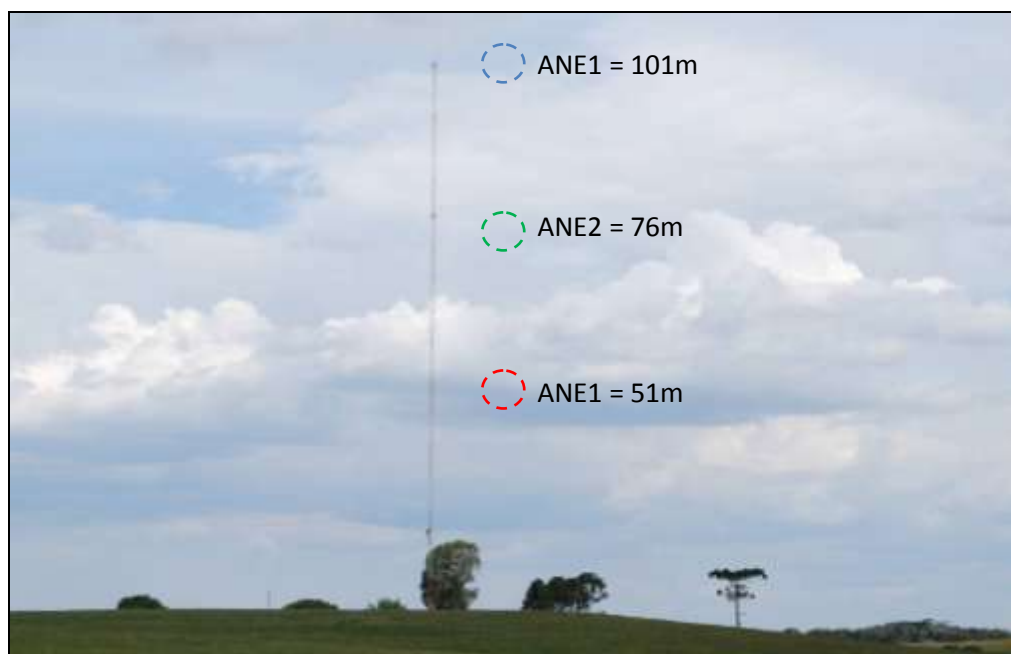


Figura 3.3 – Torre anemométrica.
Fonte:Empresa (A).

Na sequência apresenta-se um resumo da análise estatística dos dados anemométricos. A figura 3.4 apresenta o perfil da velocidade do vento e função da altura durante um determinado período das medições.

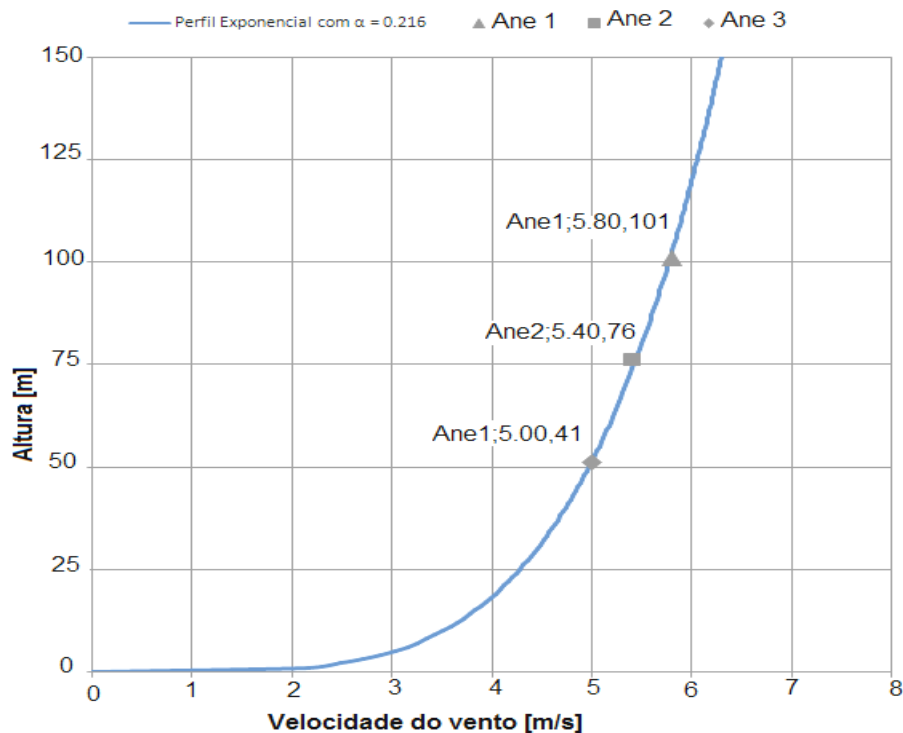


Figura 3.4 – Análise dos perfis de vento.
Fonte: Empresa (A).

No caso do gráfico da Figura 3.4 acima, pode-se analisar o comportamento do vento, na relação velocidade por altura, nas posições das medições, este gráfico foi fornecido pela empresa **(A)**, referente a um período de medição da torre instalada próxima ao local onde sugerido a implantação do parque em questão neste trabalho. No gráfico temos os dados que na altura de 51 metros (Ane 1) a velocidade aproximada dos ventos é de 5 m/s, no segundo medidor (Ane 2) atinge aproximadamente 5,4 m/s, já na altura de 101 metros a velocidade é de 5,8 m/s, estes dados são coletados e armazenados em todo período de medição, onde geram os parâmetros para viabilidade da implantação da torre para geração de energia

Os próximos fatores apresentados para análise, são gráficos para um determinado período de medição.

- Regime Diurno: Gráfico que apresenta para cada anemômetro a velocidade média horária do vento, ao longo de 24 horas;
- Rosa-dos-ventos: Frequência de Ocorrência gráfico que apresenta, ao longo de 16 direções, a frequência de ocorrência do

vento para cada sensor de direção. A referência está no norte geográfico;

- Histograma da velocidade do vento: Gráfico que apresenta a distribuição de frequência do vento para cada anemômetro, com uma resolução de 1 m/s. No mesmo gráfico também é apresentada a distribuição estatística de Weibull, juntamente com a indicação de seus parâmetros – fator de forma (k) e fator de escala (c).

Neste momento é apresentado um gráfico, visto na Figura 3.5, com o comportamento dos ventos ao longo do período de um dia, a data em que foi coletado as amostras não foi divulgada pela empresa.

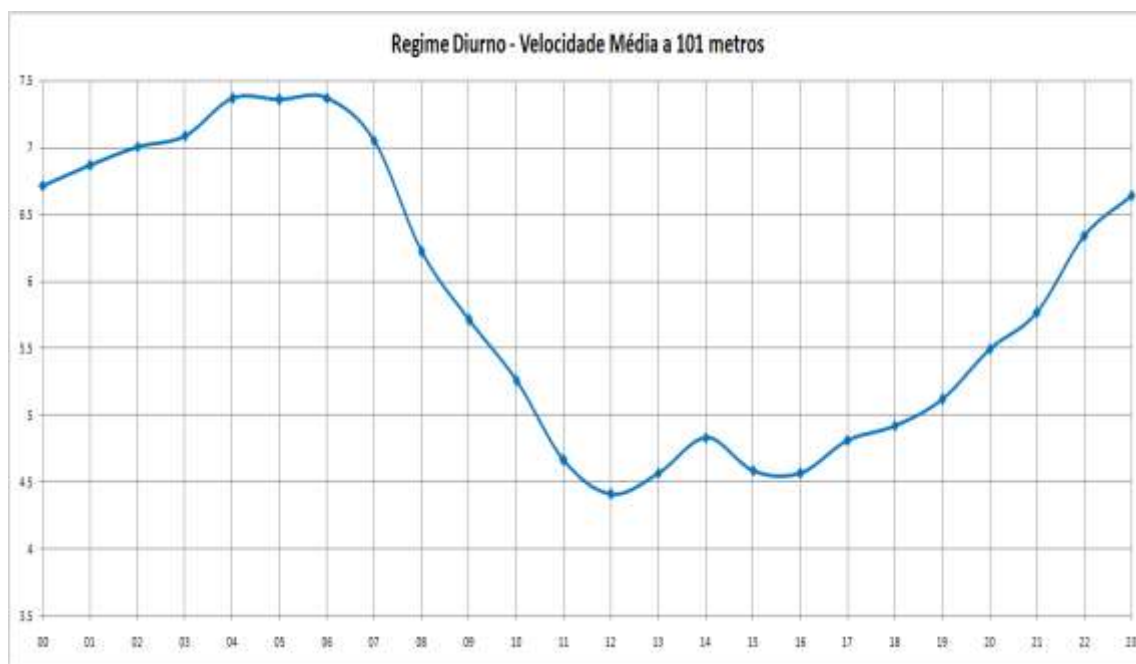


Figura 3.5 – Regime de velocidade diário.
Fonte:Empresa (A).

No período entre as 09:00 horas da manhã e 08:00 da noite, pode-se observar velocidade de ventos baixas, entre 4,5 a 5,5 m/s, que não é um bom parâmetro para torres de geração. Porém nos momentos subsequentes os valores de ventos atenderam de forma muito satisfatória, a velocidade medida ficou entre 5,5 e 7,4m/s.

O próximo gráfico apresenta a velocidade e qual o sentido de maior ocorrência dos ventos na região em estudo.

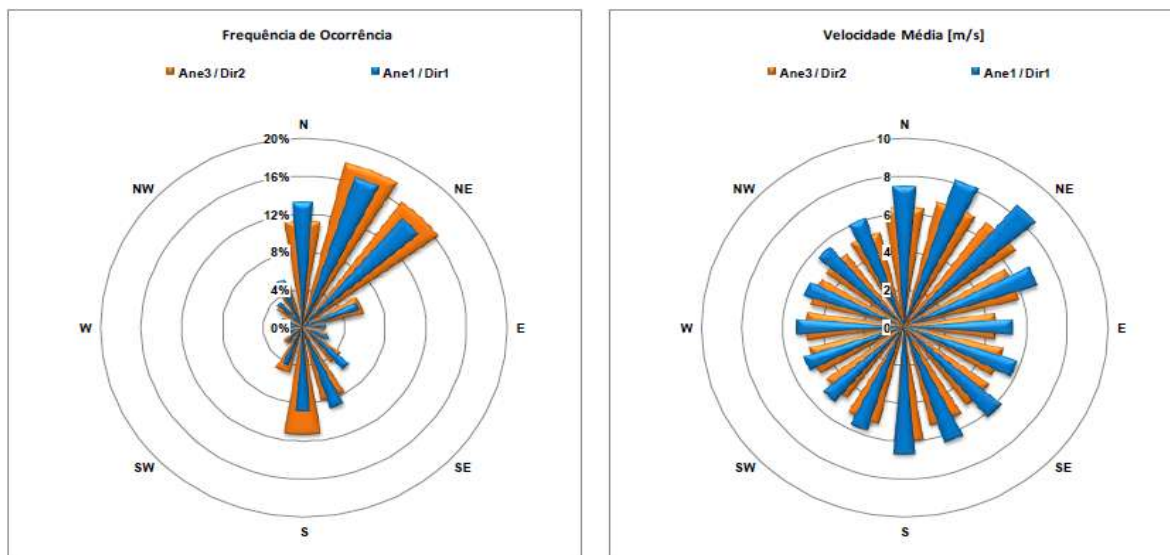


Figura 3.6 (a)– Gráfico de ocorrência da velocidade
Fonte: Empresa (A).

Figura 3.6 (b) – Gráfico de sentido da velocidade.

Pode-se perceber que a frequência de ocorrência do vento, esta em sua maior parte do tempo entre 16 e 18% do tempo no sentido entre norte e nordeste conforme Figura 3.6(a), e já na Figura 3.6(b) nota-se que a velocidade nesta direção também é mais intensa fica entre 6 e 8,5m/s.

Os gráficos abaixo apresentam as distribuições de Weibull, nas diferentes alturas de coletas de informação e o comportamento dos ventos para cada anemômetro de medição.

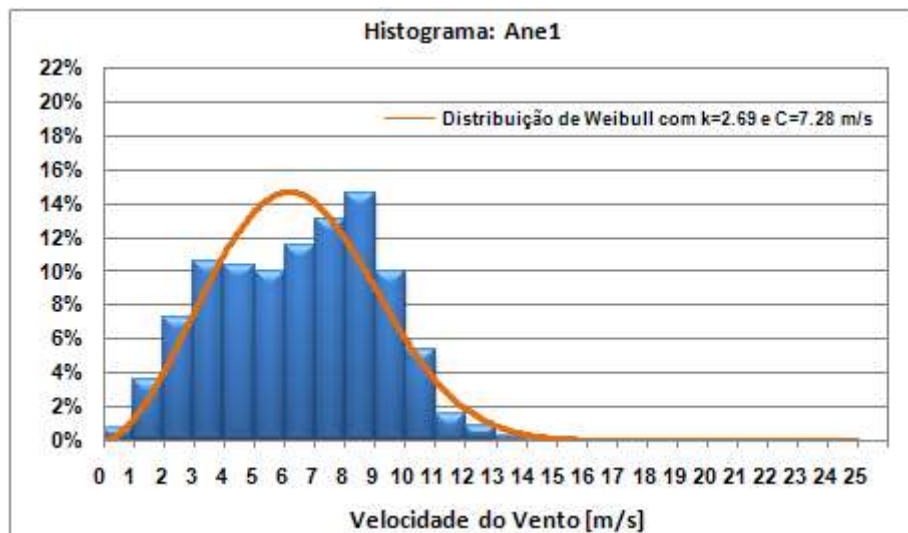


Figura 3.7 – Gráfico de distribuição de Weibull, para o projeto em Ane1.

Através dos dados medidos pelo anemômetro 1, que está posicionado a 101 m de altura, nota-se que a média de ventos na sua maioria está na casa entre 5 e 6 m/s. Porém, uma percentual de ventos de mais de 14%, está na faixa entre 8 e 9 m/s.

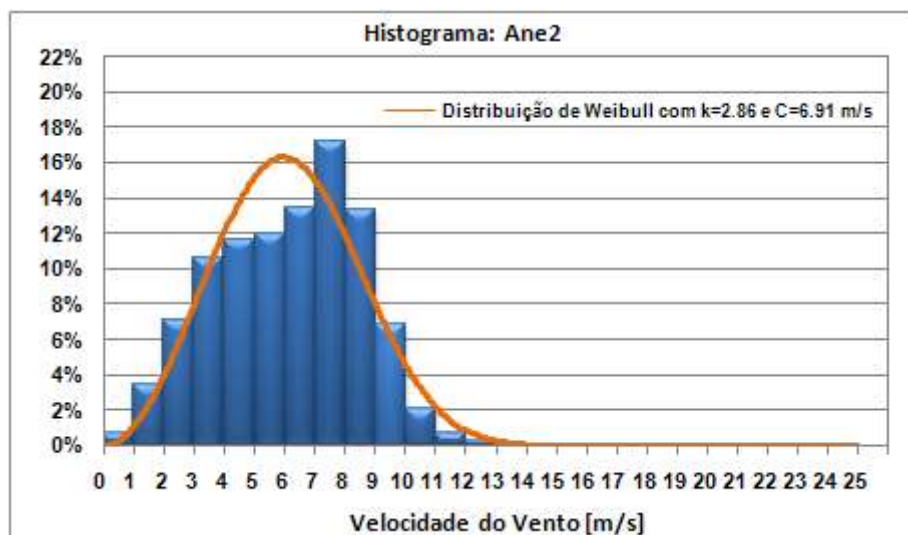


Figura 3.8 – Gráfico de distribuição de Weibull, para o projeto em Ane2.

Enquanto no anemômetro 2 que está alocado a uma altura de 76 metros, o histograma nos mostra que o comportamento dos ventos tem um regime diferente, sua média está praticamente em 6 m/s, e sua intensidade maior está na faixa de 7 e 8 m/s em cerca de 17% do tempo.

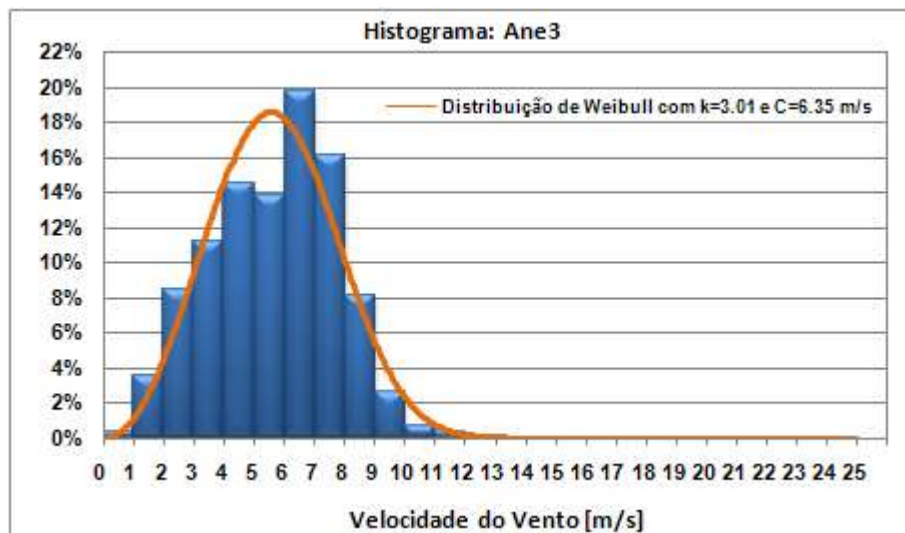


Figura 3.9 – Gráfico de distribuição de Weibull, para o projeto em Ane3.

Na posição mais próxima do solo, no anemômetro 3 a 51 metros de altura a media de ventos esta entre 5 e 6 m/s, com maior percentual de tempo cerca de 20% do tempo entre 6 e 7 m/s.

Estes dados fornecem qual a melhor posição ou altura para instalação dos aerogeradores, sendo que a rugosidade do terreno é um parâmetro que influencia também na turbulência destes ventos, levando em conta, em qual das alturas o vento terá uma melhor constante, para não afetar a geração de forma causar muitas oscilações de velocidade no gerador.

Com os dados obtidos através da Tabela 2, fornecida pela empresa A, na posição do Ane3 em 2010, a velocidade média de ventos é de 6,26 m/s, já em 2011 com uma média de 5,82 m/s, com base nestes dados podemos analisar uma sugestão de aerogerador para o empreendimento, com base na curva de potência da máquina.

Tabela 3 - Velocidades obtidas com os anemômetros.

DATA	Ane1				Ane2				Ane3			
	V _{méd} [m/s]	V _{máx} [m/s]	Weibull		V _{méd} [m/s]	V _{máx} [m/s]	Weibull		V _{méd} [m/s]	V _{máx} [m/s]	Weibull	
			k	c [m/s]			k	c [m/s]			k	c [m/s]
Julho	8,33	21,8	2,93	9,26	7,70	21,1	2,92	8,51	6,96	20,7	2,89	7,66
Agosto	8,31	22,3	2,93	9,34	7,74	20,8	2,99	8,66	7,03	19,7	2,94	7,82
Setembro	7,77	31,5	2,75	8,87	7,24	31,1	2,81	8,21	6,63	27,9	2,84	7,47
Outubro	6,69	20,4	2,67	7,59	6,30	20,9	2,76	7,16	5,85	19,9	2,75	6,61
Novembro	6,32	24,2	2,79	7,19	5,96	22,3	2,83	6,73	5,53	20,7	2,89	6,21
Dezembro	6,73	23,4	2,75	7,64	6,27	20,6	2,89	7,10	5,73	20,0	2,93	6,48
2010	7,33	31,5	2,71	8,31	6,84	31,1	2,75	7,72	6,26	27,9	2,73	7,02
Janeiro	5,55	20,1	2,76	6,33	5,21	21,0	2,98	5,95	4,80	18,3	3,11	5,44
Fevereiro	6,31	19,4	2,96	7,16	5,90	20,0	3,01	6,66	5,41	19,7	2,94	6,07
Março	7,02	19,4	3,65	7,93	6,55	20,4	3,66	7,37	6,01	19,1	3,69	6,74
Abril	6,64	22,6	3,14	7,56	6,19	23,3	3,25	7,00	5,61	23,3	3,20	6,30
Mai	6,37	17,1	2,86	7,41	5,93	16,2	2,95	6,84	5,42	15,4	3,05	6,21
Junho	7,56	20,4	2,66	8,63	7,04	14,4	2,77	8,04	6,52	12,9	2,87	7,31
Julho	7,33	31,2	2,81	8,43	6,83	18,1	2,87	7,79	6,21	16,9	2,90	7,03
Agosto	8,39	37,1	3,31	9,45	7,79	17,9	3,25	8,75	7,09	16,7	3,26	7,09
Setembro	7,31	23,1	2,52	8,24	6,82	20,8	2,68	7,67	6,24	20,2	2,83	7,01
Outubro	6,96	23,5	2,60	7,83	6,51	21,9	2,69	7,33	5,99	21,7	2,75	6,73
Novembro	6,51	21,6	2,52	7,33	6,10	19,9	2,65	6,86	5,60	20,2	2,76	6,30
Dezembro	5,72	17,4	2,74	6,43	5,39	15,8	2,81	6,05	4,99	16,2	2,87	5,60
2011	6,81	37,1	2,61	7,66	6,36	36,1	2,72	7,14	5,82	32,4	2,82	6,53
TOTAL GERAL	6,98	37,1	2,62	7,85	6,51	36,1	2,74	7,32	5,96	32,4	2,83	6,69

Fonte: Empresa (A).

3.1.3 Máquinas escolhidas para o projeto

Para melhores aproveitamentos os equipamentos sugeridos para este projeto são do fabricante argentino IMPSA, que possui fábrica no Brasil, e produz máquinas de grande porte de até 2,1 MW. Algumas características da máquina podem ser vistas abaixo, na Figura 3.8, através da curva de potência de cada máquina.

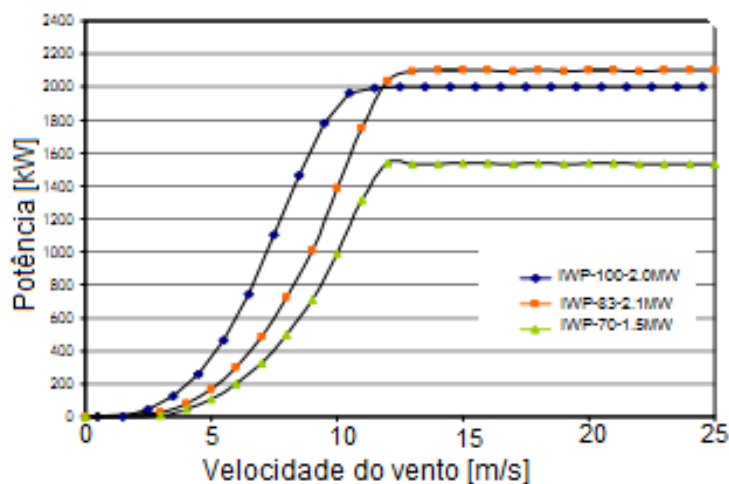


Figura 3.10 – Curva de potência em função da velocidade do vento para a máquina empregada.
Fonte:Impsa.

Com base no gráfico de potencia dos aerogeradores fabricados pela IMPSA, o que melhor se ajusta as características de vento tem uma partida com menor velocidade de ventos a partir de 3,5 m/s e com pleno potencial a partir de 12 m/s. Este modelo de gerador é o que tem partida e inicio de geração com menor velocidade de ventos, com base na média de ventos que esta entre 5,85m/s e 6,86m/s. Os Dados desta máquina seguem abaixo conforme Tabelas abaixo.

Tabela 4 - Dados gerais para a turbina.

Dados Gerais	
Potencia Nominal	2,0MW
Vida Útil	20 anos
Velocidade Nominal	13m/s
Velocidade de sobrevivência	52,5 m/s

Tabela 5 - Dados do rotor da máquina.

Rotor	
Diâmetro do rotor	100m
Área de varredura	7.854 m ²
Sentido de Rotação	sentido horário
Quantidade de Pás	3
Comprimento da Pá	47,4m

Tabela 6 - Dados da torre da turbina.

Torre	
Tipo	aço tubular
Altura no eixo do gerador	100m
Secções	4
Proteção Anti-corrosiva	Pintura

Tabela 7 - Dados do gerador empregado

Gerador	
Tipo	DDPM (Direct Drive Permanent Magnet) Acoplamento direto, Imã Permanente
Potencia Nominal	2000 KW
Tensão	690 - 789 Vac
Refrigeração	Ar Ip 23 (EM-60529)
Classe Isolamento	F

Tabela 8 - Dados operacionais da turbina.

Dados Operacionais	
Velocidade de Partida	3,5m/s
Velocidade de Corte	22m/s
Velocidade Nominal	12m/s
Velocidade de Sobrevivência	52,5m/s

3.1.4 Características do local de projeto

O local escolhido para implantação do projeto é no município de São Lourenço do Oeste – SC, fica situado na linha Macaco, na propriedade do Sr. Marcos Losso Longo, que conta com uma área aproximada 36 equitares (36.000 m²), o acesso até a propriedade e através de rodovia não pavimentada desde a Rodovia SC 473, contorno viário de São Lourenço do Oeste, até o local com um percurso aproximado de 8 Km, também existe um segundo acesso através da cidade de Campo Erê SC, através da BR 153, percorrendo uma distancia de aproximadamente 4 Km pavimentados, mais 5 Km de rodovia não pavimentada.

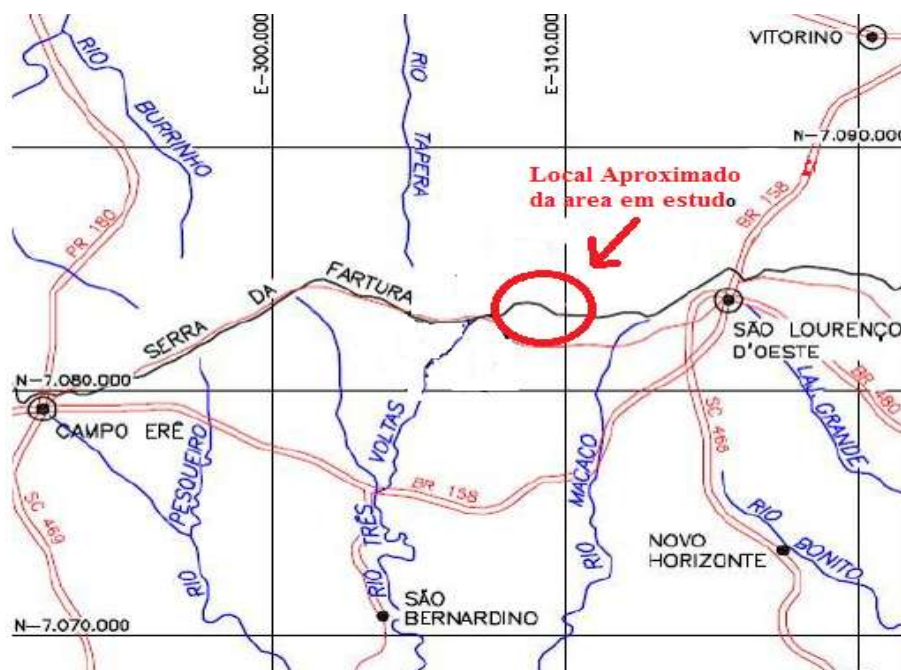


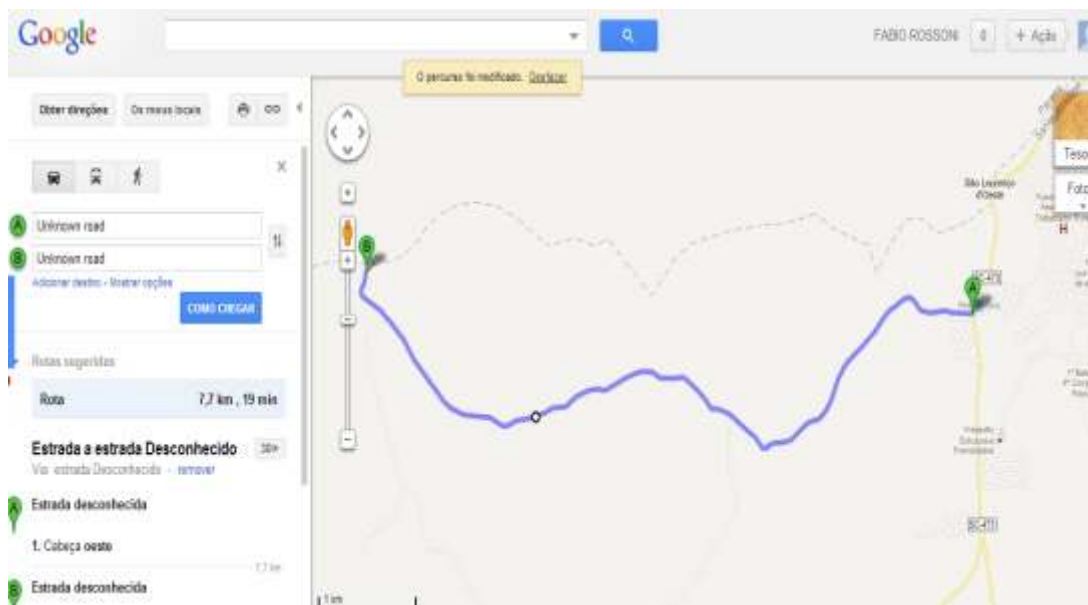
Figura 3.11 - Localização do Parque (Mapa Rodoviário Estadual – DNIT 2002).



Figura 3.12 - Foto Google Maps de área a serem implantadas as Torres de Geração.

Na foto acima pode ser visto a área com o potencial para implantação das torres de geração.

Para acesso a este local foram estudados três possíveis pontos de acesso, onde poderá ser trabalhado as vias para que os equipamentos possam chegar até o local da instalação.



**Figura 3.13 – Limites de território entre os estados de Santa Catarina e Paraná.
Fonte: Google Maps.**

Esta imagem do Google maps mostra percurso da saída da SC-473 contorno de São Lourenço do Oeste – SC até o ponto aproximado de chegada ao local de instalação do parque, esta distancia aproximada percorrida pela estrada principal de chão é de 7,7 km como pode ser vista na foto.

Figura 3.14 – Estrada principal de acesso.

Estrada principal que da acesso até as proximidades do local em



estudo, da SC-473 em São Lourenço do Oeste – SC até as proximidades da local em estudo.



Figura 3.15 – Vias de acesso.

Nesta Imagem verifica-se as três possibilidades de acesso até o local que foram levantadas, neste análise foram levado em conta caminhos já existentes e inclinação de terreno para facilitar o transporte dos equipamentos, este pontos foram os que apresentaram melhores condições de acesso.



Figura 3.16 – Aproximação do acesso ao parque eólico.

Aproximação do acesso 1, já existe uma via de acesso que pode ser trabalhada, efetuando alargamento e correções nas condições do trecho.



Figura 3.17 – Relevo do parque eólico.

Vista do Relevo em relação ao acesso 1, este acesso e de pouca distancia para chegar até o topo da elevação porém tem uma inclinação considerável, sendo assim terá que ser feito um trabalho de maquinas bem elaborado cortando o morro em varias partes para que a inclinação não impeça a subida dos equipamentos.



Figura 3.18 – Vista de aproximação ao acesso 2.

Vista aproximada do acesso 2, este acesso também possui uma pequena estrada onde sobem maquinas agrícolas, que trabalham no cultivo da área, e pode ser trabalhada para acesso dos equipamentos.

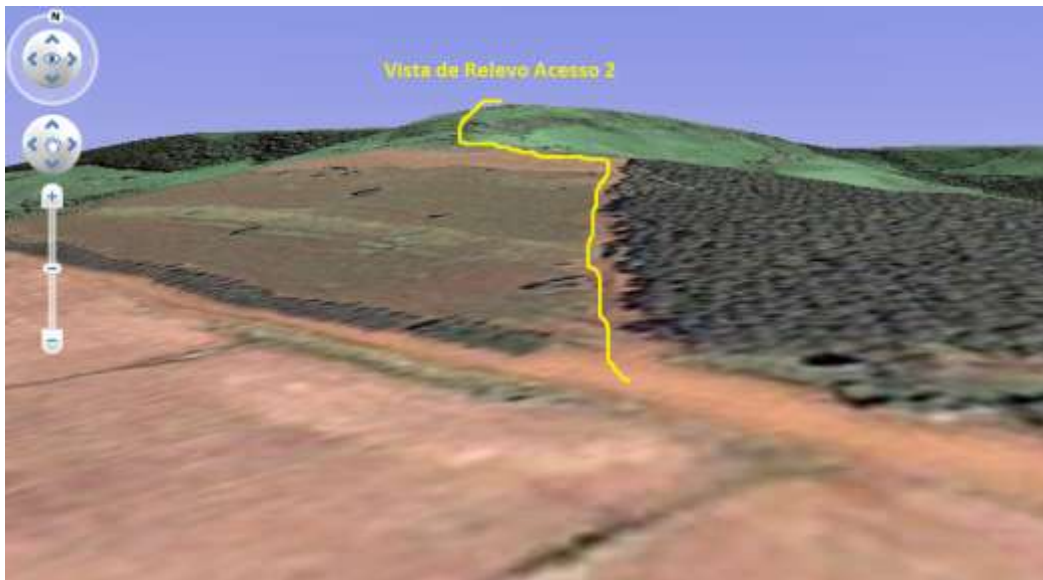


Figura 3.19 – Vista de relevo ao acesso 2.

Vista relevo em relação ao acesso 2, este acesso tem maior distancia porem com inclinação considerável podendo também ser trabalhado para chegada dos equipamentos, este acesso possui melhores características em relação ao acesso 1 com menor inclinação, minimizando trabalho com maquinas para abertura de estrada.



Figura 3.20 – Aproximação ao acesso 3.

A vista aproximada acesso 3, neste acesso tem-se uma distância maior porém a inclinação e melhor distribuída, não possui grandes subidas que possam dificultar o transporte dos equipamentos até o canteiro de obras.



Figura 3.21 – Vista do relevo de acesso 3.

Na vista em relação ao acesso 3, temos uma distância maior a ser percorrida porem os pontos de grande elevação são melhores distribuídos com isso, as inclinações totais também sendo assim é em uma primeira analise um melhor ponto para acesso dos equipamentos, estes percursos foram feitos de automóvel para melhor verificação do trajeto.

Um dos pontos de gargalo no que diz respeito a instalação de um parque de geração e como levar os equipamentos até o local de sua instalação. Para tanto devem ser analisadas mais que uma forma de acesso, e sua viabilidade de implantação pois além das características ideais de vento, o acesso dos equipamento também dever ser viável, tornando possível a implantação do mesmo no local desejado.

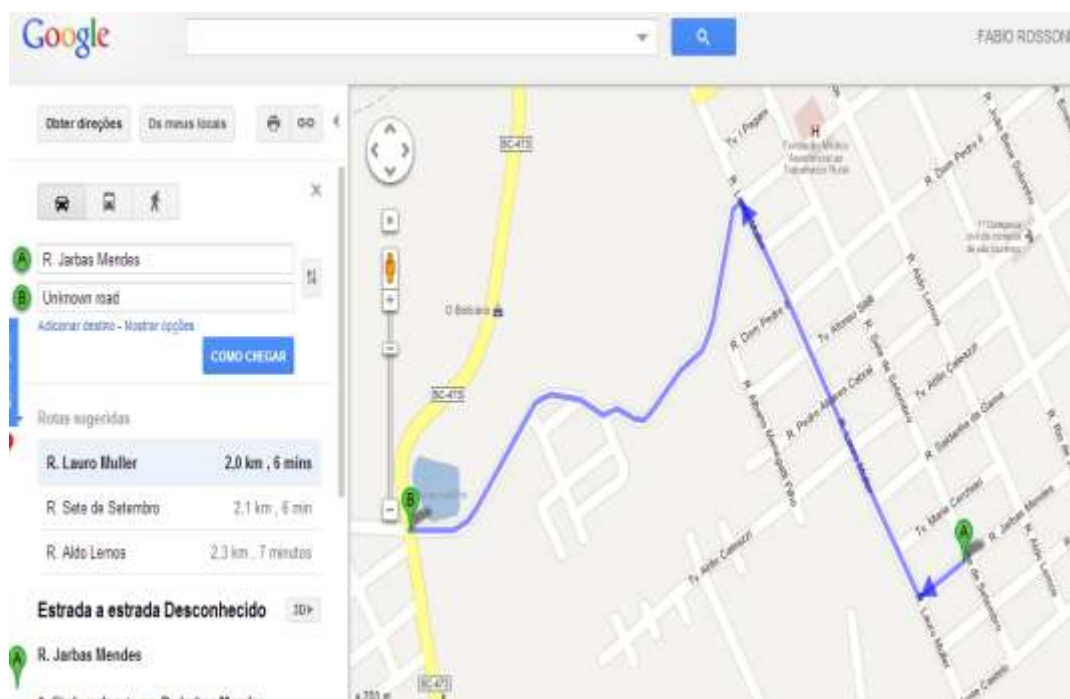


Figura 3.22 - Distancia Aproximada entre subestação de energia da cidade até SC-473, rodovia que da acesso a estrada vicinal que leva até a área em estudo.



Figura 3.23 - Visualização da localização da subestação de energia da cidade até o ponto de chegada a SC-473 .

A imagem abaixo mostra uma sugestão de alocação dos aerogeradores, levando em conta o distanciamento entre os mesmos, para que não ocorra turbulência nas rajadas de ventos entre as máquinas, seu posicionamento deve levar em conta a maior ocorrência de ventos, que deve atacar suas pás frontalmente, sendo que quando ocorrer mudanças de direção uma máquina não influencia na outra.



Figura 3.24 – Alocação dos aerogeradores.

4. RESULTADOS

Seguindo a metodologia de análise, para implantação do parque eólico, apresentada no Capítulo 3, inicialmente o estudo se dá na disponibilidade de ventos na região. O primeiro fator a ser analisado é o mapa de ventos, o qual apresenta para a região de projeto uma intensidade de ventos, que atende num primeiro momento uma média entre 6 e 7,5 m/s. As medições de dados de ventos, fornecidos pela empresa (A), mostram uma média de ventos em 5,96 m/s, atendendo o exposto no mapa dos ventos.

Com base nos dados obtidos e, utilizando a curva de potência do gerador sugerido de 2,0 MW, tem-se que esta máquina inicia sua geração com ventos a partir de 3m/s, segundo gráfico do fabricante, com velocidade média coletada obtemos uma geração média de 650 kW/h, com velocidade de 5,96m/s, tendo um maior aproveitamento para geração, com esta velocidade.

A área de construção sugerida para o projeto compreende uma área total de 36.000 m², de propriedade de uma única pessoa o que facilita a parte de contratos para arrendamento das terras, outro fator é que esta área é utilizada para agricultura. Tendo em vista que esta atividade somente compromete de 3% a 5% da área total, o restante ainda se destinaria para o cultivo agrícola.

Uma próxima etapa necessária para o projeto seria a disponibilidade de terras na região, e a rugosidade destas. A partir dos levantamentos apresentados, determina-se três trajetos possíveis, sendo o percurso desta estrada parcialmente pavimentado, com um trajeto de aproximadamente 8km sem pavimentação. Para os percursos através de estradas vicinais serão necessários alguns trabalhos de terraplanagem para alargamento e diminuição do grau das curvas, para deslocar os equipamentos até a área proposta, desta forma atendendo outro requisito necessário.

O fator inerente ao escoamento desta energia para centros consumo, conforme indicado no mapa para a subestação de energia de São Lourenço do Oeste, esta a 10 Km da área em questão, esta subestação fornece energia para cidade de São Lourenço do Oeste, Jupia, Galvão e São

Domingos. Sendo assim, a única rede a ser construída seria do parque eólico até a subestação de São Lourenço, facilitando o projeto para consumo desta energia.

A Tabela 9 demonstra de forma numérica alguns custos aproximados para implantação de um projeto deste porte, estas informações foram obtidas através da empresa (A), e servem como estimativa.

Tabela 9 – Estimativa de custos e receitas do empreendimento.

Saídas - Custo Aproximado Projeto R\$								
	2013	2014	2015	2016	2017	2018 a 2024	2025	Acumulado 20 anos
Torre de Medição	150.000,00					=		150.000,00
Relatórios	200.000,00	200.000,00	100.000,00			=		500.000,00
Projetos	75.000,00	150.000,00	150.000,00			=		375.000,00
Licença Ambiental		200.000,00	200.000,00	50.000,00	50.000,00	=	50.000,00	1.000.000,00
Aerogeradores 5 Torres			50.000.000,00			=		50.000.000,00
Linhas de Transmissão			1.200.000,00			=		1.200.000,00
Operação e Manutenção			650.000,00	650.000,00	650.000,00	=	650.000,00	13.000.000,00
Total Saídas								66.225.000,00
Receitas do Empreendimento R\$								
Fator de Capacidade de 35%			5 x 907.200,00					
Tarifa = R\$ 150,00 MWh			4.536.000,00	4.536.000,00	4.536.000,00		4.536.000,00	90.720.000,00
Parceria Proprietários Terras 1%			45.360,00	45.360,00	45.360,00		45.360,00	907.200,00
Total de Entradas								91.627.200,00

Conforme Tabela 9 acima, pode-se verificar que os custos iniciais dos projetos são bem elevados, estes sistemas funcionam através de parcerias com proprietários das terras, para não se ter mais um custo agregado, os mesmos recebem um percentual do valor da venda da energia, referente as torres de geração que estão implantadas em suas propriedades, cerca de 1% do valor, os contratos de arrendamento das propriedades prevêm uma locação por 20 anos que é o tempo estimado de vida útil do equipamento, podendo ser renovado por mais 20 caso necessário, isto é feito para reduzir custos de implantação.

Em termos de lucratividade do empreendimento, a Tabela 9 indica que o empreendimento é rentável, e as características do local atendem o necessário para implantação do projeto.

A Tabela 10 apresentada abaixo nos fornece um parâmetro dos fatores que são atendidos, e necessários para análise preliminar deste trabalho.

Tabela 10 – Fatores atendidos na construção de parque eólico.

Critério	Estatus	Justificativa
Recurso Eólico Disponível	OK	Mapas dos Ventos sinalizaram região com potencial
Infraestrutura do Local	OK	Estradas opção de 3 acessos
Rugosidade da Região	OK	Local de implantação apresenta area adequada
Disponibilidade de Local	OK	Area de terra com aproximadamente 36.000 m ²
Medição de Ventos	OK	Dados fornecidos por empresa (A) média ventos a 101 metros de 5,96m/s
Disponibilidade de Rede Elétrica	OK	Implantação de Aproximadamente 8km de rede elétrica
Consumo Energia	OK	Subestação de São Lourenço a 8Km distribuição da Energia Gerada

Os principais fatores das pré análises são atendidos de modo sinalizarem, que o local atende em sua maioria os critérios para implantação do parque de geração de energia elétrica.

5. CONCLUSÕES

A energia eólica é uma das alternativas que vem se mostrando cada vez mais forte e necessária para segurança da matriz energética, tendo em vista que em épocas de estiagem, os ventos se mostram constantes, como Brasil possui grande extensão territorial, e um potencial energético eólico ainda grande a ser explorado, foi buscado local que apresenta-se condições favoráveis para implantação deste tipo de geração. O foco deste trabalho foi apresentar os elementos constituintes de projeto para parques eólicos e o estudo da viabilidade de implantação de um parque na região entre as regiões sudoeste do Paraná e Oeste de Santa Catarina.

Neste trabalho foi apresentado inicialmente uma revisão da literatura onde foram analisadas, o contexto da energia eólica no mundo, cenário nacional, e como esta a geração eólica na região sul, através de gráficos e mapa de potencial eólico, e alguns fatores utilizados para cálculo de aproveitamento de energia eólica. No capítulo 3, foram citadas as principais características do projeto, relatórios exigidos por órgãos que regulamentam o setor, localização do parque em estudo, gráficos e medições de ventos realizadas próximas ao local, também tipo de gerador e suas principais características, também as principais vias de acesso até o local em estudo.

Em função dos dados colhidos no capítulo 3, destaca-se os fatores mais relevantes, que levam a tomadas de decisões iniciais no projeto, como escolha de um local para estudo, análise da rugosidade da região, disponibilidade de terras, acessos para equipamentos, custos estimados de um projeto, e parcerias com proprietários, fatores que podem inviabilizar o projeto. Partindo dos resultados de que os dados de ventos são favoráveis, um levantamento do estudo da região desde disponibilidade de terras, possibilidade de fornecer a energia elétrica produzida nas proximidades, conclui-se de que este projeto se torna viável em uma primeira análise.

De acordo com a Tabela 10 pode-se perceber que, os principais pontos de análise do projeto são atendidos, e sinalizam para o cenário de que o projeto pode ser desenvolvido.

5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Este trabalho serve como uma primeira análise de informações, que norteiam os próximos estudos que venham a ser feito nesta região sobre este tema. Ainda, orienta os caminhos a serem seguidos para elaboração de projetos, que venham a embasar ainda mais as informações aqui apresentadas. Estudos específicos de rugosidade do relevo da região, como trabalhos de medições de ventos, estudo de turbulências dos ventos em função da rugosidade da região, levantamentos ambientais sobre fauna e flora, possíveis rotas migratórias de pássaros na região, e por fim uma análise financeira mais detalhada de custos de implantação de torres e projetos de parques.

REFERÊNCIAS

ANEEL. **Atlas de Energia Elétrica do Brasil**. 2008. 3, TDA Comunicação, Brasília, 2008.

CASTRO, Rui M. G. **Energias Renováveis e Produção Descentralizada INTRODUÇÃO À ENERGIA EÓLICA**. 4. ed. [S.l.]: Universidade Técnica de Lisboa, 2009.

CENTRAIS ELÉTRICAS DE SANTA CATARINA - CELESC. www.celesc.com.br.

CERESB. CERESB - Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sergio de Salvo Brito. **CERESB - Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sergio de Salvo Brito**, 2012. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br>>. Acesso em: 23 abr. 2012.

COMPANHIA PARANAENSE DE ENERGIA - COPEL. <http://www.copel.com>.

DUTRA, Ricardo M. **VIABILIDADE TÉCNICO-ECONÔMICA DA ENERGIA EÓLICA FACE AO NOVO MARCO REGULATÓRIO DO SETOR ELÉTRICO BRASILEIRO**. 2001. 259p. Universidade Federal Rio de Janeiro COPPE, Rio de Janeiro, 2001.

ESTELAR ENGENHEIRO ASSOCIADOS. **Apresentação Projeto Eólico**. 2012. [s.n.], Florianópolis, 2012.

GWEC, Global W. E. C.-. **Global Wind Statistic 2011**. [S.l.]. 2011.

GWEC, Global W. E. C.-. **Global Wind Statistic 2012**. [S.l.]. 2012.

INSTITUTO TECNOLÓGICO SIMEPAR. <http://www.simepar.org/>. **Simepar**.

LAGE, Caroline. *Energiaeolicaufabc*. **Energia Eólica no ambiente urbano: Estudo na UFABC**,2011. Disponível em:

<<http://energiaeolicaufabc.blogspot.com.br/2011/11/distribuicao-de-weibull.html>>.

Acesso em: Agosto 2013.

LEITE, Andrea P. C. L. T. B. D. M. F. Modelagem de Usinas Eólicas Para Estudos de Confiabilidade. **Revista Controle & Automação**, v. 17, abr. 2006.

OLIVEIRA, Luciana D. S. D. **Regras e boas Práticas para instalação de Torres anemométricas voltadas para estudo de Potencial Eólico**. Universidade Federal do Rio de Janeiro-UFRJ. Rio de Janeiro. 2011.

PIERROT, Michaël. The Wind Power, 2013. Disponível em:

<http://www.thewindpower.net/country_es_26_brasil.php>. Acesso em: 16 Janeiro 2013.

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO GRANDE DO SUL. CE-EÓLICA - Centro De Energia Eólica. **PUCRS**, 2012. Disponível em: <<http://www.pucrs.br/ce-eolica/faq.php>>. Acesso em: 06 abr. 2012.

RBSTV. **G1 Notícias**, 2013. Disponível em: <<http://g1.globo.com/rs/rio-grande-do-sul/noticia/2013/04/com-novos-parques-rs-tenta-virar-lider-em-geracao-de-energia-eolica.html>>. Acesso em: Agosto 2013.

RUETER, Gero. DW-Notícias. **DW.DE**, 2012. Disponível em:

<<http://www.dw.de/energia-e%C3%B3lica-deve-superar-a-gerada-por-usinas-nucleares-no-mundo-at%C3%A9-2020/a-15918962>>. Acesso em: 30 Janeiro 2013.

SALAZAR, Felipe B.; COSTA, Gabriela D. **Energia Eólica**. Instituto Federal do Rio Grande do Sul. [S.l.]. 2012.

VILLAVERDE, Deputado A. et al. **Assembléia Legislativa do Estado do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: [s.n.]. 2008.

WWF-BRASIL. **Além de grandes hidrelétricas: Políticas para fontes renováveis de energia elétrica no Brasil**. [S.l.]. 2012.