

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO

CENTRO TECNOLÓGICO

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

SILVANA NUNES BARCELLOS

**AVALIAÇÃO DE POTENCIAL EÓLICO PARA AEROGERADORES DE  
PEQUENO PORTE – REGIÃO DE ESTUDO: ESPÍRITO SANTO**

VITÓRIA,  
2014

SILVANA NUNES BARCELLOS

**AVALIAÇÃO DE POTENCIAL EÓLICO PARA AEROGERADORES DE  
PEQUENO PORTE – REGIÃO DE ESTUDO: ESPÍRITO SANTO**

Projeto de Graduação apresentado ao Curso de Bacharelado em Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica, sob orientação do Prof. Doutor Márcio Ferreira Martins.

VITÓRIA,  
2014

SILVANA NUNES BARCELLOS

## **AVALIAÇÃO DE POTENCIAL EÓLICO PARA AEROGERADORES DE PEQUENO PORTE – REGIÃO DE ESTUDO: ESPÍRITO SANTO**

Projeto de Graduação apresentado à Coordenadoria do Curso de Bacharelado em Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica, sob orientação do Prof. Doutor Márcio Ferreira Martins.

Aprovada em 17 de dezembro de 2014.

### **BANCA AVALIADORA**

---

Prof. Dr. Márcio Ferreira Martins  
Universidade Federal do Espírito Santo  
Orientador

---

Prof. Dr. João Luiz Marcon Donatelli  
Universidade Federal do Espírito Santo

---

Prof. Herbert Barbosa Carneiro  
Universidade Federal do Espírito Santo

VITÓRIA,  
2014

*"A great wind is blowing, and that gives you either imagination or a headache."*

*(Catherine the Great)*

## RESUMO

Com as mudanças climáticas devido ao consumo excessivo de combustíveis fósseis geradores do efeito estufa, existe a necessidade de encontrar soluções alternativas a essa fonte de energia. Os consumidores de energia enfrentam o problema de variações do preço de energia e as normas brasileiras começaram a permitir em 2012 que o consumidor produzisse sua própria energia e ligasse a rede, facilitando assim a microgeração de energia. Assim, esse trabalho tem como foco mostrar a possibilidade da microgeração de energia utilizando fonte eólica que é uma fonte limpa e renovável de energia, além de analisar a fiabilidade do Atlas Eólico do Espírito Santo. Neste trabalho foram utilizados dados de estações meteorológicas e dados do atlas eólico do Espírito Santo para a análise dos ventos que, juntamente com dados de potência por velocidade das eólicas de pequeno porte, permitiram uma análise da produção da energia elétrica. O presente trabalho também incluiu uma análise de viabilidade dos projetos de microgeração de energia com fonte eólica baseados no preço da energia e nos gastos com as turbinas.

**Palavras-chave:** microgeração, energia elétrica, Espírito Santo, eólica.

## Sumário

|                                                                         |    |
|-------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. Introdução .....                                                     | 9  |
| 1.1. Objetivos .....                                                    | 9  |
| 1.2. Energia Renovável .....                                            | 9  |
| 1.3. Introdução a Energia Eólica.....                                   | 10 |
| 1.4. História da Energia Eólica.....                                    | 11 |
| 1.5. O vento.....                                                       | 14 |
| 1.6. Energia do vento disponível.....                                   | 16 |
| 2. Setor Eólico mundial e Brasileiro .....                              | 18 |
| 2.1. Eólicas de grande porte.....                                       | 18 |
| 2.2. Eólicas de pequeno porte.....                                      | 21 |
| 2.3. Potencial Eólico Brasileiro.....                                   | 24 |
| 3. Comentários sobre a Resolução Normativa ANEEL nº 482/2012,[17] ..... | 27 |
| 4. Conceitos básicos .....                                              | 30 |
| 4.1. Instrumento de medição de parâmetros do vento – Anemômetro.....    | 30 |
| 4.2. Distribuição de Weibull .....                                      | 31 |
| 5. Fontes de dados do vento.....                                        | 33 |
| 5.1. Estações meteorológicas .....                                      | 33 |
| 5.2. Atlas Eólico Espírito Santo.....                                   | 33 |
| 6. Metodologia de cálculo .....                                         | 40 |
| 6.1. Curva de Weibull – Densidade de probabilidade .....                | 40 |
| 6.1.1. Baseado nos dados horários do vento.....                         | 40 |
| 6.1.2. Baseado nos dados do Atlas .....                                 | 45 |
| 6.2. Extrapolação de Velocidade do Vento .....                          | 45 |
| 7. Dados utilizados no estudo.....                                      | 47 |
| 8. Resultados e Discussões .....                                        | 49 |
| 8.1. Características das eólicas .....                                  | 49 |
| 8.2. Produção de energia a partir de dados do atlas.....                | 50 |
| 8.3. Produção de energia a partir de dados anemométricos .....          | 55 |
| 8.4. Comparação dados anemométricos e dados do Atlas.....               | 56 |
| 8.5. Estudo de Viabilidade .....                                        | 57 |
| 9. Considerações Finais e Sugestões de Trabalhos Futuros .....          | 60 |
| 10. Bibliografia .....                                                  | 62 |

## Lista de Figuras

|                                                                                                                                                                                                                                                               |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| FIGURA 1 - UTILIZAÇÃO RUDIMENTAR PARA BOMBEAMENTO DE ÁGUA NA CHINA (2000 A.C.) FONTE: DUTRA, 2012 .....                                                                                                                                                       | 12 |
| FIGURA 2 - ESTRUTURA TÍPICA DE MOINHO DE VENTO PARA MOAGEM DE GRÃOS. FONTE: DUTRA, 2012). ....                                                                                                                                                                | 12 |
| FIGURA 3 - PRIMEIRO AEROGERADOR. FONTE: WINDSECTOR, 2013 .....                                                                                                                                                                                                | 13 |
| FIGURA 4 - DESLOCAMENTO DE MASSAS DE AR. FONTE: GWEC, 2011 .....                                                                                                                                                                                              | 15 |
| FIGURA 5 - REPRESENTAÇÃO DO VENTO DIA E NOITE FONTE: GRUPO VIRTUOUS, 2014.....                                                                                                                                                                                | 16 |
| FIGURA 6- CAPACIDADE TOTAL INSTALADA 2011-2014 [MW]. FONTE: WORLD WIND ENERGY ASSOCIATION – WWEA, 2014.....                                                                                                                                                   | 19 |
| FIGURA 7 - PORCENTAGEM DE NOVA CAPACIDADE INSTALADA. FONTE: WORLD WIND ENERGY ASSOCIATION – WWEA, 2014.....                                                                                                                                                   | 19 |
| FIGURA 8 - TOTAL DE UNIDADES INSTALADAS. FONTE: WORLD WIND ENERGY ASSOCIATION – WWEA, 2014. .                                                                                                                                                                 | 22 |
| FIGURA 9 - DISTRIBUIÇÃO DE PRODUTORES DE AEROGERADORES DE PEQUENO PORTE. FONTE: WORLD WIND ENERGY ASSOCIATION – WWEA, 2014. ....                                                                                                                              | 22 |
| FIGURA 10 - TIPO DE TECNOLOGIA DOS AEROGERADORES. FONTE: WORLD WIND ENERGY ASSOCIATION – WWEA, 2014.....                                                                                                                                                      | 23 |
| FIGURA 11 - VELOCIDADE MÉDIA ANUAL DO VENTO - ATLAS EÓLICO BRASILEIRO. FONTE: AMARANTE, 2001. .                                                                                                                                                               | 25 |
| FIGURA 12 - ESQUEMA SIMPLIFICADO DE SISTEMA EÓLICO DE PEQUENO PORTE CONECTADO À REDE. FONTE: CARBON TRUST, 2008. ....                                                                                                                                         | 28 |
| FIGURA 13 - ANEMÔMETRO DE COPOS. FONTE: <a href="http://www.smg.gov.mo">HTTP://WWW.SMG.GOV.MO</a> .....                                                                                                                                                       | 30 |
| FIGURA 14 - GRÁFICO DA FUNÇÃO DENSIDADE DA DISTRIBUIÇÃO WEIBULL. FONTE: ADAPTADO DE <a href="http://www.portaaction.com.br/content/613-distribui%C3%A7%C3%A3o-weibull-a">HTTP://WWW.PORTAACTION.COM.BR/CONTENT/613-DISTRIBUI%C3%A7%C3%A3O-WEIBULL A</a> ..... | 32 |
| FIGURA 15 - ANEMÔMETROS INSTALADOS NO ESTADO PARA REALIZAÇÃO DO ESTUDO DO VENTO. FONTE: AMARANTE, 2009 .....                                                                                                                                                  | 35 |
| FIGURA 16 - FATOR DE FORMA WEIBULL ANUAL. FONTE: AMARANTE,2009.....                                                                                                                                                                                           | 37 |
| FIGURA 17 - VELOCIDADE DO VENTO ANUAL A 50 M DE ALTURA. FONTE: AMARANTE,2009. ....                                                                                                                                                                            | 38 |
| FIGURA 18 – RUGOSIDADE. FONTE: AMARANTE, 2009. ....                                                                                                                                                                                                           | 39 |
| FIGURA 19 - ROSA DOS VENTOS. FONTE: AUTOR .....                                                                                                                                                                                                               | 41 |
| FIGURA 20 - COMPARAÇÃO CURVA REAL E DE WEIBULL. FONTE: AUTOR .....                                                                                                                                                                                            | 43 |
| FIGURA 21 - EÓLICA DE EIXO VERTICAL E DE EIXO HORIZONTAL RESPECTIVAMENTE. FONTE: ENERSUD, 2010 E SATRIZ, 2010. ....                                                                                                                                           | 47 |
| FIGURA 22- PONTOS ESCOLHIDOS PARA ANÁLISE NO ESPÍRITO SANTO. FONTE: AUTOR .....                                                                                                                                                                               | 48 |
| FIGURA 23 – POTÊNCIA POR VELOCIDADE. FONTE: AUTOR.....                                                                                                                                                                                                        | 49 |
| FIGURA 24 - CURVAS DE WEIBULL POR PONTO. FONTE: AUTOR.....                                                                                                                                                                                                    | 52 |
| FIGURA 25 - COMPARAÇÃO ENTRE PONTO 9 E PONTO 10. FONTE: AUTOR.....                                                                                                                                                                                            | 53 |
| FIGURA 26 - ENERGIA PRODUZIDA EM CADA PONTO. FONTE: AUTOR. ....                                                                                                                                                                                               | 54 |
| FIGURA 27 - CURVA CARACTERÍSTICA PARA FAIXA DE VELOCIDADE PREDOMINANTE PARA PONTO 9. FONTE: AUTOR. ....                                                                                                                                                       | 55 |
| FIGURA 28 - PRODUÇÃO DE ENERGIA EM RELAÇÃO AO AEROGERADOR E À ALTURA. FONTE: AUTOR.....                                                                                                                                                                       | 56 |
| FIGURA 29 - COMPARAÇÃO ENTRE PRODUÇÃO DE ENERGIA UTILIZANDO DADOS DO ATLAS E DADOS ANEMOMÉTRICOS. FONTE: AUTOR. ....                                                                                                                                          | 57 |

## LISTA DE TABELAS

|                                                                                                                                                  |           |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| TABELA 1 - RANKING DE MAIORES PRODUTORES DE ENERGIA EÓLICA. FONTE: WORLD WIND ENERGY ASSOCIATION – WWEA, 2014 .....                              | 21        |
| TABELA 2 - POTENCIAL EÓLICO-ELÉTRICO DO BRASIL. FONTE: AMARANTE, 2001 .....                                                                      | 26        |
| TABELA 3 - AGENTES DISTRIBUIDOS ENTRE OS DESTINOS DA ENERGIA. FONTE:<br>HTTP://WWW.ANEEL.GOV.BR/APLICACOES/AGENTEGERACAO/AGENTEGERACAO.CFM ..... | 27        |
| TABELA 4 - LEGENDA DE DESTINOS DA ENERGIA. FONTE:<br>HTTP://WWW.ANEEL.GOV.BR/APLICACOES/AGENTEGERACAO/AGENTEGERACAO.CFM .....                    | 27        |
| <b>TABELA 5 – EXEMPLO DE TABELA PARA OBTENÇÃO DA ENERGIA TOTAL PRODUZIDA. FONTE: AUTOR .....</b>                                                 | <b>44</b> |
| TABELA 6 - PARÂMENTROS DOS AEROGERADORES. FONTE: AUTOR. ....                                                                                     | 49        |
| TABELA 7 - DADOS COLETADOS DO ATLAS E DADOS CALCULADOS. FONTE: AUTOR.....                                                                        | 50        |
| TABELA 8 - TAXA DE JUROS. FONTE: AUTOR. ....                                                                                                     | 58        |
| TABELA 9 - GASTOS PARA AS DIFERENTES TURBINAS. FONTE: AUTOR.....                                                                                 | 58        |

# **1.Introdução**

Diante das mudanças climáticas que vem acontecendo no mundo inteiro, muitos países estão começando a se preocupar com o uso de fontes de energia que poluem o meio ambiente.

Para tanto, muitos países iniciaram medidas para incentivar o uso de energia renovável. Uma dessas medidas é incentivar que os consumidores produzam sua própria energia, através de normas que autorizam o consumidor a ligar sua geração à rede, evitando o uso de baterias que tornava muitos projetos de microgeração inviáveis.

Nesse contexto de energia renováveis foi criado o Atlas Eólico do Espírito Santo que fornece um panorama do estado no setor e seu potencial.

## **1.1. Objetivos**

Esse trabalho tem como objetivo a análise da geração de energia eólica e a viabilidade de implantação de projetos de eólicas de pequeno porte no estado do Espírito Santo.

Além disso, também tem como objetivo analisar os dados do Atlas Eólicos do Espírito Santo através de uma comparação com dados locais de uma estação meteorológica localizada no aeroporto de Vitória.

## **1.2. Energia Renovável**

Para melhor esclarecer sobre os tipos de energia utilizados atualmente, eles são basicamente divididos em dois tipos de acordo com suas fontes.

Umas delas é a energia não renovável, que são fontes encontradas na natureza em quantidade limitada e podem se extinguir com sua utilização como é o exemplo dos combustíveis fósseis (carvão, petróleo e gás natural) e o urânio, utilizado para obter energia pelo processo de fusão nuclear.

O outro tipo de energia é a energia renovável, em que não é possível medir um fim temporal para a fonte utilizada. São exemplos desse tipo de energia o calor e

a radiação emitida pelo sol, a existência de vento, as marés ou cursos de água. Assim, elas são consideradas fontes inesgotáveis, somente sendo limitada em relação à quantidade disponível para extração em cada momento.

A motivação para o desenvolvimento de tecnologia voltada para a produção de energia renovável é primeiramente a necessidade de diminuir a dependência a recursos energéticos não renováveis que, como já foi dito, se pode prever sua futura escassez. Além disso, busca-se cada vez mais a geração de energia de forma a degradar menos os recursos naturais do meio ambiente como a atmosfera, o solo e os recursos hídricos.

### **1.3. Introdução a Energia Eólica**

A utilização do vento como fonte de energia objetiva um desenvolvimento sustentável e uma diminuição da dependência de fontes não renováveis e poluentes de energia que são, até hoje, responsáveis pela maioria da energia utilizada no planeta.

A energia eólica tem sido tema de debates e discussões e os governos de vários países que se preocupam com as questões ambientais têm criado incentivos e meios para o desenvolvimento de tecnologia nessa área. Esses incentivos vêm mostrando crescimento significativo da produção de energia utilizando essa fonte e tem mostrado resultados significativos em diversos países.

Uma grande vantagem do uso de eólicas é a possibilidade de um usuário comum gerar sua própria energia (microgeração de energia), e então diminuir a dependência em relação a energia elétrica fornecida pelas concessionárias, nem ficar a mercê da variação do preço da energia do mercado.

Mas também se devem levar em consideração as desvantagens como o barulho gerado e a necessidade de escolha criteriosa do local onde será instalada a eólica. Além disso, esta tecnologia ainda não está totalmente desenvolvida e seu custo ainda é bem elevado, o que torna difícil uma população ter seu próprio fornecimento de energia elétrica. Entretanto, esses fatores podem ser superados com o investimento no desenvolvimento dessa tecnologia.

## **1.4. História da Energia Eólica**

Há milhares de anos a energia eólica, bem como a hidráulica, vem sendo utilizada para auxiliar nas diversas etapas do trabalho na agricultura que envolve energia mecânica. Tarefas como o bombeamento de água e a moagem dos grãos exigiam cada vez mais esforço braçal e animal. Levando então ao desenvolvimento de ferramentas que facilitassem esse trabalho.

Com o passar do tempo, surgiu uma forma primitiva do que viria a ser o moinho de vento, utilizado no beneficiamento dos produtos agrícolas e bombeamento de água. Este era composto por um eixo vertical acionado por uma longa haste presa a ela, movida por homens ou animais caminhando numa gaiola circular. Esse sistema foi sendo aperfeiçoado e a força motriz humana e animal foi substituída primeiramente pela utilização de cursos d'água, surgindo as rodas d'água. Historicamente, essa substituição aconteceu antes do surgimento dos moinhos de vento graças a sua concepção mais simples. Porém, como não existiam rios em todos os lugares, percebeu-se o potencial do vento como uma fonte natural e abundante de energia e assim surgiram os moinhos de vento.

O primeiro registro histórico da utilização da energia eólica através de cata-ventos é proveniente da Pérsia, por volta de 200 a.C.. Esse tipo de moinho de eixo vertical se espalhou pelo mundo islâmico sendo utilizado por vários séculos para bombeamento de água e moagem de grãos. Acredita-se que antes da invenção dos cata-ventos na Pérsia, a China (por volta de 2000 A.C.) e o Império Babilônico (por volta 1700 A.C) também utilizavam cata-ventos rústicos para irrigação, como mostrado da Figura 1, [2], [3].

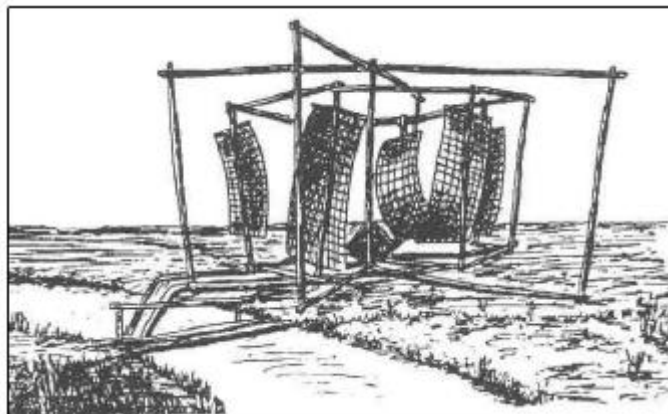


Figura 1 - Utilização rudimentar para bombeamento de água na China (2000 a.C.) Fonte: DUTRA, 2012

No século XI, após as cruzadas, foi grande a utilização de moinhos para bombeamento de água e moagem de grãos e seu desenvolvimento foi bem documentado, como visto na Figura 2. No século XIX, com a Revolução industrial e o advindo da Máquina a Vapor houve um declínio em sua utilização, mas eles são utilizados até hoje em várias partes do mundo para bombeamento de água, [1].

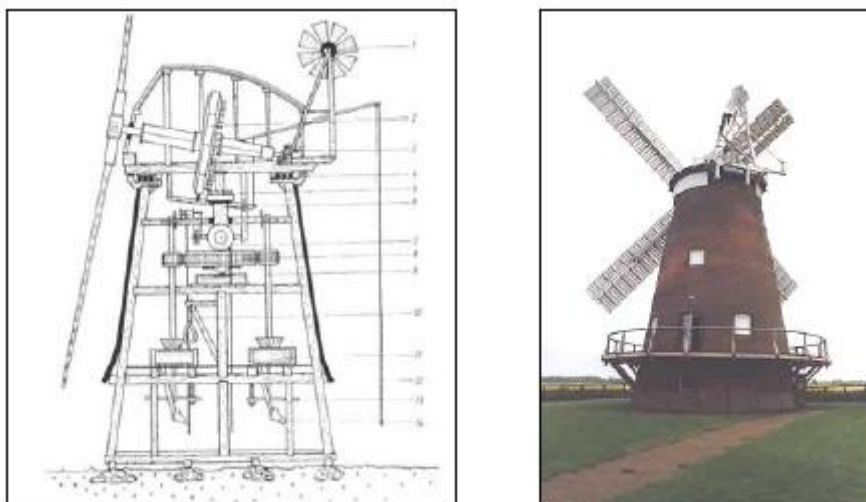


Figura 2 - Estrutura típica de moinho de vento para moagem de grãos. Fonte: DUTRA, 2012).

A energia eólica também foi largamente utilizada no Transporte Marítimo desde o começo de seu desenvolvimento e é utilizada até hoje.

No final do século XIX, começou a adaptação dos cata-ventos para geração de energia elétrica. Em 1888, Charles F. Brush, um industrial voltado para eletrificação em campo, ergueu o primeiro cata-vento destinado à geração de energia elétrica na cidade de Cleveland, Ohio. Esse aerogerador fornecia 12kW em

corrente contínua para carregamento de baterias, as quais eram destinadas, sobretudo, para o fornecimento de energia para 350 lâmpadas incandescentes, [4].

Bruch utilizou-se da configuração de um moinho para sua invenção. A roda principal tinha 144 pás, diâmetro de 17m e uma torre de 18m de altura. Todo o sistema era sustentado por um tubo metálico central de 36cm que possibilitava o giro do sistema acompanhando o vento predominante. Esse sistema esteve em operação por 20 anos, sendo desativado em 1908. Sem dúvida, este foi um marco na utilização dos cata-ventos para a geração de energia elétrica, [1].

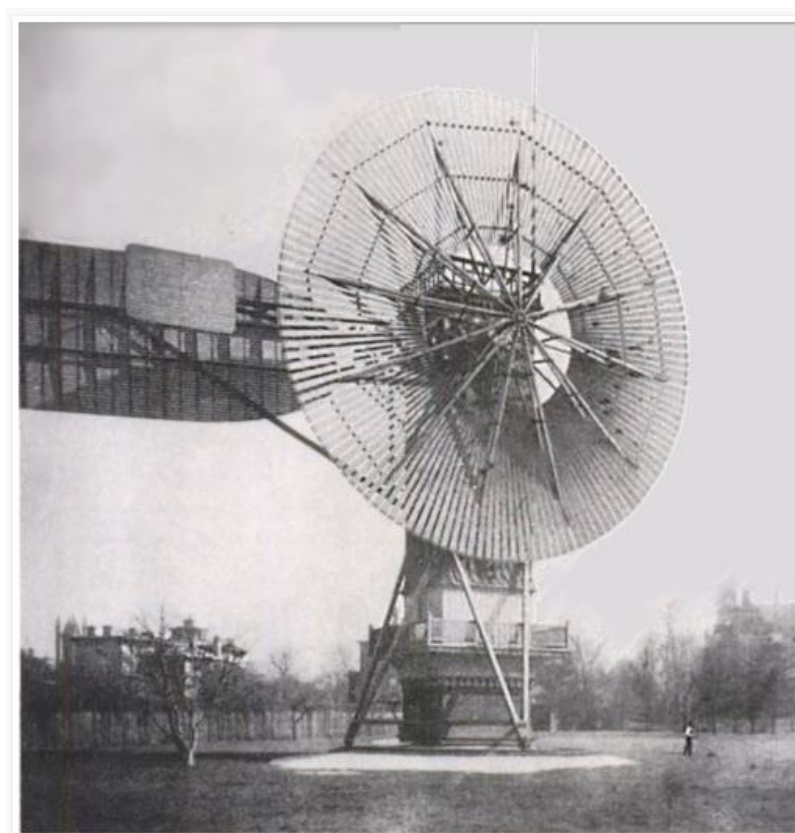


Figura 3 - Primeiro aerogerador. Fonte: WINDSECTOR, 2013

No século XX, com o avanço da rede elétrica, houve um aumento substancial nas pesquisas para o desenvolvimento de aerogeradores. Os Estados Unidos difundiram o uso de aerogeradores de pequeno porte nas fazendas e residências rurais isoladas, enquanto a Rússia investia na conexão de aerogeradores de médio e grande porte diretamente na rede, [5].

A Segunda Guerra Mundial contribuiu para o desenvolvimento dos aerogeradores de médio e grande porte, pela diminuição da disponibilidade de combustíveis fósseis os países em geral empenhavam-se para economizar essa

fonte de energia. Todavia, após o fim da guerra, os combustíveis fósseis voltaram a abundar no cenário mundial e assim os aerogeradores deixaram de ser competitivos. Então, eles continuaram a ser construídos, mas somente para fins de pesquisa, utilizando e aprimorando técnicas aeronáuticas na operação e desenvolvimento de pás, além de aperfeiçoamentos no sistema de geração, [1].

Assim, com o aumento de tecnologia voltada para esse setor, a energia eólica se tornou viável e começou a ganhar espaço no mercado mundial de energia. Atualmente, muitos países estão conseguindo uma maior independência de fontes não renováveis de energia graças ao investimento e ao desenvolvimento de tecnologia no setor da energia eólica.

## **1.5. O vento**

A energia eólica pode ser considerada como originada da energia solar. O aquecimento diferenciado da atmosfera, devido os movimentos do Planeta Terra e das diferentes orientações de incidência dos raios solares, é responsável pelo deslocamento de massas de ar. O vento também é influenciado por efeitos naturais como continentalidade, maritimidade, latitude, altitude, e a rugosidade do solo, entre outros, [7].

As regiões tropicais, que recebem os raios solares quase perpendicularmente, são mais aquecidas do que as regiões polares, logo o ar quente que se encontra nas baixas altitudes das regiões tropicais tendem a subir, sendo substituído por uma massa de ar mais frio que se desloca das regiões polares. Esse deslocamento da massa de ar determina a formação dos ventos, conforme a Figura 4, [7].

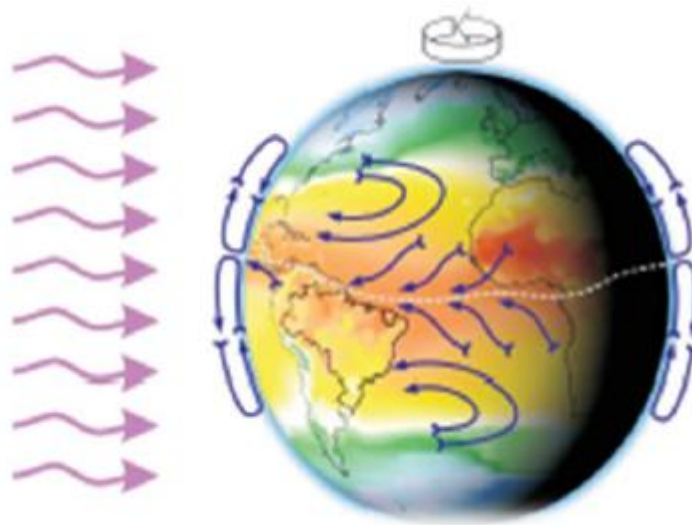


Figura 4 - Deslocamento de massas de ar. Fonte: GWEC, 2011

Os ventos planetários, também chamados de ventos constantes, pois estão sempre presentes na natureza devido ao fato de serem produzidos pelo aquecimento no Equador e resfriamento nos pólos, são classificados em, [9]:

- **Alísios:** ventos que sopram dos trópicos para o Equador, em baixas altitudes.
- **Contra-Alísios:** ventos que sopram do Equador para os pólos, em altas altitudes.
- **Ventos do Oeste:** ventos que sopram dos trópicos para os pólos.
- **Polares:** ventos frios que sopram dos pólos para as zonas temperadas.

A inclinação da do eixo da Terra em relação ao plano de sua órbita em torno do Sol, é de  $23,5^\circ$ . Assim, variações sazonais na distribuição de radiação recebida na superfície da Terra resultam em variações na intensidade e direção dos ventos e, como resultado, surgem os ventos continentais ou periódicos que formam as monções e as brisas, [9].

As monções são ventos periódicos que mudam de direção, aproximadamente, a cada seis meses. Elas sopram, em geral, em determinada direção em uma estação do ano e em sentido contrário em outra estação, [9].

As brisas são ventos periódicos e que sopram do mar para o continente e, vice-versa e surgem em função das diferentes capacidades de cada tipo de

superfície de refletir, absorver e emitir o calor recebido do Sol. Durante o dia, devido à maior capacidade da terra de refletir os raios solares, a temperatura do ar aumenta e, como consequência, forma-se uma corrente de ar que sopra do mar para a terra (brisa marítima). À noite, a temperatura da terra cai mais rapidamente do que a temperatura da água e, assim, ocorre a brisa terrestre que sopra da terra para o mar. Normalmente, a intensidade da brisa terrestre é menor do que a da brisa marítima devido à menor diferença de temperatura durante o período noturno, mostrado na Figura 5, [9].

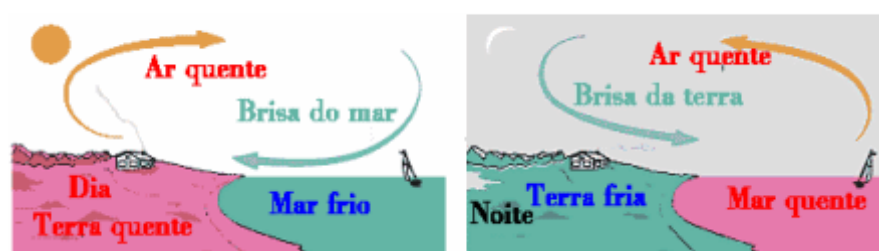


Figura 5 - Representação do vento dia e noite Fonte: GRUPO VIRTUOUS, 2014

Além dos sistemas de geração dos ventos, tais como as monções e as brisas, existem os ventos locais. Os ventos locais são ventos que sopram em determinadas regiões e são resultantes das condições locais, que os tornam bastante individualizados. O caso mais conhecido é observada nos vales e montanhas. Durante o dia, o ar quente nas encostas da montanha se eleva e o ar mais frio desce sobre o vale para substituir o ar que subiu. No período noturno, a direção em que sopram os ventos é novamente revertida e o ar frio das montanhas desce e se acumula nos vales, [9].

## 1.6. Energia do vento disponível

A energia disponível para uma turbina eólica é a energia cinética associada a uma coluna de ar que se desloca a uma velocidade uniforme e constante  $u$  (m/s). A coluna de ar, ao atravessar a seção plana transversal  $A$  (m<sup>2</sup>) do rotor da turbina, desloca uma massa  $\rho Au$  (kg/s), em que  $\rho$  é a massa específica do ar ( $\rho = 1,225$  kg/m<sup>3</sup>, em condições de pressão e temperatura normais), [11].

A potência disponível no vento ( $W$ ) é, então, proporcional ao cubo da velocidade do vento, [11]:

$$P_{disp} = \frac{1}{2}(\rho Au)u^2 = \frac{1}{2}\rho Au^3 \quad (1)$$

Onde,

$P_{disp}$  – Potência disponível do vento

$\rho$  - massa específica do ar

$A$  - seção plana transversal

$u^3$  – velocidade do vento

Essa equação revela como a potência disponível é fortemente e principalmente dependente da velocidade do vento: quando esta duplica, a potência aumenta oito vezes, mas duplicando a área varrida pelas pás da turbina, o aumento é só de duas vezes. Por outro lado, se a velocidade do vento desce para metade, a potência reduz-se a 12,5%. Isto explica a importância crítica da colocação das turbinas em locais com velocidades do vento elevadas no sucesso econômico dos projetos de energia eólica. Porém, não se pode deixar de levar em consideração que turbinas de maior porte produzem mais energia, [11].

Porém, a potência disponível não é a mesma recuperável pelas turbinas eólicas. Essa não permite transformar a totalidade da energia do vento em energia útil. A potência recuperável por uma turbina eólica é função da velocidade do vento ao cubo, valor denominado por limite de Betz, [12]:

$$P = 0,37u^3 \quad (2)$$

Onde,

$P$  - Potência recuperável

$u^3$  – velocidade do vento

## **2.Setor Eólico mundial e Brasileiro**

### **2.1. Eólicas de grande porte**

A Associação Mundial de Energia Eólica (WWEA) é uma organização sem fins lucrativos que trabalha para um sistema energético mundial baseado totalmente em tecnologias de energia renovável, com a energia eólica como foco principal. Ela atua como uma plataforma de comunicação para todos os agentes de energia eólica em todo o mundo, e aconselha os governos nacionais e organizações internacionais sobre as políticas favoráveis para a implementação de energia eólica, facilitando o aumento da transferência de tecnologia internacional, que é a chave na disseminação acelerada desta tecnologia limpa, [13].

Atualmente, WWEA tem mais de 600 membros e representa o setor eólico de 101 países em todos os continentes. Entre os membros da WWEA, existem as associações nacionais de energia eólica dos principais países produtores de energia eólica - que representam mais de 50.000 membros - bem como empresas, instituições científicas e organismos públicos, [13].

. A WWEA publicou seu relatório Half-year Report 2014, [14]. Nela ela atualizou o status da indústria global quanto à capacidade instalada de energia eólica ao fim do primeiro semestre de 2014, em todo o mundo. Mostrou também uma comparação da capacidade instalada no decorrer dos anos, de 2011 até 2014, enfatizando o acréscimo na capacidade instalada a cada ano. Assim, a associação informou que a capacidade eólica instalada no mundo ultrapassou os 336 GW. Apenas no primeiro semestre de 2014, foram adicionados 17,6 GW; contra 14 GW de acréscimo de capacidade instalada em todo o ano de 2013. Na Figura 6 é possível visualizar a evolução da capacidade instalada ao longo dos anos.

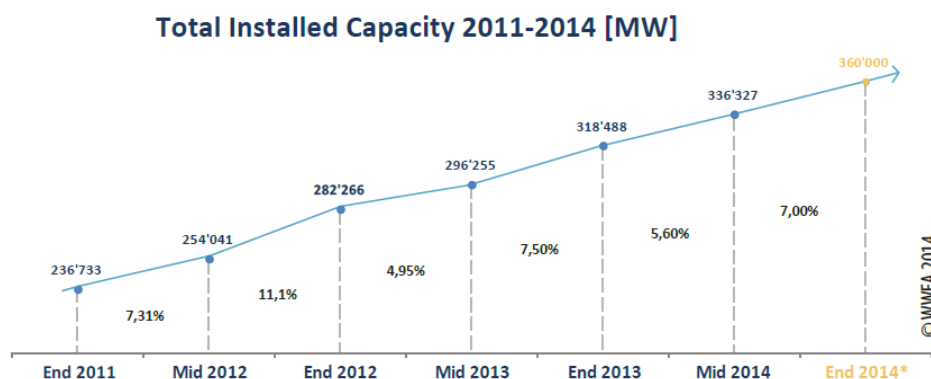


Figura 6- Capacidade Total Instalada 2011-2014 [MW]. Fonte: WORLD WIND ENERGY ASSOCIATION – WWEA, 2014

O relatório destaca os três países que mais aumentaram sua capacidade instalada no primeiro semestre de 2014. Em primeiro lugar a China, que adicionou 7,1 GW na sua capacidade de produção atingindo a marca de 98 GW e em breve ultrapassará a marca de 100 GW. Em Segundo lugar a Alemanha que aumentou sua capacidade em 1,8 GW em que o novo recorde representa em parte, sem dúvida, a antecipação a alterações na legislação relacionada a energia renovável que pode levar a uma desaceleração do mercado alemão nos próximos anos. Outro destaque foi o Brasil que ocupou a terceira posição entre os que mais adicionaram capacidade instalada. Na Figura 7 é mostrada a porcentagem da nova capacidade instalada em 2014 para diversos países.

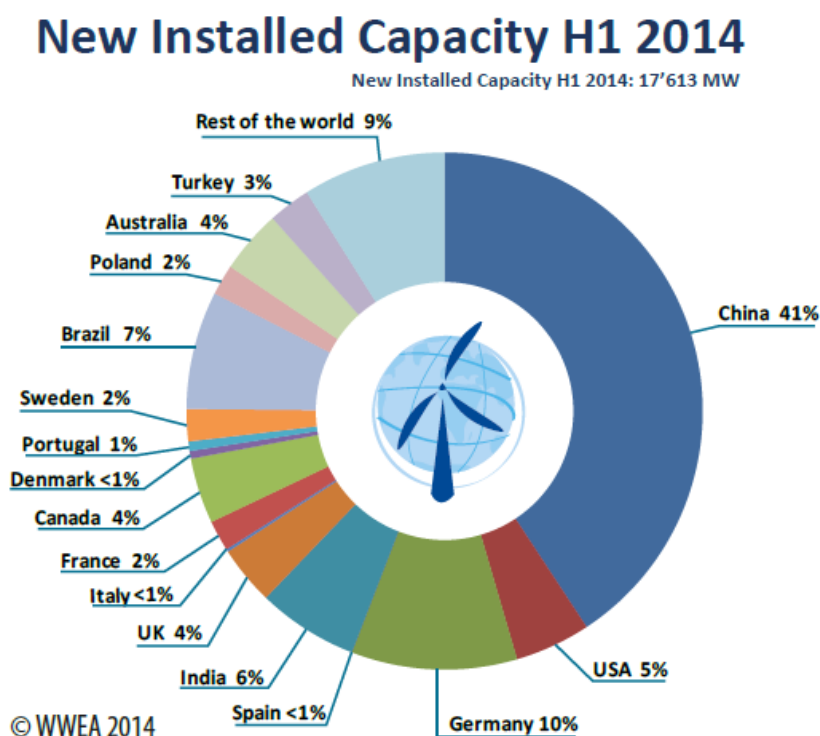


Figura 7 - Porcentagem de nova capacidade instalada. Fonte: WORLD WIND ENERGY ASSOCIATION – WWEA, 2014.

“Pela primeira vez, o Brasil fez parte do pódio se tornando o terceiro maior mercado mundial de turbinas eólicas, com 1,3 GW de nova capacidade, o que representa 7 % da venda mundial de turbinas. Com isso, o Brasil é capaz de expandir sua liderança isolada neste segmento por toda a América Latina”, destaca o relatório.

A WWEA reforça que, pela primeira vez, os mercados mais dinâmicos e expressivos do segmento eólico foram identificados em todos os continentes: China, Índia e Alemanha, Brasil, EUA, Canadá, Austrália, Reino Unido, Suécia e Polônia.

Detalhando o mercado Latino Americano, associação afirma que o Brasil se tornou o 13º maior mercado de energia eólica no mundo, depois da instalação de 1,3 GW no primeiro semestre de 2014 e com o acréscimo para 4,7 GW na capacidade instalada. “Com o impressionante acréscimo de 38,2% durante o primeiro semestre de 2014, o país se tornou o terceiro maior mercado de turbinas, atrás apenas da China e da Alemanha, e à frente dos EUA e Índia”, aponta o relatório. A associação também afirma uma expectativa da superação da marca de 5 GW em setembro de 2014, fazendo com que o Brasil entre no top dos países com maior capacidade instalada no fim de 2014.

Até o final do ano de 2014, a associação calcula que a capacidade eólica deve chegar a 360 GW no mundo.

Na Tabela 1 é mostrado o ranking dos 15 países com maior capacidade de produção de energia eólica instalada e sua evolução ao longo dos anos.

Tabela 1 - Ranking de maiores produtores de energia eólica. Fonte: WORLD WIND ENERGY ASSOCIATION – WWEA, 2014

| Position          | Country        | Total Capacity<br>by June 2014<br>[MW] | Added<br>Capacity H1<br>2014<br>[MW] | Total Capacity<br>end 2013<br>[MW] | Added<br>Capacity<br>H1 2013<br>[MW] | Total Capacity<br>end 2012<br>[MW] | Added<br>Capacity<br>H1 2012<br>[MW] | Total Capacity<br>end 2011<br>[MW] |
|-------------------|----------------|----------------------------------------|--------------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------|------------------------------------|
| 1                 | China          | 98'588                                 | 7'175                                | 91'413                             | 5'503                                | 75'324                             | 5'410                                | 62'364                             |
| 2                 | USA            | 61'946                                 | 835                                  | 61'108                             | 1,6                                  | 59'882                             | 2'883                                | 46'919                             |
| 3                 | Germany        | 36'488                                 | 1'830                                | 34'658                             | 1'143                                | 31'315                             | 941                                  | 29'075                             |
| 4                 | Spain          | 22'970                                 | 0,1                                  | 22'959                             | 122                                  | 22'796                             | 414                                  | 21'673                             |
| 5                 | India*         | 21'262                                 | 1'112                                | 20'150                             | 1'243                                | 18'321                             | 1'471                                | 15'880                             |
| 6                 | United Kingdom | 11'180                                 | 649                                  | 10'531                             | 1'331                                | 8'445                              | 822                                  | 6'018                              |
| 7                 | France         | 8'592                                  | 338                                  | 8'254                              | 198                                  | 7'499                              | 320                                  | 6'877                              |
| 8                 | Italy          | 8'586                                  | 30                                   | 8'551                              | 273                                  | 8'144                              | 650                                  | 6'640                              |
| 9                 | Canada         | 8'526                                  | 723                                  | 7'698                              | 377                                  | 6'201                              | 246                                  | 5'265                              |
| 10                | Denmark        | 4'855                                  | 83                                   | 4'772                              | 416                                  | 4'162                              | 56                                   | 3'927                              |
| 11                | Portugal       | 4'829                                  | 105                                  | 4'724                              | 22                                   | 4'525                              | 19                                   | 4'379                              |
| 12                | Sweden         | 4'824                                  | 354                                  | 4'470                              | 526                                  | 3'745                              | -                                    | 2'798                              |
| 13                | Brazil         | 4'700                                  | 1'301                                | 3'399                              | 281                                  | 2'507                              | 118                                  | 1'429                              |
| 14                | Australia      | 3'748                                  | 699                                  | 3'049                              | 475                                  | 2'584                              | -                                    | 2'226                              |
| 15                | Poland         | 3'727                                  | 337                                  | 3'390                              | 310                                  | 2'497                              | -                                    | 1'616                              |
| Rest of the World |                | 31'506                                 | 2'042                                | 29'451                             | 1'761                                | 24'660                             | 3'026                                | 16'493                             |
| Total             |                | 336'327                                | 17'613                               | 318'488                            | 13'978                               | 282'607                            | 16'376                               | 233'579                            |

© WWEA 2014

Vale lembrar que esse relatório descreve a capacidade instalada para geração de energia eólica a partir de turbinas de grande porte, não demonstrando os resultados encontrados para aerogeradores de pequeno porte.

## 2.2. Eólicas de pequeno porte

Para este caso, o cenário é bem diferente. De acordo com o relatório de pequenas eólicas no mundo [15], atualizado em 2014, China e Estados Unidos detem mais de 90% das unidades instaladas, como mostrado na Figura 8.

O mercado de turbinas de pequeno porte continua crescendo, mas em sua maioria é devido ao crescimento em três países China, Estados Unidos e Reino Unido. O que é uma indicação clara que esse mercado ainda tem muito a evoluir no mundo inteiro e que são necessárias mais e melhores políticas de incentivos ao mercado para que isso ocorra.

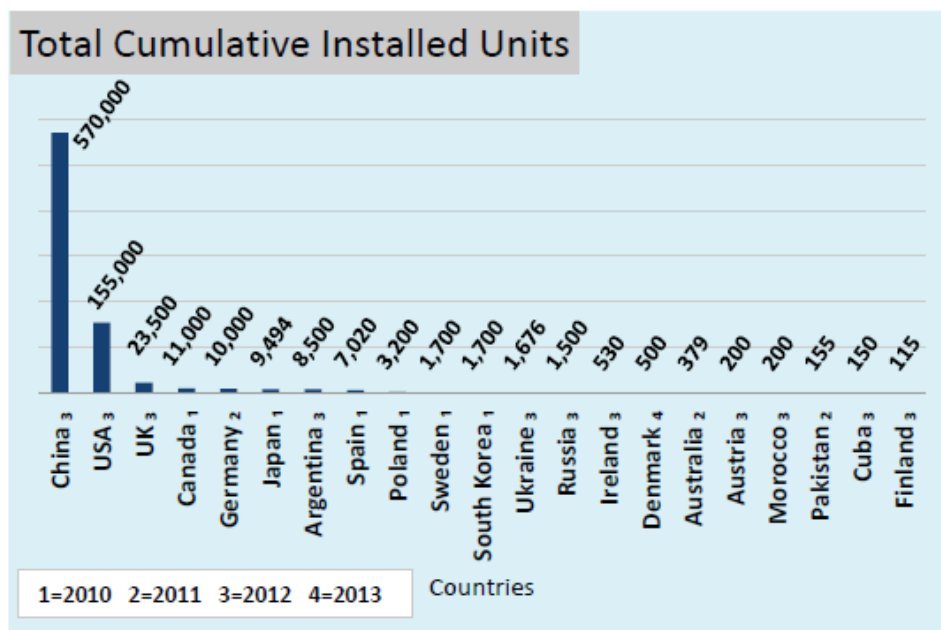


Figura 8 - Total de unidades instaladas. Fonte: WORLD WIND ENERGY ASSOCIATION – WWEA, 2014.

Sobre os produtores de aerogeradores o relatório descreve que 50% dos produtores estão concentrados em cinco países, Canada, China, Alemanha, Reino Unido e Estados Unidos. Na Figura 9 é mostrada a distribuição de produtores de turbinas, assim é possível perceber a concentração em poucas áreas: América do Norte, China e alguns países europeus.

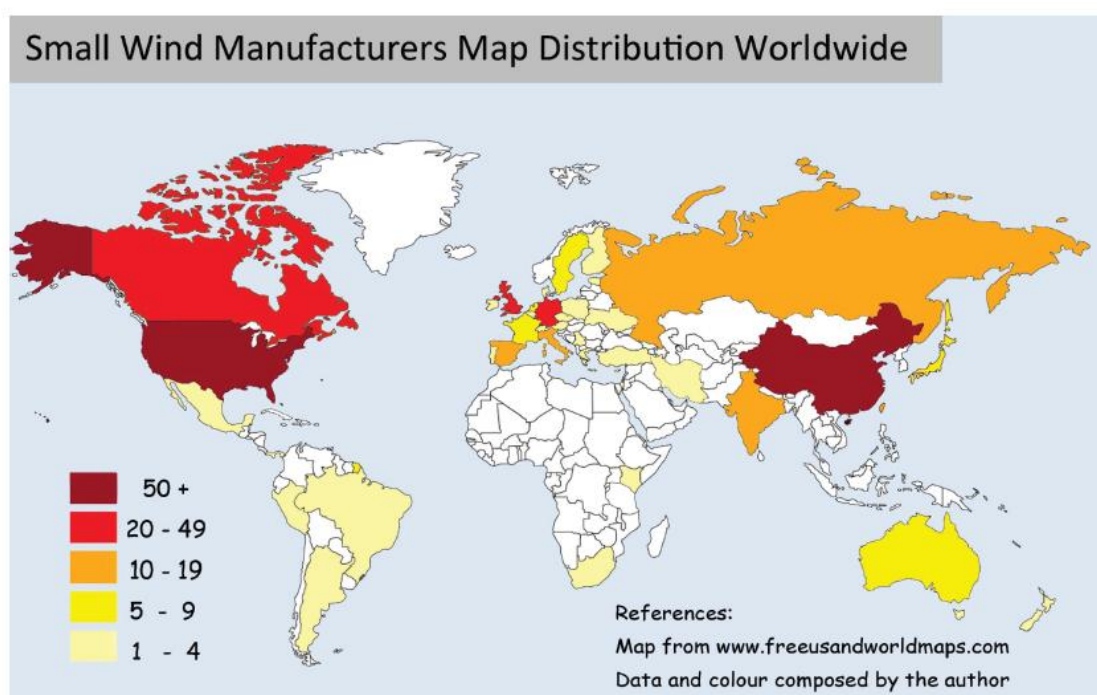


Figura 9 - Distribuição de produtores de aerogeradores de pequeno porte. Fonte: WORLD WIND ENERGY ASSOCIATION – WWEA, 2014.

O destaque maior é dado para a China que é, de longe, o maior mercado em termos de unidades instaladas, representando 70% do total. Porém, estima-se que por volta da metade das turbinas continuam produzindo energia elétrica na China, dado que esse mercado começou logo no início dos anos 80. Em relação ao número de novas unidades a China também está muito superior aos países subsequentes, essa aumentou seu número em 70 mil unidades enquanto Estados Unidos e Reino Unido tiveram números parecidos, com um aumento de 3700 e 3646 novas unidades instaladas respectivamente.

Em termos de capacidade a China também está em primeiro lugar com 39 %, mas a diferença é bem menor em relação ao número de turbinas instaladas, sendo que a capacidade dos Estados Unidos corresponde a 31% e do Reino Unido a 9,4 % da capacidade total instalada no mundo. Sobre o crescimento da capacidade instalada, em 2011 foi registrado 576 MW instalados e em 2012, 678 MW, contatando-se um aumento de 18 %.

O relatório também cita as aplicações onde a energia do vento era utilizada em décadas passadas, como moagem e bombeamento de água e como isso evoluiu para diversas aplicações como produção de energia residencial e comercial, a aplicação em sistemas híbridos, a utilização em locais de difícil acesso da transmissão de energia e para propriedades rurais, monitoramento remoto, bombeamento, estações de comunicação, etc.

Foi avaliado também o tipo de tecnologia utilizada nas eólicas, Figura 10.

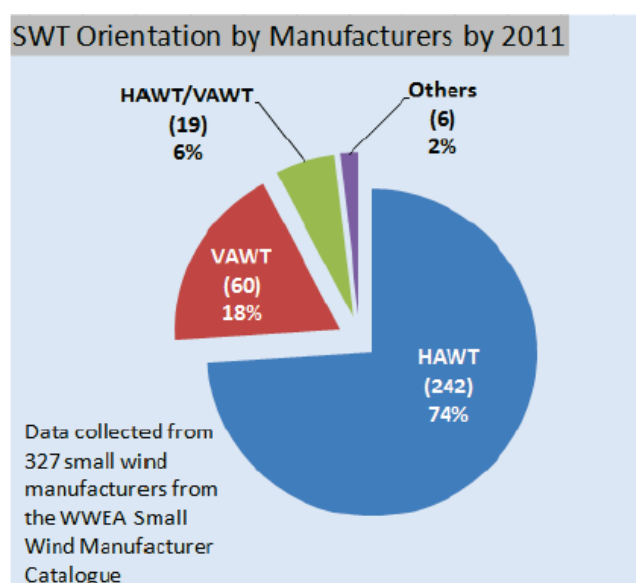


Figura 10 - Tipo de tecnologia dos aerogeradores. Fonte: WORLD WIND ENERGY ASSOCIATION – WWEA, 2014.

Percebe-se que a maioria dos produtores vem investindo nas eólicas de eixo horizontal, já que foi constatado que essas são mais eficientes e também mais conhecidas.

Falando do cenário brasileiro percebemos que diferentemente do setor das eólicas de grande porte em que o Brasil vem ganhando mais espaço a cada ano, no setor de eólicas de pequeno porte o país não é nem mesmo citado no relatório. Isso pode mudar com o decorrer dos anos devidos as mudanças das normas brasileiras e a recente possibilidade de injetar energia produzida diretamente na rede elétrica o que pode incentivar o crescimento desse setor.

## **2.3. Potencial Eólico Brasileiro**

Embora ainda exista muita divergência de opinião em relação ao Potencial eólico brasileiro, hoje já existem algumas pesquisas locais e regionais com boa precisão sobre os resultados sobre os ventos.

Considerando um panorama nacional existem dois estudos publicados, mostrando valores úteis sobre a velocidade e densidades dos ventos. Um deles foi feito à partir da metodologia do MesoMap que utiliza diversos bancos de dados que são considerados de qualidade adequada para referenciar o estudo. Esses bancos dados contêm parâmetros como velocidade do vento, rugosidade, densidade do ar e dados meteorológicos e sobre o relevo. O resultado desse estudo é mostrado na Figura 11, [16].

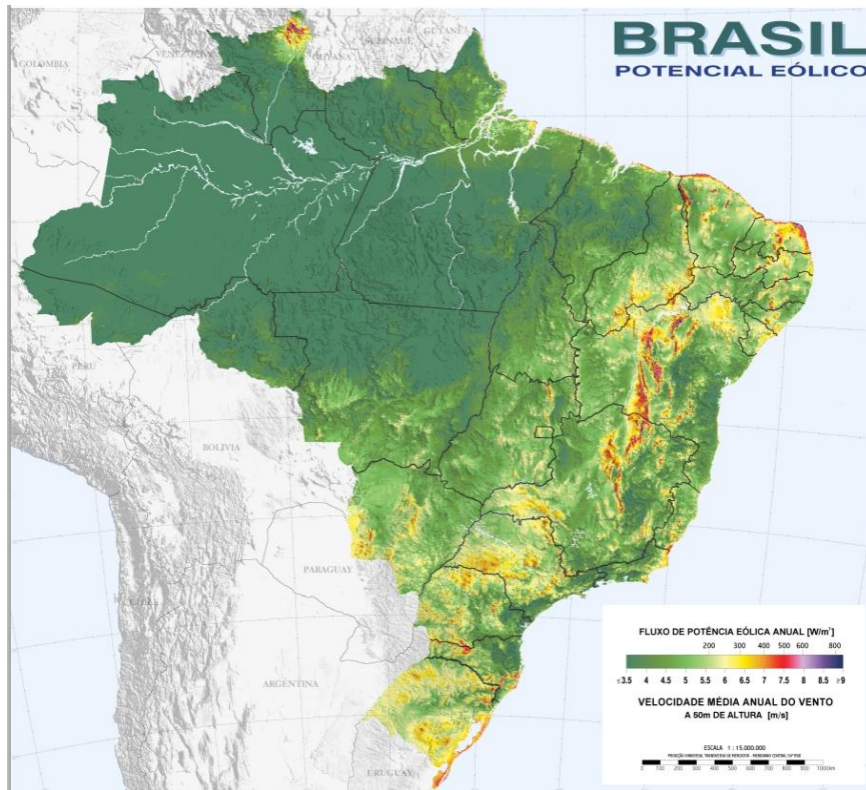


Figura 11 - Velocidade Média anual do vento - Atlas Eólico Brasileiro. Fonte: AMARANTE, 2001.

Alem desse mapa, o Atlas, [16], fornece mapas de velocidade por região do país e por estação do ano. Para permitir o calculo do potencial eólico ele também fornece mapas contendo o fator k da distribuição de Weibull e a rugosidade local.

Utilizando-se recursos de geoprocessamento e cálculos de desempenho e produção de energia elétrica a partir de curvas de potência de turbinas eólicas existentes no mercado, e integrando-se os mapas digitais foi possível chegar nos valores listados na Tabela 2 do referido Atlas. Essa Tabela mostra o potencial eólico-eletrico estimado do Brasil.

Para obter esses valores foram consideradas as seguintes premissas [16]:

- Todas as áreas que apresentaram velocidades médias anuais iguais ou superiores a 6 m/s for integradas
- Foram consideradas curvas médias de desempenho de turbinas eólicas instaladas em torres de 50m
- Densidade média de ocupação de terreno de apenas 2 MW/km<sup>2</sup> para estimativa.

- Intervalos com incrementos de 0,5 m/s para velocidades médias anuais de vento e o desempenho foi calculado para limites inferiores de cada intervalo;
- Adotado fator de disponibilidade de 0,98;
- Descartadas da integração as áreas cobertas por água. (lagoas, lagos, açudes, rios e mar).

**Tabela 2 - Potencial eólico-elétrico do Brasil. Fonte: AMARANTE, 2001**

| REGIÃO                                                                                                           | INTEGRAÇÃO POR FAIXAS DE VELOCIDADES |            |                          |                     |                         | INTEGRAÇÃO CUMULATIVA |                         |                          |                         |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|------------|--------------------------|---------------------|-------------------------|-----------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|
|                                                                                                                  | VENTO [m/s]                          | ÁREA [km²] | POTÊNCIA INSTALÁVEL [GW] | FATOR DE CAPACIDADE | ENERGIA ANUAL [TWh/ano] | VENTO [m/s]           | ÁREA (CUMULATIVA) [km²] | POTÊNCIA INSTALÁVEL [GW] | ENERGIA ANUAL [TWh/ano] |
|  <b>NORTE</b>                   | 6 - 6,5                              | 11460      | 22,92                    | 0,13                | 25,58                   | >6                    | 24206                   | 48,41                    | 70,49                   |
|                                                                                                                  | 6,5 - 7                              | 6326       | 12,65                    | 0,17                | 18,46                   | >6,5                  | 12746                   | 25,49                    | 44,91                   |
|                                                                                                                  | 7 - 7,5                              | 3300       | 6,60                     | 0,20                | 11,33                   | <b>&gt; 7 m/s</b>     | <b>6420</b>             | <b>12,84</b>             | <b>26,45</b>            |
|                                                                                                                  | 7,5 - 8                              | 1666       | 3,33                     | 0,25                | 7,15                    | >7,5                  | 3120                    | 6,24                     | 15,11                   |
|                                                                                                                  | 8 - 8,5                              | 903        | 1,81                     | 0,30                | 4,65                    | >8                    | 1454                    | 2,91                     | 7,96                    |
|                                                                                                                  | >8,5                                 | 551        | 1,10                     | 0,35                | 3,31                    | >8,5                  | 551                     | 1,10                     | 3,31                    |
|  <b>NORDESTE</b>               | 6 - 6,5                              | 146589     | 293,18                   | 0,13                | 327,19                  | >6                    | 245105                  | 490,21                   | 649,50                  |
|                                                                                                                  | 6,5 - 7                              | 60990      | 121,98                   | 0,17                | 178,02                  | >6,5                  | 98516                   | 197,03                   | 322,31                  |
|                                                                                                                  | 7 - 7,5                              | 24383      | 48,77                    | 0,20                | 83,73                   | <b>&gt; 7 m/s</b>     | <b>37526</b>            | <b>75,05</b>             | <b>144,29</b>           |
|                                                                                                                  | 7,5 - 8                              | 9185       | 18,37                    | 0,25                | 39,43                   | >7,5                  | 13143                   | 26,29                    | 60,56                   |
|                                                                                                                  | 8 - 8,5                              | 3088       | 6,18                     | 0,30                | 15,91                   | >8                    | 3958                    | 7,92                     | 21,13                   |
|                                                                                                                  | >8,5                                 | 870        | 1,74                     | 0,35                | 5,23                    | >8,5                  | 870                     | 1,74                     | 5,23                    |
|  <b>CENTRO-OESTE</b>          | 6 - 6,5                              | 41110      | 82,22                    | 0,13                | 91,76                   | >6                    | 50752                   | 101,50                   | 120,83                  |
|                                                                                                                  | 6,5 - 7                              | 8101       | 16,20                    | 0,17                | 23,65                   | >6,5                  | 9642                    | 19,28                    | 29,07                   |
|                                                                                                                  | 7 - 7,5                              | 1395       | 2,79                     | 0,20                | 4,79                    | <b>&gt; 7 m/s</b>     | <b>1541</b>             | <b>3,08</b>              | <b>5,42</b>             |
|                                                                                                                  | 7,5 - 8                              | 140        | 0,28                     | 0,25                | 0,60                    | >7,5                  | 146                     | 0,29                     | 0,63                    |
|                                                                                                                  | 8 - 8,5                              | 6          | 0,01                     | 0,30                | 0,03                    | >8                    | 6                       | 0,01                     | 0,03                    |
|                                                                                                                  | >8,5                                 | 0          | 0,00                     | 0,35                | 0,00                    | >8,5                  | 0                       | 0,00                     | 0,00                    |
|  <b>SUDESTE</b>               | 6 - 6,5                              | 114688     | 229,38                   | 0,13                | 255,99                  | >6                    | 175859                  | 351,72                   | 446,07                  |
|                                                                                                                  | 6,5 - 7                              | 46302      | 92,60                    | 0,17                | 135,15                  | >6,5                  | 61171                   | 122,34                   | 190,08                  |
|                                                                                                                  | 7 - 7,5                              | 11545      | 23,09                    | 0,20                | 39,64                   | <b>&gt; 7 m/s</b>     | <b>14869</b>            | <b>29,74</b>             | <b>54,93</b>            |
|                                                                                                                  | 7,5 - 8                              | 2433       | 4,87                     | 0,25                | 10,44                   | >7,5                  | 3324                    | 6,65                     | 15,29                   |
|                                                                                                                  | 8 - 8,5                              | 594        | 1,19                     | 0,30                | 3,06                    | >8                    | 891                     | 1,78                     | 4,84                    |
|                                                                                                                  | >8,5                                 | 297        | 0,59                     | 0,35                | 1,78                    | >8,5                  | 297                     | 0,59                     | 1,78                    |
|  <b>SUL</b>                   | 6 - 6,5                              | 121798     | 243,60                   | 0,13                | 271,86                  | >6                    | 171469                  | 342,94                   | 424,74                  |
|                                                                                                                  | 6,5 - 7                              | 38292      | 76,58                    | 0,17                | 111,77                  | >6,5                  | 49671                   | 99,34                    | 152,88                  |
|                                                                                                                  | 7 - 7,5                              | 9436       | 18,87                    | 0,20                | 32,40                   | <b>&gt; 7 m/s</b>     | <b>11379</b>            | <b>22,76</b>             | <b>41,11</b>            |
|                                                                                                                  | 7,5 - 8                              | 1573       | 3,15                     | 0,25                | 6,75                    | >7,5                  | 1943                    | 3,89                     | 8,71                    |
|                                                                                                                  | 8 - 8,5                              | 313        | 0,63                     | 0,30                | 1,61                    | >8                    | 370                     | 0,74                     | 1,95                    |
|                                                                                                                  | >8,5                                 | 57         | 0,11                     | 0,35                | 0,34                    | >8,5                  | 57                      | 0,11                     | 0,34                    |
|  <b>TOTAL BRASIL ESTIMADO</b> |                                      |            |                          |                     |                         | >6                    | 667391                  | 1334,78                  | 1711,62                 |
|                                                                                                                  |                                      |            |                          |                     |                         | >6,5                  | 231746                  | 463,49                   | 739,24                  |
|                                                                                                                  |                                      |            |                          |                     |                         | <b>&gt; 7 m/s</b>     | <b>71735</b>            | <b>143,47</b>            | <b>272,20</b>           |
|                                                                                                                  |                                      |            |                          |                     |                         | >7,5                  | 21676                   | 43,35                    | 100,30                  |
|                                                                                                                  |                                      |            |                          |                     |                         | >8                    | 6679                    | 13,36                    | 35,93                   |
|                                                                                                                  |                                      |            |                          |                     |                         | >8,5                  | 1775                    | 3,55                     | 10,67                   |

A partir dos resultados mostrados, foi estimado um Potencial eólico disponível da ordem de 143 GW, como se pode ver na coluna Integração Cumulativa do Total Brasil estimado para velocidades maiores que 7 m/s.

É importante ressaltar que esse cálculo de Potencial eólico disponível foi feito para eólicas de grande porte, que só são viáveis a partir de valores mais altos de velocidade média anual. Então considerando a possibilidade de instalação de eólicas de pequeno porte, o potencial eólico brasileiro pode ser ainda maior.

### 3. Comentários sobre a Resolução Normativa ANEEL nº 482/2012,[17]

Desde 17 de abril de 2012, quando entrou em vigor a Resolução Normativa ANEEL nº 482/2012, o consumidor brasileiro pode gerar sua própria energia elétrica a partir de fontes renováveis e inclusive fornecer o excedente para a rede de distribuição de sua localidade.

De acordo com o site da ANEEL trata-se da micro e da minigeração distribuídas de energia elétrica, que pode contribuir para aliar economia financeira, consciência socioambiental e autossustentabilidade. De acordo com os números da agência, existem 241 consumidores que já estão operando como micro e minigeradores no Brasil, como se pode ver na Tabela 3, onde são mostrados os agentes investidores no mercado de geração de energia elétrica separados entre os destinos de energia. [18]

**Tabela 3 - Agentes Distribuídos entre os Destinos da Energia. Fonte:**  
<http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/AgenteGeracao/agentegeracao.cfm>

| Agentes Distribuídos entre os Destinos da Energia |                       |
|---------------------------------------------------|-----------------------|
| Destino da Energia                                | Quantidade de Agentes |
| APE                                               | 243                   |
| PIE                                               | 1.422                 |
| REG                                               | 1.206                 |
| REG-RN482                                         | 241                   |
| SP                                                | 73                    |
| * Um Agente pode atuar em vários destinos         |                       |

**Tabela 4 - Legenda de Destinos da Energia. Fonte:**  
<http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/AgenteGeracao/agentegeracao.cfm>

| Legenda   |                                             |
|-----------|---------------------------------------------|
| APE       | Autoprodução de Energia                     |
| PIE       | Produção Independente de Energia            |
| REG       | Registro                                    |
| REG-RN482 | Registro mini micro Geradores<br>RN482/2012 |
| SP        | Serviço Público                             |

Estimular a geração distribuída é de grande importância pelos benefícios para o sistema elétrico. Com essa modalidade é possível diminuir ou pelo menos adiar os investimentos em expansão dos sistemas de transmissão e distribuição, minimiza as perdas, reduz o carregamento das redes, além de ter baixo impacto ambiental,

diversificando a matriz energética e trazendo uma maior independência das fontes de energia poluentes e maior independência do consumidor.

De acordo com a Resolução Normativa nº 482/2012, os microgeradores são aqueles com potência instalada menor ou igual a 100 quilowatts (kW), e os minigeradores, aqueles cujas centrais geradoras possuem de 101 kW a 1 megawatt (MW). As fontes de geração precisam ser renováveis ou com elevada eficiência energética, isto é, com base em energia hidráulica, solar, eólica, biomassa ou cogeração qualificada. Assim, a fonte deve ser conectada por meio de instalações de unidades consumidoras. A Figura 12 é um esquema simplificado do sistema eólico de pequeno porte conectado à rede. [19]



Figura 12 - Esquema simplificado de sistema eólico de pequeno porte conectado à rede. Fonte: CARBON TRUST, 2008.

O funcionamento do sistema é com base em crédito de energia, de forma a simplificar a conexão das pequenas centrais à rede das distribuidoras de energia elétrica. Assim, permite que a energia excedente produzida possa ser repassada para a rede, gerando um crédito que pode ser utilizado posteriormente para abater no seu consumo, eliminando a necessidade de baterias que tem altos custos e facilitando o uso dessa modalidade de geração de energia. Um exemplo típico desse processo é a microgeração por fonte de energia solar fotovoltaica, pois durante o dia existe um excedente de energia, ou seja, produz mais energia que consome então, a energia produzida é passada para a rede. Porém, durante a noite em que não é mais produzida energia, a rede devolve a energia para o consumidor e desse consumo é abatido a energia excedente produzida. Portanto, a rede funciona como a bateria.

Vale ressaltar que, pela norma, o saldo positivo desse crédito de energia não pode ser revertido em dinheiro, mas pode ser utilizado para abater o consumo em outro posto tarifário ou em outra unidade consumidora que esteja na mesma área de

concessão e do mesmo titular da unidade responsável pela geração. Esse crédito também pode ser utilizado na fatura do mês subsequente, colaborando no caso de variação de produção energética que normalmente acontece devido a mudanças climáticas, os créditos de energia continuam válidos por 36 meses.

Além disso, é de responsabilidade total do consumidor a instalação de micro ou minigeração distribuída, não sendo a ANEEL responsável por estabelecer custos dos geradores ou condições de financiamento. Os consumidores são responsáveis pela análise de custo/benefício da instalação dos geradores e devem tomar como base o tipo da fonte de energia (painéis solares, turbinas eólicas, geradores a biomassa, etc), a tecnologia dos equipamentos, o porte da unidade consumidora e da central geradora, localização (rural ou urbana), valor da tarifa à qual a unidade consumidora está submetida, condições de pagamento/financiamento do projeto e existência de outras unidades consumidoras que possam usufruir dos créditos do sistema de compensação de energia elétrica.

Pela Resolução normativa, em relação à conexão de unidades de geração distribuída ao sistema, cabe à distribuidora, como responsável por garantir a prestação dos serviços públicos de distribuição de energia elétrica com qualidade e confiabilidade, encontrar soluções técnicas e economicamente mais razoáveis para conexão dos geradores e atendimento eficiente aos demais consumidores.

Não é necessária a assinatura de contrato para os microgeradores e minigeradores distribuídos participantes do sistema de compensação de energia.

## 4. Conceitos básicos

### 4.1. Instrumento de medição de parâmetros do vento – Anemômetro

Para medir a velocidade e direção do vento é utilizado um anemômetro. Esse instrumento é essencial para o cálculo da eficiência e produção de um parque eólico ou mesmo para microgeração. É o instrumento que é encontrado em estações meteorológicas para fornecer velocidade (em geral em m/s) e direção do vento a cada hora. De acordo com a empresa Vector Instruments, é necessário o uso de anemômetros de copos que já passaram por vários ensaios e testes de desempenho. Com isto, é possível obter os melhores resultados em situações climáticas reais, as quais consideram as condições mais variáveis do vento, como turbulências. Sabendo-se que a energia disponível a partir do vento é proporcional ao cubo da velocidade média do vento, é importante ter uma boa precisão de medição, [35].



Figura 13 - Anemômetro de copos. Fonte: <http://www.smg.gov.mo>

## 4.2. Distribuição de Weibull

Segundo Portal Action, [26], a distribuição de Weibull foi proposta originalmente por W. Weibull (1954) em estudos relacionados ao tempo de falha devido à fadiga de metais. Hoje em dia ela é frequentemente usada para descrever o tempo de vida de produtos industriais e para estudos de vento. Ela se tornou popular em aplicações práticas por apresentar uma grande variedade de formas, todas com uma propriedade básica: a sua função de taxa de falha é monótona. Isto é, ou ela é crescente ou decrescente ou constante.

Para o cálculo, sendo uma variável aleatória  $X$  tem distribuição Weibull se tiver função densidade de probabilidade dada por, [26]:

$$f(x) = \begin{cases} \frac{\alpha}{\beta^\alpha} x^{\alpha-1} \exp\left[-\frac{x^\alpha}{\beta}\right], & \text{se } x \geq 0 \\ 0 & \text{se } x < 0 \end{cases} \quad (3)$$

Sua função de distribuição acumulada é dada por, [26]:

$$f(x) = \begin{cases} 0 & \text{se } x < 0 \\ 1 - \exp\left[-\left(\frac{x}{\beta}\right)^\alpha\right] & \end{cases} \quad (4)$$

A curva de Weibull é muito utilizada por facilitar o tratamento e a transferência de dados, já que permite com somente dois parâmetros a criação de uma grande variedade de formas que podem ser utilizadas em muitas aplicações.

Para o estudo de vento, essa curva pode se aproximar da distribuição representada nos histogramas de velocidade, como a velocidade do vento. Assim, é muito utilizada principalmente por sua precisão nas circunstâncias do vento, levando em consideração o desvio padrão dos dados coletados, sendo este um parâmetro estatístico que traz a informação das incertezas relacionadas as velocidades previstas a partir dos dados coletados em um certo período de tempo de determinada região, [27].

O gráfico da Figura 14 mostra a distribuição Weibull fixando o parâmetro  $\alpha = 2$  e variando o parâmetro  $\beta=0,5, 1,5$  e  $3$ .

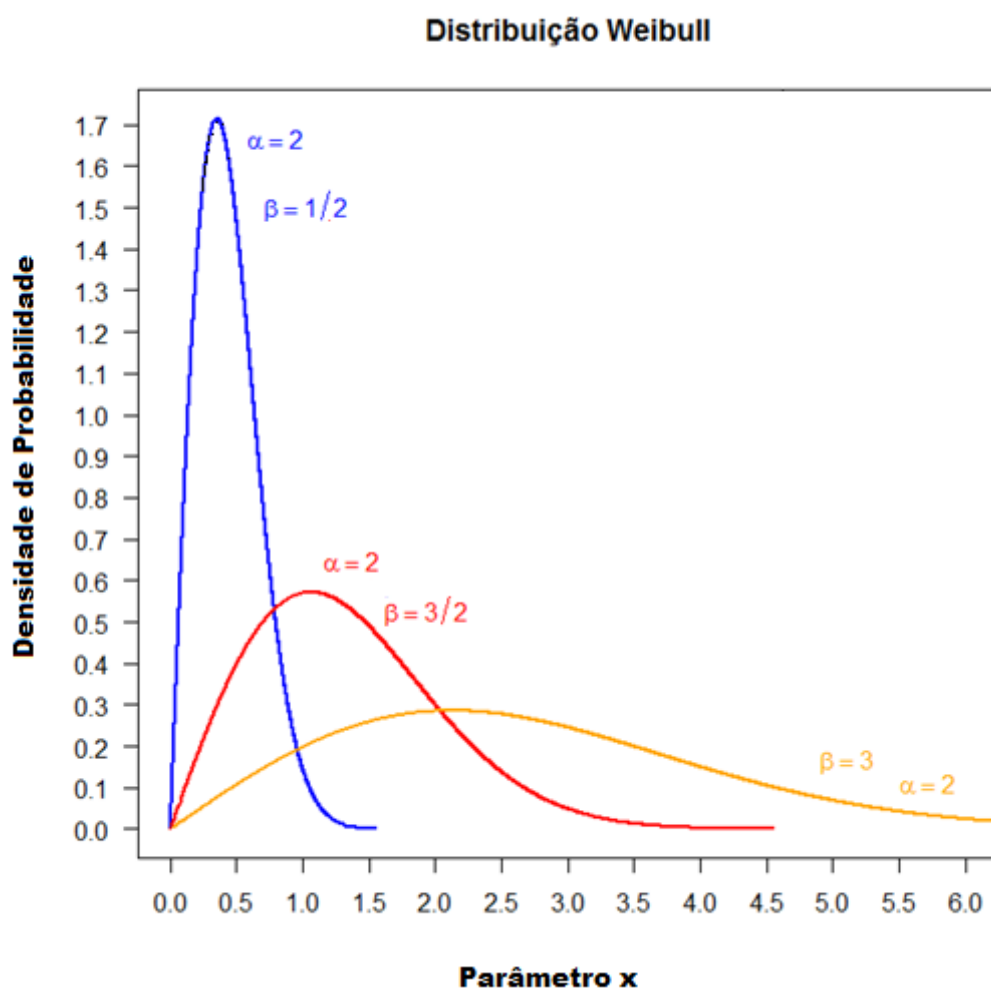


Figura 14 - Gráfico da Função densidade da distribuição Weibull. Fonte: Adaptado de <http://www.portaaction.com.br/content/613-distribui%C3%A7%C3%A3o-weibull-a>

A curva de Weibull é de grande importância para a criação do Atlas Eólico e para o tratamento dos dados horários do vento. Isso porque, muitas vezes são necessários dados horários do vento de muitos anos para fazer a previsão da velocidade e frequência do vento e essa curva permite resumir anos de dados em somente uma curva, sendo necessário somente dois parâmetros e a velocidade média. Para o Atlas, seria impossível descrever o potencial eólico de regiões vastas como o espírito santo se fosse necessário descrever para cada ponto qual a frequência das velocidades locais, então essa curva permite que seja facilmente demonstrado essa frequência em um atlas. Nos estudos de vento normalmente chama-se  $\alpha$  de A e  $\beta$  de K, a assim esses parâmetros serão chamados nesse trabalho.

## 5. Fontes de dados do vento

### 5.1. Estações meteorológicas

Para estudar o potencial eólico de uma determinada região é possível utilizar dados horários de uma estação meteorológica onde exista um anemômetro.

Para realização deste trabalho, foram utilizados dados do vento horários da estação meteorológica do Aeroporto Eurico Sales, situado em Vitória, disponibilizados no Banco de dados Meteorológicos (BDM) pelo Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC), na página <http://bancodedados.cptec.inpe.br>. Esses dados foram retirados da estação meteorológica de superfície situada no aeroporto e seus dados são denominados pelo CPTEC como do tipo “METAR” (METeorological Aerodrome Report). Esses dados são medidos a altura 10m em relação ao solo, [28], [29].

Para obter dados de estações meteorológicas também é possível utilizar a plataforma BDMEP do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) que disponibiliza dados automáticos (últimos 90 dias) e dados históricos das estações meteorológicas. Essa fonte não foi usada no trabalho por não fornecer dados de nenhuma estação, além do aeroporto de Vitória, para o estado do Espírito Santo.

### 5.2. Atlas Eólico Espírito Santo

O Atlas Eólico do Espírito Santo foi desenvolvido pela ASPE (Agência de Serviços Públicos de Energia do Estado do Espírito Santo) em 2009, [32].

O mapeamento do potencial eólico foi feito a partir de medições anemométricas e de um modelo numérico de simulação da camada-limite atmosférica. O modelo numérico escolhido foi o MesoMap, constituído por modelamento de mesoescala (*Mesoscale Atmospheric Simulation System – MASS*), [33].

O MesoMap integra modelos de simulação atmosférica, bases de dados meteorológicos e geográficos, redes de computadores e sistemas de armazenamento. Esse método obtém representatividade considerável para grandes áreas continentais sem a necessidade de dados anemométricos, o que permitiu que

o Atlas fosse realizado utilizando poucos pontos de medição direta da velocidade do vento. Esse método também simula diretamente os regimes de vento de curto e longo prazo, eliminando a incerteza de ajustes climáticos.

O conjunto de dados de entrada são principalmente provenientes de reanálises, assim como mostrado anteriormente para o WindFetch<sup>TM</sup>, radiossondas e temperatura sobre a terra e oceanos. Nesse estudo foi utilizado o banco de dados de reanálise NCAR/NCEP Global Reanalysis Project, contendo sequências de parâmetros meteorológicos dos principais níveis da atmosfera. A partir dessas condições, o modelo determina a evolução das condições meteorológicas dentro da região de estudo, com base nas interações entre os distintos elementos da atmosfera e entre a atmosfera e a superfície terrestre.

Para as medições anemométricas, foram instalados anemômetros em diversos locais do estado, como mostrado na Figura 15, sendo um total de 6. As medições foram realizadas em um período de 16 meses e as áreas foram criteriosamente selecionadas como áreas representativas das principais regiões do estado. Além disso, era necessário que as regiões escolhidas fossem de baixa rugosidade e afastada de obstáculos.



Figura 15 - Anemômetros instalados no estado para realização do estudo do vento. Fonte: AMARANTE, 2009

Os modelos de terreno influenciam fortemente nos regimes de vento. Sendo assim, os resultados das simulações são diretamente ligados a qualidade dos modelos digitais empregados. [32]

Para o modelo de Relevo utilizou-se a versão 4.0 do modelo *Shuttle Radar Topography Mission – SRTM*, que é uma versão melhorada do mapeamento realizado pela missão do ônibus espacial Endeavour (missão conjunta NASA-ESA, ano 2000). Essa versão foi amostrada na resolução 200m x 200m permitindo o detalhamento do Atlas a esse mesmo nível. [32]

O modelo de Rugosidade foi elaborado a partir do mosaico de imagens *LANSAT 5*, de aferições por comparação com o Mapa de Vegetação do Brasil (IBGE), que utiliza imagens de alta definição do *Google Earth* e do modelo de Uso do Solo (USGS – Universidade de Nebraska e Joint Research Center da Comissão Europeia). O trabalho foi finalizado com aferições realizadas pela CAMARGO SCHUBERT em amostragem de campo.

A resolução final dos mapas eólicos (200m x 200m) foi obtida a partir do software WindMap [32]. Para obter as velocidades médias e direções do vento, o WindMap utiliza o resultado do modelamento do MASS, os modelos digitais do terreno (relevo e rugosidade) e os dados das medições anemométricas.

Além da rugosidade, velocidade média e direção do vento, também é importante salientar que através do Atlas pode-se obter o fator de forma da curva de Weibull anual. Esses dados podem ser visualizados nos mapas das Figuras 16, 17 e 18.

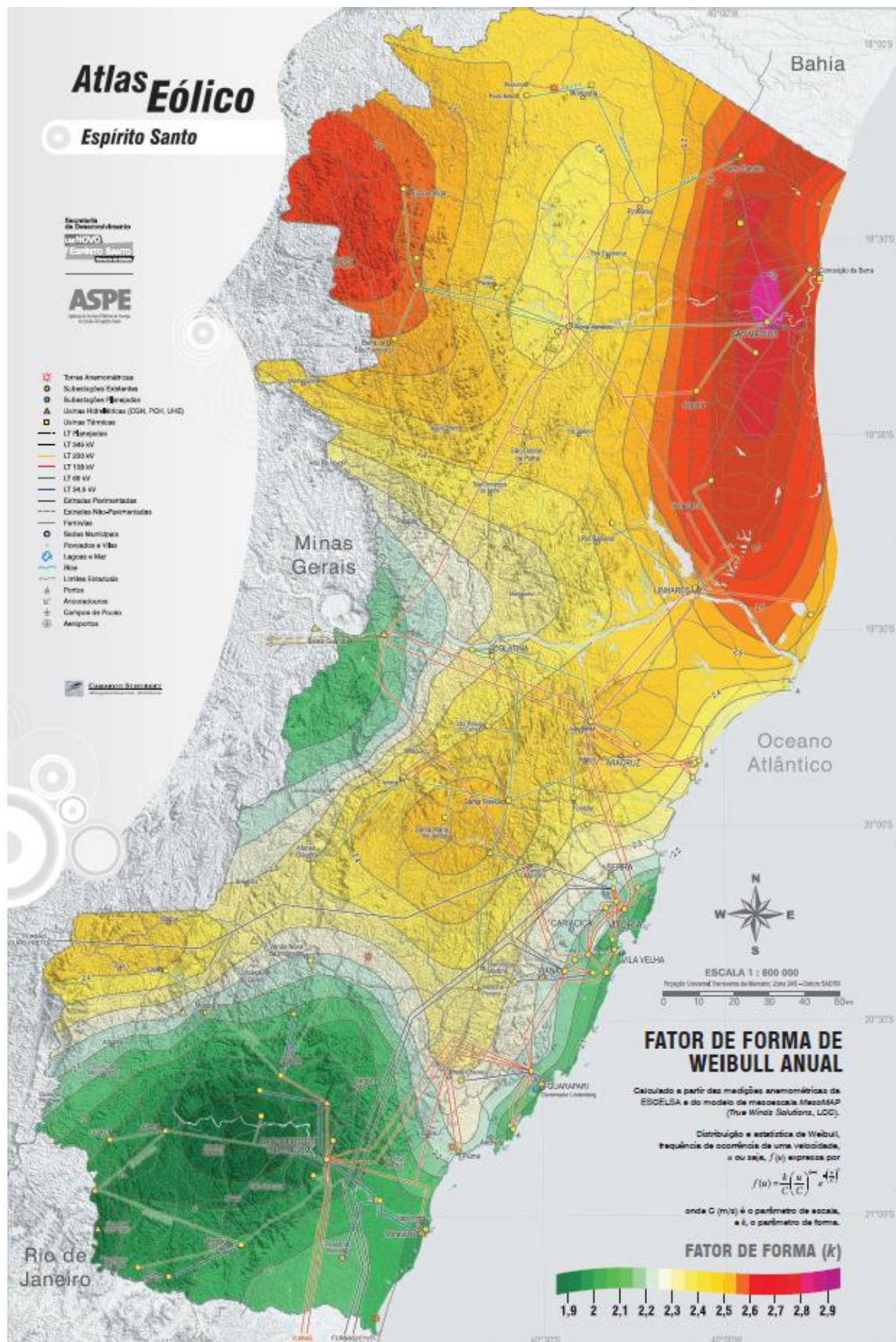


Figura 16 - Fator de Forma Weibull anual. Fonte: AMARANTE,2009.

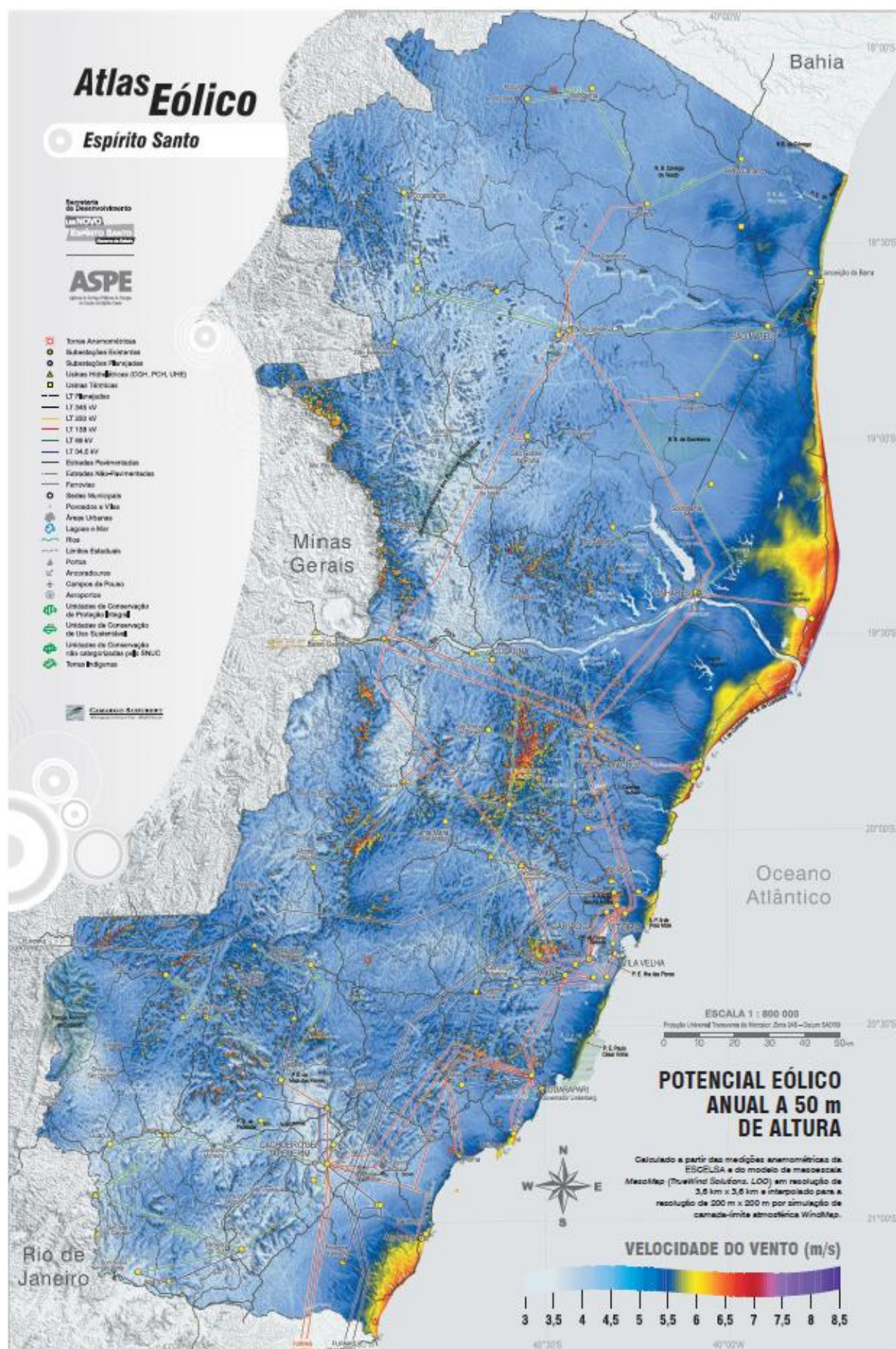


Figura 17 - Velocidade do vento anual a 50 m de altura. Fonte: AMARANTE,2009.

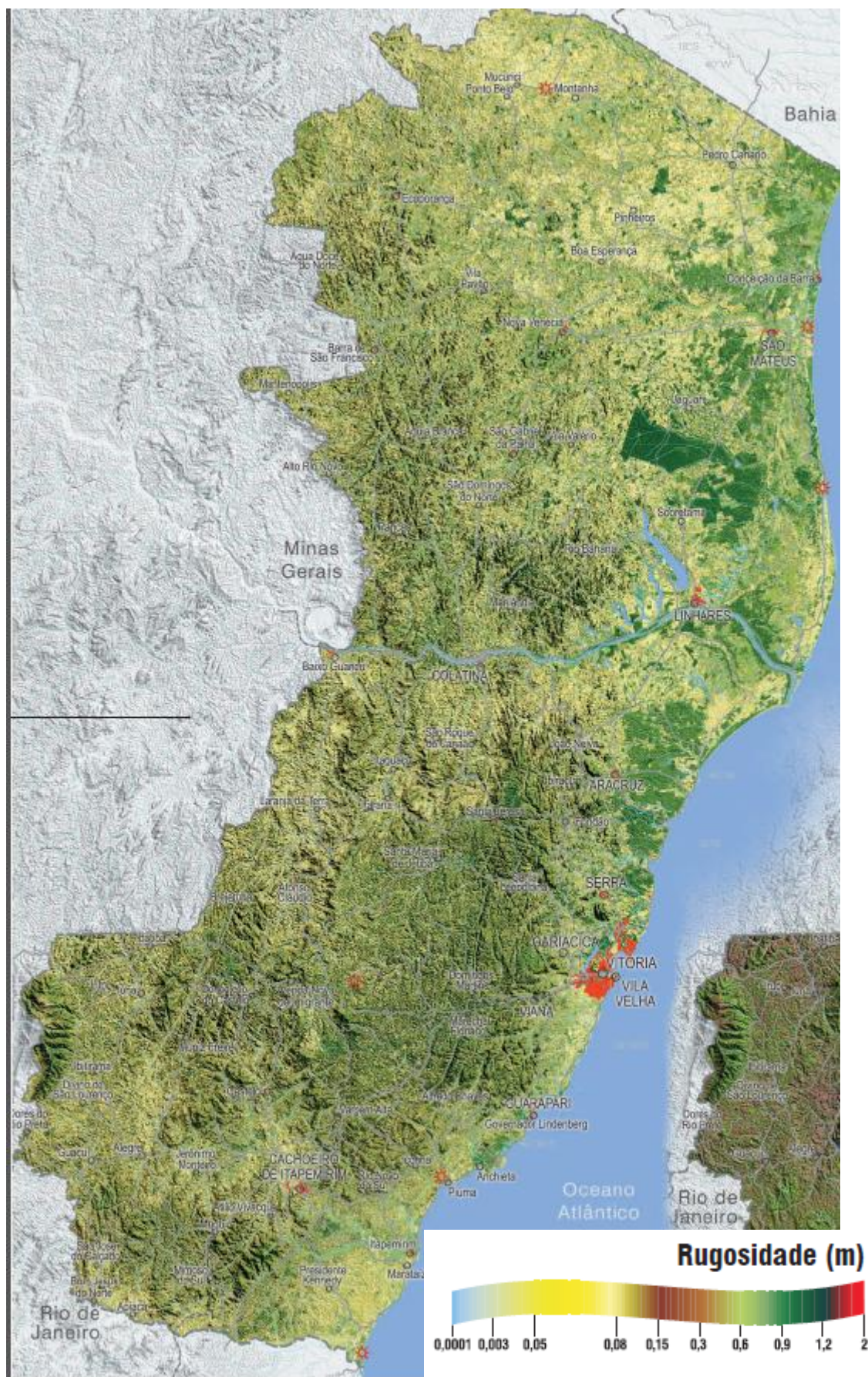


Figura 18 – Rugosidade. Fonte: AMARANTE, 2009.

## **6. Metodologia de cálculo**

### **6.1. Curva de Weibull – Densidade de probabilidade**

#### **6.1.1. Baseado nos dados horários do vento**

Para o cálculo a partir dos dados horários do vento, obtidos pelas estações meteorológicas ou pela ferramenta WindFetch <sub>TM</sub> citada anteriormente em fontes de dados, existe um procedimento para tratar esses dados e obter uma função que será comparada com a curva característica do aerogerador para obter a produção de energia.

Os dados são obtidos ou convertidos para o formato em Excel para possibilitar um fácil tratamento dos dados.

O primeiro passo é separar os dados dos ventos por faixa de velocidade e por direção. A velocidade é separada por intervalos com incrementos de 1 ou 0,5 enquanto a direção, em geral, é separada com intervalos de 10° ou 30°. Para esse estudo foi escolhido incrementos de 1 para a velocidade e de 10° para a direção. Com isso observamos a frequência em que o vento está em determinada velocidade e/ou direção. Podemos também obter a Rosa dos ventos do local que é uma forma de visualizar a frequência em que está o vento em cada direção, como mostrado na Figura 19.

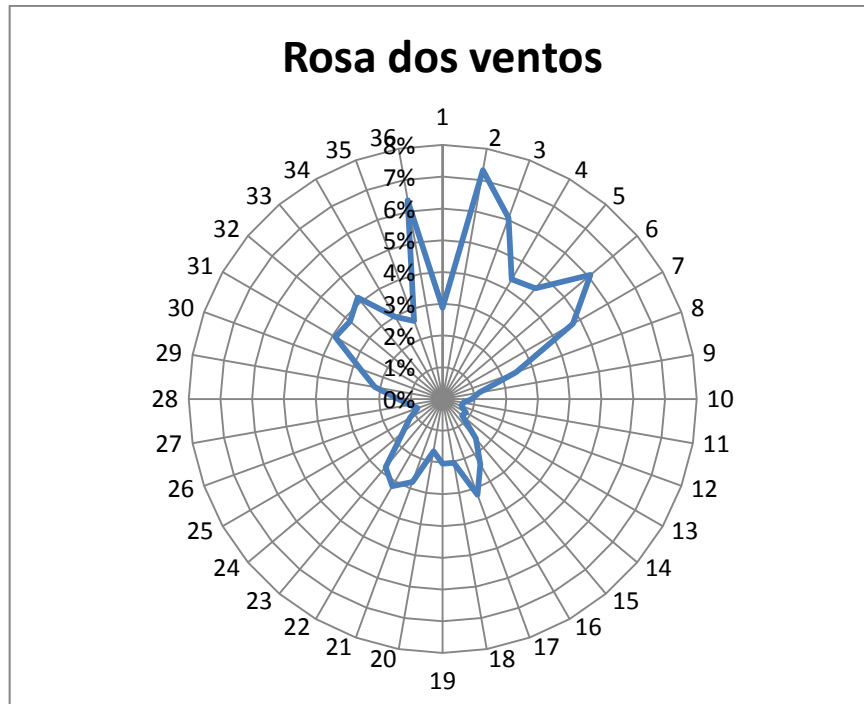


Figura 19 - Rosa dos Ventos. Fonte: Autor

Em seguida são calculados os parâmetros K e A da distribuição de Weibull, curva de distribuição explicada anteriormente no item 4.2, Distribuição de Weibull. Para obter-los utilizou-se o método Mean-standard deviation method (MSD).

Assim podemos calcular k à partir da expressão (Fung et al., 2007; Weisser and Foxon, 2003):

$$\left(\frac{\sigma_v}{\bar{v}}\right)^2 = \frac{\Gamma\left(1+\frac{2}{k}\right)}{\Gamma\left(1+\frac{1}{k}\right)} - 1 \quad (5)$$

Onde,

$\sigma_v$ - desvio padrão da velocidade

$\bar{v}$  - velocidade média

$\Gamma$  – função gama

K – fator de forma da curva de Weibull

Onde velocidade média,  $\bar{v}$ , e desvio padrão,  $\sigma_v$ , são calculados respectivamente pelas expressões 6 e 7:

$$\bar{v} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n v_i \quad (6)$$

$$\sigma^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (v_i - \bar{v})^2 \quad (7)$$

Numa abordagem simples, uma aproximação aceitável para k é (Akhlaque et al, 2006.):

$$k = \left( \frac{\sigma_v}{\bar{v}} \right)^{-1,086} \quad (8)$$

Depois de k ser determinado, é possível determinar A, outro parâmetro utilizada para a curva de Weibull, pela equação 9.

$$A = \frac{\bar{v}}{\Gamma\left(1 + \frac{1}{k}\right)} \quad (9)$$

Onde,

A - fator de escala da curva de Weibull

Com os parâmetros da distribuição de Weibull obtidos, o Excel fornece uma função que possibilita calcular a densidade de probabilidade para cada velocidade por direção. Essa é a função WEIBULL que tem como parâmetros a velocidade da qual se deseja a densidade de probabilidade e os parâmetros K e A. Fazendo uma comparação entre a curva real de probabilidade e a curva de Weibull mostrada na Figura 20, observa-se que a curva de Weibull se aproxima consideravelmente da curva real.

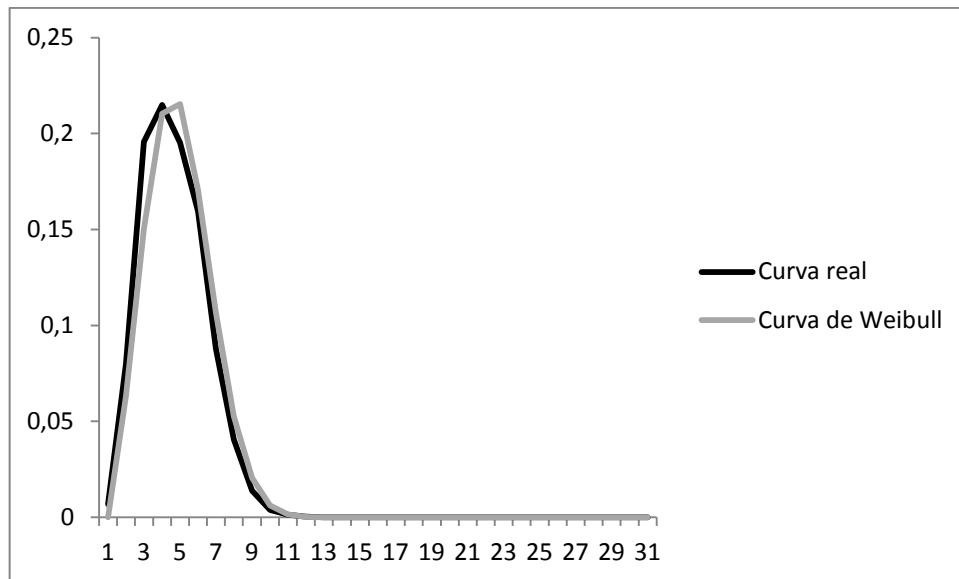


Figura 20 - Comparação curva real e de Weibull. Fonte: Autor

Para obter uma distribuição de Weibull global, ou seja, para todas as direções, deve-se aplicar a equação 10 para cada faixa de velocidade.

$$Wg = \sum W_i P_i \quad (10)$$

Onde,

Wg – Weibull global.

Wi- o valor de Weibull correspondente a i-ésima faixa de direção

Pi - a porcentagem correspondente a i-ésima faixa de direção.

Apesar das duas curvas serem muito semelhantes, a curva de Weibull traz um erro por ser uma aproximação da curva real, então em casos em que tem-se os dados horários é possível utilizar diretamente a densidade de probabilidade gerada pelos dados reais. Então, obtêm-se a densidade de probabilidade global assim como foi feita para a curva de Weibull global. Também é possível calcular o erro correspondente à aproximação dessa curva a partir do cálculo feito pelos dois métodos.

Para obter a produção anual de energia cria-se uma Tabela 5.

Tabela 5 – Exemplo de Tabela para obtenção da Energia total produzida. Fonte: Autor

| VERNE 555                      |               |                            |                     |
|--------------------------------|---------------|----------------------------|---------------------|
| Velocidade (m/s)               | Potência (KW) | Densidade de Probabilidade | Energia Gerada KW/h |
| 0                              | 0             | 0                          | 0                   |
| 1                              | 0             | 0,14694437                 | 0                   |
| 2                              | 0             | 0,203242816                | 0                   |
| 3                              | 0,248         | 0,146151284                | 317,5107406         |
| 4                              | 0,495         | 0,134787742                | 584,4666061         |
| 5                              | 0,6           | 0,117303434                | 616,5468498         |
| 6                              | 1             | 0,088528403                | 775,5088121         |
| 7                              | 1,4           | 0,058694284                | 719,826693          |
| 8                              | 2             | 0,035155782                | 615,9293059         |
| 9                              | 2,8           | 0,019333553                | 474,2133936         |
| 10                             | 3,7           | 0,009665339                | 313,2729679         |
| 11                             | 4,5           | 0,004283578                | 168,8586293         |
| 12                             | 5,1           | 0,001650485                | 73,73705191         |
| 13                             | 5,4           | 0,000549427                | 25,99010319         |
| 14                             | 5,4           | 0,000158484                | 7,496904868         |
| 15                             | 5,1           | 3,99038E-05                | 1,782741758         |
| 16                             | 4,5           | 8,90803E-06                | 0,351154567         |
| 17                             | 4,5           | 1,85512E-06                | 0                   |
| 18                             | 4,5           | 4,29555E-07                | 0                   |
| Energia Total Produzida (kW/h) |               |                            | 4695,491955         |

Essa Tabela contém a densidade de probabilidade global para cada velocidade e a potência gerada para cada faixa de velocidade, que é obtida a partir da curva característica de uma eólica. Assim, é possível obter a produção anual de energia pela equação 11.

$$E = h \sum f_i p_i \quad (11)$$

Onde,

$h$  - o número de horas no ano.

$f_i$  - a frequência da  $i$ -ésima faixa de velocidade.

$p_i$  - a potência correspondente a  $i$ -ésima faixa de velocidade.

### 6.1.2. Baseado nos dados do Atlas

Diferente do calculo visto anteriormente, o cálculo baseado no Atlas Eólico do Espírito Santo é simples, pois o atlas já oferece as informações já analisadas e tratadas para fornecer os dados necessários para os cálculos.

Assim, para fazer o cálculo da energia produzida, primeira retira-se do atlas a velocidade média anual na altura desejada, no caso desse trabalho 50m, e o fator de forma de Weibull anual,  $k$ . Com esses dados é possível calcular o fator de escala,  $A$ , com a equação 9.

Sendo assim é possível obter a curva de Weibull e a densidade de probabilidade de cada velocidade e então, como foi realizado no método anterior, multiplicamos o número de horas do ano, a densidade de probabilidade e a potência estimada para a respectiva velocidade. Somando os valores obtidos de produção de energia para cada velocidade obtemos a produção total de energia.

## 6.2. Extrapolação de Velocidade do Vento

Os métodos mais utilizados para estimar a variação do vento com a altura são descritos por dois modelos matemáticos: lei logarítmica [36] e a lei de potência [37].

A lei logarítmica possibilita a aproximação do perfil de velocidade do vento na camada limite em condições neutras de estratificação térmica vertical da atmosfera através da formula [32]:

$$u(h) = \frac{u_*}{k} \ln \left( \frac{h}{z_0} \right) \quad (12)$$

Onde,

$u(h)$  -a velocidade do vento na altura  $h$ .

$z_0$  - a rugosidade do terreno.

$k$  - a constante de Von Kármán que corresponde aproximadamente a 0,4.

$u_*$  - é a velocidade de atrito.

Para a comparação entre as velocidades do vento em duas alturas  $h_1$  e  $h_2$ , pode-se escrever a lei logarítmica para as essas e dividir uma pela outra. Assim, encontra-se a seguinte relação [32]:

$$\frac{u(h_2)}{u(h_1)} = \frac{\ln(h_2/z_0)}{\ln(h_1/z_0)} \quad (13)$$

Assim, podemos encontrar a rugosidade pela expressão [32]:

$$z_0 = \exp \left[ \frac{u(h_2)\ln(h_1) - u(h_1)\ln(h_2)}{u(h_2) - u(h_1)} \right] \quad (14)$$

O perfil da velocidade do vento também pode ser representado pela Lei da Potência, pela equação [32]:

$$u(h_2) = u(h_1) \left( \frac{h_2}{h_1} \right)^\alpha \quad (15)$$

Onde  $\alpha$  é o expoente de camada-limite que varia em função da rugosidade da superfície. Para terrenos planos e cobertos com capim pode-se aproximar esse fator para 0,14, mas a lei de potência pode variar com parâmetros como altura, tempo do dia, estações do ano, terreno e tempera. Fazendo uma correlação entre este modelo e o comprimento de rugosidade, encontra-se [37]:

$$\alpha = 0,096 \log_{10} z_0 + 0,016 (\log_{10} z_0)^2 + 0,24 \quad (16)$$

Valores para  $z_0$  também foram tabelados de acordo com topografia local, porém, no caso desse trabalho em que se tem a rugosidade local disponibilizada no Atlas eólico do Espírito Santo, optou-se por utilizar a equação 6.2.4, para encontrar  $\alpha$  a partir da rugosidade e assim encontrar a velocidade do vento em determinada altura.

## 7. Dados utilizados no estudo

Como dados de potência produzida por intervalo de velocidade, nesse trabalho foram utilizados dados dos geradores eólicos de pequeno porte de duas empresas fabricantes no Brasil, Satrix e Enersud e de eólicas do mercado internacionais que são vendidas facilmente no Brasil.

Como dados de estações meteorológicas a única com dados disponíveis encontrada no ES foi a estação localizada no aeroporto de Vitória, então foram os únicos dados desse tipo de fonte utilizados

Com o atlas eólico foi possível escolher pontos estratégicos, variando a velocidade média e a constante  $k$  e pegando pontos estratégicos como Vitória e Vila Velha. Sendo assim, se utilizou um total de 10 pontos, conforme mostrado na Figura 22.

Para a análise de produção e de viabilidade, utilizaram-se as eólicas VERNE 555, GERAR 246, NOTUS 138, RAZEC 266, Air 40, SX3300, SX1700, Skystream Marine e Skystrem Land (que tem as mesmas características quanto a produção de energia, variando somente o preço). Salvo a RAZEC 266 que tem eixo vertical, todas as outras têm o eixo do seu rotor na horizontal, a diferença entre esses dois tipos de eixo é mostrada na Figura 21.



Figura 21 - Eólica de eixo vertical e de eixo horizontal respectivamente. Fonte: Enersud, 2010 e SATRIZ, 2010.

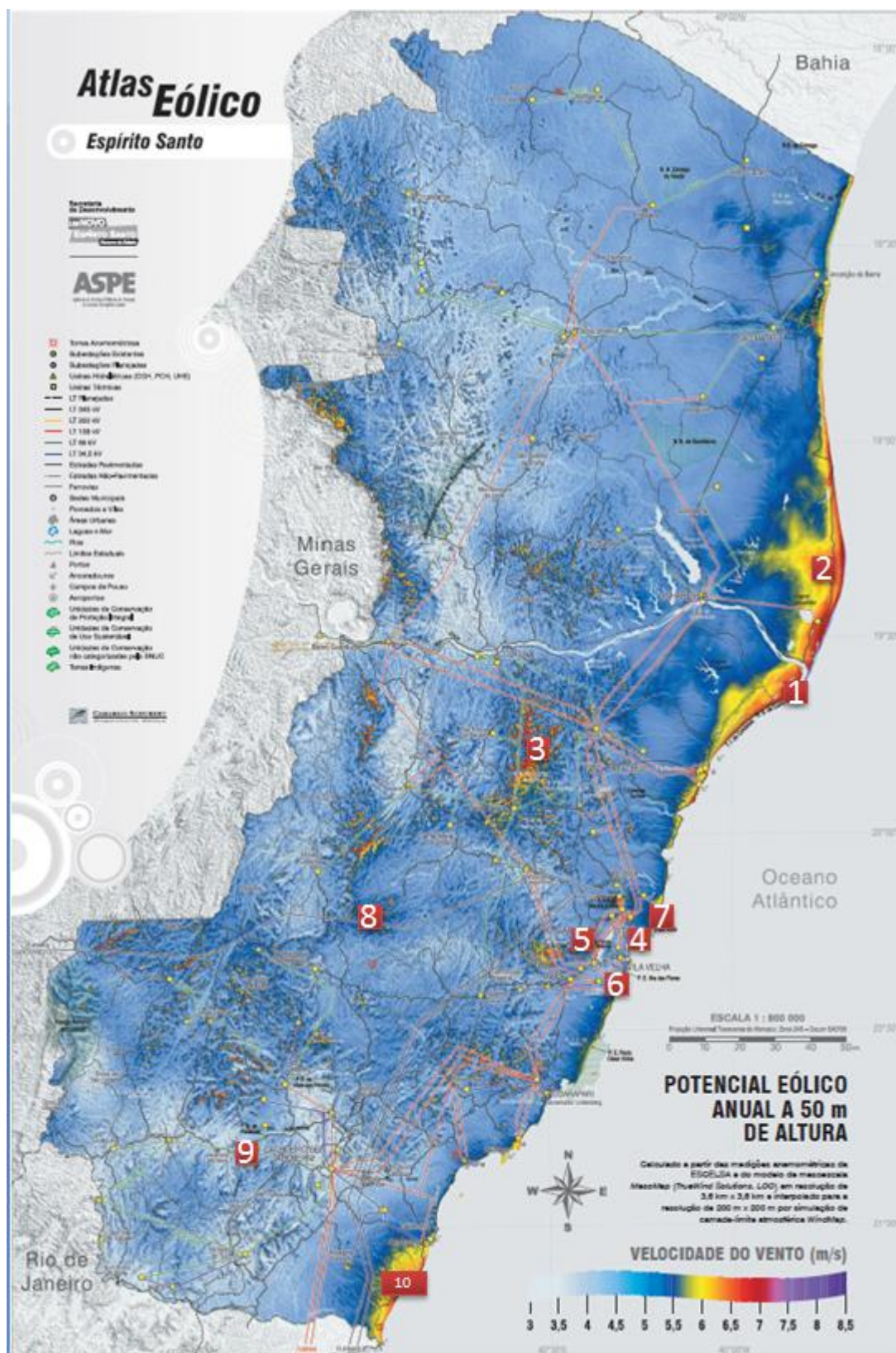


Figura 22- Pontos escolhidos para análise no Espírito Santo. Fonte: Autor

# 8.Resultados e Discussões

## 8.1. Características das eólicas

O primeiro parâmetro a ser analisado são as curvas potência em relação à velocidade do vento para cada aerogerador utilizado no presente estudo.

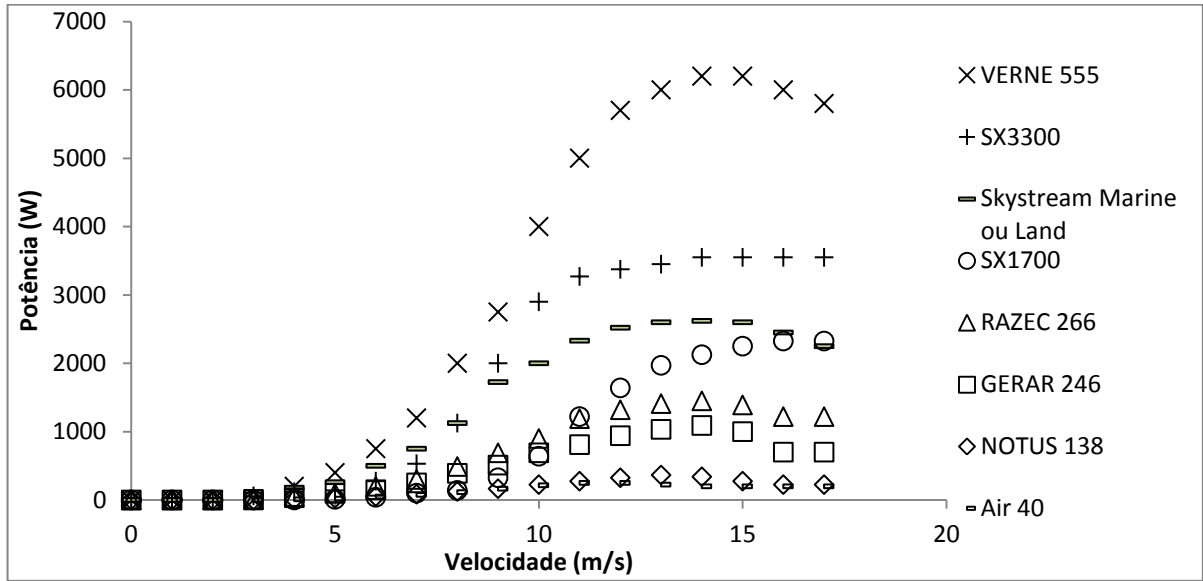


Figura 23 – Potência por velocidade. Fonte: Autor.

Como é possível verificar no gráfico acima, Figura 23, dentre as eólicas analisadas existe uma grande variação entre a potência máxima produzida e o formato da curva, chamado de curva característica da turbina. Essa variação acontece por fatores como diâmetro, eixo de rotação e material utilizado que são diferentes para cada uma. A Tabela 6 mostra alguns parâmetros das turbinas que podem explicar a diferença de produção.

Tabela 6 - Parâmetros dos aerogeradores. Fonte: Autor.

| Fabricante                     | ENERSUD   |           |           |           | Satrix |        | Energia pura |                  |                |
|--------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|--------|--------|--------------|------------------|----------------|
| Eólica                         | NOTUS 138 | GERAR 246 | RAZEC 266 | VERNE 555 | SX1700 | SX3300 | Air 40       | Skystream Marine | Skystream Land |
| Eixo de rotação                | H         | H         | V         | H         | H      | H      | H            | H                | H              |
| Altura das pás (eixo vertical) |           |           | 2,66      |           |        |        |              |                  |                |
| Diâmetro (m)                   | 1,12      | 2,46      | 2         | 5,55      | 3,87   | 5,92   | 1,17         | 3,72             | 3,72           |
| Peso (kg)                      | 12        | 32        | 100       | 160       | 83,5   | 147    | 5,9          | 77               | 77             |
| Área                           | 0,9852    | 4,753     | 5,32      | 24,19     | 11,763 | 27,525 | 1,075        | 10,868654        | 10,868654      |

Como citado nesse trabalho, a energia disponível está diretamente ligada à área que a eólica ocupa quando estabelecemos uma velocidade constante. Assim, quanto maior a energia disponível no vento, maior a probabilidade de ter um melhor aproveitamento dessa energia, transformando-a em movimento do rotor. Porém existem outros fatores que influenciam na geração de energia como o eixo de rotação, a forma das pás eólicas, além de todo sistema de geração de energia, onde existem rendimentos diferentes em cada etapa dependendo do aerogerador utilizado.

Considerando somente a área ocupada, de um modo geral, as turbinas que produzem estão dentro de uma faixa de área maior e as turbinas que produzem menos estão dentro de uma faixa de área menor. Podemos perceber que para as duas eólicas de maior potência a área não é fator determinante, pois a VERNE 555 produz muito mais que a SX3300 mesmo tendo a área um pouco menor. Isso se dá por fatores como a forma das pás e rendimento do processo de geração, não sendo possível fazer uma análise mais aprofundada pois os fabricantes não fornecem informações nesse nível de detalhamento. Além dessas, as turbinas SX1700 e Skystream Marine ou Land, e as turbinas NOTUS 138 e Air 40, também tem suas posições invertidas na relação área e potência, mas nesses casos a variação entre potência máxima e área é pequena, então se pode constatar que o aproveitamento da energia em relação à energia disponível é próximo.

## 8.2. Produção de energia a partir de dados do atlas

A partir dos dados de velocidade média, fator  $k$  e rugosidade retirados do atlas dos pontos indicados na Figura 22, foi criada a Tabela 7.

**Tabela 7 - Dados coletados do atlas e dados calculados. Fonte: Autor.**

|          | Dados do Atlas |      |                        | Calculado |          |
|----------|----------------|------|------------------------|-----------|----------|
|          | zo             | k    | Velocidade média a 50m | A         | $\alpha$ |
| Ponto 1  | 0,12           | 2,4  | 7                      | 7,89638   | 0,165168 |
| Ponto 2  | 0,12           | 2,55 | 6,5                    | 7,322136  | 0,165168 |
| Ponto 3  | 0,75           | 2,5  | 6,8                    | 7,664011  | 0,228256 |
| Ponto 4  | 2              | 2    | 5,5                    | 6,206085  | 0,270349 |
| Ponto 5  | 0,6            | 2,2  | 4,5                    | 5,081159  | 0,21949  |
| Ponto 6  | 2              | 2    | 4,5                    | 5,077706  | 0,270349 |
| Ponto 7  | 0,9            | 2    | 6                      | 6,770275  | 0,235641 |
| Ponto 8  | 0,6            | 2,35 | 5,2                    | 5,867962  | 0,21949  |
| Ponto 9  | 0,6            | 1,9  | 4                      | 4,507736  | 0,21949  |
| Ponto 10 | 0,11           | 2    | 6,8                    | 7,672978  | 0,162677 |

A partir dessa Tabela e fazendo a extrapolação da velocidade em relação a altura, encontrou-se os valores para uma altura de 20 m que será a altura estimada para a instalação do aerogerador. Assim foi possível estabelecer a curva de Weibull para cada ponto, Figura 24.

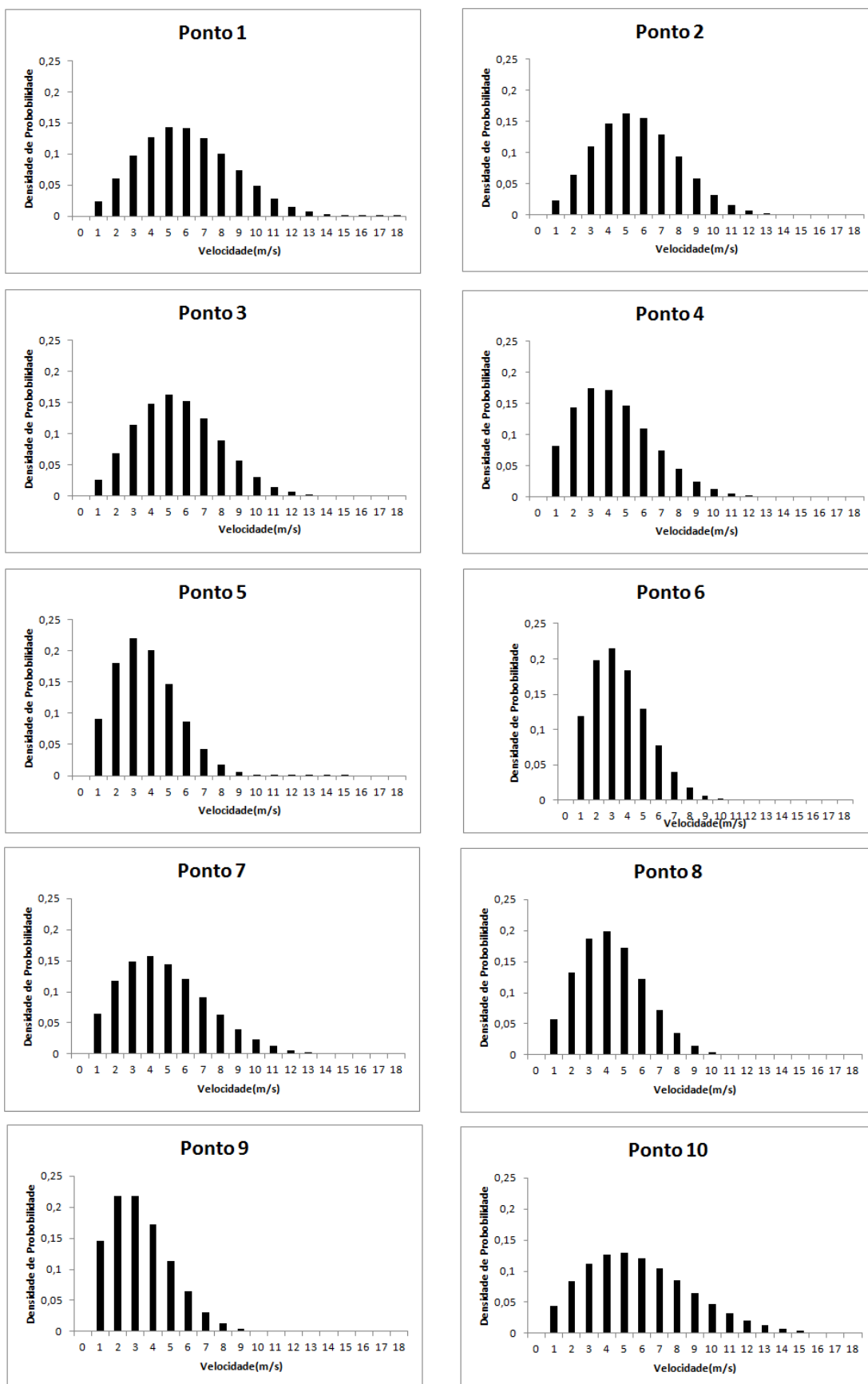


Figura 24 - Curvas de Weibull por ponto. Fonte: Autor.

Para a produção de energia das eólicas de pequeno porte a potência nominal é à velocidade de 12m/s então quanto maior a probabilidade de valores de velocidade próximos a esse valor, maior será a energia produzida. Para explicar melhor os gráficos da Figura 24 podemos analisar os dois extremos o Ponto 9 e o Ponto 10, representados na Figura 25. A velocidade média do Ponto 9 é 4m/s e a do Ponto 10 é 6,8m/s. Através da análise do gráfico, percebe-se, para o Ponto 9, uma maior tendência de valores baixos de velocidade, nem chegando a atingir 13m/s. Diferentemente, para o Ponto 10, a densidade de probabilidade é melhor distribuída, é menor para baixos valores de velocidade mas chega a valores maiores de velocidade e com melhor probabilidade de ter velocidades em torno de 12m/s.

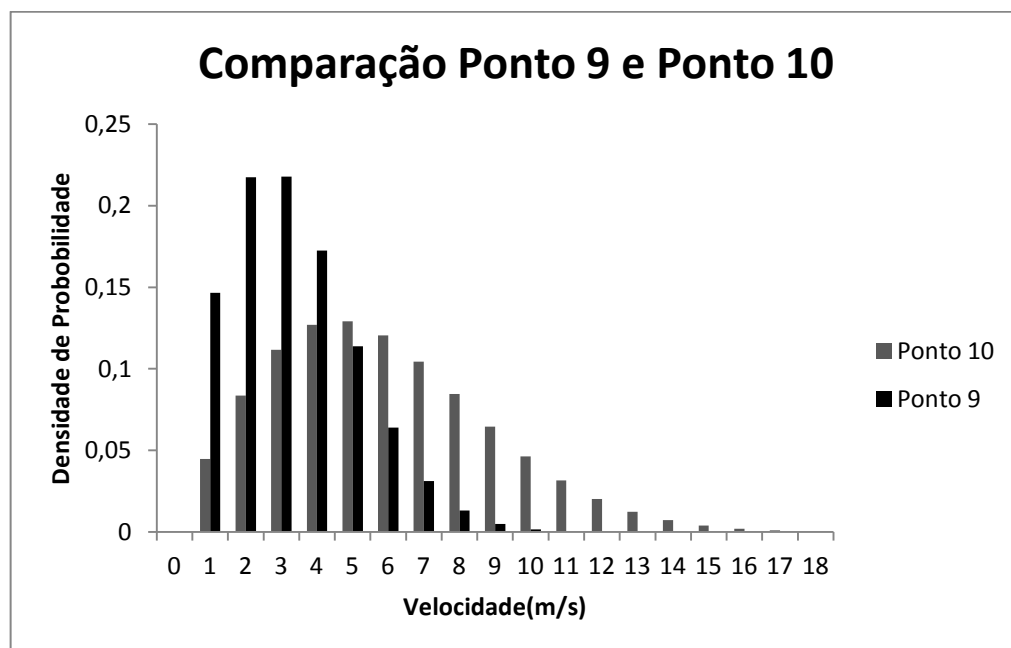


Figura 25 - Comparação entre Ponto 9 e Ponto 10. Fonte: Autor.

Conforme mostrado na metodologia de cálculo, utilizando os valores mostrados na Tabela 7 e os valores de potência por velocidade de cada eólica da Figura 24, calcularam-se os valores de produção de energia anual correspondente a cada aerogerador. Resultando assim na Figura 26 que faz correspondência entre a energia produzida por cada tipo de aerogerador em cada ponto escolhido do atlas.

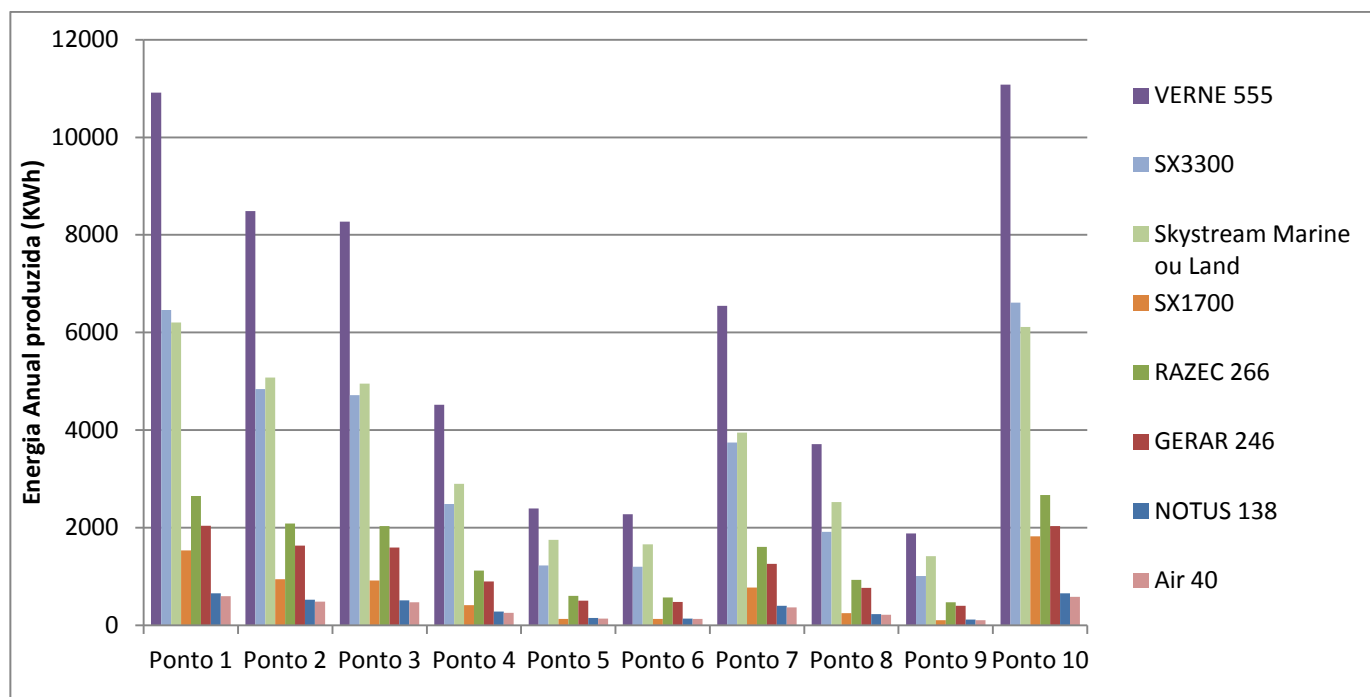


Figura 26 - Energia produzida em cada ponto. Fonte: Autor.

Pode-se perceber uma grande variação na produção de energia de cada ponto e de cada aerogerador, Figura 26. A diferença por aerogerador pode ser explicada pelo gráfico da Figura 23 que mostra uma grande diferença entre as potências das turbinas. Outro fator é a variação no formato das curvas, alguns aerogeradores funcionam melhor em determinadas faixa de velocidade. É importante ressaltar que as eólicas estão em ordem decrescente de potência máxima, o que permite constatar que não é a potência máxima o fator principal para a análise de um aerogerador e sim a relação entre a faixa de velocidade do local e a curva característica da turbina.

A diferença da produção em diferentes pontos acontece pelo fato de cada localidade ter uma velocidade média e um perfil de velocidade diferente, com variação corresponde a variação de  $k$  e  $A$ . Esse valores estão descritos na Tabela 7, e o gráfico com as curvas de Weibull correspondentes estão na Figura 24.

Para analisar a relação entre a produção de energia, a curva de Weibull e as curvas características das turbinas, utilizou-se o Ponto 9. Percebe-se que a faixa de velocidade está concentrada entre 1 e 8m/s, então aproximou-se as curvas características para essa faixa de velocidade, representado no gráfico em escala logarítmica, Figura 27.

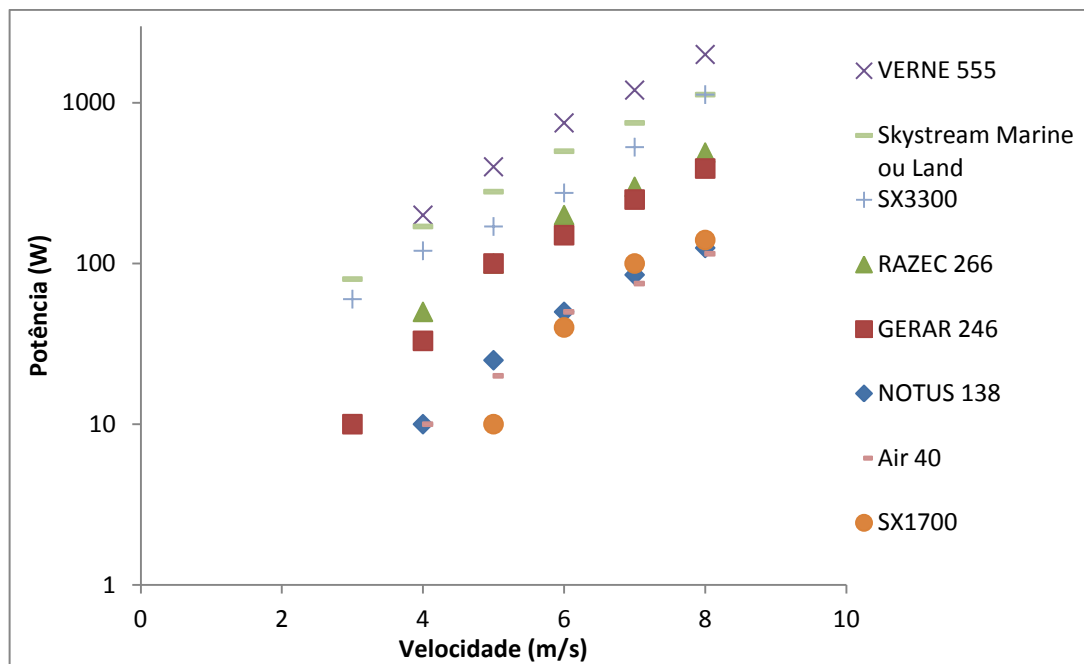


Figura 27 - Curva característica para faixa de velocidade predominante para ponto 9. Fonte: Autor.

É possível perceber que para essa faixa de velocidade a ordem das turbinas de maior potência muda consideravelmente, modificando também a ordem das turbinas que produzem maior quantidade de energia e isso ocorre para todos os pontos.

### 8.3. Produção de energia a partir de dados anemométricos

Utilizando os dados do anemômetro localizado no aeroporto de Vitória obteve-se a produção mostrada na Figura 28, variando-se a altura de acordo com o método citado na metodologia de cálculo de extrapolação da velocidade do vento.

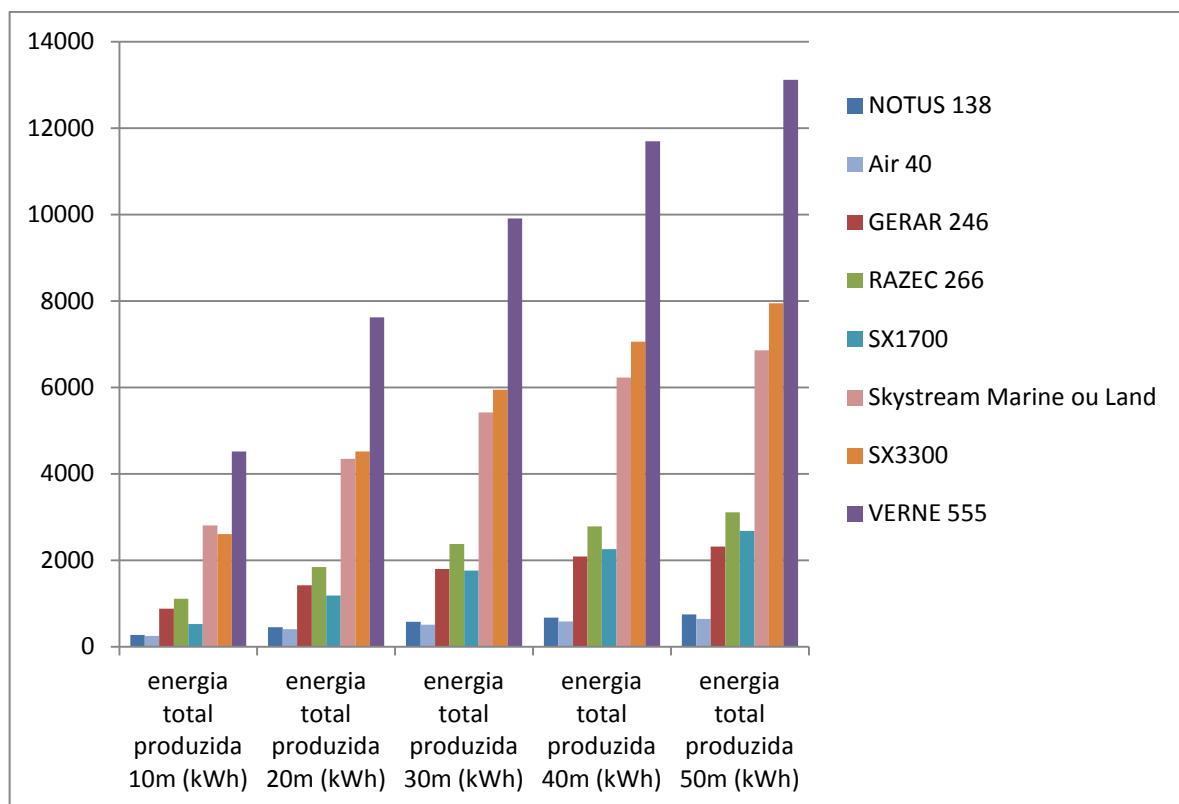


Figura 28 - Produção de energia em relação ao aerogerador e à altura. Fonte: Autor

Nota-se o grande crescimento de produção quando se aumenta a altura onde a turbina será colocada. Isso graças ao aumento da velocidade à medida que se instala a turbina em locais mais elevados e ao aumento substancial da energia disponível no vento quando se aumenta a velocidade.

#### 8.4. Comparação dados anemométricos e dados do Atlas

Os dados anemométricos são a 10m enquanto a menor altura dos dados do atlas é 50m. Assim, é necessário fazer a extrapolação da velocidade do vento para colocar os dois na mesma altura. Nesse estudo foi feito a extrapolação dos dados anemométricos do aeroporto de Vitória e do Atlas para 20 metros. Comparando os valores de produção, encontra-se gráfico da Figura 29.

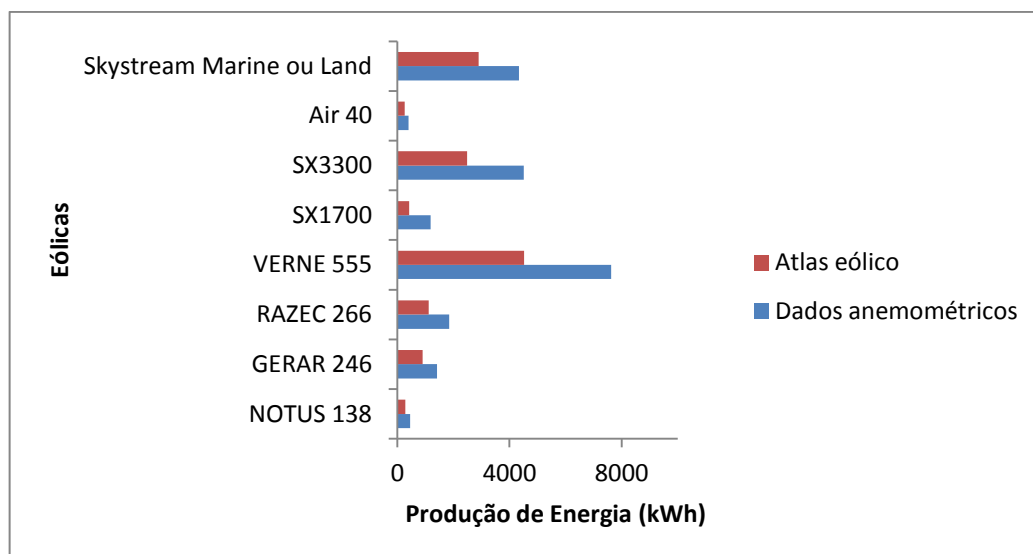


Figura 29 - Comparação entre produção de energia utilizando dados do Atlas e dados anemométricos. Fonte: Autor.

Observa-se uma variação média de 42% entre os resultados obtidos. Isso acontece por dois motivos, o primeiro é a variação que pode acontecer quando utilizamos o método de extrapolação da velocidade pela altura. O segundo motivo é que o atlas tem resultados gerais para todo estado, sendo uma base para saber quais são as regiões que tem menor e maior potencial, não tendo precisão total dos seus dados.

## 8.5. Estudo de Viabilidade

Os dados para o financiamento pelo BNDES, com incentivos a projetos de geração de energia são:

- Taxa de juros = Custo financeiro (TJLP) + Remuneração básica do BNDES (a partir de 1% ao ano + Taxa de risco de crédito (até 4,18% ao ano), [38];
- O custo financeiro é no mínimo a Taxa de Juros de Longo Prazo (TJLP), que corresponde a 5%, [39];
- O financiamento é feito para até 90% do valor total do empreendimento e tem prazos de pagamento de até 10 anos, [38];
- Para esse estudo utiliza-se uma taxa de risco de crédito média de 2,09%.

Para o estudo de viabilidade, utilizaram-se os valores das turbinas eólicas encontrados nos sites dos fabricantes ou fornecedores ou pedidos por email. Esses valores são descritos na Tabela 9 como o gasto total a vista. A instalação da turbina é estimada a 20m de altura, então se utiliza a extrapolação da velocidade para

encontrar a velocidade na altura desejada. Para o preço da energia, utilizou-se R\$ 0,366, valor encontrado tabelado no site da ANEEL. [41]

Para estimar o fluxo de caixa com financiamento, considera-se que o investimento será feito pelo BNDS, com sistema de prestações iguais e com taxa de juros mostrada na Tabela 8.

**Tabela 8 - Taxa de juros. Fonte: Autor.**

|                                    |                  |
|------------------------------------|------------------|
| <b>Custo financeiro</b>            | <b>5% a.a</b>    |
| <b>Remuneração básica do BNDES</b> | <b>1% a.a</b>    |
| <b>Taxa de risco de crédito</b>    | <b>2,09% a.a</b> |
| <b>Total</b>                       | <b>8,09% a.a</b> |

Assim foram encontrados os valores correspondentes de investimento para cada eólica como descritos na Tabela 9.

**Tabela 9 - Gastos para as diferentes turbinas. Fonte: Autor**

|                                  | NOTUS<br>138 | GERAR<br>246  | RAZEC<br>266  | VERNE<br>555  | SX1700        | SX3300        | Air 40       | Skystream<br>Land | Skystream<br>Marine |
|----------------------------------|--------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|--------------|-------------------|---------------------|
| <b>Gasto total a vista</b>       | R\$ 3.212,00 | R\$ 8.748,00  | R\$ 18.398,00 | R\$ 37.900,00 | R\$ 26.000,00 | R\$ 67.990,00 | R\$ 3.980,00 | R\$ 44.900,00     | R\$ 49.900,00       |
| <b>Entrada financiamento</b>     | R\$ 321,20   | R\$ 874,80    | R\$ 1.839,80  | R\$ 3.790,00  | R\$ 2.600,00  | R\$ 6.799,00  | R\$ 398,00   | R\$ 4.490,00      | R\$ 4.990,00        |
| <b>Pagamento anual</b>           | R\$ 432,56   | R\$ 1.178,11  | R\$ 2.477,69  | R\$ 5.104,05  | R\$ 3.501,46  | R\$ 9.156,32  | R\$ 535,99   | R\$ 6.046,75      | R\$ 6.720,11        |
| <b>Gasto total financiamento</b> | R\$ 4.646,85 | R\$ 12.655,86 | R\$ 26.616,67 | R\$ 54.830,51 | R\$ 37.614,60 | R\$ 98.362,17 | R\$ 5.757,93 | R\$ 64.957,51     | R\$ 72.191,09       |

Foi feito o cálculo de Pay-back em anos fazendo a divisão entre o gasto total e a economia média anual. Além disso, foi avaliado se o empreendimento era ou não viável a partir da soma de todo o valor economizado durante a vida útil do equipamento, se fosse maior que o investimento total, seria viável. Os resultados obtidos são explicados a seguir.

Para as eólicas NOTUS e GERAR é viável para os pontos 1,2,3,7 e 10, quando a velocidade média é maior do que 5,5 m/s, sendo que para essa velocidade só é viável se o investimento for feito a vista. O tempo de Pay-back da GERAR é menor, aproximadamente 14 anos para a vista e 21 anos com financiamento contra respectivamente 16 e 24 anos para a NOTUS. Isso significa que é um melhor

investimento por ter uma relação melhor entre a produção anual e o preço da turbina.

Para a RAZEC, a Air 40 e a Skystream Land é viável a partir de 6,2m/s de velocidade média, então somente para os pontos 1, 2, 3 e 10. Porém, é viável somente para investimentos a vista, sendo o Pay-back médio respectivamente 21 anos, 20 anos e 22 anos.

A VERNE é a única turbina que é viável para vitória, mesmo que somente para investimentos a vista. Assim, ela é viável para velocidades médias acima de 4,8m/s, logo para os pontos 1, 2, 3, 4, 7 e 10. Seu tempo médio de Pay-back para investimentos a vista e com financiamento é 14 e 20 anos.

Por outro lado, a SX1700 e a SX3300 não são viáveis para nenhum ponto escolhido no Atlas. Sabendo-se que o ponto de maior velocidade utilizado no presente trabalho foi o ponto 1 com 6,8m/s a 20m de altura, pode-se concluir que essa turbina não é viável para nenhum ponto onde a velocidade média é menor que 6,8m/s.

A Skystream Martine em comparação com a Skystream Land tem somente uma proteção anticorrosiva para litorais a mais, mas tem um preço 10% mais elevado o que a torna inviável para os pontos 2 e 3, restando somente o 1 e o 10, assim é importante avaliar a necessidade dessa proteção para saber quando deve-se utilizar a primeira em detrimento da segunda.

Também foi feita a avaliação da viabilidade a partir dos dados fornecidos pelo anemômetro do aeroporto e, diferente do resultado obtido para o mesmo ponto utiliza-se o Atlas em que só era viável um tipo de eólica, o resultado foi que 3 tipos de eólica diferentes poderiam ser utilizadas, a NOTUS, a GERAR e a VERNE. Assim, fica evidente a necessidade de estudos locais quando se deseja instalar turbinas eólicas.

Percebe-se então a necessidade de investimentos em tecnologia para a geração de energia elétrica por turbinas eólicas de pequeno porte para que seja viável sua utilização em locais de velocidade média do vento menores.

## 9.Considerações Finais e Sugestões de Trabalhos Futuros

Neste trabalho uma revisão bibliográfica sobre a inserção do Brasil no mercado de eólicas de grande e pequeno porte foi realizada. Deste modo, pode-se sublinhar que o Brasil tem presença relevante – no mercado mundial - na produção de energia de fonte eólica, em torno de 4,7 MW em 2014. No entanto, em relação às eólicas de pequeno porte, o Brasil não tem estatística relevante neste nível. Assim, este trabalho contribuiu para a elucidação do porquê deste nicho de mercado ser pouco explorado no Brasil. Dois pontos de vistas foram investigados:

### 1. Ponto de vista técnico

Os resultados de produção de energia encontrados mostram que existem turbinas eólicas disponíveis no mercado capazes de atender a demanda total ou parcial para diversos tipos de consumidores de energia, sendo possível sua utilização tanto para consumidores com pequeno consumo quanto para produtores que demandam mais energia. Também observou-se que mesmo para locais onde a velocidade média local é baixa, é possível encontrar uma eólica que forneça quantidades razoáveis de energia.

### 2. Ponto de vista de viabilidade econômica

A análise de viabilidade econômica para a utilização de aerogeradores de pequeno porte constatou que, de acordo com os custos do equipamento poucos empreendimentos são viáveis. Para velocidades menores que 4,8 m/s não é viável para nenhuma das eólicas utilizadas nesse estudo. Também foi constatado que na maioria dos casos onde é viável (se o pagamento da eólica for realizado a vista) a utilização de um financiamento inviabiliza o projeto, dificultando o interesse do consumidor pelo empreendimento.

Em termos gerais, os resultados obtidos através dos dados anemométricos de Vitória e os dados fornecidos pelo Atlas, devem ser utilizados com cautela. Pois uma diferença de 42 % entre os resultados de produção verificada. Isso mostra uma incerteza alta associada à utilização do Atlas como instrumento de fornecimento de dados gerais sobre o vento no estado, não podendo ser considerado para análises pontuais em que se necessita maior detalhamento de dados de vento. Por outro

lado, o Atlas fornece uma estimativa valiosa de onde se deve iniciar um maior detalhamento.

Também foi observada a relação entre a potência máxima da turbina e a produção para cada ponto e constatou-se que nem sempre as turbinas de maior potência máxima produzem mais do que as demais, pois na realidade depende da potência máxima no intervalo de maior frequência de ventos para cada ponto.

Fazendo a extrapolação da velocidade foi possível encontrar uma grande variação da velocidade em diferentes alturas o que influencia diretamente em uma grande variação de produção que chegou a 80% com a variação de 10m para 50m de altura.

Por fim, é muito importante avaliação de viabilidade de um empreendimento de geração de energia elétrica utilizando aerogeradores de pequeno porte. Para isso é necessário a avaliação da curva de potência, da altura e do preço da turbina em relação à produção de energia. Também é preciso analisar a velocidade média do local onde será instalada a eólica.

Em relação ao mercado de eólica, o Brasil tem um grande potencial a desenvolver e então é necessário que existam mais incentivos à microgeração de energia. É preciso que o mercado seja mais competitivo com turbinas de menor custo para tornar cada vez mais projetos viáveis.

Para trabalhos futuros sugere-se:

- Análises mais profundas sobre o desenvolvimento do Atlas Eólico Brasileiro e os métodos utilizados para descrever sua fiabilidade.
- Utilizar outras fontes anemométricas do Espírito Santo e comparar com dados do Atlas.
- Comparar resultados obtidos na viabilidade econômica para o Espírito Santo com outras regiões do país, onde existe variação do preço da energia.
- Comparar avaliação econômica do Espírito Santo com outros países onde o setor de microgeração por energia eólica já está desenvolvido.
- Análise aprofundada de investimento para os projetos.

## 10. Bibliografia

[1] CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO DE SALVO BRITO - CRESESB (Rio de Janeiro). Ministério de Minas e Energia (Org.). Energia Eólica - Princípios e Tecnologia. Rio de Janeiro: Ricardo Dutra, 2010. Disponível em: <[http://cresebs.cepel.br/content.php?cid=tutorial\\_eolica](http://cresebs.cepel.br/content.php?cid=tutorial_eolica)>. Acesso em: 06 maio 2014.

[2] SHEPHERD, D.G., 1994, “**Historical Development of the Windmill**”. In Wind Turbine Technology – Fundamental Concepts of Wind Turbine Engineering, SPERA, S.A, (ed), 1 ed. New York, ASME Press, pp 1-46.

[3] CHESF-BRASCEP, 1987. **Fontes Energéticas Brasileiras**, Inventário/Tecnologia. Energia Eólica. V.1 De cata-ventos a aerogeradores: o uso do vento, Rio de Janeiro.

[4] SCIENTIFIC AMERICA, Dec. 20, 1890, “**Mr. Brush’s Windmill Dynamo**” Vol. LXIII, n. 25 cover and p. 389. apud SHEPHERD, 1994 Op. cit.

[5] DUTRA, Ricardo Marques (Org.). **Energia Eólica - Estado da Arte e Princípios Físicos**. Rio de Janeiro: Centro de Pesquisas de Energia Elétrica - Cepel, 2012. Color.

[6] WINDSECTOR. **WindSector**. 2013. Disponível em: <<http://windsector.tumblr.com/post/4711554356/the-first-wind-turbine-in-america>>. Acesso em: 05 out. 2014.

[7] FEAM, Fundação Estadual do Meio Ambiente -. **Utilização da energia eólica no Estado de Minas Gerais: aspectos técnicos e o meio ambiente**: Fundação Estadual do Meio Ambiente. Belo Horizonte: Feam, 2013. 77 p. (Comunicado técnico nº 2/2013 – GEMUC/DPED/FEAM.).

[8] GWEC – *GLOBAL WIND ENERGY COUNCIL*. **Análise do Marco regulatório para a geração eólica no Brasil**, 2011.

[9] CUSTÓDIO, Ronaldo dos Santos. **Energia eólica para produção de energia elétrica**. Rio de Janeiro: Eletrobrás, 2009.

[10] GRUPO VIRTUOUS (Rio de Janeiro). **As Massas de Ar**. 2014. Disponível em: <<http://www.sobiologia.com.br/conteudos/Ar/Ar7.php>>. Acesso em: 10 nov. 2014.

[11] CASTRO, Rui. **Energias Renováveis e Produção**

**Descentralizada: INTRODUÇÃO À ENERGIA EÓLICA**. 2003. 70 f. - Curso de Engenharia, Deec / Secção de Energia, Universidade Técnica de Lisboa Instituto Superior Tecnico, Lisboa, 2003. Disponível em: <<http://www.troquedeenergia.com/Produtos/LogosDocumentos/IntroducaoAEnergiaEolica.pdf>>. Acesso em: 05 out. 2014.

[12] VASCONCELOS, Pedro. **Micro-Turbinas Eólicas**. Charneca da Caparica:

Troque de Energia, 2010. Disponível em:

<<http://www.troquedeenergia.com/Produtos/LogosDocumentos/MicroEolica.pdf>>. Acesso em: 10 out. 2014.

[13] WWEA, World Wind Energy Association (Org.). **World Wind Energy**

**Association WWEA**. 2014. Disponível em: <<http://www.wwindea.org/>>. Acesso em: 15 out. 2014.

[14] WORLD WIND ENERGY ASSOCIATION - WWEA (Germany). **Half-year Report**

**2014**. Bonn: Wwea, 2014. Disponível em:

<[http://www.wwindea.org/webimages/WWEA\\_half\\_year\\_report\\_2014.pdf](http://www.wwindea.org/webimages/WWEA_half_year_report_2014.pdf)>. Acesso em: 15 out. 2014.

[15] WORLD WIND ENERGY ASSOCIATION - WWEA (Germany) (Org.). **SMALL**

**WIND WORLD REPORT**. Bonn: Wwea, 2014. Disponível em: <[http://small-wind.org/wp-content/uploads/2014/03/2014\\_SWWR\\_summary\\_web.pdf](http://small-wind.org/wp-content/uploads/2014/03/2014_SWWR_summary_web.pdf)>. Acesso em: 15 out. 2014.

[16] AMARANTE, Odilon A. Camargo; ZACK, Michael Brower e John; SÁ, Antonio

Leite. **Atlas do Potencial Eólico Brasileiro**. Brasília: Cepel, 2001. Disponível em:

<[http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/atlas\\_eolico/Atlas do Potencial Eolico Brasileiro.pdf](http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/atlas_eolico/Atlas do Potencial Eolico Brasileiro.pdf)>. Acesso em: 22 jun. 2014.

[17] AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. Assembleia

Legislativa. Resolução Normativa nº N° 482, de 17 de abril de 2012. **Estabelece As Condições Gerais Para O Acesso de Microgeração e Minigeração Distribuída**

**Aos Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica, O Sistema de Compensação de Energia Elétrica, e Dá Outras Providências.**

[18] ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. **Geração Distribuída**. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=757>>. Acesso em: 22 out. 2014.

[19] CEPEL, Centro de Pesquisas de Energia Elétrica. **Mercado de Aerogeradores de Pequeno Porte no Brasil**. Disponível em: <[http://www.cresesb.cepel.br/app/index.php?section=com\\_content&cid=app\\_s\\_compensa&tid=3#fig1](http://www.cresesb.cepel.br/app/index.php?section=com_content&cid=app_s_compensa&tid=3#fig1)>. Acesso em: 22 out. 2014.

[20] ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. **Agentes de Geração**. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/AgenteGeracao/agentegeracao.cfm>>. Acesso em: 22 out. 2014.

[21] ENERGIA, Jornal da. **Micro turbinas eólicas devem somar 3.800MW em operação no mundo até 2020**. Disponível em: <[http://www.jornaldaenergia.com.br/ler\\_noticia.php?id\\_noticia=9318&id\\_tipo=3&id\\_secao=2](http://www.jornaldaenergia.com.br/ler_noticia.php?id_noticia=9318&id_tipo=3&id_secao=2)>. Acesso em: 25 jul. 2014.

[22] ENERSUD. **ENERSUD Energia Limpa**. 2011. Disponível em: <<http://enersud.com.br/>>. Acesso em: 05 jun. 2014.

[23] SATRIX. **Satrix Energias Renováveis**. Disponível em: <<http://www.satrix.com.br/>>. Acesso em: 05 jun. 2014.

[24] ALTERCOOP. **Altercoop Energia**. Disponível em: <<http://www.altercoop.com.br/>>. Acesso em: 13 out. 2014.

[25] ELETROVENTO. **Eletrovento Geradores Eólicos**. Disponível em: <<http://www.eletrovento.com.br/>>. Acesso em: 13 out. 2014.

[26] ACTION, Portal. **Distribuição Weibull**. Disponível em: <<http://www.portalaction.com.br/content/613-distribuição-weibull>>. Acesso em: 17 set. 2014.

[27] UFABC, Energia Eólica no Ambiente Urbano: estudo na. **Distribuição de Weibull**. Disponível em:

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

Acesso em: 17 set. 2014.

[28] INPE, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais ; CPTEC, Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (Org.). **Dados Observacionais**. Disponível em: <<http://bancodedados.cptec.inpe.br/>>. Acesso em: 06 jul. 2014.

[29] AERONÁUTICA, Ministério da Defesa Comando da AERONÁUTICA (Org.). **MANUAL DE ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS DE SUPERFÍCIE**. Rio de Janeiro: Meteorologia, 2011. Disponível em: <<http://www.redemet.aer.mil.br/Publicacoes/mca105-2.pdf>>. Acesso em: 20 ago. 2014.

[30] VERTUMPARTNERS (Org.). **WindFetch™**. 2013. Disponível em: <<http://www.vertumpartners.com/>>. Acesso em: 06 jun. 2014.

[31] REANALYSIS, Advancing (Org.). **Overview of current atmospheric reanalyses**. 2014. Disponível em: <<http://reanalyses.org/atmosphere/overview-current-reanalyses>>. Acesso em: 26 ago. 2014.

[32] AMARANTE, Odilon A. Camargo. **Atlas eólico : Espírito Santo/** Odilon A. Camargo do Amarante, Fabiano de Jesus Lima da Silva, Paulo Emiliano Piá de Andrade. – Vitória, ES: ASPE, 2009. 100p.; 9fls. Dobradas:il., mapas: 33 x 35 cm

[33] BARNARD, J. C. **An Evaluantion of Three Models Designed for Siting Wind Turbines in Areas of Complex Terrain**. Solar Energy, v. 46, n.5, p, 283-294, 1991

[34] BROWER, M. WindMap™ Version 3.10. Brower & Company, 2001.

[35] INSTRUMENTS, Vector. **Windspeed Limited (trading as Vector Instruments)**. Disponível em: <<http://www.windspeed.co.uk/ws/index.php?option=faq&task=viewfaq&artid=35&Itemid=5>>. Acesso em: 16 set. 2014.

[36] Stull et AL, 1991/STULL, R. B. **An Introduction to Boundary Layer Meteorology. Atmospheric Sciences Library. Kluwer Academic Publishers**, 1991.

[37] Manwell et al, 2002/ MANWELL, J. F.; MCGOWAN, J. G.; ROGERS, A. L. **Wind energy explained**. New York: Wiley, 2002. 569 p.

[38] BNDES. **Apoio a projetos de eficiência energética - PROESCO**. Disponível em:

<[http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/bndes/bndes\\_pt/Areas\\_de\\_Atualizacao/Meio\\_Ambiente/proesco.html](http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/bndes/bndes_pt/Areas_de_Atualizacao/Meio_Ambiente/proesco.html)>. Acesso em: 30 set. 2014.

[39] BNDES. **Taxa de Juros de Longo Prazo - TJLP**. Disponível em:

<[http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/bndes/bndes\\_pt/Ferramentas\\_e\\_Normas/Custos\\_Financeiros/Taxa\\_de\\_Juros\\_de\\_Longo\\_Prazo\\_TJLP/](http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/bndes/bndes_pt/Ferramentas_e_Normas/Custos_Financeiros/Taxa_de_Juros_de_Longo_Prazo_TJLP/)>. Acesso em: 30 set. 2014.

[40] RIBEIRO, Paulo, **Optimização de Estratégias de Operação de Sistemas Híbridos”, dissertação realizada no âmbito do mestrado integrado em Engenharia Electrónica e de Computadores**, Faculdade de Engenharia da universidade do Porto, Junho 2009.

[41] ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. **Tarifas Residenciais**. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=493>>. Acesso em: 15 nov. 2014.

[42] PURA, Energia. Energia Eólica. Disponível em:

<<https://www.energiapura.com/>>. Acesso em: 10 out. 2014.