

AVALIAÇÃO DO POTENCIAL EÓLICO DA REGIÃO DOS LAGOS, UTILIZANDO A DISTRIBUIÇÃO DE WEIBULL

Leonardo Henrique de Mattos Martins

PROJETO SUBMETIDO AO CORPO DOCENTE DO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA DA ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE ENGENHEIRO ELETRICISTA.

Aprovada por:

Prof. Jorge Luiz do Nascimento, Dr. Eng.
(Orientador)

Prof. Sebastião E. M. de Oliveira, D. Sc.

Prof. Júlio Cesar de Carvalho Ferreira, M. Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

FEVEREIRO DE 2014

Martins, Leonardo Henrique de Mattos

Potencial Eólica da Região dos Lagos. Estudo de caso:
Potencial Eólico da região dos lagos, enfoque em Cabo Frio,
Rio das Ostras e Araruama/Leonardo Henrique de Mattos
Martins – Rio de Janeiro: UFRJ/Escola Politécnica, 2014.

Xii, 104 p.: il: 29,7 cm.

Orientador: Prof. Jorge Luiz do Nascimento

Projeto de Graduação – UFRJ/Escola Politécnica/

Curso de Engenharia Elétrica, 2014.

Referências Bibliográficas: p. 103-104.

1.Energia Eólica 2.Fontes renováveis de energia 3. Distribuição
de Weibull I. Nascimento, Jorge Luiz do. II.Universidade
Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica, Curso
Engenharia Elétrica. III. AVALIAÇÃO DO POTENCIAL
EÓLICO DA REGIÃO DOS LAGOS, UTILIZANDO A
DISTRIBUIÇÃO DE WEIBULL.

Orientador: Jorge Luiz do Nascimento

Programa: Engenharia Elétrica

Esse trabalho sugere e busca uma das soluções viáveis para melhoria da qualidade de fornecimento de energia a uma área específica do Estado do Rio de Janeiro, área esta em crescimento contínuo e caracterizada por picos sazonais de população e demanda energética. A solução obtida vai permitir reforço da infra estrutura energética da área, utilizando um recurso aparentemente diferenciado disponível na região.

Vale ressaltar também que as fontes renováveis têm sido estudadas e utilizadas cada vez em maior escala no cenário global, porém no Brasil, ainda é algo relativamente novo. São poucas as informações e empresas que visam produzir equipamentos para utilização nesse setor, porém a tendência é que isso aumente bastante nos próximos anos, pois existem programas atuais de incentivo a pesquisa no setor de diversificação de fontes energéticas, como o PROINFA.

Sumário

Capítulo 1 – Introdução	1
1.1- Principais fontes renováveis	2
1.1.1 – Hidroelétrica.....	2
1.1.2 - Solar	2
1.1.3 – Biomassa	3
1.1.4 - Eólica	3
1.2 – Objetivos.....	5
1.3 -Metodologia.....	6
Capítulo 2 – A Energia Eólica.....	7
2.1- Evolução da energia Eólica	7
2.2 – Mecanismo de formação dos ventos	8
2.3 - Cenário mundial e nacional	11
3 – Aerogeradores.....	16
3.1 – Componentes de um aerogerador.....	17
3.2 – Tipos de aerogeradores	19
4 – Escolha de aerogeradores	20
4.1 – Aerogerador com altura 50m	24
4.2 – Aerogerador com altura 75m	25
4.3 – Aerogerador com altura de 100m	26
5 – Potencial eólico da região a ser estudada	29
5.1 – Potencial eólico no estado.....	30
5.2 – A distribuição de Weibull	34
5.3 – Densidade média do ar.....	37
5.4 – Região dos lagos	37
6 – Estudo de caso	40
6.1 – Potência gerada em KWh - Cabo Frio	40
6.1.1 – 50 m de altura.....	42
6.1.2 – 75m de altura.....	48
6.1.3 – 100m de altura.....	54
6.2 - Potência gerada em KWh – Rio das Ostras.....	60
6.2.1 – 50 m de altura.....	61

6.2.2 – 75 m de altura	67
6.2.3 – 100 m de altura	73
6.3 - Potência gerada em KWh - Araruama	80
6.3.1 – 50 m de altura	80
6.3.2 – 75 m de altura	87
6.3.3 – 100 m de altura	93
6.4 – Análise dos resultados.....	99
7 – Conclusão	Erro! Indicador não definido.
8 - Bibliografia.....	104

Capítulo 1 – Introdução

A cada dia as fontes alternativas vêm ganhando mais força no cenário mundial e, como o crescimento econômico de um país está atrelado a sua capacidade de produção de energia, busca-se cada vez mais ampliar o universo nesse setor. Neste sentido, atualmente existem programas governamentais que incentivam a pesquisa nesse campo [2]. O grande problema da geração eólica é a necessidade de consumo imediato da mesma, dada a dificuldade de seu armazenamento.

Na Figura 1, tem-se o cenário de balanço energético mundial e nacional, de onde é possível notar que a matriz nacional difere muito da mundial. Pode-se perceber, também, que os combustíveis fósseis ainda são unanimidade, tanto no Brasil, como no mundo, e que o Brasil possui uma matriz energética com base renovável bem acima da média mundial, caracterizada pela produção de eletricidade, em sua quase totalidade, através das hidroelétricas. Com o esgotamento do potencial hidráulico e com a pressão internacional por ações inibidoras do aquecimento global [3], torna-se fundamental investir na diversificação da matriz energética, fazendo uso cada vez mais de fontes renováveis limpas.

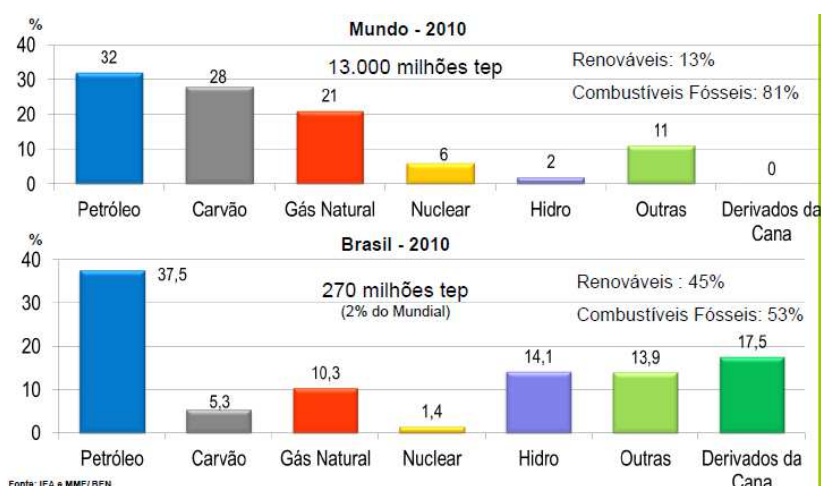


Figura 1 – Matriz Energética Mundial / Nacional 2010, Fonte MME [3]

1.1- Principais fontes renováveis

1.1.1 – Hidroelétrica

Energia produzida explorando a energia cinética e potencial dos fluxos de água. São utilizados os desníveis naturais e barreiras de contenção de água, essa energia potencial é responsável por movimentar turbinas, nessa tem-se a conversão da energia mecânica para energia elétrica.

Normalmente as usinas hidrelétricas são construídas em locais distantes dos centros consumidores, esse fato eleva os valores do transporte de energia, que é transmitida por linhas de transmissão até as cidades.

A eficiência energética das hidrelétricas é muito alta, em torno de 95%. O investimento inicial e os custos de manutenção são elevados, porém, o custo do combustível (água) é nulo.

Apesar de ser uma fonte de energia renovável e não emitir poluentes, a energia hidrelétrica não está isenta de impactos ambientais e sociais. A inundação de áreas para a construção de barragens gera problemas de realocação das populações ribeirinhas, comunidades indígenas e pequenos agricultores. Os principais impactos ambientais ocasionados pelo represamento da água para a formação de imensos lagos artificiais são: destruição de extensas áreas de vegetação natural, matas ciliares, o desmoronamento das margens, o assoreamento do leito dos rios, prejuízos à fauna e à flora locais, alterações no regime hidráulico dos rios, possibilidades da transmissão de doenças e extinção de algumas espécies de peixes [4].

1.1.2 - Solar

Energia produzida diretamente através da irradiação do sol, atualmente é mais aproveitada de duas formas, através do aquecimento de água e geração fotovoltaica da energia elétrica.

No Brasil, usa-se muito o aquecimento de águas, porém, já no nordeste a geração fotovoltaica é mais usada geralmente em sistemas isolados da rede.

Os pontos positivos desse tipo de energia é que essa fonte é “inesgotável”, não polui o ambiente, e, em países tropicais, pode ser aproveitado praticamente o ano todo.

Alguns aspectos negativos são que essa fonte de energia é sazonal, os custos dos painéis ainda são elevados, não possui capacidade de armazenamento e os painéis ainda possuem uma eficiência baixa, em torno de 25% [4].

1.1.3 – Biomassa

Tipo de energia produzida diretamente através de processos de combustão, gaseificação, fermentação ou na produção de substâncias líquidas:

Processo de combustão – Queima de diversos tipos diferentes de substâncias, de origem vegetal ou animal. Alguns exemplos são: a queima do bagaço de cana-de-açúcar, lenha, resíduos agrícolas, casca de arroz, excrementos animais e diversos outros tipos de matéria orgânica.

Processo de Gaseificação – Converte biomassa na forma gasosa, tendo como principais produtos o hidrogênio e o monóxido de carbono, utilizados na geração de energia e na indústria química.

Fermentação – Desintegra a biomassa com uma bactéria anaeróbica para que se forme uma mistura, contendo metano e dióxido de carbono. Muito utilizado em indústrias de purificação de lixo e esgoto.

Substâncias líquidas – Pode ser obtida de duas formas: conversão biológica, no caso do etanol, em que os açúcares da cana são transformados de bactérias em etanol e, também, na conversão térmica, que ocorre quando o material vegetal se decompõe sem o oxigênio e sob um forte calor, nesse processo pode ocorrer produção de combustíveis líquidos e gasosos.

Pode citar esse tipo de energia como renovável, pois com a queima desses resíduos orgânicos, libera-se CO₂ para a atmosfera, que durante seu ciclo é transformado em hidrato de carbono através da fotossíntese das plantas. Sendo assim, a biomassa, desde que utilizada de forma controlada, não agride a atmosfera, pois não altera de forma significativa sua composição, visto que o seu balanço de consumo/liberação de CO₂ é nulo [4].

1.1.4 - Eólica

Fonte de energia produzida através da força dos ventos. É abundante, limpa e disponível em diversos lugares. A energia do vento fica responsável por movimentar as pás de uma turbina ligada a um gerador elétrico, sendo basicamente um meio de conversão da energia cinética contida nos ventos, atuando no giro das pás das hélices, provocando uma

energia cinética de rotação, que será convertida finalmente, nos geradores elétricos, para energia elétrica. Então pode ser considerada uma fonte inesgotável de energia.

Importante destacar que essa fonte é inesgotável, variando apenas com a velocidade dos ventos no período e, em locais que se têm os parques eólicos, pode se desenvolver outros tipos de atividades, como por exemplo: criação de gados e agricultura.

Outro ponto mais atual é o estudo para se utilizar esse tipo de fonte em plataformas offshore. Será visto mais a frente alguns mapas que ratificam a velocidade do vento mais abundante próximo mar [4].

A Figura 2 mostra um comparativo dos atuais custos de diferentes formas de energia. A eólica é uma das que ainda tem o menor custo R\$/MWh e a tendência é que esse custo diminua cada vez mais com o incentivo do governo com programas, como o PROINFA, com o avanço tecnológico e com a consolidação cada vez maior desse tipo de energia no cenário mundial.

	Unidade	Belo Monte	PCH	Eólica	Biomassa	Solar	Gás Natural	Nuclear
ICB	R\$/MWh	77,97	135,00	148,00	153,48	500,00	143,00	150,00

Figura 2 - Custo das principais Fontes Energéticas, Fonte Usina Belo Monte [5]

O Proinfa (Programa de incentivo a fontes alternativas de energia elétrica) é um programa criado pelo governo visando acentuar o crescimento do país e que se suporta em financiamentos do BNDES a juros bem abaixo do valor do mercado[6].

Através do decreto nº 5.025/2004, que regulamenta o Art. 3º da Lei nº 10.438/2002, ficou determinado que a Eletrobrás elaborasse o Plano anual do Proinfa (PAP). O PAP é o meio pelo qual a Eletrobrás apresenta os montantes anuais de energia e de custeio do PROINFA, que deverão ser rateados pela ANEEL, por meio de cotas referentes às concessionárias de distribuição e de transmissão[6].

Na elaboração da PAP, são levados em consideração todos os aspectos relativos a concessões, bem como alguns outros fatores, tais como:

- Datas de entrada em operação comercial (DOCs).
- Datas planejadas de entrada em operação comercial (DPOCs).

- Valores de energia contratada estabelecidos nos contratos do PROINFA e em seus aditivos.
- Todo e qualquer outro termo contratual de ajuste e seus aditivos.

Na Tabela 1 tem-se os dados estimados para a PAP 2013:

Tabela 1 – Dados do PAP 2013 [6]

Fonte	Número de empreendimentos	Potência Instalada (MW)	Energia (MWh)
Biomassa	19	533,34	1193859,00
Eólica	51	1181,72	3281788,00
PCH	60	1159,24	6556864,00
Total	130	2874,30	11032511,00

A idéia é ratificar que o programa PROINFA é um forte aliado para a construção de novas usinas eólicas. Neste aspecto, a Tabela 1 ilustra que a energia eólica já tem hoje um grande destaque por parte do programa.

1.2 – Objetivos

Os principais objetivos desse trabalho são:

- Avaliar os melhores locais no Estado do Rio de Janeiro com potencial eólico passível de aproveitamento.
- Estimar a curva de velocidade dos ventos das regiões avaliadas, utilizando a distribuição de Weibull.
- Comprovar, caso possível, a viabilidade e aplicabilidade desse projeto no local de estudo.
- Avaliar o tempo de retorno do projeto na Região de estudo.

Este trabalho também visa:

- Mostrar como se dá a variação da velocidade média dos ventos em todo o Rio de Janeiro.
- Analisar e explicar o porquê se busca cada dia mais a ramificação energética.
- Mostrar os principais componentes de aerogeradores.
- Firmar a importância da PROINFA no crescimento de investimentos nesse setor.

1.3 -Metodologia

Foi definida a metodologia de trabalho que consiste em pesquisa bibliográfica, procurando realizar revisão bibliográfica em dissertações, teses, artigos científicos, artigos jornalísticos, relatórios técnicos, livros e outras publicações relacionadas ao tema.

A metodologia aplicada nesse trabalho foi a seguinte:

- Área a ser estudada – Análise do atlas eólico do estado do Rio de Janeiro, para precisar pontos com as maiores velocidades médias durante o ano no estado, e assim fazer estudo de caso nesses locais.
- Divisão dos dados por estações do ano – Por ser uma fonte sazonal e a velocidade média dos ventos variar de acordo com as estações do ano, estudou-se uma a uma para se obter o resultado anual.
- Tratamento dos dados – Após ter o local de estudo definido, utilizou-se a curva de Weibull para estimar a variação de velocidade do vento no período anual.
- Determinação do total anual de energia de cada aerogerador – Por fim, confluiu-se a curva de potência do aerogerador com a curva de velocidade, retornando assim a Energia em KWh que o mesmo é capaz de fornecer.
- Tempo aproximado de retorno no projeto – Com o total em KWh anual de cada aerogerador e utilizando o valor atual do custo de geração eólica, pode-se estimar o tempo de retorno do projeto.

Capítulo 2 – A Energia Eólica

2.1- Evolução da energia Eólica

Com o avanço da agricultura, o homem necessitava cada vez mais de ferramentas que o auxiliassem nas diversas etapas do trabalho. Tarefas como a moagem dos grãos e o bombeamento de água exigiam cada vez mais esforço braçal e animal. Isso levou ao desenvolvimento de uma forma primitiva de moinho de vento, utilizada no beneficiamento dos produtos agrícolas, que constava de um eixo vertical acionado por uma longa haste presa a ela, movida por homens ou animais caminhando numa gaiola circular. Existia também outra tecnologia utilizada para o beneficiamento da agricultura onde uma gaiola cilíndrica era conectada a um eixo horizontal e a força motriz (homens ou animais) caminhava no seu interior [7].

Esse sistema foi aperfeiçoado com a utilização de cursos d'água como força motriz surgindo, assim, as rodas d'água. Historicamente, o uso das rodas d'água precede a utilização dos moinhos de ventos devido a sua concepção mais simplista de utilização de cursos naturais de rios como força motriz. Como não se dispunha de rios em todos os lugares para o aproveitamento em rodas d'água, a percepção do vento como fonte natural de energia possibilitou o surgimento de moinhos de ventos substituindo a força motriz humana ou animal nas atividades agrícolas [7].

Um importante marco para a energia eólica na Europa foi a Revolução Industrial no final do Século XIX. Com o surgimento da máquina a vapor, iniciou-se o declínio do uso da energia eólica na Holanda. Já no início do século XX, existiam apenas 2.500 moinhos de ventos em operação, caindo para menos de 1.000 no ano de 1960 (CHESF-BRASCEP, 1987). Preocupados com a extinção dos moinhos de vento pelo novo conceito imposto pela Revolução Industrial, foi criada, em 1923, uma sociedade holandesa para conservação, melhoria de desempenho e utilização mais efetiva dos moinhos holandeses [7].

A utilização de cata-ventos de múltiplas pás destinados ao bombeamento d'água desenvolveu-se de forma efetiva, em diversos países, principalmente nas suas áreas rurais. Acredita-se que, desde a segunda metade do século XIX, mais de 6 milhões de cata-ventos já teriam sido fabricados e instalados somente nos Estados Unidos para o bombeamento d'água

em sedes de fazendas isoladas e para abastecimento de bebedouros para o gado em pastagens extensas (CHESF-BRASCEP, 1987). Os cata-ventos de múltiplas pás foram usados também em outras regiões como a Austrália, Rússia, África e América Latina. O sistema se adaptou muito bem às condições rurais tendo em vista suas características de fácil operação e manutenção. Toda a estrutura era feita de metal e o sistema de bombeamento era feito por meio de bombas e pistões, favorecidos pelo alto torque fornecido pela grande número de pás. Até hoje esse sistema é largamente usado em várias partes do mundo para bombeamento d'água [7].

Os estudos nesse ramo se intensificaram e ganharam visibilidade e investimentos maiores no final da década de 70, do século XX. Isto ocorreu em razão da crise internacional do petróleo e das conseqüentes mudanças de políticas energéticas mundiais, de forma que os governos passaram a investir em diferentes tipos de fontes alternativas e renováveis, como a eólica, viabilizando com maior incentivo os estudos voltados à mesma e tornando possível a utilização desse recurso em escala comercial.

Os recentes avanços tecnológicos (elevação das torres eólicas, maior aproveitamento do vento, sofisticados meios de transmissão e conversão, controle e operação de turbinas, etc.) e a produção em larga escala vem reduzindo o custo, melhorando desempenho e a confiabilidade dos equipamentos, tornando cada vez mais a energia como fonte competitiva.

2.2 – Mecanismo de formação dos ventos

Apesar de parecer uma questão completamente imprevisível, o vento apenas traduz uma informação por nós já conhecida, com o grau de inclinação da terra e sua rotação, pode-se claramente perceber o aquecimento disforme do planeta, que juntamente com a força Coriolis irão determinar o sentido e a velocidade dos ventos.

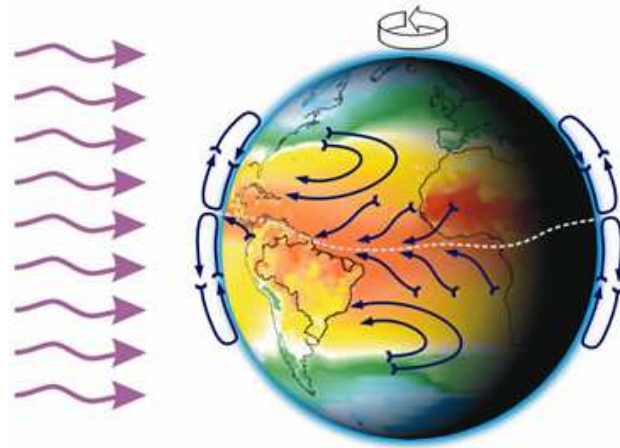


Figura 3 - Formação dos ventos no mundo, CRESEB [8]

Na Figura 4, o aquecimento disforme da superfície da terra ocorre tanto em escalas globais como locais. As superfícies com maior incidência solar são as áreas mais quentes do planeta e ficam próximas ao marco 0° (linha do equador), como se pode perceber também, as cores quentes como vermelho e amarelo demonstram isso na Figura 4. Como o ar quente é menos denso que o ar frio, essas massas tendem a subir e se espalhar em direção aos polos norte e sul. Porém, o planeta gira em torno de si com o movimento de rotação, caso isso não ocorresse ter-se-ia apenas uma simples corrente de convecção [8].

Como já foi dito, as massas de ar sobem com o aquecimento e por volta de 30° de latitude e a força de Coriolis impede que essas massas se distanciem muito. Assim são responsáveis pelo sentido de movimentação dessas correntes de ar ou para direita no sentido do polo norte, ou para a esquerda no sentido do polo sul.

Porém existem locais que os ventos jamais param de soprar, são regiões próximas ao mar ou de relevo acidentado, formando os tipos de vento planetários e constantes, classificados como:

- Alísios – ventos do trópico para o equador em baixas altitudes.
- Contra Alísios – sopram do equador para os polos em altas altitudes.
- Ventos de oeste – sopram do trópico para os polos.
- Polares – sopram dos polos para as zonas temperadas.

Uma vez que a inclinação do eixo da terra é de $23,5^\circ$ em relação ao plano de sua órbita em torno do sol, variações sazonais na distribuição dessas radiações recebidas pela superfície terrestre resultam em variações sazonais de intensidade e direção dos ventos. Assim, tem-se

os ventos continentais ou periódicos, que são as monções ou brisas. De forma geral, as monções sopram em um sentido durante determinada estação do ano e em sentidos opostos em outras estações [8].

Dependendo da capacidade de cada superfície de absorver e emitir calor, capacidades específicas para cada tipo de superfície, surgem as brisas, que são ventos que sopram do mar para o continente e vice-versa. Durante o dia, o vento sopra do mar para o continente (brisa marítima), já durante a noite, a temperatura do continente cai muito mais rapidamente do que a temperatura do mar, devido a sua capacidade térmica, então o vento será em outro sentido, do continente para o mar (brisa terrestre). Normalmente, a brisa marítima tem mais intensidade de vento do que a brisa terrestre, devido a menor diferença de temperatura se encontrar no período noturno.

Sobreposto a tudo isso, ainda tem tipos mais específicos de vento que sopram em determinadas regiões bem específicas que são os ventos locais. A maior evidência desse tipo de movimentação se encontra entre os vales e as montanhas. Durante o dia o ar quente que se forma na encosta das montanhas sobe e o ar frio desce para o vale, à noite esse movimento se inverte.

Alguns fatores influenciam esse regime de ventos. Dentre eles, alguns que são os responsáveis mais diretos por isso:

- Variação da velocidade com altura e perfil do vento.
- Rugosidade do terreno.
- Presença de diferenças de terreno na vizinhança.
- Relevo causa aceleração e desaceleração nas correntes de vento.

A Figura 5 mostra como o vento se comporta de acordo com acidentes geográficos e tipos de terrenos.

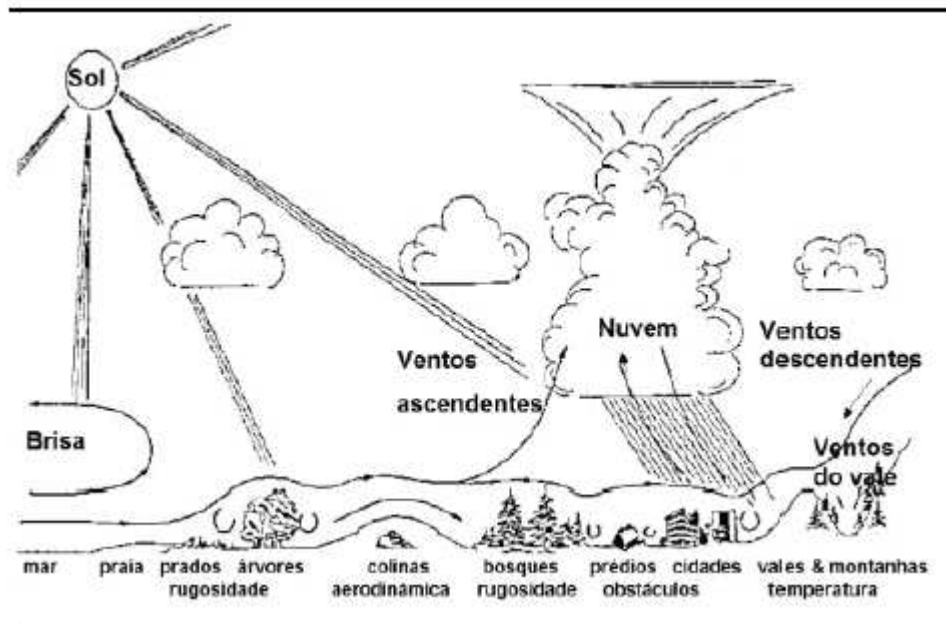


Figura 4 – Comportamento vento sobre tipo de terreno, CRESEB [8]

2.3 - Cenário mundial e nacional

Para se avaliar o potencial eólico de uma determinada região, necessita-se de trabalhos sistemáticos e bem regulares. Mas, para um estudo inicial pode-se levar em conta a medição dos ventos em estações meteorológicas, aeroportos e informações obtidas na marinha, então ter-se-á as informações brutas. Para as condições reais necessita-se de mais tempo e um enfoque forte nessa determinada área a ser estudada.

Primeiramente, tem que se ter em mente que, para que a energia eólica seja considerada aproveitável, deve se ter um vento com uma velocidade mínima de 7m/s a 50m de altura, e uma densidade maior que 500W/m². Segundo a organização mundial de meteorologia, esse potencial existe em 13% do planeta, chegando acerca de 32% na Europa Ocidental, contudo apesar da estimativa de potencial eólico bruto mundial ser de 500.000 TWh por ano, apenas 10% são considerados aproveitáveis.

Para que a energia eólica seja considerada tecnicamente aproveitável, é necessário que sua densidade seja maior ou igual a 500 W/m², a uma altura de 50 m, o que requer uma velocidade mínima do vento de 7 a 8 m/s (GRUBB; MEYER, 1993). Segundo a Organização Mundial de Meteorologia, em apenas 13% da superfície terrestre o vento apresenta velocidade

média igual ou superior a 7 m/s, a uma altura de 50 m. Essa proporção varia muito entre regiões e continentes, chegando a 32% na Europa Ocidental [9], como indicado na Figura 6 .

Região/Continte	Velocidade do Vento (m/s) a 50 m de Altura					
	6,4 a 7,0		7,0 a 7,5		7,5 a 11,9	
	(10 ³ km ²)	(%)	(10 ³ km ²)	(%)	(10 ³ km ²)	(%)
África	3.750	12	3.350	11	200	1
Austrália	850	8	400	4	550	5
América do Norte	2.550	12	1.750	8	3.350	15
América Latina	1.400	8	850	5	950	5
Europa Ocidental	345	8,6	416	10	371	22
Europa Ocidental & ex-URSS	3.377	15	2.260	10	1.146	5
Ásia (excluindo ex-URSS)	1.550	6	450	2	200	5
Mundo	13.650	10	9.550	7	8.350	6

Figura 5 - Velocidade do vento no mundo a 50m de altura, ANEEL [9]

Mesmo assim, estima-se que o potencial eólico bruto mundial seja da ordem de 500.000 TWh por ano. Devido, porém, a restrições socioambientais, apenas 53.000 TWh (cerca de 10%) são considerados tecnicamente aproveitáveis, vide Figura 7. Ainda assim, esse potencial líquido corresponde a cerca de quatro vezes o consumo mundial de eletricidade (ANEEL).

Região	Porcentagem de Terra Ocupada*	Potencial Bruto (TWh/ano)	Densidade Demográfica (hab/km ²)	Potencial Líquido (TWh/ano)
África	24	106.000	20	10.600
Austrália	17	30.000	2	3.000
América do Norte	35	139.000	15	14.000
América Latina	18	54.000	15	5.400
Europa Ocidental	42	31.400	102	4.800
Europa Ocidental & ex-URSS	29	106.000	13	10.600
Ásia (excluindo ex-URSS)	9	32.000	100	4.900
Mundo**	23	498.400	-	53.000

Figura 6 - Estimativa do potencial eólico mundial, ANEEL [9]

Alguns países já utilizam em larga escala esse tipo de fonte alternativa, principalmente, nos países mais desenvolvidos onde se têm incentivado bastante as pesquisas em alternativas energéticas. Hoje, a China é o país líder no setor eólico. A Figura 8 mostra o investimento por país e por tipo de fonte renovável. Do total investido em nosso país, 40% foi para biocombustíveis, 31% para a energia eólica e 28% para outras fontes.

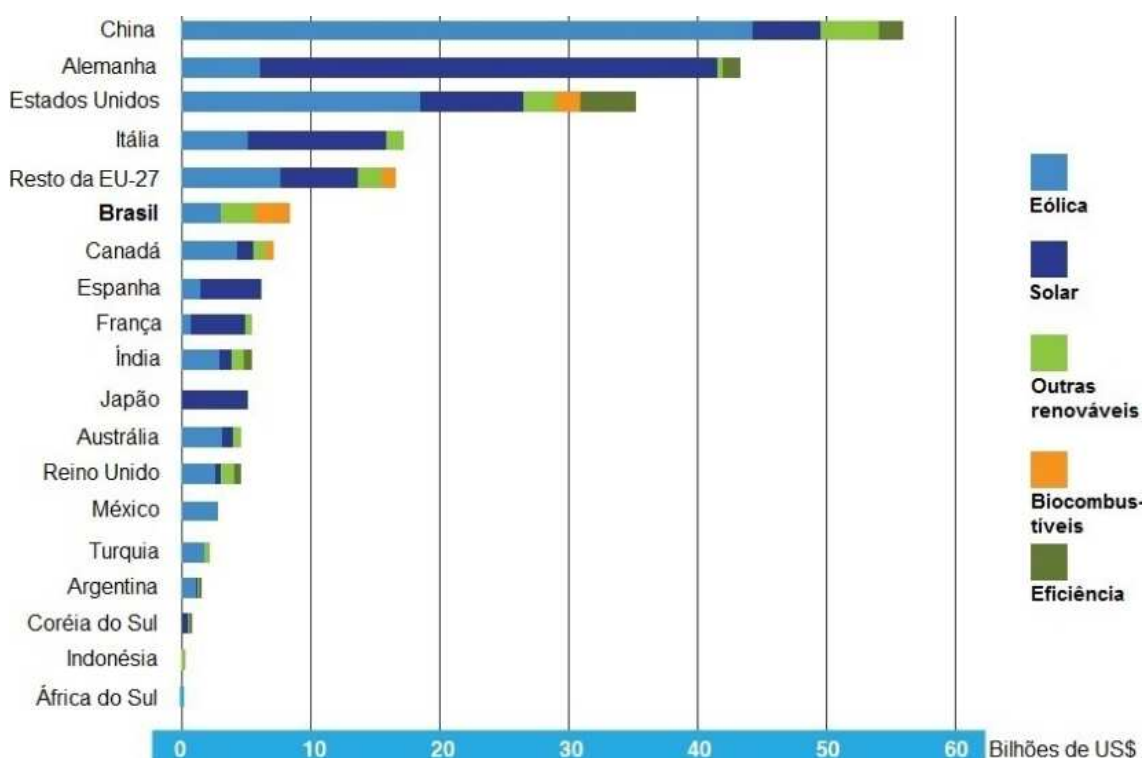


Figura 7 – Países líderes em Energia Renovável, [10]

Na Figura 9, pode-se ter uma estimativa, a longo prazo, sobre o percentual de participação da energia eólica na utilização de energia elétrica no mundo. Segundo o relatório International Energy Outlook, o crescimento será puxado pelos países em desenvolvimento fora da Organização de Cooperação para o Desenvolvimento Econômico (OCDE).

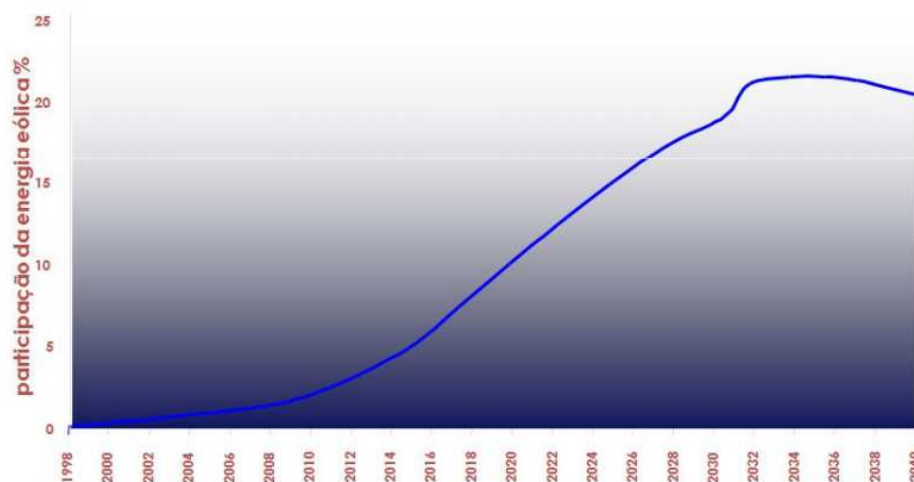


Figura 8 - Perspectiva eólica no cenário mundial ,WWEA [11]

A Figura 10 retrata outro estudo da WWEA que estima a geração de energia nos países emergentes e retrata o largo avanço da China no setor, bem como a diferença entre o que é planejado para o Brasil e o que realmente será feito em prática.

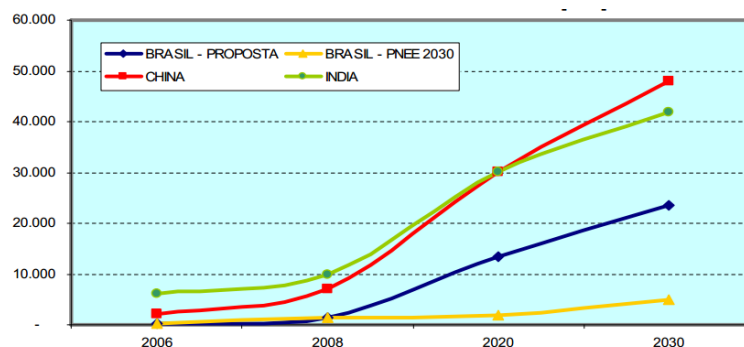


Figura 10 - Estimativa de geração de países emergentes, WWEA [11]

Alguns pontos voltados a isso são importantes citar, como:

- A energia eólica representou em 2007 um terço de todas as aplicações em energias limpas, 50,2 bilhões de dólares, 40% a mais que em 2006.
- Entre 2009 e 2020 são previstos investimentos de 347 bilhões de euros em todo mundo.
- Grande parte desse investimento é na Europa, seguido dos Estados Unidos.
- Países em crescente desenvolvimento apresentam grande interesse nesse setor.

Na Figura 11, tem-se um comparativo de custos de geração por tecnologia.

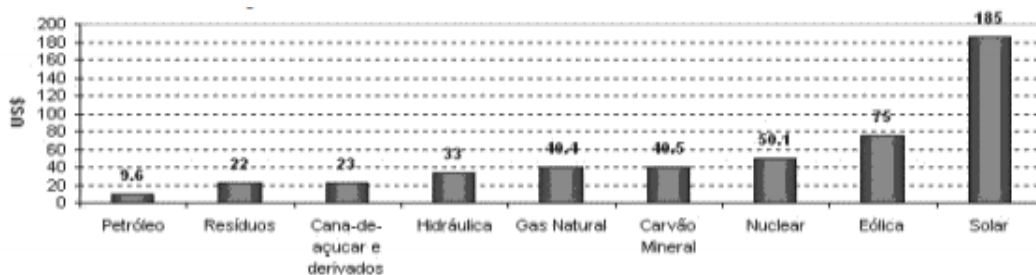


Figura 11 - Custo de geração, [12]

Além dos aspectos já apresentados, pode-se perceber que, apesar de a energia eólica ainda ter um custo elevado, ela causa menos impactos ambientais, praticamente não requer manutenção e seu grande impasse é apenas o custo elevado do projeto inicial. Além disso, ainda nota-se que no Brasil, o regime dos ventos e dos rios se complementam, o que se pode observar na Figura 12. Mais uma justificativa que torna importante o investimento no setor.

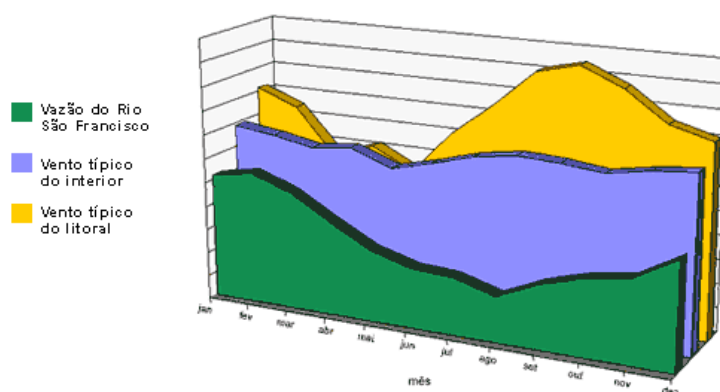


Figura 12 - Regime dos rios e dos ventos no Brasil [13]

Capítulo 3 - Aerogeradores

É a unidade fundamental do sistema de geração eólica. Na Figura 13, podem ser visualizados os principais componentes de um gerador eólico, lembrando sempre que, dependendo do fabricante, terá componentes diferentes, mas, de um modo geral, esses são os componentes básicos desse tipo de equipamento.

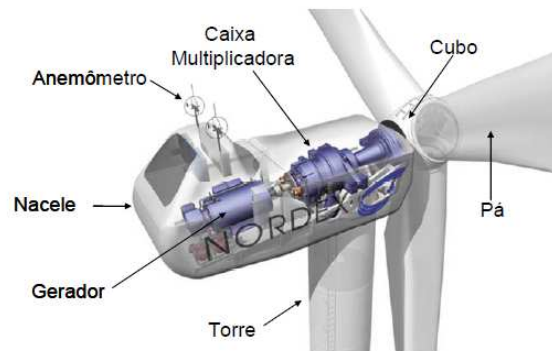


Figura 93 - Componentes básicos de um modelo de aerogerador [14]

A maioria das turbinas eólicas tem a capacidade de rotação de toda ou de parte das pás em torno de seu eixo, através da redução do ângulo de ataque e consequentemente do coeficiente de sustentação.

Na Figura 14, tem-se:

- \vec{L} = Força de sustentação.
- \vec{D} = Força de arrasto.
- α = ângulo de ataque.
- β = Ângulo de passo.
- \vec{V} = Velocidade absoluta do vento.
- \vec{V}_{vento} = Velocidade relativa do vento.

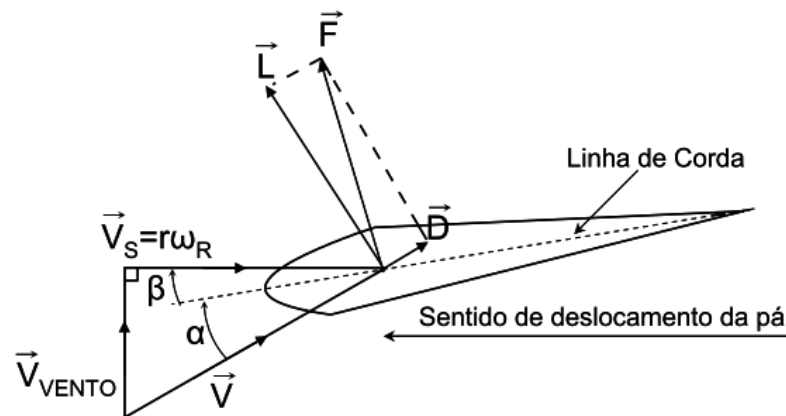


Figura 14 –Velocidades atuantes em uma pá do rotor de uma turbina eólica[14]

O maior benefício em poder controlar esse ângulo de ataque é poder aumentar ou diminuir a velocidade com que as pás do hélice irão girar. Assim, é possível conseguir uma velocidade nominal de rotação. Obviamente, dependendo da velocidade do vento dentro de uma faixa específica para cada modelagem de pás, este ângulo de ataque é o ângulo entre a linha de corda e o plano de rotação da pá.

Este tipo de operação requer um controlador de malha fechada e que tenha uma resposta rápida para modificar essa angulação, assim que observada qualquer variação na velocidade do vento [14].

3.1 – Componentes de um aerogerador

Rotor – Componente responsável pela captação do vento que será convertido em energia mecânica para o gerador. Utilizam-se basicamente dois tipos de força: elevação e arraste. Os rotores que utilizam a força de elevação apresentam maior velocidade e maior rendimento.

Existem basicamente dois tipos de rotores: os de eixo vertical e os de eixo horizontal [16].

Alguns exemplos de tipos de rotor estão exemplificados na Figura 15.

Gerador elétrico – Responsável pela conversão da energia mecânica primária em energia elétrica, os mais utilizados para geração eólica são os geradores assíncronos ou de indução e os geradores síncronos.









Tipo de rotor	Carga típica	RPM	Torque
 Propeller duas e três pás (sustentação)	Gerador elétrico	Alto	Baixo
 Darrieus (sustentação)	Gerador elétrico	Alto	Baixo
 Cyclogiro (sustentação)	Gerador elétrico ou bombeamento	Moderado	Moderado
 Chalk multipá (sustentação)	Gerador elétrico ou bombeamento	Moderado	Moderado
 Sailwing (sustentação)	Gerador elétrico ou bombeamento	Moderado	Moderado
 Fan-type (arrasto)	Gerador elétrico ou bombeamento	Baixo	Alto
 Savonius (arrasto)	Bombeamento	Baixo	Alto
 Dutch-type (arrasto)	Moinho	Baixo	Alto

Figura 15 – Exemplos de rotores eólicos [15]

Sistema mecânico de freios – Deve-se garantir a segurança de operação dos geradores. Esse sistema atua diretamente no eixo da turbina, reduzindo a velocidade ou promovendo a parada total. É acionado em situações extremas, quando está desconectado com a rede elétrica e atua todo o tempo em que o gerador estiver parado.

Sistema de regulação de potência por variação do ângulo das pás – Atua alterando o ângulo de ataque das pás do rotor β , permitindo o controle de potência através disso.

Sistema de direcionamento – Sistema que visa manter o melhor posicionamento da nacele, de modo a obter o máximo aproveitamento do vento. Em geradores de grande porte é ativo e automatizado, girando a nacele de acordo com a direção do vento. Assim, utiliza-se um sistema de engrenagens, ligando diretamente a torre com a nacele, essa é movimentada por um atuador elétrico ou hidráulico. Esse sistema utiliza também sensores para determinar a direção do vento.

O mesmo sistema atua também quando existem momentos de turbulência de modo a retirar a nacele do sentido do fluxo de ar.

Torre de sustentação – Consiste numa estrutura geralmente metálica ou de concreto, sobre a qual a nacela é conectada, as torres de sistemas de portes maiores geralmente são tubulares para permitir acesso a todos os componentes da nacela internamente pela torre e protegendo os mesmos de condições climáticas adversas.

3.2 – Tipos de aerogeradores

Existem duas formas dos geradores serem conectados a rede elétrica, podendo ser geradores de velocidade variável ou de velocidade constante.

Os geradores de velocidade constante são conectados diretamente à rede elétrica e quem determina a frequência de rotação do gerador é a frequência da rede, controlando assim, também, a rotação do aerogerador.

A baixa rotação do aerogerador N_t é transmitida ao gerador, de rotação N_g por um multiplicador com relação de transmissão r . A velocidade do gerador depende do número de pólos p e da frequência do sistema elétrico f dados por (CRESEB):

$$N_t = \frac{N_g}{r} \quad N_g = \frac{f}{p} \quad N_t = \frac{f}{r \cdot p}$$

As desvantagens destes geradores são as altas correntes de partida e sua demanda por potência reativa. As altas correntes de partida podem ser suavizadas por um tiristor de corrente (ou de partida).

O outro tipo é o dos geradores de velocidade variável, A conexão ao sistema elétrico é feita por meio de um conversor de frequência eletrônico, formado por um conjunto retificador/inversor. A tensão produzida pelo gerador síncrono é retificada e a corrente contínua resultante é invertida, com o controle da frequência de saída sendo feito eletronicamente através dos tiristores. Como a frequência produzida pelo gerador depende de sua rotação, esta será variável em função da variação da rotação da turbina eólica. Entretanto, por meio do conversor, a frequência da energia elétrica fornecida pelo aerogerador será constante e sincronizada com o sistema elétrico [16].

Capítulo 4 – Escolha dos Aerogeradores

Primeiramente cabe ressaltar que foram pesquisadas diferentes empresas que já trabalham com geração eólica, porém a Wobben/Enercon chamou mais atenção pela sua atuação ampla no cenário mundial e já ter mercado também interno no Brasil [17].

As principais características do gerador WOBHEN:

- Gerador síncrono;
- Baixa velocidade de rotação (maior vida útil);
- Grande diâmetro;
- Elevado número de pólos (melhor refrigeração);
- 2 Sistemas com 3 fases respectivamente;
- Excitação com corrente contínua através das sapatas polares;
- Velocidade de rotação variável (maior eficácia e maior produção).

Como já dito anteriormente, os modelos dos aerogeradores escolhidos são produtos da Wobben/Enercon. Essa empresa já possui fabricação aqui no Brasil e dispõe de diversos modelos, variando apenas a altura da torre e a potência de saída do mesmo.

Pode-se ratificar a escolha dessa empresa por diversos fatores, dentre eles:

- Empresa brasileira com capital alemão do grupo Enercon, fabricante de geradores de grande porte.
- 12 usinas eólicas já operando no Brasil, sendo 5 pelo âmbito do PROINFA.
- Grupo com mais de 20 anos de experiência em fontes alternativas de energia, notadamente eólica.
- 3 sedes em território nacional , Sorocaba – SP, Pecém – CE e Gravataí – RS .

Na Figura 16, tem-se a relação das usinas instaladas no Brasil e Argentina até 2006 pela Wobben.

País	Usina Eólica	Capacidade Instalada até 2006	Aerogerador	Data de Instalação	Cliente
Brasil	Taliba (Ceará) – WWP	5 MW	10 x E-40 / 500 kW	1998	COELCE (fornecedor de energia)
Brasil	Prainha (Ceará) – WWP	10 MW	20 x E-40 / 500 kW	1999	COELCE (fornecedor de energia)
Brasil	Palmas (Paraná)	2,5 MW	5 x E-40 / 500 kW	1999	COPEL (fornecedor de energia)
Argentina	Pico Truncado (Santa Cruz)	1,2 MW	2 x E-40 / 600 kW	2001	Municipalidad de Pico Truncado (proprietária da usina)
Brasil	Mucuripe (Ceará) – WWP	2,4 MW	4 x E-40 / 600 kW	2002	COELCE (fornecedor de energia)
Brasil	Bom Jardim da Serra (Santa Catarina)	0,6 MW	1 x E-40 / 600 kW	2002	CELESC (fornecedor de energia)
Brasil	Horizonte (Santa Catarina)	4,8 MW	8 x E-40 / 600 kW	2003	CENAEEL (proprietária da usina)
Brasil	Macau (Rio Grande do Norte)	1,8 MW	3 x E-40 / 600 kW	2003	PETROBRAS (proprietária da usina)
Argentina	Pico Truncado (Santa Cruz)	1,2 MW	2 x E-40 / 600 kW	2005	Municipalidad de Pico Truncado (proprietária da usina)

Figura 16 – Usinas instaladas pela Wobben até 2006 [17]

Na Figura 17, tem-se a relação das usinas com a participação do PROINFA.

País	Usina Eólica	Capacidade a ser instalada até 2006	Aerogerador	Data de Instalação	Cliente
Brasil	Água Doce (Santa Catarina)	9 MW	15 x E-40 / 600 kW	2005 / 2006	CENAEEL (proprietária da usina)
Brasil	Rio do Fogo (Rio Grande do Norte)	49,6 MW	62 x E-48 / 800 kW	Julho 2006	IBERDROLA / ENERBRASIL
Brasil	Osório (Rio Grande do Sul)	50,0 MW	25 x E-70 / 2000 kW	Junho 2006	ELECINOR / ENERFIN / VENTOS DO SUL
Brasil	Sangradouro (Rio Grande do Sul)	50,0 MW	25 x E-70 / 2000 kW	Setembro 2006	ELECINOR / ENERFIN / VENTOS DO SUL
Brasil	Índios (Rio Grande do Sul)	50,0 MW	25 x E-70 / 2000 kW	Novembro 2006	ELECINOR / ENERFIN / VENTOS DO SUL
Brasil	Palmares (Rio Grande do Sul)	8,0 MW	10 x E-48 / 800 kW	Dezembro 2007	ELECINOR / ENERFIN / VENTOS DO SUL

Figura 107 - Usinas com capital do PROINFA instaladas pela Wobben [17]

Como se pode notar, a empresa é consolidada no ramo e tem como dona de capital a Alemanha, que é o país que mais utiliza essa fonte de energia no mundo.

Uma ilustração dos aerogeradores disponibilizada pelo fabricante é mostrada na Figura 18. Vale ressaltar que esse tipo de aerogerador, desse fabricante, não utiliza a caixa multiplicadora, tendo seu eixo acoplado diretamente ao rotor.



Figura 18 - Modelo geral do tipo de aerogerador adotado para nosso estudo [17]

Na Tabela 2 são apresentados os parâmetros de potência dos aerogeradores a serem estudados, relacionados ao coeficiente de potência e à velocidade do vento.

As curvas dos aerogeradores, apresentadas posteriormente, foram obtidas através dos pontos da Tabela 2, que variam de 1 em 1 m/s, esses pontos foram plotados e obteve-se as curvas relativas a cada aerogerador.

Tabela 2 – Tabela de potência dos aerogeradores [17]

Tipo Gerador						
E33/330KW/50m		E53/800KW/75m		E82/2,0mW/100m		
Potência (KW)	Cp	Potência (KW)	Cp	Potência (KW)	Cp	Velocidade Vento (m/s)
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00
0,00	0,00	2,00	0,19	3,00	0,12	2,00
5,00	0,35	14,00	0,39	25,00	0,29	3,00
13,70	0,40	38,00	0,44	82,00	0,40	4,00
30,00	0,45	77,00	0,46	174,00	0,43	5,00
55,00	0,47	141,00	0,48	321,00	0,46	6,00
92,00	0,50	228,00	0,49	532,00	0,48	7,00
138,00	0,50	336,00	0,49	815,00	0,49	8,00
196,00	0,50	480,00	0,49	1.180,00	0,50	9,00
250,00	0,47	645,00	0,48	1.580,00	0,49	10,00
292,80	0,41	744,00	0,42	1.810,00	0,42	11,00
320,00	0,35	780,00	0,34	1.980,00	0,35	12,00
335,00	0,28	810,00	0,27	2.050,00	0,29	13,00
335,00	0,23	810,00	0,22	2.050,00	0,23	14,00
335,00	0,18	810,00	0,18	2.050,00	0,19	15,00
335,00	0,15	810,00	0,15	2.050,00	0,15	16,00
335,00	0,13	810,00	0,12	2.050,00	0,13	17,00
335,00	0,11	810,00	0,10	2.050,00	0,11	18,00
335,00	0,09	810,00	0,09	2.050,00	0,09	19,00
335,00	0,08	810,00	0,08	2.050,00	0,08	20,00
335,00	0,07	810,00	0,06	2.050,00	0,07	21,00
335,00	0,06	810,00	0,06	2.050,00	0,06	22,00
335,00	0,05	810,00	0,05	2.050,00	0,05	23,00
335,00	0,05	810,00	0,04	2.050,00	0,05	24,00
335,00	0,04	810,00	0,04	2.050,00	0,04	25,00

4.1 – Aerogerador com altura 50m

São os tipos de aerogeradores de menor altura fabricados por esse fornecedor (Wobben) (Figura 19). Adotou-se especificamente o modelo E33/330KW para esse estudo, utilizou-se esse modelo devido seu rendimento (Tabela 2) ser maior quando a velocidade se aproxima de 7,0m/s, que é a estimativa de velocidade média para os locais a serem estudados no próximo capítulo.

Os pontos importantes de sua especificação são:

Potencia: 330kW

Diâmetro do Rotor: 33,4m

Numero de pás do rotor: 3 pás

Velocidade de rotação variável 18-45 rpm

Velocidade do vento de corte 28m/s a 34m/s

Technical specifications E-33	
Rated power:	330 kW
Rotor diameter:	33.4 m
Hub height:	37 m / 44 m / 49 m / 50 m
Wind zone (DIBT):	WZ III
Wind class (IEC):	IEC/NVN IA and IEC/NVN IIA
WEC concept:	Gearless, variable speed Single blade adjustment
Rotor	
Type:	Upwind rotor with active pitch control
Rotational direction:	Clockwise
No. of blades:	3
Swept area:	876 m ²
Blade material:	GRP (epoxy resin); Built-in lightning protection
Rotational speed:	Variable, 18–45 rpm
Pitch control:	ENERCON single blade pitch system; one independent pitch system per rotor blade with allocated emergency supply
Drive train with generator	
Hub:	Rigid
Main bearing:	Tapered roller bearing pair
Generator:	ENERCON direct-drive annular generator
Grid feed:	ENERCON inverter
Brake systems:	– 3 independent pitch control systems with emergency power supply – Rotor brake – Rotor lock
Yaw system:	Active via yaw gear, load-dependent damping
Cut-out wind speed:	28–34 m/s (with ENERCON storm control*)
Remote monitoring:	ENERCON SCADA
*For more information on the ENERCON storm control feature, please see the last page.	

Figura 1911 - Especificação técnica aerogerador E33[17]

Na Figura 20 segue a curva de potência do gerador de acordo com a velocidade do vento.

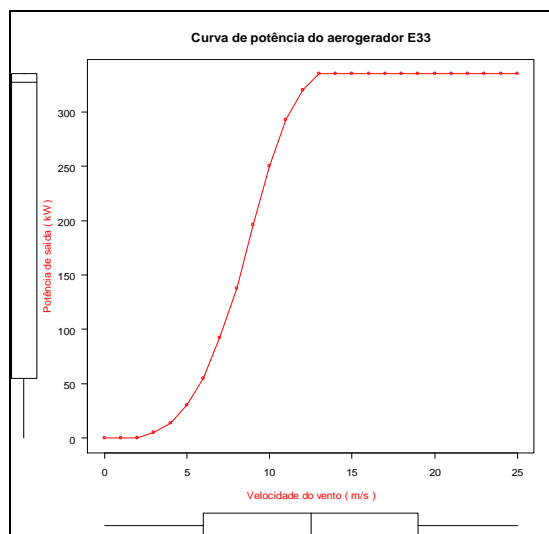


Figura 120 - Curva de potência do gerador E33

4.2 – Aerogerador com altura 75m

São os tipos de aerogeradores de altura média fabricados por esse fornecedor (Figura 21). Adotou-se especificamente o modelo E53/800KW para esse estudo. Utilizou-se esse modelo devido ao seu rendimento (Tabela 2) ser maior quando a velocidade se aproxima de 7,5m/s, que é a estimativa de velocidade média para os locais a serem estudados no próximo capítulo.

Os pontos importantes de sua especificação são:

Potencia: 800kW

Diâmetro do Rotor: 52,9m

Numero de pás do rotor: 3 pás

Velocidade de rotação variável 12-28,3 rpm

Velocidade do vento de corte 28m/s a 34m/s

Technical specifications E-53			
Rated power:	800 kW	Drive train with generator	
Rotor diameter:	52.9 m	Hub:	Rigid
Hub height:	60 m / 73 m / 75 m	Main bearing:	Tapered roller bearing pair
Wind zone (DIBt):	WZ II exp	Generator:	ENERCON direct-drive annular generator
Wind class (IEC):	IEC/NVN Class S ($v_{in} = 7.5$ m/s, $v_{out} = 57$ m/s)	Grid feed:	ENERCON inverter
WEC concept:	Gearless, variable speed Single blade adjustment	Brake systems:	- 3 independent pitch control systems with emergency power supply - Rotor brake - Rotor lock
Rotor		Yaw system:	Active via yaw gear, load-dependent damping
Type:	Upwind rotor with active pitch control	Cut-out wind speed:	28–34 m/s (with ENERCON storm control*)
Rotational direction:	Clockwise	Remote monitoring:	ENERCON SCADA
No. of blades:	3		
Swept area:	2,198 m ²		
Blade material:	GRP (epoxy resin); Built-in lightning protection		
Rotational speed:	Variable, 12–28.3 rpm		
Pitch control:	ENERCON single blade pitch system; one independent pitch system per rotor blade with allocated emergency supply		

*For more information on the ENERCON storm control feature, please see the last page.

Figura 21 - Especificação técnica aerogerador E53[17]

Na Figura 22, segue a curva de potência do gerador de acordo com a velocidade do vento.

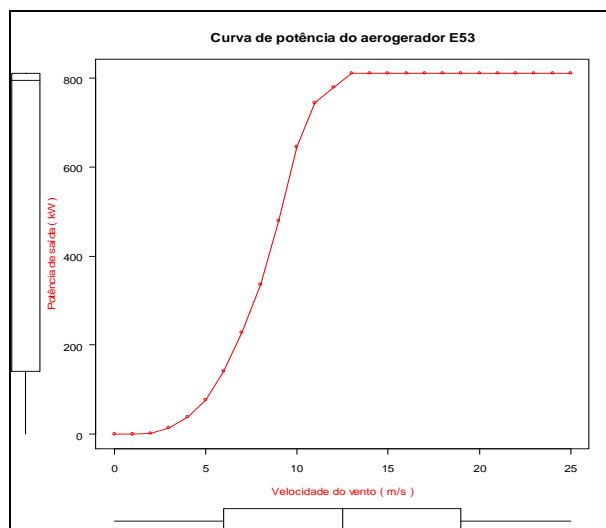


Figura 22 - Curva de potência gerador E53

4.3 – Aerogerador com altura de 100m

São os tipos de aerogeradores de maior tamanho fabricados por esse fabricante (Figura 23). Adotou-se especificamente o modelo E82/2000KW para esse estudo. Utilizou-se esse modelo devido ao seu rendimento (Tabela 2) ser maior quando a velocidade se aproxima de

8,0m/s, que é a estimativa de velocidade média para os locais a serem estudados no próximo capítulo.

Os pontos importantes de sua especificação são:

Potencia: 2000kW

Diâmetro do Rotor: 82m

Numero de pás do rotor: 3 pás

Velocidade de rotação variável 6-18 rpm

Velocidade do vento de corte 28m/s a 34m/s

Technical specifications E-82 E2		
Rated power:	2,000 kW	Drive train with generator Hub: Rigid Main bearing: Double-row tapered/cylindrical roller bearings Generator: ENERCON direct-drive annular generator
Rotor diameter:	82 m	
Hub height:	78 m / 85 m / 98 m / 108 m / 138 m	
Wind zone (DIBt):	WZ III	
Wind class (IEC):	IEC/NVN IIA	
WEC concept:	Gearless, variable speed Single blade adjustment	Grid feed: ENERCON inverter
Rotor		Brake systems: – 3 independent pitch control systems with emergency power supply – Rotor brake – Rotor lock
Type:	Upwind rotor with active pitch control	Yaw system: Active via yaw gear, load-dependent damping
Rotational direction:	Clockwise	Cut-out wind speed: 28–34 m/s (with ENERCON storm control*)
No. of blades:	3	Remote monitoring: ENERCON SCADA
Swept area:	5,281 m ²	
Blade material:	GRP (epoxy resin); Built-in lightning protection	
Rotational speed:	Variable, 6–18 rpm	
Pitch control:	ENERCON single blade pitch system; one independent pitch system per rotor blade with allocated emergency supply	

Figura 133 - Especificação técnica aerogerador E82[17]

Na Figura 24, segue a curva de potência do gerador de acordo com a velocidade do vento.

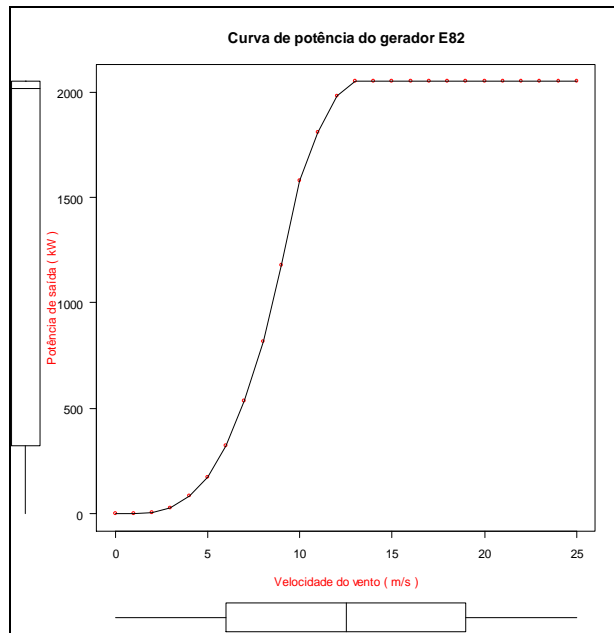


Figura 144 - Curva de potência gerador E82

As curvas dos aerogeradores são bastante similares, porém obviamente quanto maior a altura dos aerogeradores, maior será a velocidade do vento captada pelo mesmo e também maior será sua potência de saída.

Capítulo 5 – Potencial Eólico da Região em Estudo

Visando solidificar a necessidade de fontes alternativas para a região, foi feito um breve estudo da necessidade energética do local para que se definisse o melhor local para a implantação do projeto. Será analisado inicialmente todo o estado do Rio de Janeiro.

Tem-se os mapas com o relevo do estado, o consumo energético atual do estado, o potencial eólico das regiões do estado e o regime dos ventos.

O consumo de energia elétrica no Estado do Rio de Janeiro pode ser fracionado por setores: industrial, comercial, residencial e outros. E pode-se evidenciar isso no gráfico na Figura 25.

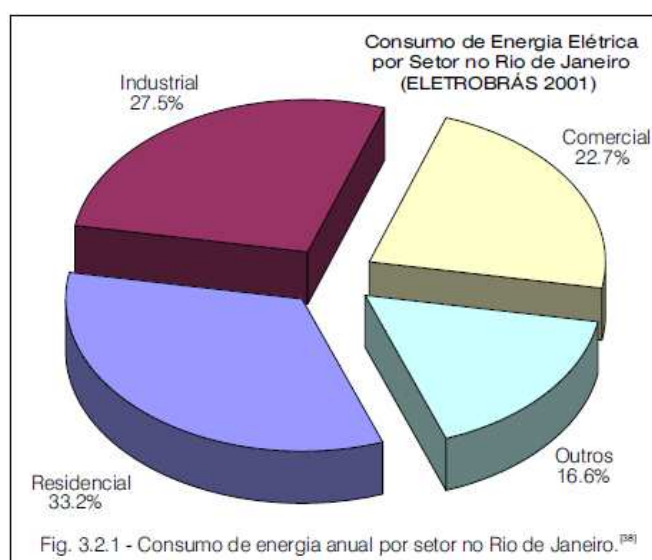


Figura 2515 - Consumo de energia Estado do Rio de Janeiro, Eletrobras [18]

Em seguida será levado em consideração o quanto cada região utiliza de energia de acordo com sua população. Isso é o que se busca no mapa da Figura 26.

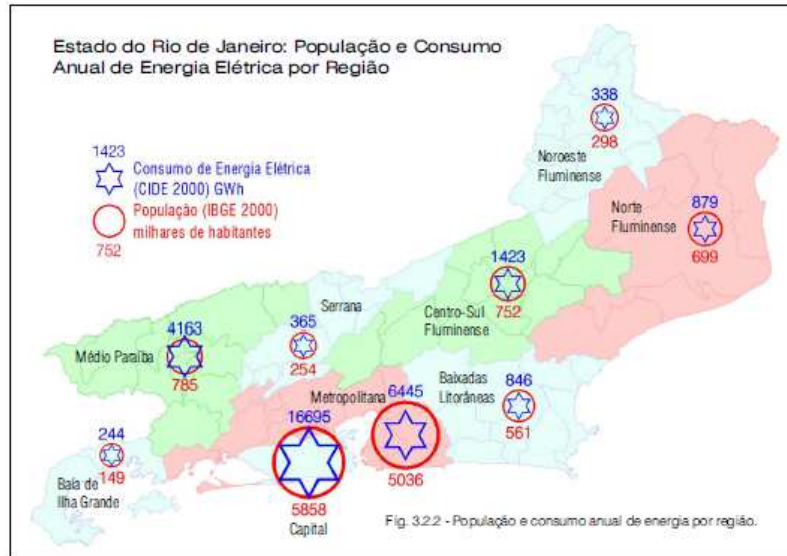


Figura 26 - Consumo anual de energia da população por região, Eletrobras [18]

Pode-se notar que o consumo na área, região dos lagos, a ser estudada ainda não é tão grande e nem possui uma população muito abundante. Porém, é uma área que recebe uma grande quantidade de pessoas em determinados períodos do ano e isso acaba prejudicando o abastecimento dessas regiões, causando apagões e consequentemente gerando outros problemas, como o abastecimento de água que depende também da energia elétrica. No próximo tópico visou-se mostrar que a área estudada tem um regime de ventos diferenciado e que tem um grande potencial para esse tipo de fonte energética[21].

Pode-se também notar que esta região ainda possui grandes áreas ainda sem construção o que é mais um fator que viabiliza o estudo.

5.1 – Potencial eólico no estado

Os mapas e dados a seguir são de acordo com os potenciais de toda a região do Rio de Janeiro, posteriormente setorizou-se esse estudo voltado para a região de interesse.

O vento varia de acordo com a altura, relevo, estação do ano e outras barreiras naturais ou não. Porém, os dados que se tem relacionam a velocidade do vento de acordo com a altura que eles ocorrem.

Na Figura 27, 28 e 29, tem-se o potencial eólico do estado para uma altura de 50m, 75m e 100m. Como pode-se observar a região mais litorânea visivelmente possui maiores velocidades de vento em todas as alturas.

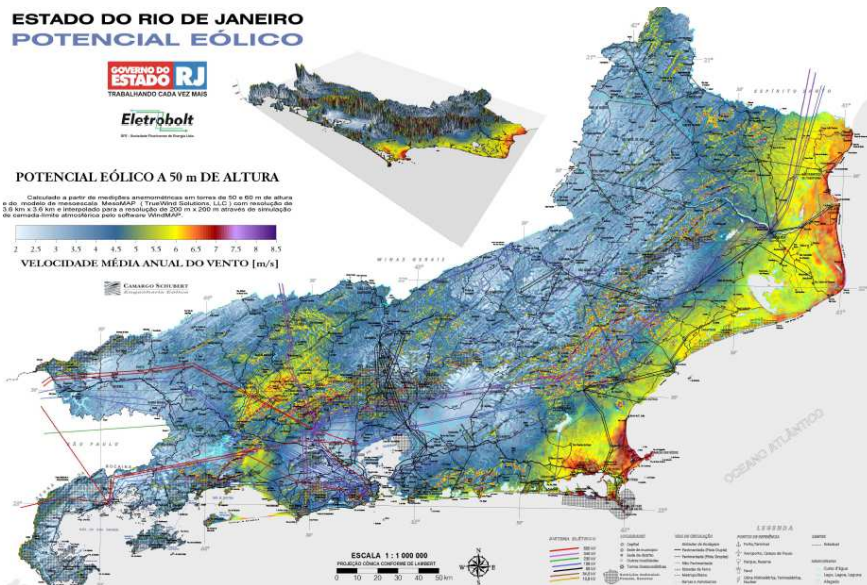


Figura 27 - Potencial eólico a 50m de altura [19]

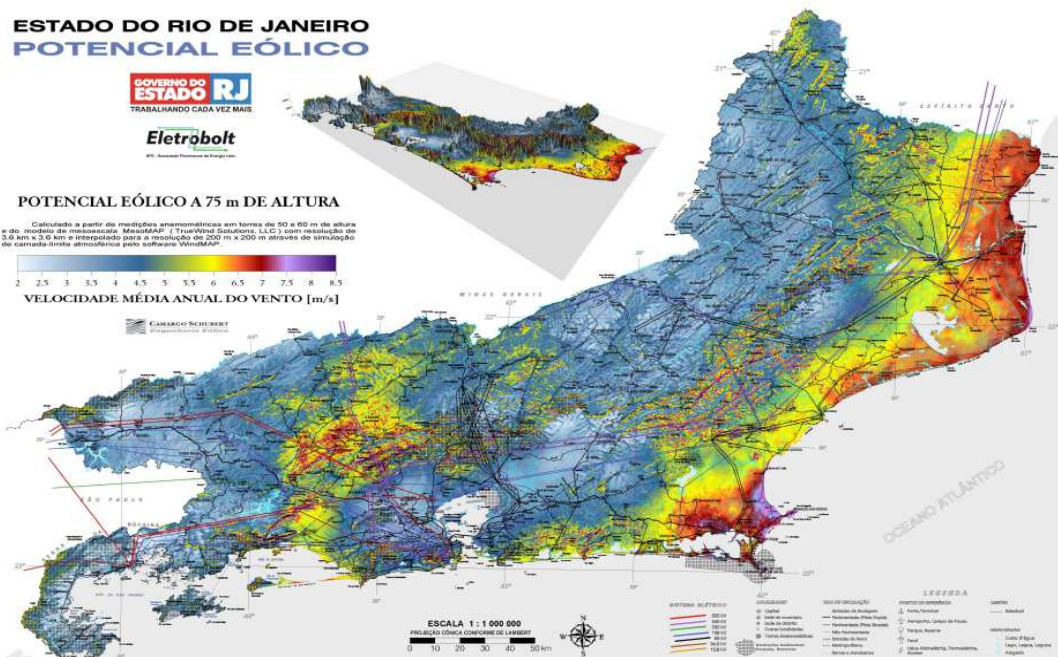


Figura 28 - Potencial eólico a 75m de altura [19]

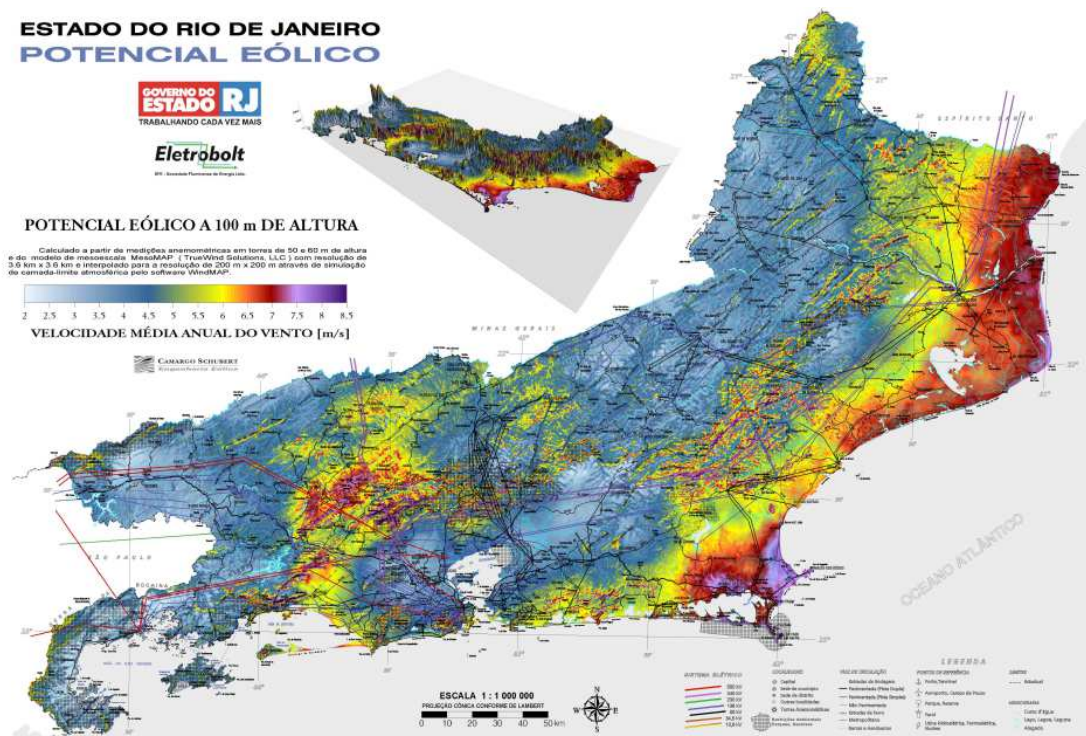


Figura 29 - Potencial eólico a 100m de altura [19]

Na Figura 30, 31 e 32 tem-se os mapas dos potenciais eólicos atrelados as estações do ano para 50m, 75m e 100m, visando ratificar a sazonalidade regime dos ventos.

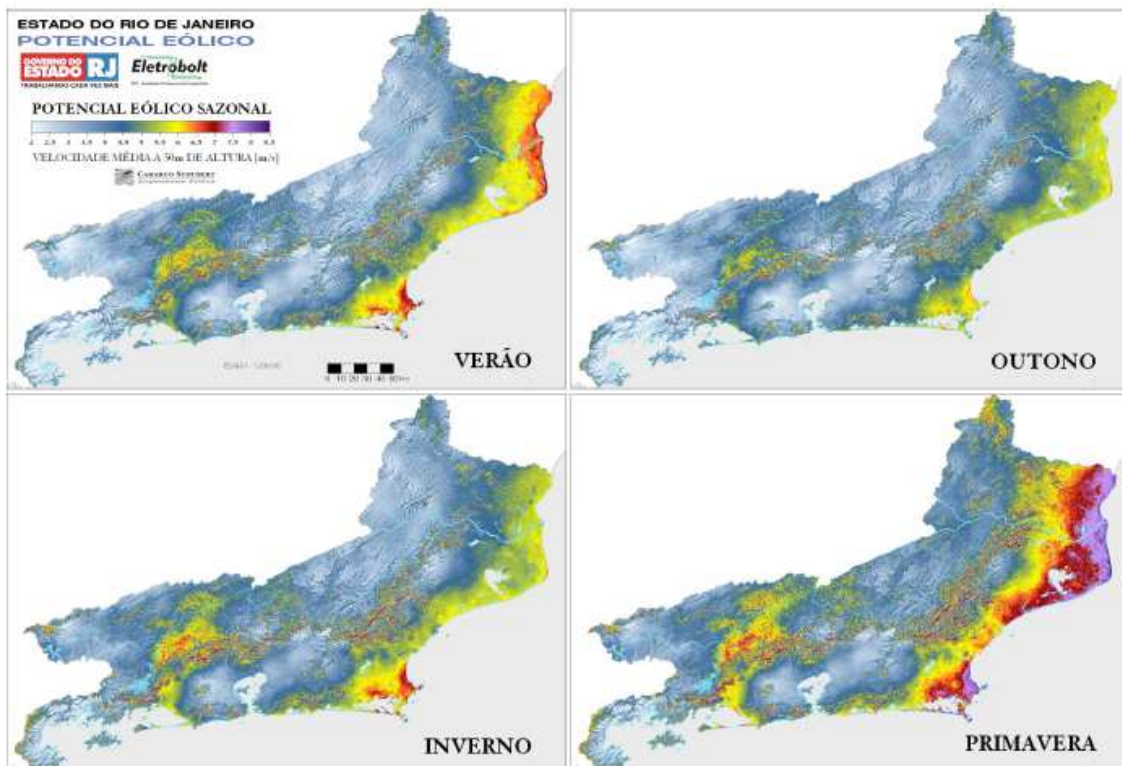


Figura 30 - Potencial eólico sazonal a 50m de altura [19]

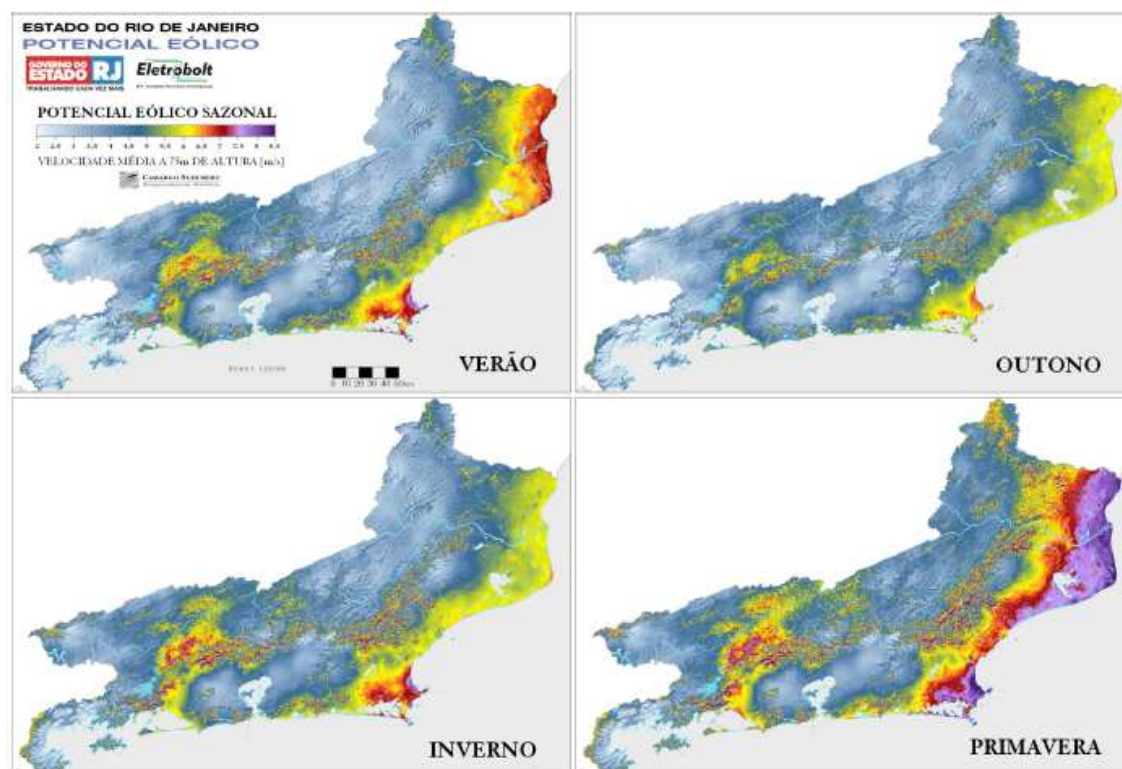


Figura 31 - Potencial eólico sazonal a 75m de altura [19]

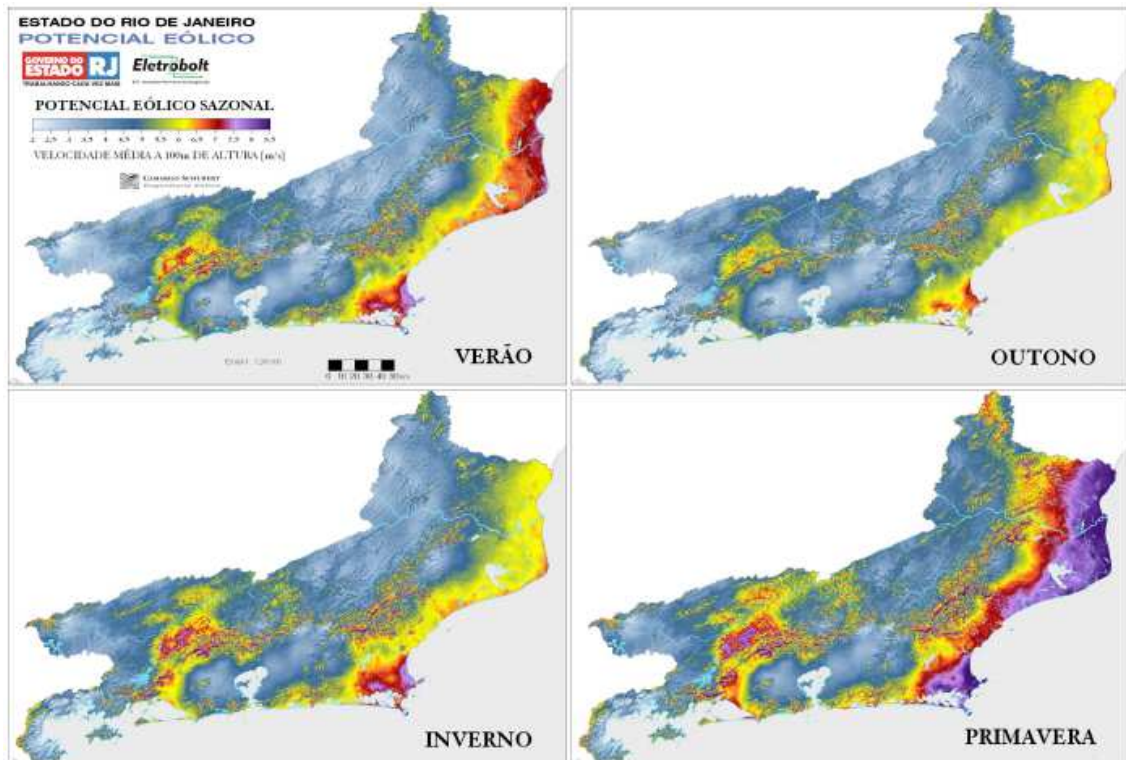


Figura 32 - Potencial eólico sazonal a 100m de altura [19]

5.2 – A distribuição de Weibull

A principal dificuldade para esse estudo é a obtenção dos dados reais sobre velocidade do vento, então se utilizou Weibull para estimar o que se necessitava, visto que esse tipo de distribuição é a mais indicada para o caso, outros estudos comprovam a eficiência desse modelo probabilístico retornando um erro próximo a 5% nas estimativas de vento que são geradas pelo gráfico de Weibull.

Essa distribuição estatística caracteriza-se por dois parâmetros. O parâmetro de escala C (em m/s) e outro parâmetro que é o fator de forma K (adimensional).

A frequência de ocorrência de uma velocidade u é:

$$f(u) = \left[\frac{k}{c}\right]^{k-1} e^{-\left(\frac{u}{c}\right)^k}$$

Nesta fórmula pode se entender que a frequência de ocorrência de uma determinada velocidade “ u ” é proporcional ao parâmetro de escala “ c ”, este, a velocidade média do

vento no período em estudo e, também, a uma constante ‘k’, que é o desvio padrão da fórmula.

Na Figura 33 é apresentada a distribuição de Weibull para diferentes fatores de forma. No caso do fator de forma ser igual a 2, isso se deriva da distribuição de Rayleigh, caracterizada apenas pelo fator de escala [20].

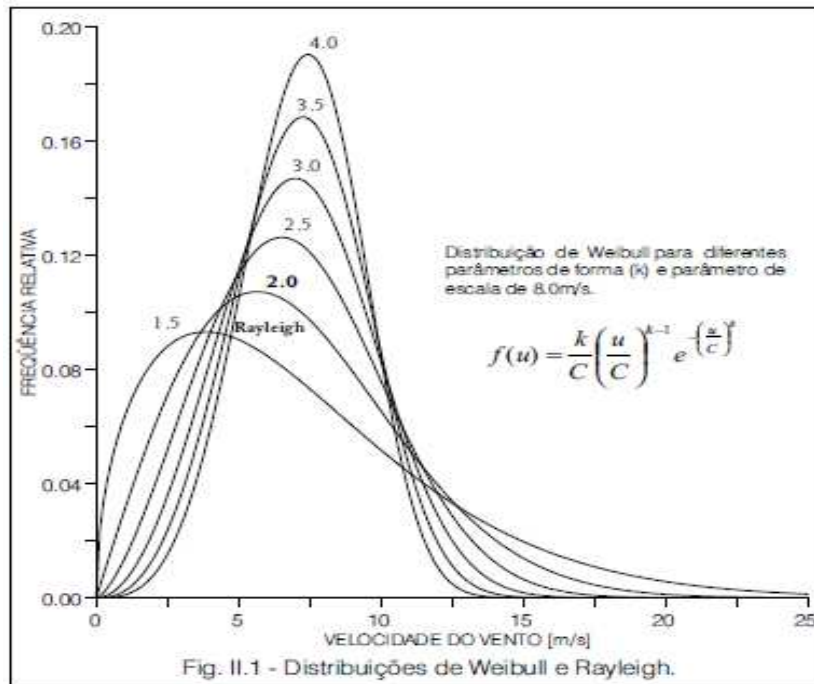


Figura 33 - Curvas características para a distribuição de Weibull [20]

Por ser mais geral, a distribuição de Weibull se adequa melhor a distribuição de velocidade dos ventos, uma vez que para outros tipos de estimativas o fator de forma são superiores a 2.

Como o modelo relaciona a velocidade com a frequência de ocorrência e as informações que se tem dos aerogeradores são discretos, definiu-se dentro de um ano o quanto e por quanto tempo a velocidade varia entre esses valores da turbina.

Na Figura 34, segue o mapa do fator de forma para o Rio e Janeiro.

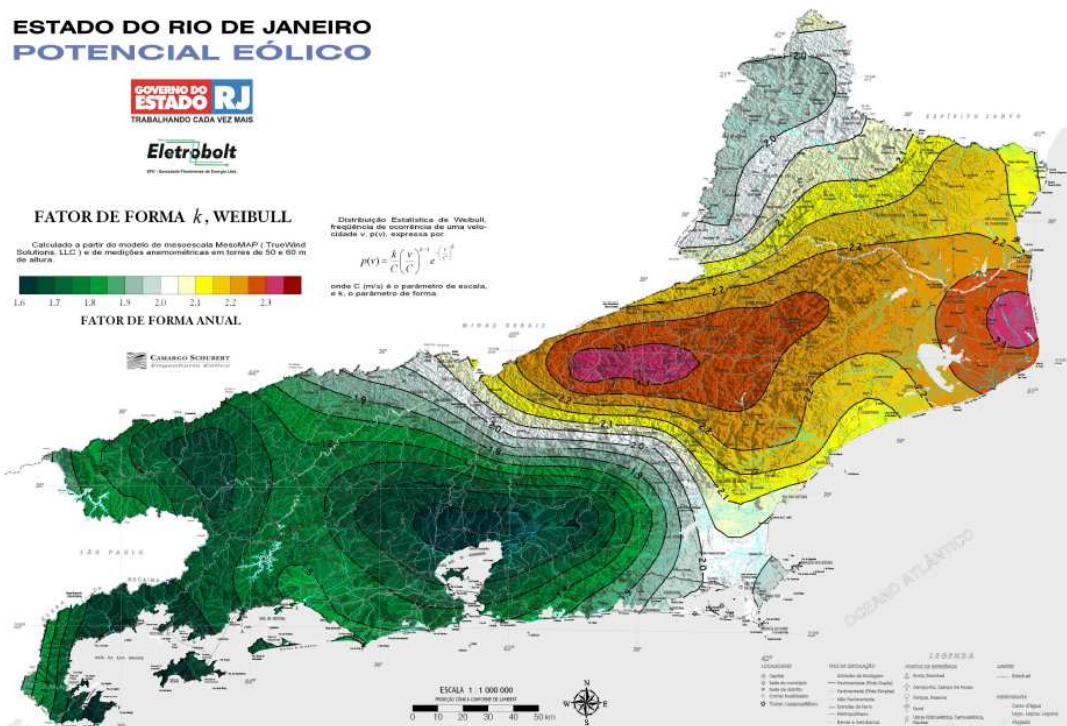


Figura 34 - Fator de forma Weibull para todo o estado do Rio de Janeiro [19]

Para uma melhor análise, na Figura 35, tem-se que utilizar o fator de forma sazonal, visto que o mesmo também varia bastante de acordo com as estações do ano.

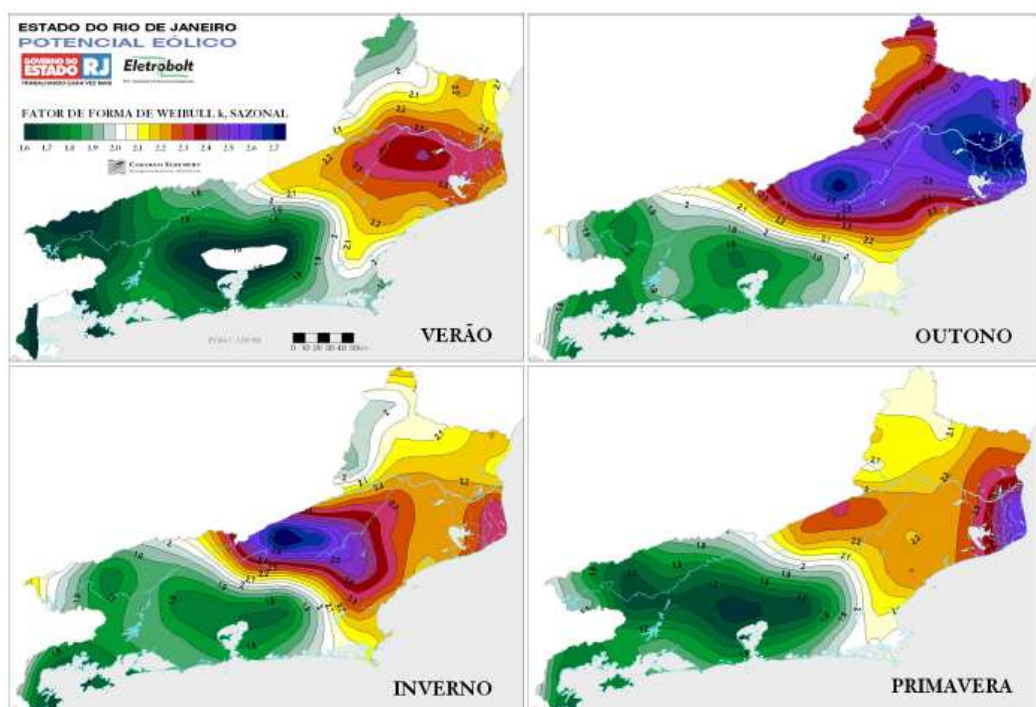


Figura 165 - Fator de forma Sazonal [19]

5.3 – Densidade média do ar

Outro fator importante também é analisar a densidade do ar. Na figura 36, segue então um mapa com as diferentes densidades para o estado do Rio de Janeiro.

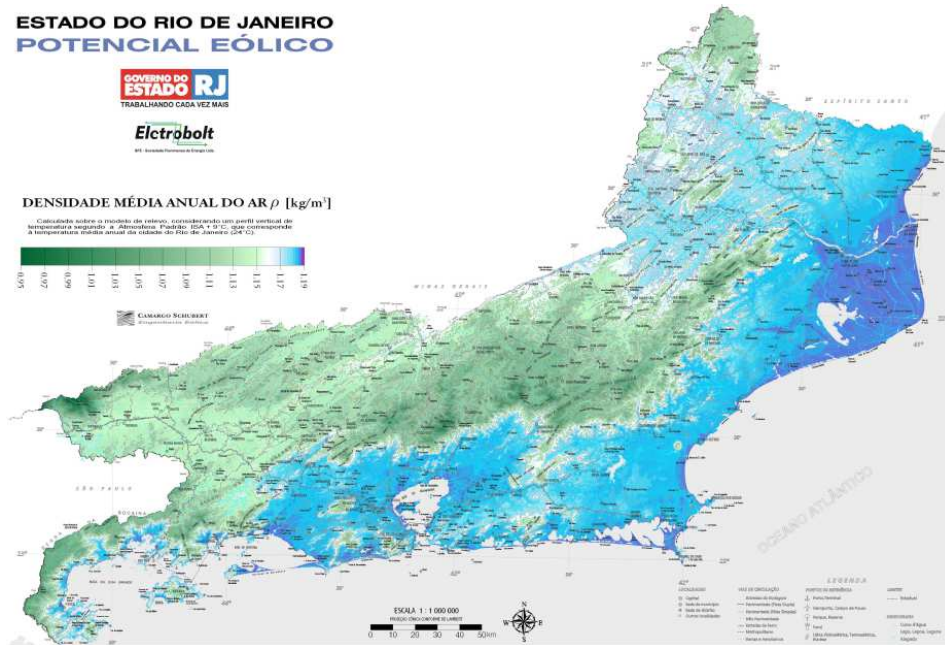


Figura 36 - Densidade do ar para o estado [19]

Conforme se pode notar, quanto mais próximo do litoral, esse valor de densidade do ar aumenta, e como as regiões a serem estudadas são litorâneas, pode-se utilizar a máxima densidade possível.

5.4 – Região dos lagos

Após uma análise de todo o Estado do Rio de Janeiro, determinou-se focar os estudos na Região dos Lagos e os dados que se tem relativo a essa região são:

- Velocidade média dos locais da região de acordo com as estações do ano.
- Fatores de forma da região que será imprescindível para estimar o regime de ventos na mesma.

Nas Figuras 37, 38 e 39 tem-se os mapas com as velocidades médias da região, diferenciando apenas a altura.

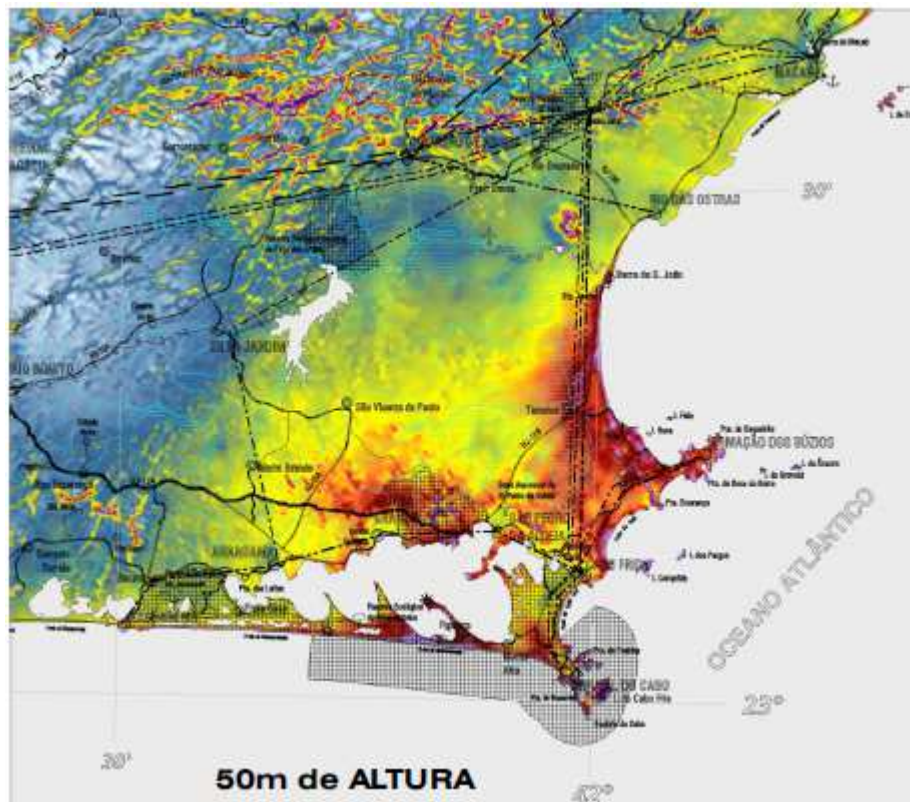


Figura 37 - Regime dos ventos 50m de altura Região dos lagos [19]

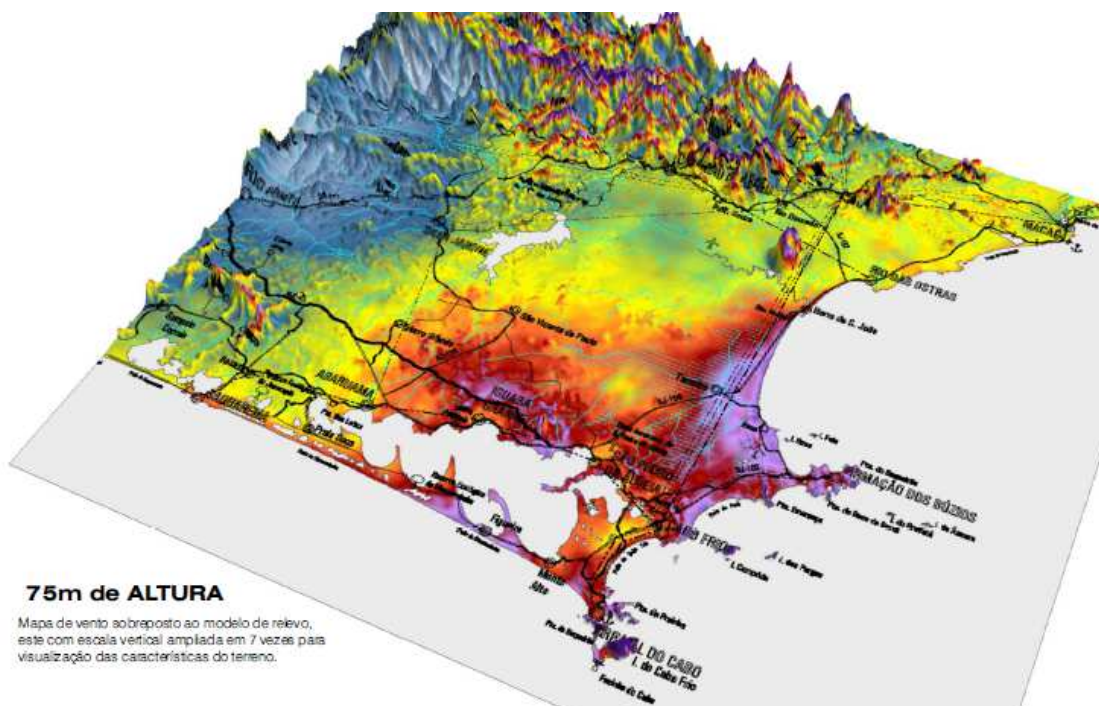


Figura 38 - Regime dos ventos 75m de altura Região dos lagos [19]

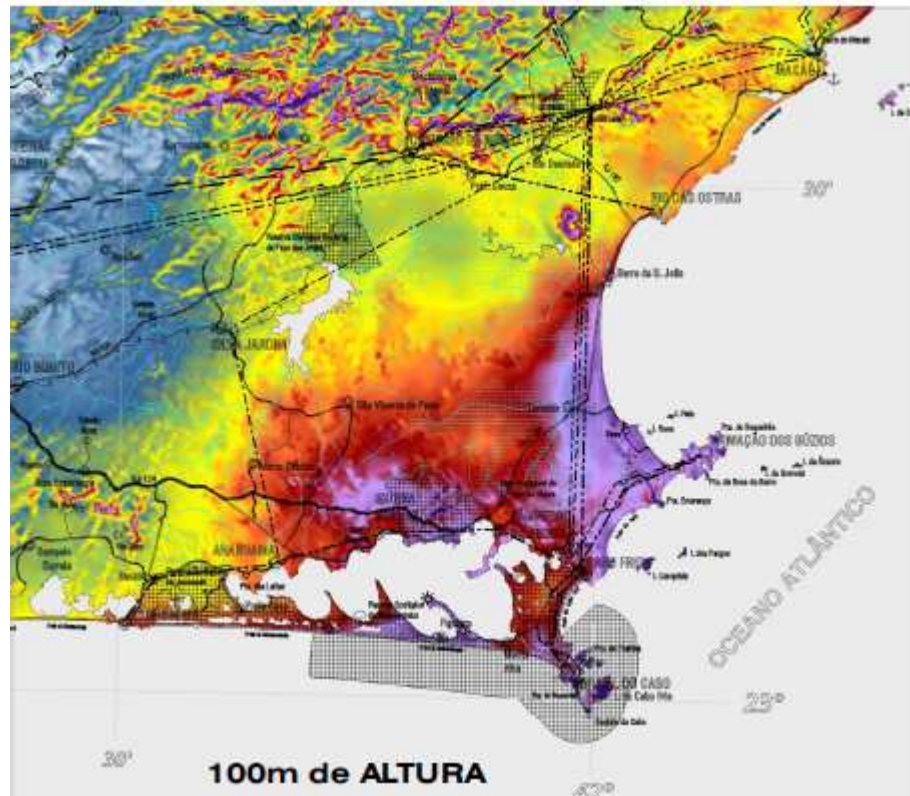


Figura 179 - Regime dos ventos 100m de altura Região dos lagos [19]

Capítulo 6 – Estudos de Casos

Como agora já se tem os mapas com as respectivas velocidades médias de ventos nas regiões as quais irão ser estudadas e, também, já se tem os fatores de forma que serão utilizadas na distribuição de Weibull, em vista de estimar o regime dos ventos nessa região, e também já sabemos que nesse local a densidade do ar é a máxima possível, pode-se começar a analisar os dados atrelados as informações dos aerogeradores.

Nosso enfoque será em 3 cidades da Região dos Lagos: Cabo Frio, Rio das Ostras e Araruama. Serão analisados para cada uma das cidades, três diferentes alturas de vento e os geradores anteriormente descritos para cada uma destas alturas.

Primeiramente deve-se estabelecer o regime de ventos estimado do local, através das curvas de Weibull, variando de acordo com o fator de forma.

Vale notar também que particionou-se o estudo para sazonal, visto que já foi dito anteriormente que a variação do fator de forma se dá de acordo com as estações do ano.

O resultado esperado do estudo é que se tenha o retorno em KWh do local analisado.

6.1 – Potência gerada em KWh - Cabo Frio

Neste item será apresentado o estudo de potência em kW e de energia em kWh, que o aerogerador retornará para Cabo Frio de acordo com a altura dos ventos. São apresentados os cálculos para cada uma dessas alturas. Isso é o total em KWh esperado na geração durante um ano para a determinada altura.

A Tabela 3 mostra a velocidade média dos ventos de acordo com as estações do ano.

Tabela 3 – Velocidade média do vento em Cabo Frio

Velocidade média do vento em Cabo frio (m/s)			
	50m	75m	100m
Primavera	7,5	7,8	8,3
Verão	6,8	7	7,5
Outono	6	6,4	6,8
Inverno	6,4	7	7,5

Na Tabela 4, apresenta-se o fator de forma desta região de acordo com a estação do ano.

Tabela 4 – Fator de forma em cabo Frio

Fator de forma Cabo frio	
Primavera	2
Verão	1,9
Outono	2,1
Inverno	2,2

Como se têm apenas a velocidade média de cada período, deve-se estimar a distribuição dessa velocidade. Isso será feito através da distribuição de Weibull.

A função $F(u)$ é responsável por fornecer a frequência de ocorrência de uma velocidade em grandeza de tempo. Assim, multiplicando-se essa frequência de ocorrência pelo período em estudo, obtém-se a quantidade de horas que o gerador trabalhou nesta velocidade, podendo assim confrontar a curva de potência do mesmo com a frequência de ocorrência de velocidades, tendo assim a potência em KWh que a turbina seria capaz de fornecer durante aquele período.

Quantidade de horas em cada período do ano será:

$$\text{Horas} = (\text{Meses}) * (\text{Número dias mês}) * (24 \text{ Horas})$$

Em 4 meses que correspondem a cada estação do ano, teremos aproximadamente 2880 h.

6.1.1 – 50 m de altura

Período da Primavera a 50m de altura

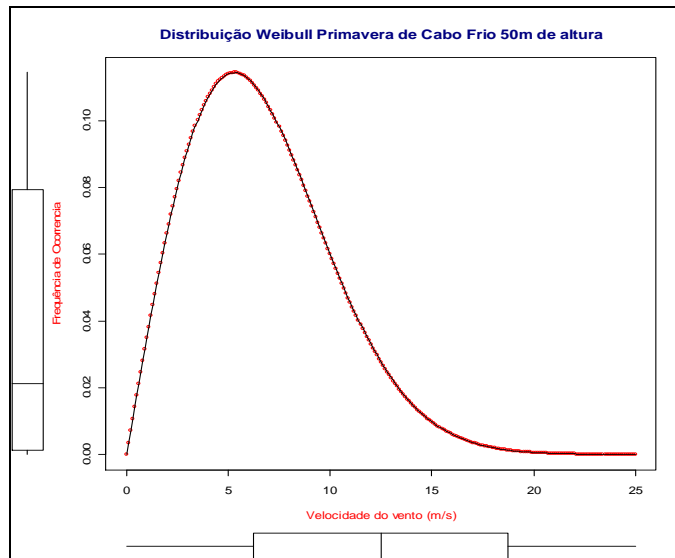


Figura 40 - Distribuição de Weibull para cabo frio na primavera a 50m de altura

Depois de obtida essa curva, tem-se a frequência de ocorrência de ventos durante esse período de 4 meses, podendo-se então fazer o cálculo de KWh que o aerogerador E33 pode fornecer, Tabela 5.

Tabela 5 – Potência KWh Primavera Cabo Frio

Primavera Cabo Frio 50m				
Velocidade Vento (m/s)	F (u)	Quantidade de horas	Potência (KW)	Economia KWh
0,00	0	0	0,00	0
1,00	0,034929	100,5956418	0,00	0
2,00	0,06623	190,7422008	0,00	0
3,00	0,090895	261,778572	5,00	1308,89286
4,00	0,107013	308,1962111	13,70	4222,288093
5,00	0,113988	328,2843589	30,00	9848,530766
6,00	0,112489	323,9684653	55,00	17818,26559
7,00	0,104157	299,9709842	92,00	27597,33054
8,00	0,091173	262,5786028	138,00	36235,84719
9,00	0,075817	218,3526224	196,00	42797,11399
10,00	0,060094	173,069635	250,00	43267,40874

11,00	0,045508	131,0620499	292,80	38374,96821
12,00	0,032983	94,99206506	320,00	30397,46082
13,00	0,022911	65,9826366	335,00	22104,18326
14,00	0,015267	43,96964888	335,00	14729,83238
15,00	0,009768	28,13282133	335,00	9424,495147
16,00	0,006005	17,29408134	335,00	5793,517248
17,00	0,003549	10,2197516	335,00	3423,616785
18,00	0,002017	5,808128898	335,00	1945,723181
19,00	0,001103	3,175762986	335,00	1063,8806
20,00	0,00058	1,671143086	335,00	559,8329339
21,00	0,000294	0,846545905	335,00	283,5928782
22,00	0,000143	0,412914273	335,00	138,3262815
23,00	6,73E-05	0,193967722	335,00	64,97918682
24,00	3,05E-05	0,087767899	335,00	29,40224626
25,00	1,33E-05	0,038260067	335,00	12,81712232
TOTAL DE KWh no período de primavera = 311442.31 KWh				

Período do VERÃO a 50m de altura

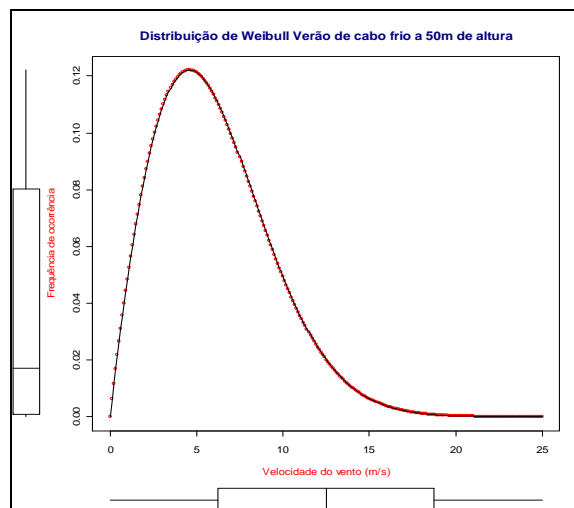


Figura 41 - Distribuição de Weibull para cabo frio na primavera a 50m de altura

Depois de obtida essa curva, tem-se a frequência de ocorrência de ventos durante esse período de 4 meses, podendo-se então fazer o cálculo de KWh que o aerogerador E33 pode fornecer, Tabela 6.

Tabela 6 - Potência KWh Verão Cabo Frio

Verão Cabo Frio 50m				
Velocidade Vento (m/s)	F (u)	Quantidade de horas	Potência (KW)	Economia KWh
0,00	0	0	0,00	0
1,00	0,048485283	139,6376163	0,00	0
2,00	0,084227559	242,5753687	0,00	0
3,00	0,108307396	311,9253004	5,00	1559,626502
4,00	0,120330684	346,552371	13,70	4747,767482
5,00	0,121317402	349,3941175	30,00	10481,82353
6,00	0,11348688	326,8422152	55,00	17976,32184
7,00	0,099698844	287,132671	92,00	26416,20573
8,00	0,082862509	238,6440257	138,00	32932,87555
9,00	0,065473651	188,5641139	196,00	36958,56632
10,00	0,049351577	142,1325419	250,00	35533,13547
11,00	0,035575642	102,4578486	292,80	29999,65808
12,00	0,024572715	70,76941859	320,00	22646,21395
13,00	0,016287519	46,90805342	335,00	15714,1979
14,00	0,010372498	29,87279316	335,00	10007,38571
15,00	0,006352871	18,29626812	335,00	6129,24982
16,00	0,003745209	10,78620213	335,00	3613,377712
17,00	0,00212671	6,124924332	335,00	2051,849651
18,00	0,00116394	3,352148099	335,00	1122,969613
19,00	0,00061429	1,769155964	335,00	592,6672479
20,00	0,00031278	0,900807758	335,00	301,7705988
21,00	0,000153712	0,442691534	335,00	148,3016637
22,00	7,2936E-05	0,210055805	335,00	70,36869474
23,00	3,34261E-05	0,09626714	335,00	32,24949178
24,00	1,48003E-05	0,042624918	335,00	14,27934746
25,00	6,33315E-06	0,018239459	335,00	6,110218758
TOTAL DE KWh no período do verão = 259056,97 KWh				

Período do Outono a 50m de altura

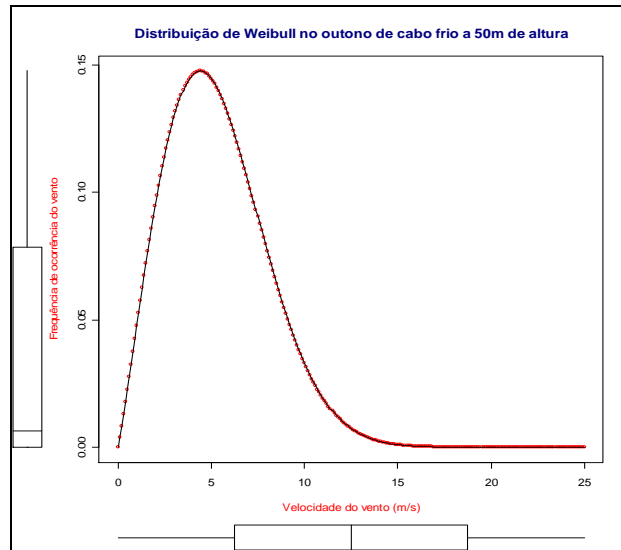


Figura 182 - Distribuição de Weibull para cabo frio no outono a 50m de altura

Depois de obtida essa curva, tem-se a frequência de ocorrência de ventos durante esse período de 4 meses, podendo-se então fazer o cálculo de KWh que o aerogerador E33 pode fornecer, Tabela 7.

Tabela 7 - Potência KWh Outono Cabo Frio

Outono Cabo frio 50m				
Velocidade Vento (m/s)	F (u)	Quantidade de horas	Potência (KW)	Economia KWh
0,00	0	0	0,00	0
1,00	0,047645	137,2174583	0,00	0
2,00	0,094624	272,5164532	0,00	0
3,00	0,12931	372,4129436	5,00	1862,064718
4,00	0,146224	421,1241179	13,70	5769,400415
5,00	0,144819	417,0773885	30,00	12512,32166
6,00	0,128758	370,8224767	55,00	20395,23622
7,00	0,104089	299,7755159	92,00	27579,34746
8,00	0,07707	221,9627805	138,00	30630,86371
9,00	0,052501	151,2041096	196,00	29636,00549
10,00	0,032999	95,03746071	250,00	23759,36518
11,00	0,019174	55,220359	292,80	16168,52112

12,00	0,010312	29,69835025	320,00	9503,47208
13,00	0,005138	14,7968927	335,00	4956,959055
14,00	0,002373	6,833882606	335,00	2289,350673
15,00	0,001016	2,926784379	335,00	980,472767
16,00	0,000404	1,162641157	335,00	389,4847876
17,00	0,000149	0,428442682	335,00	143,5282984
18,00	5,09E-05	0,146473376	335,00	49,06858099
19,00	1,61E-05	0,046456381	335,00	15,56288775
20,00	4,75E-06	0,013668966	335,00	4,57910358
21,00	1,3E-06	0,003730766	335,00	1,249806664
22,00	3,28E-07	0,000944474	335,00	0,316398783
23,00	7,7E-08	0,000221748	335,00	0,074285747
24,00	1,68E-08	4,82784E-05	335,00	0,016173262
25,00	3,38E-09	9,7455E-06	335,00	0,003264743
TOTAL DE KWh no período do outono = 186647,26 KWh				

Período do inverno a 50m de altura

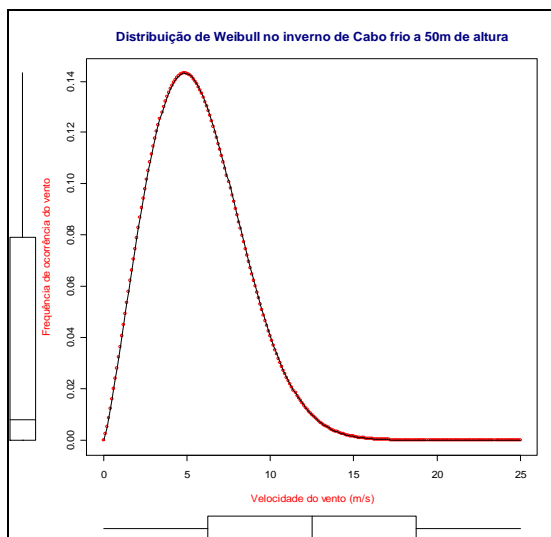


Figura 43 - Distribuição de Weibull para cabo frio no inverno a 50m de altura

Depois de obtida essa curva, tem-se a frequência de ocorrência de ventos durante esse período de 4 meses, podendo-se então fazer o cálculo de KWh que o aerogerador E33 pode fornecer, Tabela 8.

Tabela 8 - Potência KWh Inverno Cabo Frio

Inverno Cabo frio 50m				
Veloc. Vento (m/s)	F (u)	Quant. de horas	Potência (KW)	Economia KWh
0,00	0	0	0,00	0
1,00	0,036434446	104,9312057	0,00	0
2,00	0,078786867	226,9061755	0,00	0
3,00	0,114647463	330,1846942	5,00	1650,923471
4,00	0,137048016	394,6982868	13,70	5407,366529
5,00	0,142984106	411,7942254	30,00	12353,82676
6,00	0,133597819	384,7617174	55,00	21161,89446
7,00	0,113241928	326,1367516	92,00	30004,58115
8,00	0,087695897	252,5641823	138,00	34853,85716
9,00	0,06229898	179,4210616	196,00	35166,52808
10,00	0,040695526	117,2031162	250,00	29300,77905
11,00	0,024477876	70,49628365	292,80	20641,31185
12,00	0,013567046	39,07309352	320,00	12503,38993
13,00	0,006931488	19,96268654	335,00	6687,499992
14,00	0,003264552	9,401908323	335,00	3149,639288
15,00	0,001417169	4,081446374	335,00	1367,284535
16,00	0,000566905	1,632685343	335,00	546,9495899
17,00	0,0002089	0,601632745	335,00	201,5469694
18,00	7,08813E-05	0,20413807	335,00	68,38625337
19,00	2,21356E-05	0,063750578	335,00	21,35644363
20,00	6,35931E-06	0,018314826	335,00	6,135466709
21,00	1,67985E-06	0,004837959	335,00	1,620716396
22,00	4,07799E-07	0,001174462	335,00	0,39344478
23,00	9,09314E-08	0,000261882	335,00	0,087730617
24,00	1,86142E-08	5,36088E-05	335,00	0,01795895
25,00	3,49629E-09	1,00693E-05	335,00	0,003373218
TOTAL DE KWh no período do outono = 215095,38 KWh				

Total de KWh no período anual = 660799,61 KWh

6.1.2 – 75m de altura

Período primavera a 75m de altura

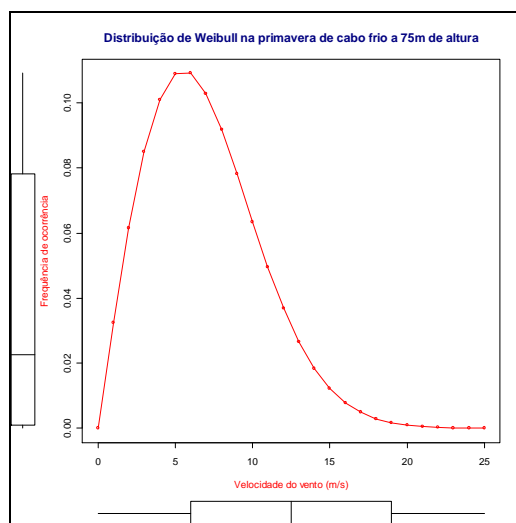


Figura 44 - Distribuição de Weibull para cabo frio na primavera a 75m de altura

Depois de obtida essa curva, tem-se a frequência de ocorrência de ventos durante esse período de 4 meses, podendo-se então fazer o cálculo de KWh que o aerogerador E53 pode fornecer, Tabela 9.

Tabela 9 - Potência KWh Primavera Cabo Frio

Primavera Cabo Frio 75m				
Velocidade Vento (m/s)	F (u)	Quantidade de horas	Potência (KW)	Economia KWh
0,00	0	0	0,00	0
1,00	0,032337205	93,13115155	0,00	0
2,00	0,061562687	177,300538	2,00	354,6010759
3,00	0,085058418	244,9682428	14,00	3429,555399
4,00	0,101085276	291,1255941	38,00	11062,77258
5,00	0,108981597	313,8669991	77,00	24167,75893
6,00	0,109147315	314,3442677	141,00	44322,54174
7,00	0,102839956	296,1790723	228,00	67528,82848
8,00	0,091850019	264,5280552	336,00	88881,42655
9,00	0,078141292	225,0469207	480,00	108022,5219
10,00	0,063534597	182,9796399	645,00	118021,8678

11,00	0,049487847	142,5249991	744,00	106038,5993
12,00	0,036991854	106,5365406	780,00	83098,50169
13,00	0,026571164	76,52495264	810,00	61985,21164
14,00	0,018359508	52,87538168	810,00	42829,05916
15,00	0,012212748	35,17271484	810,00	28489,89902
16,00	0,007826267	22,53964942	810,00	18257,11603
17,00	0,004834144	13,92233333	810,00	11277,08999
18,00	0,002879403	8,292680491	810,00	6717,071198
19,00	0,001654498	4,764954305	810,00	3859,612987
20,00	0,000917379	2,642051241	810,00	2140,061505
21,00	0,000490984	1,414034568	810,00	1145,368
22,00	0,000253702	0,730661617	810,00	591,8359095
23,00	0,000126592	0,364584096	810,00	295,3131175
24,00	6,10082E-05	0,175703651	810,00	142,3199573
25,00	2,84014E-05	0,081796101	810,00	66,2548419
TOTAL DE KWh no período de primavera = 832725,19 KWh				

Período verão a 75m de altura

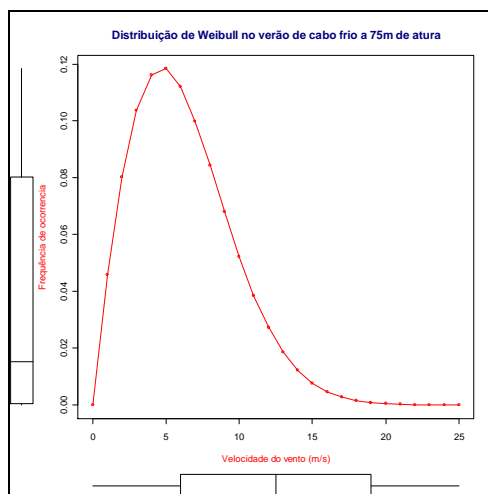


Figura 45 -Distribuição de Weibull para cabo frio no verão a a 75m de altura

Depois de obtida essa curva, tem-se a frequência de ocorrência de ventos durante esse período de 4 meses, podendo-se então fazer o cálculo de KWh que o aerogerador E53 pode fornecer, Tabela 10.

Tabela 10 - Potência KWh Verão Cabo Frio

Verão Cabo Frio 75m				
Velocidade Vento (m/s)	F (u)	Quantidade de horas	Potência (KW)	Economia KWh
0,00	0	0	0,00	0
1,00	0,045951558	132,3404876	0,00	0
2,00	0,080132769	230,782374	2,00	461,564748
3,00	0,103670389	298,5707198	14,00	4179,990077
4,00	0,116131138	334,4576785	38,00	12709,39178
5,00	0,118298477	340,6996128	77,00	26233,87018
6,00	0,112040054	322,6753547	141,00	45497,22501
7,00	0,099852991	287,5766146	228,00	65567,46813
8,00	0,08435885	242,9534889	336,00	81632,37226
9,00	0,06788716	195,5150195	480,00	93847,20937
10,00	0,052216478	150,3834555	645,00	96997,32882
11,00	0,038483352	110,8320545	744,00	82459,04858
12,00	0,027227464	78,41509691	780,00	61163,77559
13,00	0,018520643	53,33945141	810,00	43204,95564
14,00	0,012126577	34,92454254	810,00	28288,87945
15,00	0,007650317	22,03291159	810,00	17846,65839
16,00	0,004654094	13,40379023	810,00	10857,07009
17,00	0,002732166	7,868638244	810,00	6373,596978
18,00	0,001548655	4,460126179	810,00	3612,702205
19,00	0,000848015	2,442283066	810,00	1978,249283
20,00	0,000448799	1,292541649	810,00	1046,958736
21,00	0,000229655	0,661407084	810,00	535,7397377
22,00	0,000113667	0,32736059	810,00	265,1620781
23,00	5,44336E-05	0,156768632	810,00	126,9825922
24,00	2,52292E-05	0,072660096	810,00	58,85467801
25,00	1,13204E-05	0,03260276	810,00	26,40823524
TOTAL DE KWh no período de verão = 684971,46KWh				

Período outono a 75m de altura

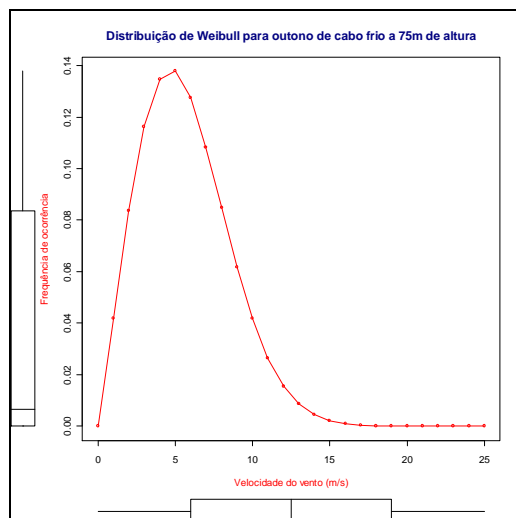


Figura 196 -Distribuição de Weibull para cabo frio no outono a 75m de altura

Depois de obtida essa curva, tem-se a frequência de ocorrência de ventos durante esse período de 4 meses, podendo-se então fazer o cálculo de KWh que o aerogerador E53 pode fornecer, Tabela 11.

Tabela 11 - Potência KWh Outono Cabo Frio

Outono Cabo Frio 75m				
Velocidade Vento (m/s)	F (u)	Quantidade de horas	Potência (KW)	Economia KWh
0,00	0	0	0,00	0
1,00	0,041728694	120,1786374	0,00	0
2,00	0,083679637	240,9973556	2,00	481,9947113
3,00	0,11630861	334,968796	14,00	4689,563144
4,00	0,134787624	388,1883581	38,00	14751,15761
5,00	0,137879439	397,0927854	77,00	30576,14448
6,00	0,127631866	367,5797751	141,00	51828,7483
7,00	0,108300586	311,9056874	228,00	71114,49673
8,00	0,084867774	244,4191883	336,00	82124,84728
9,00	0,061700549	177,6975802	480,00	85294,8385
10,00	0,041740818	120,2135568	645,00	77537,74416
11,00	0,026328312	75,82553823	744,00	56414,20045

12,00	0,015504807	44,65384356	780,00	34829,99798
13,00	0,00853297	24,57495418	810,00	19905,71289
14,00	0,004391458	12,64739995	810,00	10244,39396
15,00	0,002114403	6,08948122	810,00	4932,479788
16,00	0,000952729	2,743860355	810,00	2222,526888
17,00	0,000401827	1,157262236	810,00	937,3824115
18,00	0,000158653	0,456920017	810,00	370,1052136
19,00	5,86434E-05	0,168892937	810,00	136,8032793
20,00	2,02935E-05	0,058445348	810,00	47,34073206
21,00	6,57434E-06	0,018934091	810,00	15,33661333
22,00	1,99379E-06	0,005742116	810,00	4,651114273
23,00	5,65989E-07	0,001630048	810,00	1,320338813
24,00	1,50383E-07	0,000433102	810,00	0,350812651
25,00	3,73942E-08	0,000107695	810,00	0,08723317
TOTAL DE KWh no período de outono =548462,22KWh				

Período inverno a 75m de altura

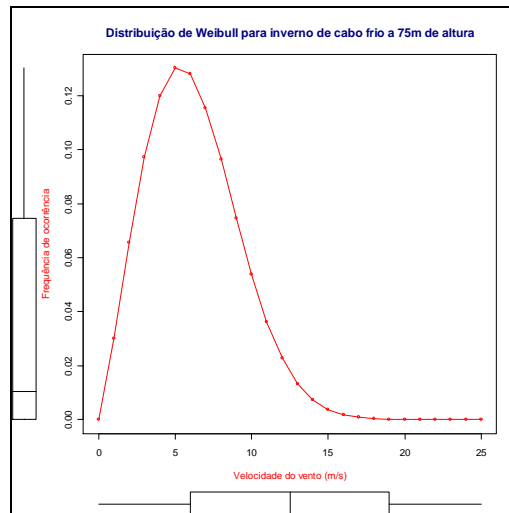


Figura 47 - Distribuição de Weibull para cabo frio no inverno a 75m de altura

Depois de obtida essa curva, tem-se a frequência de ocorrência de ventos durante esse período de 4 meses, podendo-se então fazer o cálculo de KWh que o aerogerador E53 pode fornecer, Tabela 12.

Tabela 12 - Potência KWh Inverno Cabo Frio

Inverno Cabo Frio 75m				
Veloc. Vento (m/s)	F (u)	Quant. de horas	Potência (KW)	Economia KWh
0,00	0	0	0,00	0
1,00	0,030005525	86,41591078	0,00	0
2,00	0,065591524	188,9035883	2,00	377,8071765
3,00	0,097368471	280,4211952	14,00	3925,896733
4,00	0,119918014	345,3638802	38,00	13123,82745
5,00	0,130260445	375,1500817	77,00	28886,55629
6,00	0,128115591	368,9729008	141,00	52025,17901
7,00	0,115619253	332,9834485	228,00	75920,22625
8,00	0,096453988	277,787486	336,00	93336,59531
9,00	0,074709511	215,1633927	480,00	103278,4285
10,00	0,053871213	155,1490932	645,00	100071,1651
11,00	0,036222161	104,3198233	744,00	77613,94855
12,00	0,022733033	65,47113553	780,00	51067,48571
13,00	0,013324442	38,37439228	810,00	31083,25775
14,00	0,007295704	21,01162763	810,00	17019,41838
15,00	0,003732015	10,74820358	810,00	8706,044898
16,00	0,001783398	5,136186247	810,00	4160,31086
17,00	0,000795993	2,292460078	810,00	1856,892664
18,00	0,000331759	0,955466251	810,00	773,9276631
19,00	0,000129081	0,371753895	810,00	301,1206549
20,00	4,68692E-05	0,134983368	810,00	109,3365282
21,00	1,58761E-05	0,045723133	810,00	37,03573739
22,00	5,01497E-06	0,014443118	810,00	11,69892577
23,00	1,47671E-06	0,004252927	810,00	3,444870747
24,00	4,05185E-07	0,001166933	810,00	0,94521547
25,00	1,03554E-07	0,000298237	810,00	0,241571885
TOTAL DE KWh no período de inverno = 663690,79KWh				

Total de KWh no período anual = 2792849,66 KWh

6.1.3 – 100m de altura

Período primavera a 100m de altura

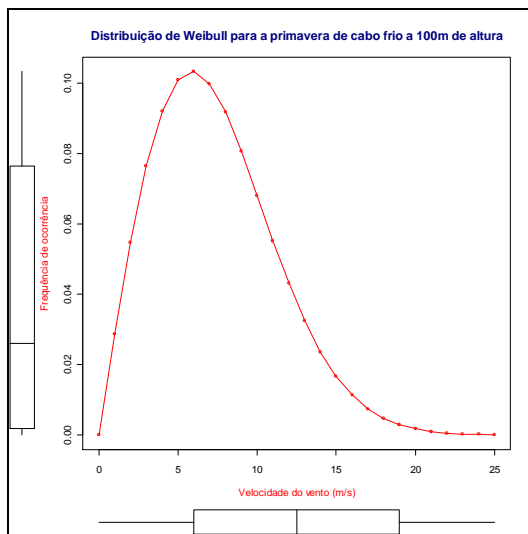


Figura 208 -Distribuição de Weibull para cabo frio na primavera a 100m de altura

Depois de obtida essa curva, tem-se a frequência de ocorrência de ventos durante esse período de 4 meses, podendo-se então fazer o cálculo de KWh que o aerogerador E82 pode fornecer, Tabela 13.

Tabela 13 - Potência KWh Primavera Cabo Frio

Primavera Cabo Frio 100m				
Velocidade Vento (m/s)	F (u)	Quantidade de horas	Potência (KW)	Economia KWh
0,00	0	0	0,00	0
1,00	0,028613411	82,40662459	0,00	0
2,00	0,05478821	157,7900458	3,00	473,3701373
3,00	0,076428882	220,1151808	25,00	5502,879521
4,00	0,092059165	265,1303964	82,00	21740,6925
5,00	0,100980959	290,8251606	174,00	50603,57794
6,00	0,103293937	297,486539	321,00	95493,179
7,00	0,099785485	287,3821959	532,00	152887,3282
8,00	0,091726901	264,1734756	815,00	215301,3826
9,00	0,080626592	232,2045848	1.180,00	274001,4101
10,00	0,067991795	195,8163689	1.580,00	309389,8628

11,00	0,055139339	158,8012965	1.810,00	287430,3467
12,00	0,043077862	124,0642414	1.980,00	245647,198
13,00	0,032464739	93,4984485	2.050,00	191671,8194
14,00	0,023625659	68,04189731	2.050,00	139485,8895
15,00	0,016615987	47,85404128	2.050,00	98100,78462
16,00	0,011301224	32,54752571	2.050,00	66722,4277
17,00	0,007437324	21,41949397	2.050,00	43909,96264
18,00	0,004737991	13,64541452	2.050,00	27973,09977
19,00	0,002922947	8,418087314	2.050,00	17257,07899
20,00	0,001746765	5,030684386	2.050,00	10312,90299
21,00	0,001011469	2,913032133	2.050,00	5971,715872
22,00	0,000567645	1,634817281	2.050,00	3351,375426
23,00	0,000308812	0,88937842	2.050,00	1823,225761
24,00	0,000162885	0,469109102	2.050,00	961,673659
25,00	8,33116E-05	0,23993751	2.050,00	491,8718945
TOTAL DE KWh no período de primavera = 2266505 KWh				

Período verão a 100m de altura

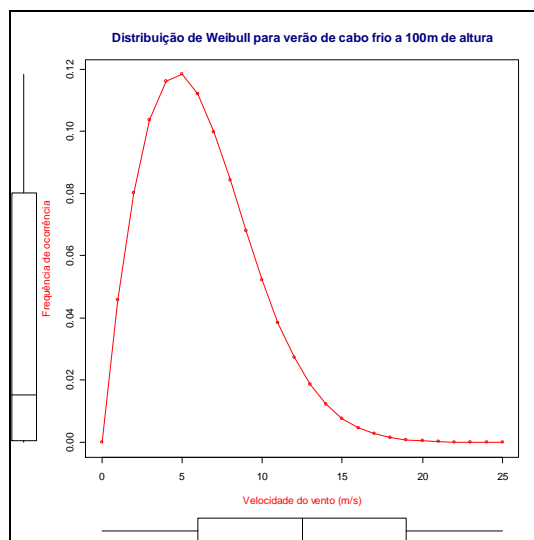


Figura 49 -Distribuição de Weibull para cabo frio no verão a 100m de altura

Depois de obtida essa curva, tem-se a frequência de ocorrência de ventos durante esse período de 4 meses, podendo-se então fazer o cálculo de KWh que o aerogerador E82 pode fornecer, Tabela 14.

Tabela 14 - Potência KWh Verão Cabo Frio

Verão Cabo Frio 100m				
Velocidade Vento(m/s)	F(u)	Quantidade de horas	Potência (KW)	Economia KWh
0,00	0	0	0,00	0
1,00	0,040428995	116,4355044	0,00	0
2,00	0,071091385	204,7431882	3,00	614,2295645
3,00	0,09319473	268,400821	25,00	6710,020524
4,00	0,10627813	306,0810157	82,00	25098,64329
5,00	0,1107142	318,8568958	174,00	55481,09987
6,00	0,107709225	310,2025669	321,00	99575,02398
7,00	0,099034733	285,22003	532,00	151737,0559
8,00	0,086689472	249,665678	815,00	203477,5276
9,00	0,072588896	209,0560203	1.180,00	246686,1039
10,00	0,058338197	168,014008	1.580,00	265462,1326
11,00	0,045110554	129,9183967	1.810,00	235152,298
12,00	0,033624217	96,83774575	1.980,00	191738,7366
13,00	0,024193862	69,67832363	2.050,00	142840,5634
14,00	0,01682449	48,45453108	2.050,00	99331,78871
15,00	0,011318139	32,5962397	2.050,00	66822,29139
16,00	0,007371369	21,22954281	2.050,00	43520,56277
17,00	0,004651059	13,39505076	2.050,00	27459,85406
18,00	0,002844692	8,192711916	2.050,00	16795,05943
19,00	0,001687385	4,859667568	2.050,00	9962,318514
20,00	0,000971131	2,796857019	2.050,00	5733,55689
21,00	0,000542492	1,562378381	2.050,00	3202,87568
22,00	0,000294246	0,847429885	2.050,00	1737,231263
23,00	0,000155012	0,44643388	2.050,00	915,1894545
24,00	7,93369E-05	0,228490301	2.050,00	468,4051169
25,00	3,94597E-05	0,113643916	2.050,00	232,9700271
TOTAL DE KWh no período de verão = 1900755,54 KWh				

Período outono a 100m de altura

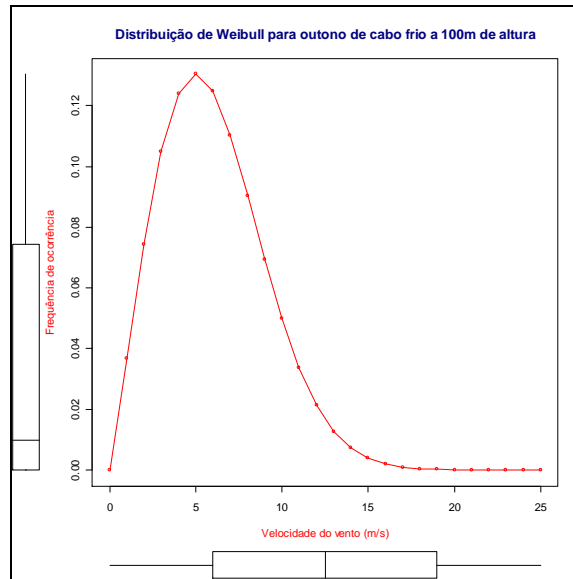


Figura 50 - Distribuição de Weibull para cabo frio no outono a 100m de altura

Depois de obtida essa curva, tem-se a frequência de ocorrência de ventos durante esse período de 4 meses, podendo-se então fazer o cálculo de KWh que o aerogerador E82 pode fornecer, Tabela 15.

Tabela 15 - Potência KWh Outono Cabo Frio

Outono Cabo Frio 100m				
Velocidade Vento (m/s)	F (u)	Quantidade de horas	Potência (KW)	Economia KWh
0,00	0	0	0,00	0
1,00	0,036829579	106,0691889	0,00	0
2,00	0,0744446148	214,4049048	3,00	643,2147144
3,00	0,104929116	302,1958555	25,00	7554,896388
4,00	0,12408172	357,3553524	82,00	29303,1389
5,00	0,130353606	375,4183852	174,00	65322,79902
6,00	0,124739511	359,2497905	321,00	115319,1827
7,00	0,110155333	317,2473591	532,00	168775,5951
8,00	0,090448447	260,491527	815,00	212300,5945
9,00	0,069378436	199,809895	1.180,00	235775,6761
10,00	0,049865795	143,6134888	1.580,00	226909,3123

11,00	0,033653666	96,92255787	1.810,00	175429,8297
12,00	0,021356689	61,50726564	1.980,00	121784,386
13,00	0,012756857	36,73974763	2.050,00	75316,48264
14,00	0,007177461	20,67108775	2.050,00	42375,72988
15,00	0,003805701	10,96041868	2.050,00	22468,85829
16,00	0,001902345	5,478752781	2.050,00	11231,4432
17,00	0,000896686	2,582456805	2.050,00	5294,03645
18,00	0,00039862	1,14802491	2.050,00	2353,451065
19,00	0,000167142	0,481370233	2.050,00	986,8089776
20,00	6,61068E-05	0,190387613	2.050,00	390,2946061
21,00	2,46628E-05	0,071028944	2.050,00	145,6093352
22,00	8,679E-06	0,024995527	2.050,00	51,24083055
23,00	2,88078E-06	0,008296648	2.050,00	17,0081293
24,00	9,01861E-07	0,002597359	2.050,00	5,324585245
25,00	2,66273E-07	0,000766866	2.050,00	1,572074547
TOTAL DE KWh no período de outono = 1519756,48 KWh				

Período inverno a 100m de altura

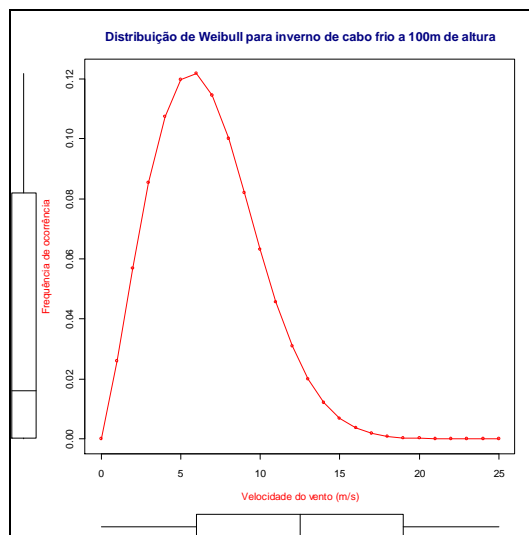


Figura 51 - Distribuição de Weibull para cabo frio no inverno a 100m de altura

Depois de obtida essa curva, tem-se a frequência de ocorrência de ventos durante esse período de 4 meses, podendo-se então fazer o cálculo de KWh que o aerogerador E82 pode fornecer, Tabela 16.

Tabela 16 - Potência KWh Inverno Cabo Frio

Inverno Cabo Frio 100m				
Velocidade Vento (m/s)	F (u)	Quantidade de horas	Potência (KW)	Economia KWh
0,00	0	0	0,00	0
1,00	0,025830208	74,39099904	0,00	0
2,00	0,056861036	163,7597849	3,00	491,2793546
3,00	0,085503065	246,2488282	25,00	6156,220705
4,00	0,107354774	309,181748	82,00	25352,90334
5,00	0,119692476	344,7143299	174,00	59980,2934
6,00	0,121689383	350,4654231	321,00	112499,4008
7,00	0,114359226	329,3545722	532,00	175216,6324
8,00	0,100102712	288,2958098	815,00	234961,085
9,00	0,081991681	236,1360411	1.180,00	278640,5285
10,00	0,063020716	181,4996624	1.580,00	286769,4666
11,00	0,04553779	131,1488364	1.810,00	237379,3938
12,00	0,03096938	89,19181517	1.980,00	176599,794
13,00	0,019836798	57,12997807	2.050,00	117116,4551
14,00	0,01197199	34,47933018	2.050,00	70682,62687
15,00	0,006809324	19,61085245	2.050,00	40202,24753
16,00	0,003650126	10,51236238	2.050,00	21550,34287
17,00	0,001843976	5,310650267	2.050,00	10886,83305
18,00	0,000877789	2,528031418	2.050,00	5182,464408
19,00	0,000393669	1,133767314	2.050,00	2324,222994
20,00	0,000166296	0,478931429	2.050,00	981,8094298
21,00	6,61494E-05	0,190510366	2.050,00	390,5462506
22,00	2,47711E-05	0,07134079	2.050,00	146,2486198
23,00	8,72991E-06	0,025142144	2.050,00	51,54139556
24,00	2,89458E-06	0,008336386	2.050,00	17,08959061
25,00	9,02681E-07	0,002599722	2.050,00	5,329429339
TOTAL DE KWh no período de inverno = 1863584,76 KWh				

Total de KWh no período anual = 7550601,78 KWh

6.2 - Potência gerada em KWh – Rio das Ostras

Neste item será apresentado o estudo de potência em kW e de energia em kWh, que o aerogerador retornará para Rio das Ostras de acordo com a altura dos ventos. São apresentados os cálculos para cada uma dessas alturas. Isso é o total em kWh esperado na geração durante um ano para a determinada altura.

A Tabela 17 mostra a velocidade dos ventos de acordo com as estações do ano.

Tabela 17 – Velocidade média dos ventos em Rio das ostras

Velocidade média do vento em Rio das Ostras (m/s)			
	50m	75m	100m
Primavera	7,2	7,5	7,7
Verão	7	7,2	7,5
Outono	6,4	6,6	6,8
Inverno	6,8	7	7,2

A Tabela 18 mostra o fator de forma desta região de acordo com a estação do ano.

Tabela 18- Fator de forma Rio das ostras

Fator de Forma	
Primavera	2,1
Verão	2
Outono	2,1
Inverno	2,2

Serão repetidas as mesmas etapas que foram feitas para os cálculos em cabo frio, portanto as mesmas explicações de como proceder são válidas.

6.2.1 – 50 m de altura

Período de Primavera a 50m de Altura

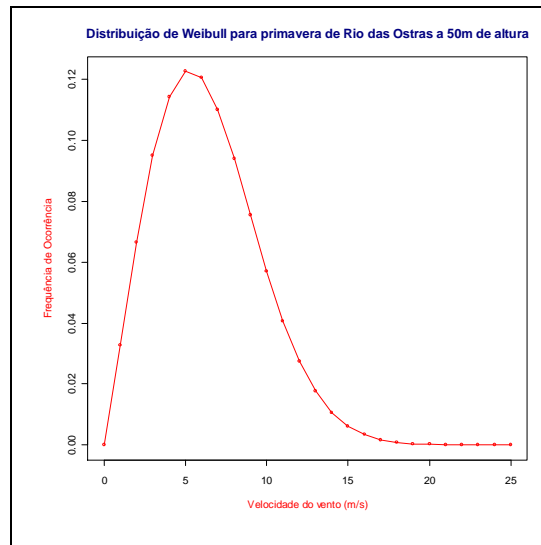


Figura 52 -Distribuição de Weibull para Rio Das Ostras na primavera a 50m de altura

Depois de obtida essa curva, tem-se a frequência de ocorrência de ventos durante esse período de 4 meses, podendo-se então fazer o cálculo de KWh que o aerogerador E33 pode fornecer, Tabela 19.

Tabela 19 - Potência KWh Primavera Rio das ostras

Primavera Rio das Ostras 50m				
Velocidade Vento (m/s)	F (u)	Quantidade de horas	Potência (KW)	Economia KWh
0,00	0,00	0	0,00	0
1,00	0,03	94,26202062	0,00	0
2,00	0,07	191,8072728	0,00	0
3,00	0,09	273,5072036	5,00	1367,536018
4,00	0,11	328,9195773	13,70	4506,198209
5,00	0,12	353,2972095	30,00	10598,91628
6,00	0,12	347,5644904	55,00	19116,04697
7,00	0,11	317,3029156	92,00	29191,86823
8,00	0,09	270,87415	138,00	37380,6327
9,00	0,08	217,2615007	196,00	42583,25414
10,00	0,06	164,2390259	250,00	41059,75649
11,00	0,04	117,2658711	292,80	34335,44707
12,00	0,03	79,19788392	320,00	25343,32286
13,00	0,02	50,64784767	335,00	16967,02897
14,00	0,01	30,69332905	335,00	10282,26523
15,00	0,01	17,63604954	335,00	5908,076597
16,00	0,00	9,611812872	335,00	3219,957312
17,00	0,00	4,970261621	335,00	1665,037643
18,00	0,00	2,438986983	335,00	817,0606391
19,00	0,00	1,135936934	335,00	380,5388729
20,00	0,00	0,502169114	335,00	168,2266533
21,00	0,00	0,210725203	335,00	70,59294287
22,00	0,00	0,083938287	335,00	28,11932601
23,00	0,00	0,031737802	335,00	10,63216364
24,00	0,00	0,011390805	335,00	3,81591965
25,00	0,00	0,003880377	335,00	1,299926237
TOTAL DE KWh no período de primavera = 285005,6312 KWh				

Período de Verão a 50m de Altura

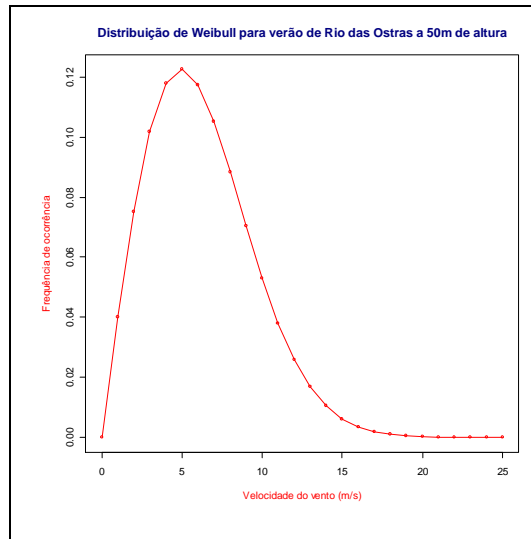


Figura 53 -Distribuição de Weibull para Rio Das Ostras no verão a 50m de altura

Depois de obtida essa curva, tem-se a frequência de ocorrência de ventos durante esse período de 4 meses, podendo-se então fazer o cálculo de KWh que o aerogerador E33 pode fornecer, Tabela 20.

Tabela 20 - Potência KWh Verão Rio das ostras

Verão Rio das Ostras 50m				
Velocidade Vento (m/s)	F (u)	Quantidade de horas	Potência (KW)	Economia KWh
0,00	0,00	0	0,00	0
1,00	0,04	115,1763339	0,00	0
2,00	0,08	216,672497	0,00	0
3,00	0,10	293,4805227	5,00	1467,402613
4,00	0,12	339,2157055	13,70	4647,255165
5,00	0,12	352,8723181	30,00	10586,16954
6,00	0,12	338,3016819	55,00	18606,5925
7,00	0,11	302,7122259	92,00	27849,52478
8,00	0,09	254,7267873	138,00	35152,29664
9,00	0,07	202,559933	196,00	39701,74688
10,00	0,05	152,7253518	250,00	38181,33795
11,00	0,04	109,4403852	292,80	32044,14478

12,00	0,03	74,66441415	320,00	23892,61253
13,00	0,02	48,56204318	335,00	16268,28446
14,00	0,01	30,14230857	335,00	10097,67337
15,00	0,01	17,86933155	335,00	5986,226068
16,00	0,00	10,12463317	335,00	3391,752111
17,00	0,00	5,485600762	335,00	1837,676255
18,00	0,00	2,843396577	335,00	952,5378534
19,00	0,00	1,410528555	335,00	472,527066
20,00	0,00	0,669877394	335,00	224,4089271
21,00	0,00	0,304645916	335,00	102,056382
22,00	0,00	0,132703746	335,00	44,4557548
23,00	0,00	0,055379173	335,00	18,55202293
24,00	0,00	0,022144287	335,00	7,418336027
25,00	0,00	0,008485862	335,00	2,842763867
TOTAL DE KWh no período de Verão = 271535,4948 KWh				

Período de outono a 50m de Altura

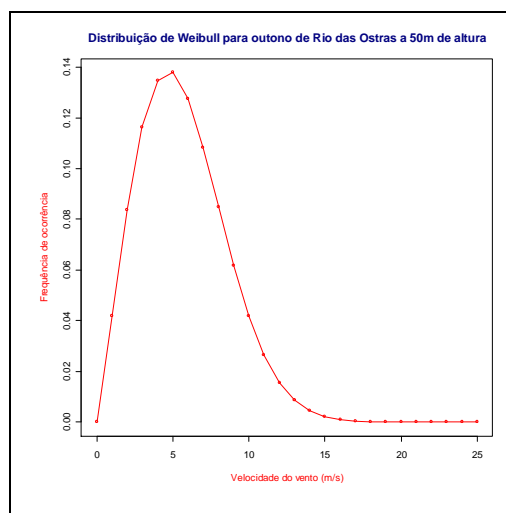


Figura 54 -Distribuição de Weibull para Rio Das Ostras no outono a 50m de altura

Depois de obtida essa curva, tem-se a frequência de ocorrência de ventos durante esse período de 4 meses, podendo-se então fazer o cálculo de KWh que o aerogerador E33 pode fornecer, Tabela 21.

Tabela 21 - Potência KWh Outono Rio das ostras

Outono Rio das Ostras 50m				
Velocidade Vento (m/s)	F (u)	Quantidade de horas	Potência (KW)	Economia KWh
0,00	0,00	0	0,00	0
1,00	0,04	120,1786374	0,00	0
2,00	0,08	240,9973556	0,00	0
3,00	0,12	334,968796	5,00	1674,84398
4,00	0,13	388,1883581	13,70	5318,180506
5,00	0,14	397,0927854	30,00	11912,78356
6,00	0,13	367,5797751	55,00	20216,88763
7,00	0,11	311,9056874	92,00	28695,32324
8,00	0,08	244,4191883	138,00	33729,84799
9,00	0,06	177,6975802	196,00	34828,72572
10,00	0,04	120,2135568	250,00	30053,38921
11,00	0,03	75,82553823	292,80	22201,71759
12,00	0,02	44,65384356	320,00	14289,22994
13,00	0,01	24,57495418	335,00	8232,609651
14,00	0,00	12,64739995	335,00	4236,878982
15,00	0,00	6,08948122	335,00	2039,976209
16,00	0,00	2,743860355	335,00	919,193219
17,00	0,00	1,157262236	335,00	387,6828492
18,00	0,00	0,456920017	335,00	153,0682056
19,00	0,00	0,168892937	335,00	56,57913402
20,00	0,00	0,058445348	335,00	19,57919165
21,00	0,00	0,018934091	335,00	6,342920328
22,00	0,00	0,005742116	335,00	1,923608989
23,00	0,00	0,001630048	335,00	0,546066052
24,00	0,00	0,000433102	335,00	0,145089183
25,00	0,00	0,000107695	335,00	0,036077916
TOTAL DE KWh no período de outono = 218975,4906 KWh				

Período de inverno a 50m de Altura

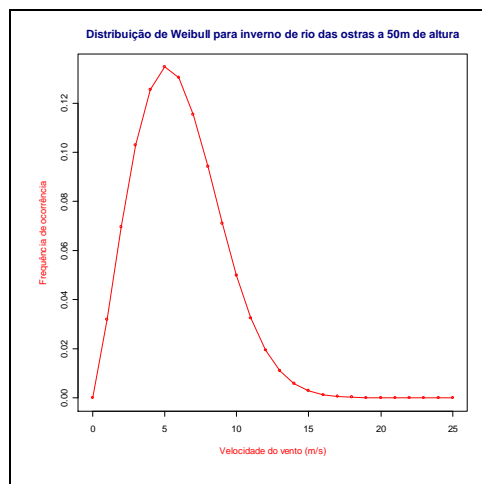


Figura 55 - Distribuição de Weibull para Rio Das Ostras no inverno a 50m de altura

Depois de obtida essa curva, tem-se a frequência de ocorrência de ventos durante esse período de 4 meses, podendo-se então fazer o cálculo de KWh que o aerogerador E33 pode fornecer, Tabela 22.

Tabela 22 - Potência KWh Inverno Rio das ostras

Inverno Rio das Ostras 50m				
Veloc. Vento (m/s)	F (u)	Quant. de horas	Potência (KW)	Economia KWh
0,00	0,00	0	0,00	0
1,00	0,03	92,02256022	0,00	0
2,00	0,07	200,5021989	0,00	0
3,00	0,10	295,850947	5,00	1479,254735
4,00	0,13	361,0967475	13,70	4947,02544
5,00	0,13	387,4893289	30,00	11624,67987
6,00	0,13	375,2471964	55,00	20638,5958
7,00	0,12	332,2924281	92,00	30570,90339
8,00	0,09	271,0471869	138,00	37404,5118
9,00	0,07	204,5280419	196,00	40087,49621
10,00	0,05	143,1416455	250,00	35785,41139
11,00	0,03	93,05964276	292,80	27247,8634
12,00	0,02	56,25171824	320,00	18000,54984
13,00	0,01	31,63026163	335,00	10596,13765

14,00	0,01	16,5482693	335,00	5543,670215
15,00	0,00	8,055464322	335,00	2698,580548
16,00	0,00	3,648067482	335,00	1222,102606
17,00	0,00	1,536645029	335,00	514,7760846
18,00	0,00	0,601861944	335,00	201,6237513
19,00	0,00	0,219121877	335,00	73,40582877
20,00	0,00	0,07412724	335,00	24,83262546
21,00	0,00	0,023291646	335,00	7,802701392
22,00	0,00	0,006794734	335,00	2,276235736
23,00	0,00	0,00183954	335,00	0,61624602
24,00	0,00	0,000461979	335,00	0,154763071
25,00	0,00	0,000107578	335,00	0,036038515
TOTAL DE KWh no período de outono = 248672,3071 KWh				

Total de KWh no período anual = 1024188,92

6.2.2 – 75 m de altura

Período de Primavera a 75m de Altura

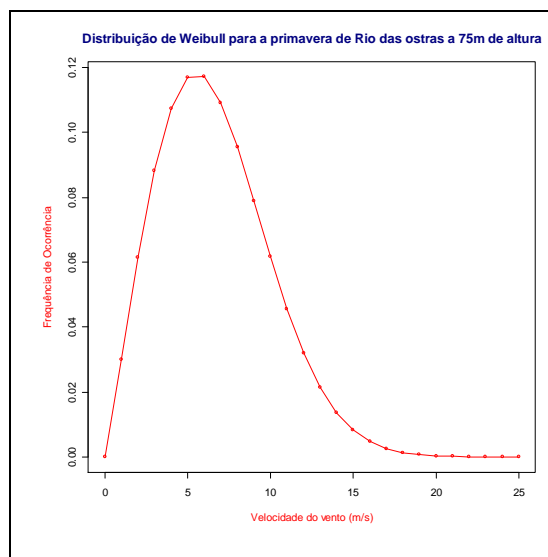


Figura 56 - Distribuição de Weibull para Rio Das Ostras na primavera a 75m de altura

Depois de obtida essa curva, tem-se a frequência de ocorrência de ventos durante esse período de 4 meses, podendo-se então fazer o cálculo de KWh que o aerogerador E53 pode fornecer, Tabela 23.

Tabela 23 - Potência KWh Primavera Rio das ostras

Primavera Rio das Ostras 75m				
Velocidade Vento (m/s)	F (u)	Quantidade de horas	Potência (KW)	Economia KWh
0,00	0,00	0	0,00	0
1,00	0,03	86,63059437	0,00	0
2,00	0,06	177,0340049	2,00	354,0680099
3,00	0,09	254,3392807	14,00	3560,74993
4,00	0,11	309,2023618	38,00	11749,68975
5,00	0,12	336,8992943	77,00	25941,24566
6,00	0,12	337,3918515	141,00	47572,25106
7,00	0,11	314,6830646	228,00	71747,73874
8,00	0,10	275,4559423	336,00	92553,19661
9,00	0,08	227,3836111	480,00	109144,1334
10,00	0,06	177,5702244	645,00	114532,7947
11,00	0,05	131,4696967	744,00	97813,45433
12,00	0,03	92,42435928	780,00	72091,00024
13,00	0,02	61,76263556	810,00	50027,7348
14,00	0,01	39,26334953	810,00	31803,31312
15,00	0,01	23,7586802	810,00	19244,53096
16,00	0,00	13,69035964	810,00	11089,19131
17,00	0,00	7,514486862	810,00	6086,734358
18,00	0,00	3,929819031	810,00	3183,153415
19,00	0,00	1,95840574	810,00	1586,308649
20,00	0,00	0,930112926	810,00	753,3914697
21,00	0,00	0,421017597	810,00	341,0242533
22,00	0,00	0,181639972	810,00	147,1283774
23,00	0,00	0,074691891	810,00	60,50043198
24,00	0,00	0,029273993	810,00	23,71193404
25,00	0,00	0,010935173	810,00	8,85748991
TOTAL DE KWh no período de primavera = 771415,93 KWh				

Período de Verão a 75m de Altura

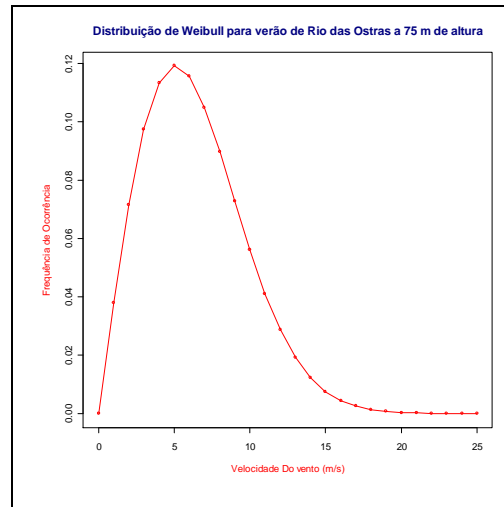


Figura 5721 -Distribuição de Weibull para Rio Das Ostras no verão a 75m de altura

Depois de obtida essa curva, tem-se a frequência de ocorrência de ventos durante esse período de 4 meses, podendo-se então fazer o cálculo de KWh que o aerogerador E53 pode fornecer, Tabela 24.

Tabela 24 - Potência KWh Verão Rio das ostras

Verão Rio das Ostras 75m				
Velocidade Vento (m/s)	F (u)	Quantidade de horas	Potência (KW)	Economia KWh
0,00	0,00	0	0,00	0
1,00	0,04	108,9883045	0,00	0
2,00	0,07	205,7202813	2,00	411,4405626
3,00	0,10	280,2079144	14,00	3922,910802
4,00	0,11	326,4194097	38,00	12403,93757
5,00	0,12	342,9948826	77,00	26410,60596
6,00	0,12	332,9011924	141,00	46939,06813
7,00	0,10	302,2410269	228,00	68910,95413
8,00	0,09	258,631519	336,00	86900,19038
9,00	0,07	209,6113872	480,00	100613,4658
10,00	0,06	161,4351395	645,00	104125,665
11,00	0,04	118,4298777	744,00	88111,82902

12,00	0,03	82,90203203	780,00	64663,58498
13,00	0,02	55,44819686	810,00	44913,03945
14,00	0,01	35,47129698	810,00	28731,75056
15,00	0,01	21,72151241	810,00	17594,42506
16,00	0,00	12,74128896	810,00	10320,44405
17,00	0,00	7,162781382	810,00	5801,852919
18,00	0,00	3,860908272	810,00	3127,335701
19,00	0,00	1,996179518	810,00	1616,90541
20,00	0,00	0,990261324	810,00	802,1116721
21,00	0,00	0,471474008	810,00	381,8939463
22,00	0,00	0,215488745	810,00	174,5458835
23,00	0,00	0,094566651	810,00	76,59898734
24,00	0,00	0,039854236	810,00	32,28193121
25,00	0,00	0,01613248	810,00	13,06730898
TOTAL DE KWh no período de Verão = 716999,9052 KWh				

Período de outono a 75m de Altura

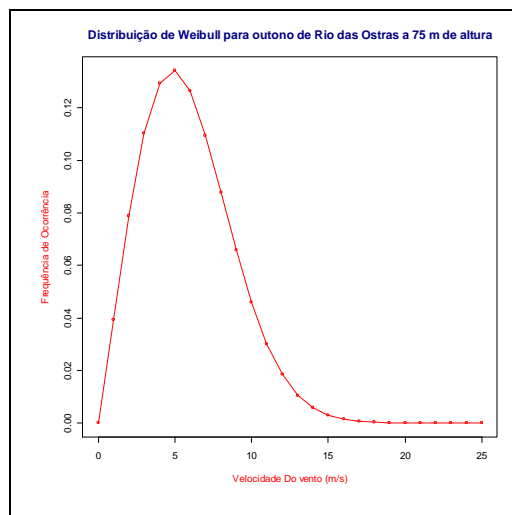


Figura 228 - Distribuição de Weibull para Rio Das Ostras no outono a 75m de altura

Depois de obtida essa curva, tem-se a frequência de ocorrência de ventos durante esse período de 4 meses, podendo-se então fazer o cálculo de KWh que o aerogerador E53 pode fornecer, Tabela 25.

Tabela 25 - Potência KWh Outono Rio das ostras

Outono Rio das Ostras 75m				
Velocidade Vento (m/s)	F (u)	Quantidade de horas	Potência (KW)	Economia KWh
0,00	0,00	0	0,00	0
1,00	0,04	112,801284	0,00	0
2,00	0,08	227,1488375	2,00	454,2976751
3,00	0,11	318,0356167	14,00	4452,498634
4,00	0,13	372,4832144	38,00	14154,36215
5,00	0,13	386,3764081	77,00	29750,98342
6,00	0,13	363,9313482	141,00	51314,3201
7,00	0,11	315,3282662	228,00	71894,84469
8,00	0,09	253,217018	336,00	85080,91806
9,00	0,07	189,3320623	480,00	90879,38991
10,00	0,05	132,2107714	645,00	85275,94754
11,00	0,03	86,39769155	744,00	64279,88252
12,00	0,02	52,90985861	780,00	41269,68972
13,00	0,01	30,3944029	810,00	24619,46635
14,00	0,01	16,38967916	810,00	13275,64012
15,00	0,00	8,299944691	810,00	6722,9552
16,00	0,00	3,948675969	810,00	3198,427535
17,00	0,00	1,765206673	810,00	1429,817405
18,00	0,00	0,741597348	810,00	600,6938515
19,00	0,00	0,29282172	810,00	237,185593
20,00	0,00	0,108671182	810,00	88,02365736
21,00	0,00	0,037905231	810,00	30,70323729
22,00	0,00	0,012426333	810,00	10,06532944
23,00	0,00	0,003828439	810,00	3,101035452
24,00	0,00	0,001108418	810,00	0,897818905
25,00	0,00	0,000301545	810,00	0,244251108
TOTAL DE KWh no período de outono = 589024,3558 KWh				

Período de inverno a 75m de Altura

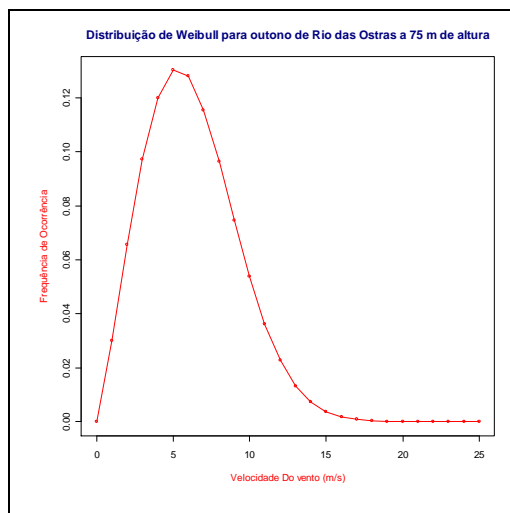


Figura 239 - Distribuição de Weibull para Rio Das Ostras no inverno a 75m de altura

Depois de obtida essa curva, tem-se a frequência de ocorrência de ventos durante esse período de 4 meses, podendo-se então fazer o cálculo de KWh que o aerogerador E53 pode fornecer, Tabela 26.

Tabela 26 - Potência KWh Inverno Rio das ostras

Inverno Rio das Ostras 75m				
Veloc. Vento (m/s)	F (u)	Quant. de horas	Potência (KW)	Economia KWh
0,00	0,00	0	0,00	0
1,00	0,03	86,41591078	0,00	0
2,00	0,07	188,9035883	2,00	377,8071765
3,00	0,10	280,4211952	14,00	3925,896733
4,00	0,12	345,3638802	38,00	13123,82745
5,00	0,13	375,1500817	77,00	28886,55629
6,00	0,13	368,9729008	141,00	52025,17901
7,00	0,12	332,9834485	228,00	75920,22625
8,00	0,10	277,787486	336,00	93336,59531
9,00	0,07	215,1633927	480,00	103278,4285
10,00	0,05	155,1490932	645,00	100071,1651
11,00	0,04	104,3198233	744,00	77613,94855
12,00	0,02	65,47113553	780,00	51067,48571
13,00	0,01	38,37439228	810,00	31083,25775

14,00	0,01	21,01162763	810,00	17019,41838
15,00	0,00	10,74820358	810,00	8706,044898
16,00	0,00	5,136186247	810,00	4160,31086
17,00	0,00	2,292460078	810,00	1856,892664
18,00	0,00	0,955466251	810,00	773,9276631
19,00	0,00	0,371753895	810,00	301,1206549
20,00	0,00	0,134983368	810,00	109,3365282
21,00	0,00	0,045723133	810,00	37,03573739
22,00	0,00	0,014443118	810,00	11,69892577
23,00	0,00	0,004252927	810,00	3,444870747
24,00	0,00	0,001166933	810,00	0,94521547
25,00	0,00	0,000298237	810,00	0,241571885
TOTAL DE KWh no período de inverno = 663690 KWh				

Total de KWh no período anual = 2741130,19

6.2.3 – 100 m de altura

Período de Primavera a 100m de Altura

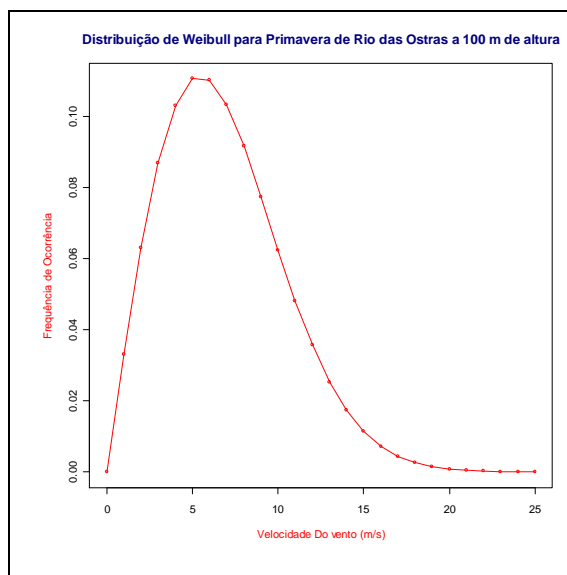


Figura 6024 - Distribuição de Weibull para Rio Das Ostras na primavera a 100m de altura

Depois de obtida essa curva, tem-se a frequência de ocorrência de ventos durante esse período de 4 meses, podendo-se então fazer o cálculo de KWh que o aerogerador E82 pode fornecer, Tabela 27.

Tabela 27 - Potência KWh Primavera Rio das ostras

Primavera Rio das Ostras 100m				
Veloc. Vento (m/s)	F (u)	Quant. de horas	Potência (KW)	Economia KWh
0,00	0,00	0	0,00	0
1,00	0,03	95,52479481	0,00	0
2,00	0,06	181,6232114	3,00	544,8696342
3,00	0,09	250,4021258	25,00	6260,053146
4,00	0,10	296,6895918	82,00	24328,54653
5,00	0,11	318,6310157	174,00	55441,79673
6,00	0,11	317,6107392	321,00	101953,0473
7,00	0,10	297,5897809	532,00	158317,7634
8,00	0,09	264,0803987	815,00	215225,5249
9,00	0,08	223,0309101	1.180,00	263176,4739
10,00	0,06	179,8659994	1.580,00	284188,279
11,00	0,05	138,8412289	1.810,00	251302,6243
12,00	0,04	102,7623103	1.980,00	203469,3744
13,00	0,03	73,02523721	2.050,00	149701,7363
14,00	0,02	49,87522077	2.050,00	102244,2026
15,00	0,01	32,76614785	2.050,00	67170,6031
16,00	0,01	20,71961127	2.050,00	42475,20311
17,00	0,00	12,61793238	2.050,00	25866,76139
18,00	0,00	7,403542848	2.050,00	15177,26284
19,00	0,00	4,18695859	2.050,00	8583,265109
20,00	0,00	2,282985729	2.050,00	4680,120744
21,00	0,00	1,200523852	2.050,00	2461,073896
22,00	0,00	0,608979449	2.050,00	1248,407871
23,00	0,00	0,298048137	2.050,00	610,9986804
24,00	0,00	0,140766268	2.050,00	288,5708494

25,00	0,00	0,064166198	2.050,00	131,540705
TOTAL DE KWh no período de primavera = 1984848,1 KWh				

Período de Verão a 100m de Altura

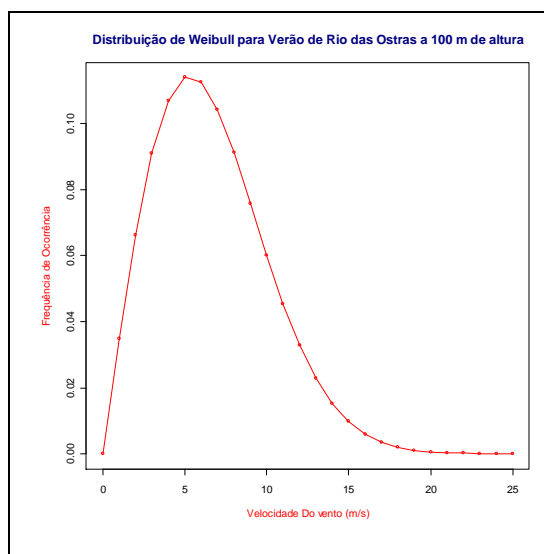


Figura 61 - Distribuição de Weibull para Rio Das Ostras no verão a 100m de altura

Depois de obtida essa curva, tem-se a frequência de ocorrência de ventos durante esse período de 4 meses, podendo-se então fazer o cálculo de KWh que o aerogerador E82 pode fornecer, Tabela 28.

Tabela 28 - Potência KWh Verão Rio das ostras

Verão Rio das Ostras 100m				
Veloci Vento (m/s)	F (u)	Quant. de horas	Potência (KW)	Economia KWh
0,00	0,00	0	0,00	0
1,00	0,03	100,5956418	0,00	0
2,00	0,07	190,7422008	3,00	572,2266023
3,00	0,09	261,778572	25,00	6544,464299
4,00	0,11	308,1962111	82,00	25272,08931
5,00	0,11	328,2843589	174,00	57121,47844
6,00	0,11	323,9684653	321,00	103993,8774
7,00	0,10	299,9709842	532,00	159584,5636

8,00	0,09	262,5786028	815,00	214001,5613
9,00	0,08	218,3526224	1.180,00	257656,0944
10,00	0,06	173,069635	1.580,00	273450,0233
11,00	0,05	131,0620499	1.810,00	237222,3103
12,00	0,03	94,99206506	1.980,00	188084,2888
13,00	0,02	65,9826366	2.050,00	135264,405
14,00	0,02	43,96964888	2.050,00	90137,78021
15,00	0,01	28,13282133	2.050,00	57672,28373
16,00	0,01	17,29408134	2.050,00	35452,86674
17,00	0,00	10,2197516	2.050,00	20950,49077
18,00	0,00	5,808128898	2.050,00	11906,66424
19,00	0,00	3,175762986	2.050,00	6510,314121
20,00	0,00	1,671143086	2.050,00	3425,843327
21,00	0,00	0,846545905	2.050,00	1735,419105
22,00	0,00	0,412914273	2.050,00	846,4742601
23,00	0,00	0,193967722	2.050,00	397,6338298
24,00	0,00	0,087767899	2.050,00	179,9241935
25,00	0,00	0,038260067	2.050,00	78,43313658
TOTAL DE KWh no período de Verão = 1888061,51 KWh				

Período de outono a 100m de Altura

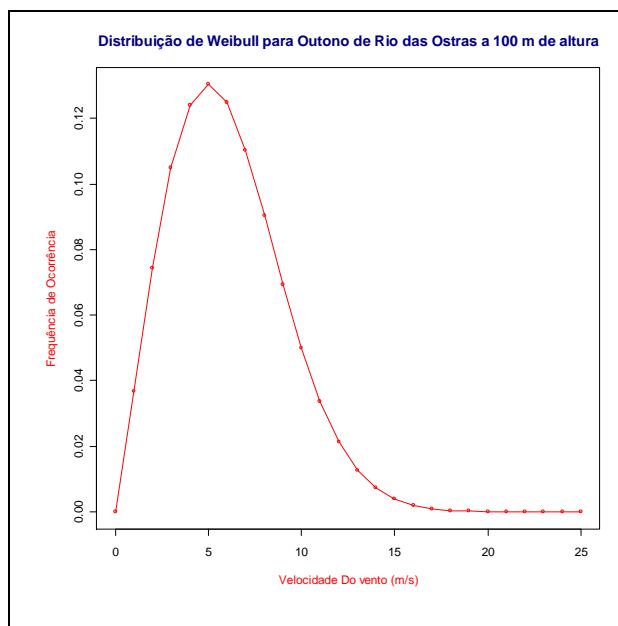


Figura 62 - Distribuição de Weibull para Rio Das Ostras no outono a 100m de altura

Depois de obtida essa curva, tem-se a frequência de ocorrência de ventos durante esse período de 4 meses, podendo-se então fazer o cálculo de KWh que o aerogerador E82 pode fornecer, Tabela 29.

Tabela 29 - Potência KWh Outono Rio das ostras

Outono Rio das Ostras 100m				
Velocidade Vento (m/s)	F (u)	Quantidade de horas	Potência (KW)	Economia KWh
0,00	0,00	0	0,00	0
1,00	0,04	106,0691889	0,00	0
2,00	0,07	214,4049048	3,00	643,2147144
3,00	0,10	302,1958555	25,00	7554,896388
4,00	0,12	357,3553524	82,00	29303,1389
5,00	0,13	375,4183852	174,00	65322,79902
6,00	0,12	359,2497905	321,00	115319,1827
7,00	0,11	317,2473591	532,00	168775,5951
8,00	0,09	260,491527	815,00	212300,5945
9,00	0,07	199,809895	1.180,00	235775,6761
10,00	0,05	143,6134888	1.580,00	226909,3123
11,00	0,03	96,92255787	1.810,00	175429,8297

12,00	0,02	61,50726564	1.980,00	121784,386
13,00	0,01	36,73974763	2.050,00	75316,48264
14,00	0,01	20,67108775	2.050,00	42375,72988
15,00	0,00	10,96041868	2.050,00	22468,85829
16,00	0,00	5,478752781	2.050,00	11231,4432
17,00	0,00	2,582456805	2.050,00	5294,03645
18,00	0,00	1,14802491	2.050,00	2353,451065
19,00	0,00	0,481370233	2.050,00	986,8089776
20,00	0,00	0,190387613	2.050,00	390,2946061
21,00	0,00	0,071028944	2.050,00	145,6093352
22,00	0,00	0,024995527	2.050,00	51,24083055
23,00	0,00	0,008296648	2.050,00	17,0081293
24,00	0,00	0,002597359	2.050,00	5,324585245
25,00	0,00	0,000766866	2.050,00	1,572074547
TOTAL DE KWh no período de Outono = 1519756,485 KWh				

Período de inverno a 100m de Altura

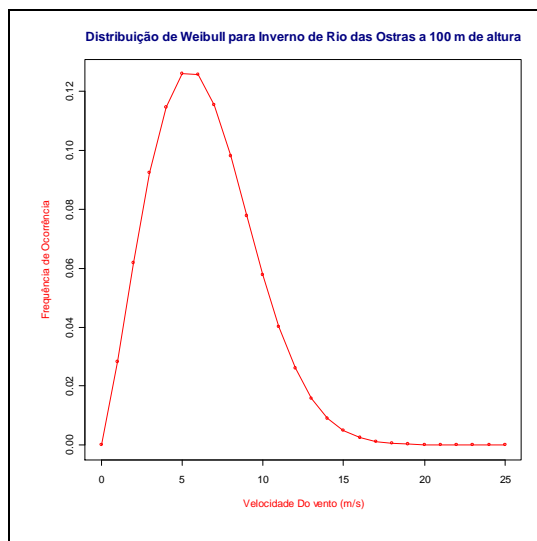


Figura 63 - Distribuição de Weibull para Rio Das Ostras no inverno a 100m de altura

Depois de obtida essa curva, tem-se a frequência de ocorrência de ventos durante esse período de 4 meses, podendo-se então fazer o cálculo de KWh que o aerogerador E82 pode fornecer, Tabela 30.

Tabela 30 - Potência KWh Inverno Rio das ostras

Outono Rio das Ostras 100m				
Velocidade Vento (m/s)	F (u)	Quantidade de horas	Potência (KW)	Economia KWh
0,00	0,00	0	0,00	0
1,00	0,03	81,29031774	0,00	0
2,00	0,06	178,2307879	3,00	534,6923636
3,00	0,09	266,0366333	25,00	6650,915833
4,00	0,11	330,3549092	82,00	27089,10255
5,00	0,13	362,859353	174,00	63137,52743
6,00	0,13	361,9687606	321,00	116191,9722
7,00	0,12	332,3575491	532,00	176814,2161
8,00	0,10	283,013798	815,00	230656,2454
9,00	0,08	224,5014954	1.180,00	264911,7646
10,00	0,06	166,354438	1.580,00	262840,0121
11,00	0,04	115,3443143	1.810,00	208773,2089
12,00	0,03	74,91390196	1.980,00	148329,5259
13,00	0,02	45,60403738	2.050,00	93488,27664
14,00	0,01	26,02927369	2.050,00	53360,01107
15,00	0,00	13,93137313	2.050,00	28559,31492
16,00	0,00	6,991849315	2.050,00	14333,2911
17,00	0,00	3,290070385	2.050,00	6744,64429
18,00	0,00	1,451275861	2.050,00	2975,115514
19,00	0,00	0,599956517	2.050,00	1229,91086
20,00	0,00	0,232375867	2.050,00	476,3705278
21,00	0,00	0,084300054	2.050,00	172,8151107
22,00	0,00	0,028634234	2.050,00	58,70017933
23,00	0,00	0,009103601	2.050,00	18,66238261
24,00	0,00	0,002708043	2.050,00	5,551488894
25,00	0,00	0,00075345	2.050,00	1,544573477
TOTAL DE KWh no período de Inverno = 1707353,392 KWh				

Total de KWh no período anual = 7100019,49

6.3 - Potência gerada em KWh - Araruama

Neste item será apresentado o estudo de potência em kW e de energia em kWh, que o aerogerador retornará para Araruama de acordo com a altura dos ventos. São apresentados os cálculos para cada uma dessas alturas. Isso é o total em kWh esperado na geração durante um ano para a determinada altura.

A Tabela 31 mostra a velocidade dos ventos de acordo com as estações do ano.

Tabela 31 – Velocidade média dos ventos em Araruama

Velocidade média do vento em Rio das Ostras (m/s)			
	50m	75m	100m
Primavera	6	6,2	6,5
Verão	5,7	5,9	6,0
Outono	5,2	5,4	5,6
Inverno	5,5	5,7	6,0

A Tabela 32 mostra o fator de forma desta região de acordo com a estação do ano.

Tabela 32 – Fator forma Araruama

Fator de Forma	
Primavera	2
Verão	2
Outono	2,1
Inverno	2

Serão repetidas as mesmas etapas que foram feitas para os cálculos em Cabo Frio e em Rio das Ostras, portanto as mesmas explicações de como proceder são válidas.

6.3.1 – 50 m de altura

Período de Primavera a 50m de Altura

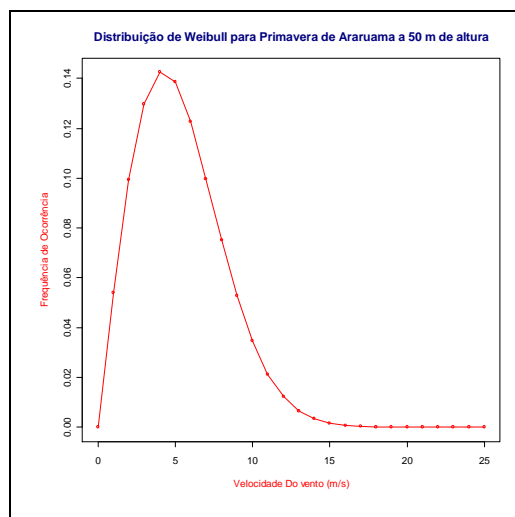


Figura 64 - Distribuição de Weibull para Araruama na primavera a 50m de altura

Depois de obtida essa curva, tem-se a frequência de ocorrência de ventos durante esse período de 4 meses, podendo-se então fazer o cálculo de KWh que o aerogerador E33 pode fornecer, Tabela 33.

Tabela 33 - Potência KWh Primavera Araruama

Primavera Araruama 50m				
Velocidade Vento (m/s)	F (u)	Quantidade de horas	Potência (KW)	Economia KWh
0,00	0,00	0	0,00	0
1,00	0,05	155,6167163	0,00	0
2,00	0,10	286,3485814	0,00	0
3,00	0,13	373,8243759	5,00	1869,121879
4,00	0,14	410,3554486	13,70	5621,869646
5,00	0,14	399,4814309	30,00	11984,44293
6,00	0,12	353,1642635	55,00	19424,03449
7,00	0,10	287,1408475	92,00	26416,95797
8,00	0,08	216,3370437	138,00	29854,51203
9,00	0,05	151,7748834	196,00	29747,87714

10,00	0,03	99,48243844	250,00	24870,60961
11,00	0,02	61,06616674	292,80	17880,17362
12,00	0,01	35,16602667	320,00	11253,12853
13,00	0,01	19,02356984	335,00	6372,895896
14,00	0,00	9,677336422	335,00	3241,907701
15,00	0,00	4,633089927	335,00	1552,085126
16,00	0,00	2,088928858	335,00	699,7911674
17,00	0,00	0,887461074	335,00	297,2994599
18,00	0,00	0,355420236	335,00	119,065779
19,00	0,00	0,134234772	335,00	44,96864857
20,00	0,00	0,047825083	335,00	16,0214029
21,00	0,00	0,016077994	335,00	5,386128137
22,00	0,00	0,005101462	335,00	1,708989664
23,00	0,00	0,001528029	335,00	0,511889815
24,00	0,00	0,000432135	335,00	0,144765249
25,00	0,00	0,000115405	335,00	0,038660729
TOTAL DE KWh no período de primavera = 191274,5535 KWh				

Período de verão 50m de altura

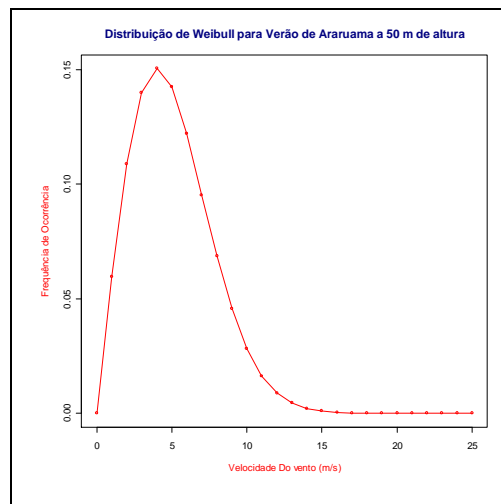


Figura 255- Distribuição de Weibull para Araruama no verão a 50m de altura

Depois de obtida essa curva, tem-se a frequência de ocorrência de ventos durante esse período de 4 meses, podendo-se então fazer o cálculo de KWh que o aerogerador E33 pode fornecer, Tabela 34.

Tabela 34 - Potência KWh Verão Araruama

Verão Araruama 50m				
Velocidade Vento (m/s)	F (u)	Quantidade de horas	Potência (KW)	Economia KWh
0,00	0,00	0	0,00	0
1,00	0,06	171,9118255	0,00	0
2,00	0,11	313,4979372	0,00	0
3,00	0,14	403,1724485	5,00	2015,862243
4,00	0,15	433,3715949	13,70	5937,190851
5,00	0,14	410,6456955	30,00	12319,37087
6,00	0,12	351,2459296	55,00	19318,52613
7,00	0,10	274,6545695	92,00	25268,2204
8,00	0,07	197,8214929	138,00	27299,36601
9,00	0,05	131,8823436	196,00	25848,93935
10,00	0,03	81,65274052	250,00	20413,18513
11,00	0,02	47,06044499	292,80	13779,29829
12,00	0,01	25,29316218	320,00	8093,811899
13,00	0,00	12,69374394	335,00	4252,40422
14,00	0,00	5,9547684	335,00	1994,847414
15,00	0,00	2,613271406	335,00	875,4459211
16,00	0,00	1,073582981	335,00	359,6502986
17,00	0,00	0,413097812	335,00	138,387767
18,00	0,00	0,148946662	335,00	49,89713193
19,00	0,00	0,050342193	335,00	16,86463463
20,00	0,00	0,015954924	335,00	5,344899565
21,00	0,00	0,004742815	335,00	1,588843148
22,00	0,00	0,001322689	335,00	0,443100815
23,00	0,00	0,000346136	335,00	0,11595562
24,00	0,00	8,5012E-05	335,00	0,028479035

25,00	0,00	1,95986E-05	335,00	0,006565534
TOTAL DE KWh no período de Verão = 167988,7964 KWh				

Período de Outono a 50m de Altura

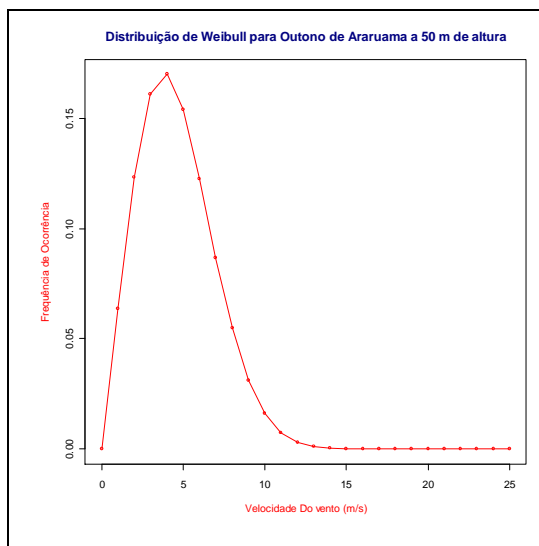


Figura 66 - Distribuição de Weibull para Araruama no outono a 50m de altura

Depois de obtida essa curva, tem-se a frequência de ocorrência de ventos durante esse período de 4 meses, podendo-se então fazer o cálculo de KWh que o aerogerador E33 pode fornecer, Tabela 35.

Tabela 35 - Potência KWh Outono Araruama

Outono Araruama 50m				
Velocidade Vento (m/s)	F (u)	Quantidade de horas	Potência (KW)	Economia KWh
0,00	0,00	0	0,00	0
1,00	0,06	183,8166111	0,00	0
2,00	0,12	355,4246246	0,00	0
3,00	0,16	463,4722167	5,00	2317,361083
4,00	0,17	489,7182635	13,70	6709,14021
5,00	0,15	443,5206528	30,00	13305,61958
6,00	0,12	352,723836	55,00	19399,81098
7,00	0,09	249,3846211	92,00	22943,38515

8,00	0,05	157,8480912	138,00	21783,03658
9,00	0,03	89,8164029	196,00	17604,01497
10,00	0,02	46,06251335	250,00	11515,62834
11,00	0,01	21,32714466	292,80	6244,587958
12,00	0,00	8,924170307	320,00	2855,734498
13,00	0,00	3,377058899	335,00	1131,314731
14,00	0,00	1,156150955	335,00	387,3105701
15,00	0,00	0,358166068	335,00	119,9856328
16,00	0,00	0,100410745	335,00	33,63759964
17,00	0,00	0,025473743	335,00	8,533703756
18,00	0,00	0,005847678	335,00	1,958972039
19,00	0,00	0,001214484	335,00	0,406852179
20,00	0,00	0,000228161	335,00	0,076433989
21,00	0,00	3,87655E-05	335,00	0,012986436
22,00	0,00	5,95533E-06	335,00	0,001995035
23,00	0,00	8,2703E-07	335,00	0,000277055
24,00	0,00	1,03797E-07	335,00	3,47719E-05
25,00	0,00	1,17702E-08	335,00	3,94303E-06
TOTAL DE KWh no período de outono = 126361 KWh				

Período de Inverno a 50m de Altura

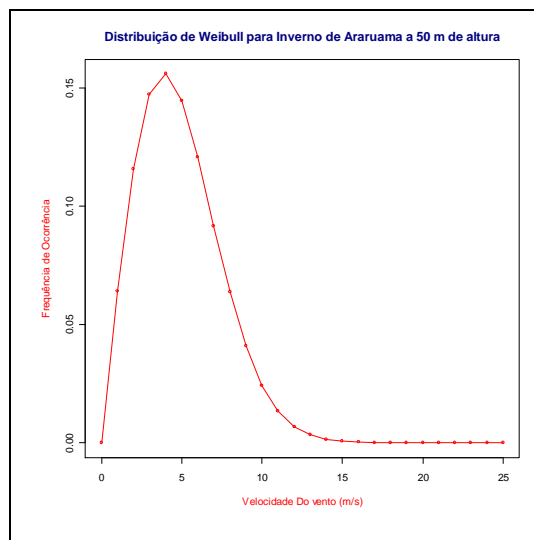


Figura 67- Distribuição de Weibull para Araruama no inverno a 50m de altura

Depois de obtida essa curva, tem-se a frequência de ocorrência de ventos durante esse período de 4 meses, podendo-se então fazer o cálculo de KWh que o aerogerador E33 pode fornecer, Tabela 36.

Tabela 36 - Potência KWh Inverno Araruama

Inverno Araruama 50m				
Veloc. Vento (m/s)	F (u)	Quant. de horas	Potência (KW)	Economia KWh
0,00	0,00	0	0,00	0
1,00	0,06	184,2214779	0,00	0
2,00	0,12	333,6566082	0,00	0
3,00	0,15	424,2352756	5,00	2121,176378
4,00	0,16	448,7945948	13,70	6148,485949
5,00	0,14	416,6256933	30,00	12498,7708
6,00	0,12	347,5377853	55,00	19114,57819
7,00	0,09	263,8213073	92,00	24271,56027
8,00	0,06	183,6323446	138,00	25341,26356
9,00	0,04	117,7701915	196,00	23082,95754
10,00	0,02	69,82530907	250,00	17456,32727
11,00	0,01	38,36293818	292,80	11232,6683
12,00	0,01	19,56559449	320,00	6260,990236
13,00	0,00	9,275430914	335,00	3107,269356
14,00	0,00	4,091513931	335,00	1370,657167
15,00	0,00	1,680733393	335,00	563,0456865
16,00	0,00	0,643376863	335,00	215,531249
17,00	0,00	0,229624688	335,00	76,92427042
18,00	0,00	0,076445633	335,00	25,60928695
19,00	0,00	0,023748195	335,00	7,955645343
20,00	0,00	0,006886367	335,00	2,306932866
21,00	0,00	0,001864442	335,00	0,624588118
22,00	0,00	0,00047142	335,00	0,157925726
23,00	0,00	0,000111341	335,00	0,037299253
24,00	0,00	2,45678E-05	335,00	0,008230229
25,00	0,00	5,06536E-06	335,00	0,001696897

TOTAL DE KWh no período de outono = 152898,9078 KWh

Total de KWh no período anual = 638523,26

6.3.2 – 75 m de altura

Período de Primavera a 75m de Altura

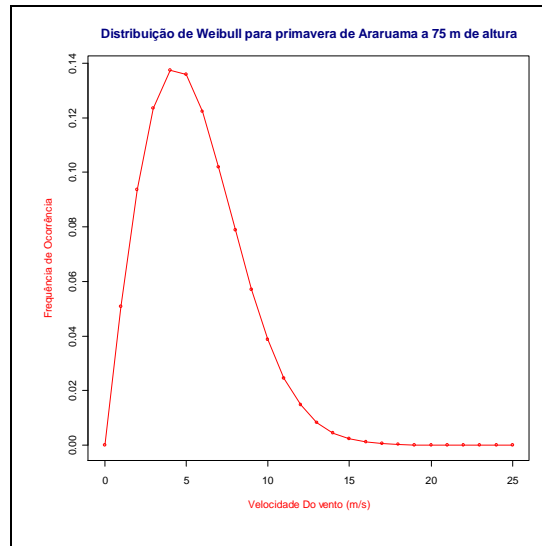


Figura 68 - Distribuição de Weibull para Araruama na primavera a 75m de altura

Depois de obtida essa curva, tem-se a frequência de ocorrência de ventos durante esse período de 4 meses, podendo-se então fazer o cálculo de KWh que o aerogerador E53 pode fornecer, Tabela 37.

Tabela 37 - Potência KWh Primavera Araruama

Primavera Araruama 75m				
Velocidade Vento (m/s)	F (u)	Quantidade de horas	Potência (KW)	Economia KWh
0,00	0,00	0	0,00	0
1,00	0,05	145,9960551	0,00	0
2,00	0,09	270,0705112	2,00	540,1410224
3,00	0,12	355,6956128	14,00	4979,738579
4,00	0,14	395,3041388	38,00	15021,55727
5,00	0,14	390,9844847	77,00	30105,80532
6,00	0,12	352,4219521	141,00	49691,49524

7,00	0,10	293,1810918	228,00	66845,28893
8,00	0,08	226,8078876	336,00	76207,45024
9,00	0,06	163,9626612	480,00	78702,07736
10,00	0,04	111,1324182	645,00	71680,40972
11,00	0,02	70,79063339	744,00	52668,23124
12,00	0,01	42,45323022	780,00	33113,51957
13,00	0,01	24,00066428	810,00	19440,53807
14,00	0,00	12,8044932	810,00	10371,63949
15,00	0,00	6,451847572	810,00	5225,996534
16,00	0,00	3,072382881	810,00	2488,630134
17,00	0,00	1,383473431	810,00	1120,613479
18,00	0,00	0,589338737	810,00	477,3643768
19,00	0,00	0,237585919	810,00	192,4445945
20,00	0,00	0,090672531	810,00	73,44475034
21,00	0,00	0,032767833	810,00	26,54194461
22,00	0,00	0,011215995	810,00	9,084956212
23,00	0,00	0,00363692	810,00	2,945905021
24,00	0,00	0,001117408	810,00	0,905100754
25,00	0,00	0,000325342	810,00	0,263526629
TOTAL DE KWh no período de Primavera = 518986,1274 KWh				

Período de Verão a 75m de Altura

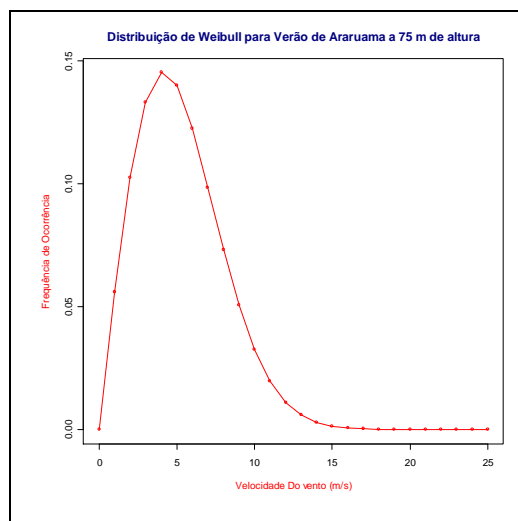


Figura 269 - Distribuição de Weibull para Araruama no verão a 75m de altura

Depois de obtida essa curva, tem-se a frequência de ocorrência de ventos durante esse período de 4 meses, podendo-se então fazer o cálculo de KWh que o aerogerador E53 pode fornecer, Tabela 38.

Tabela 38 - Potência KWh Verão Araruama

Verão Araruama 75m				
Velocidade Vento (m/s)	F (u)	Quantidade de horas	Potência (KW)	Economia KWh
0,00	0,00	0	0,00	0
1,00	0,06	160,7838111	0,00	0
2,00	0,10	295,0148587	2,00	590,0297175
3,00	0,13	383,3137889	14,00	5366,393044
4,00	0,15	417,9845115	38,00	15883,41144
5,00	0,14	403,4455501	77,00	31065,30736
6,00	0,12	352,9625435	141,00	49767,71863
7,00	0,10	283,4559462	228,00	64627,95574
8,00	0,07	210,5403778	336,00	70741,56695
9,00	0,05	145,3427981	480,00	69764,54307
10,00	0,03	93,56303926	645,00	60348,16032
11,00	0,02	56,29865723	744,00	41886,20098
12,00	0,01	31,72015827	780,00	24741,72345

13,00	0,01	16,75690922	810,00	13573,09647
14,00	0,00	8,308503033	810,00	6729,887456
15,00	0,00	3,869705419	810,00	3134,46139
16,00	0,00	1,6941281	810,00	1372,243761
17,00	0,00	0,697529402	810,00	564,998816
18,00	0,00	0,27022228	810,00	218,8800467
19,00	0,00	0,098533751	810,00	79,81233871
20,00	0,00	0,033829213	810,00	27,40166278
21,00	0,00	0,010938541	810,00	8,860218239
22,00	0,00	0,003331875	810,00	2,698818792
23,00	0,00	0,000956241	810,00	0,774555457
24,00	0,00	0,000258626	810,00	0,209487097
25,00	0,00	6,5928E-05	810,00	0,053401704
TOTAL DE KWh no período de Verão = 460496,3891 KWh				

Período de Outono a 75m de Altura

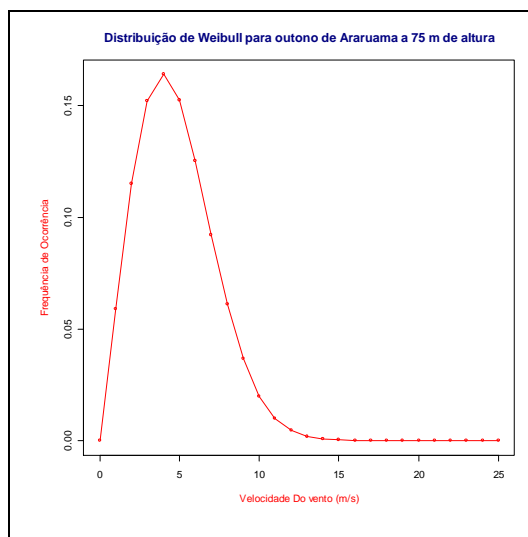


Figura 70 - Distribuição de Weibull para Araruama no outono a 75m de altura

Depois de obtida essa curva, tem-se a frequência de ocorrência de ventos durante esse período de 4 meses, podendo-se então fazer o cálculo de KWh que o aerogerador E53 pode fornecer, Tabela 39.

Tabela 39 - Potência KWh Outono Araruama

Outono Araruama 75m				
Velocidade Vento (m/s)	F (u)	Quantidade de horas	Potência (KW)	Economia KWh
0,00	0,00	0	0,00	0
1,00	0,06	170,2168945	0,00	0
2,00	0,12	331,7238572	2,00	663,4477144
3,00	0,15	438,5594364	14,00	6139,83211
4,00	0,16	472,7156663	38,00	17963,19532
5,00	0,15	439,5101637	77,00	33842,28261
6,00	0,13	361,1655333	141,00	50924,34019
7,00	0,09	265,5979184	228,00	60556,3254
8,00	0,06	176,0311959	336,00	59146,48181
9,00	0,04	105,5971786	480,00	50686,64571
10,00	0,02	57,48793683	645,00	37079,71926
11,00	0,01	28,45194796	744,00	21168,24928
12,00	0,00	12,8157505	780,00	9996,285387
13,00	0,00	5,257570349	810,00	4258,631983
14,00	0,00	1,965302224	810,00	1591,894801
15,00	0,00	0,669558819	810,00	542,3426434
16,00	0,00	0,207929806	810,00	168,4231425
17,00	0,00	0,058860603	810,00	47,67708834
18,00	0,00	0,01518774	810,00	12,30206932
19,00	0,00	0,003571741	810,00	2,893110199
20,00	0,00	0,000765467	810,00	0,620027913
21,00	0,00	0,000149472	810,00	0,121072529
22,00	0,00	2,6589E-05	810,00	0,021537115
23,00	0,00	4,30789E-06	810,00	0,003489391
24,00	0,00	6,35557E-07	810,00	0,000514801
25,00	0,00	8,53643E-08	810,00	6,91451E-05
TOTAL DE KWh no período de Outono = 354791,7 KWh				

Período de Inverno a 75m de Altura

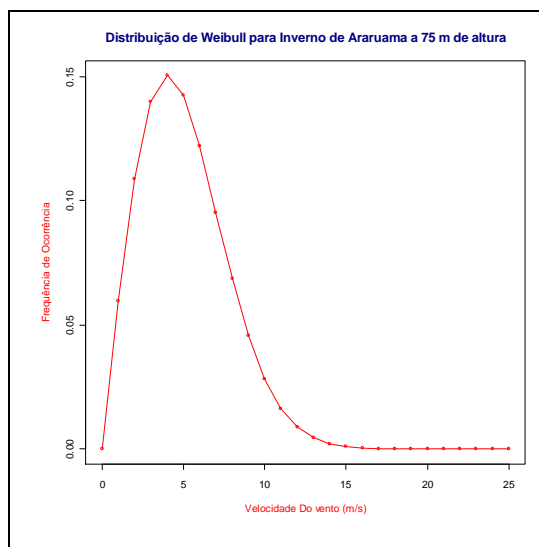


Figura 71 - Distribuição de Weibull para Araruama no inverno a 75m de altura

Depois de obtida essa curva, tem-se a frequência de ocorrência de ventos durante esse período de 4 meses, podendo-se então fazer o cálculo de KWh que o aerogerador E53 pode fornecer, Tabela 40.

Tabela 40 - Potência KWh Inverno Araruama

Inverno Araruama 75m				
Veloc. Vento (m/s)	F (u)	Quant. de horas	Potência (KW)	Economia KWh
0,00	0,00	0	0,00	0
1,00	0,06	171,9118255	0,00	0
2,00	0,11	313,4979372	2,00	626,9958743
3,00	0,14	403,1724485	14,00	5644,41428
4,00	0,15	433,3715949	38,00	16468,12061
5,00	0,14	410,6456955	77,00	31619,71855
6,00	0,12	351,2459296	141,00	49525,67607
7,00	0,10	274,6545695	228,00	62621,24185
8,00	0,07	197,8214929	336,00	66468,0216
9,00	0,05	131,8823436	480,00	63303,52495
10,00	0,03	81,65274052	645,00	52666,01764
11,00	0,02	47,06044499	744,00	35012,97107
12,00	0,01	25,29316218	780,00	19728,6665
13,00	0,00	12,69374394	810,00	10281,93259
14,00	0,00	5,9547684	810,00	4823,362404

15,00	0,00	2,613271406	810,00	2116,749839
16,00	0,00	1,073582981	810,00	869,6022145
17,00	0,00	0,413097812	810,00	334,6092277
18,00	0,00	0,148946662	810,00	120,6467966
19,00	0,00	0,050342193	810,00	40,77717627
20,00	0,00	0,015954924	810,00	12,9234885
21,00	0,00	0,004742815	810,00	3,841680447
22,00	0,00	0,001322689	810,00	1,071378089
23,00	0,00	0,000346136	810,00	0,280370304
24,00	0,00	8,5012E-05	810,00	0,068859755
25,00	0,00	1,95986E-05	810,00	0,015874873
TOTAL DE KWh no período de Inverno = 422291,2509 KWh				

Total de KWh no período anual = 1756565,47

6.3.3 – 100 m de altura

Período de primavera a 100m de Altura

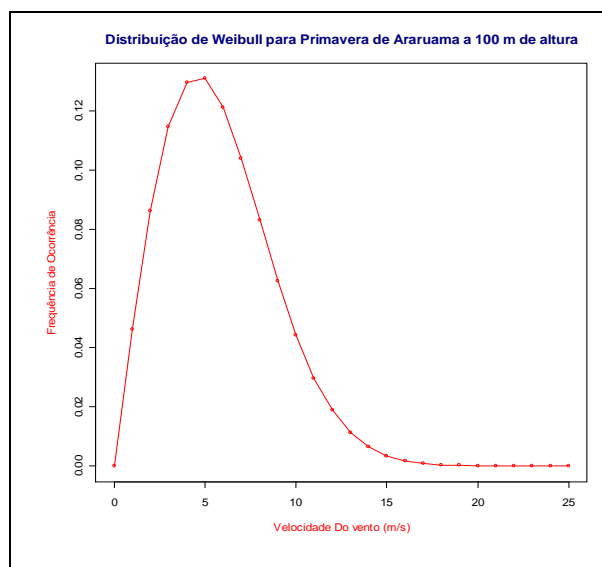


Figura 72 - Distribuição de Weibull para Araruama na primavera a 100m de altura

Depois de obtida essa curva, tem-se a frequência de ocorrência de ventos durante esse período de 4 meses, podendo-se então fazer o cálculo de KWh que o aerogerador E82 pode fornecer, Tabela 41.

Tabela 41 - Potência KWh Primavera Araruama

Primavera Araruama 100m				
Velocidade Vento (m/s)	F (u)	Quantidade de horas	Potência (KW)	Economia KWh
0,00	0,00	0	0,00	0
1,00	0,05	133,1424704	0,00	0
2,00	0,09	248,0328071	3,00	744,0984214
3,00	0,11	330,5252108	25,00	8263,130269
4,00	0,13	373,4128097	82,00	30619,8504
5,00	0,13	377,2131212	174,00	65635,08309
6,00	0,12	348,8970396	321,00	111995,9497
7,00	0,10	299,2368006	532,00	159193,9779
8,00	0,08	239,7836461	815,00	195423,6716
9,00	0,06	180,3957798	1.180,00	212867,0202
10,00	0,04	127,8438487	1.580,00	201993,281
11,00	0,03	85,54806205	1.810,00	154841,9923
12,00	0,02	54,14745786	1.980,00	107211,9666
13,00	0,01	32,46094769	2.050,00	66544,94277
14,00	0,01	18,45051854	2.050,00	37823,563
15,00	0,00	9,95121659	2.050,00	20399,99401
16,00	0,00	5,0962528	2.050,00	10447,31824
17,00	0,00	2,47952016	2.050,00	5083,016328
18,00	0,00	1,146623005	2.050,00	2350,577159
19,00	0,00	0,504165184	2.050,00	1033,538627
20,00	0,00	0,210844381	2.050,00	432,2309813
21,00	0,00	0,083889151	2.050,00	171,9727592
22,00	0,00	0,031761817	2.050,00	65,1117239
23,00	0,00	0,011445857	2.050,00	23,46400697
24,00	0,00	0,003926551	2.050,00	8,049429406
25,00	0,00	0,001282511	2.050,00	2,62914813
TOTAL DE KWh no período de Primavera = 1393176,43 KWh				

Período de verão a 100m de Altura

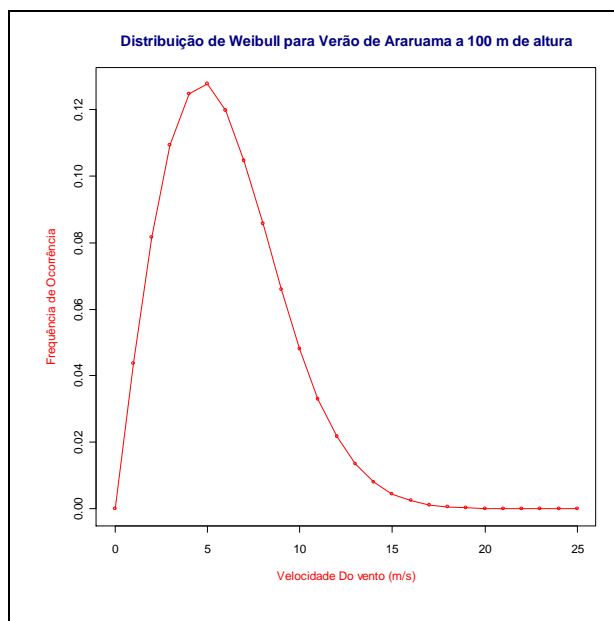


Figura 273 - Distribuição de Weibull para Araruama no verão a 100m de altura

Depois de obtida essa curva, tem-se a frequência de ocorrência de ventos durante esse período de 4 meses, podendo-se então fazer o cálculo de KWh que o aerogerador E82 pode fornecer, Tabela 42.

Tabela 42 - Potência KWh Verão Araruama

Verão Araruama 100m				
Veloc. Vento (m/s)	F (u)	Quant. de horas	Potência (KW)	Economia KWh
0,00	0,00	0	0,00	0
1,00	0,04	125,4868566	0,00	0
2,00	0,08	234,7493094	3,00	704,2479282
3,00	0,11	315,0085882	25,00	7875,214706
4,00	0,12	359,3673919	82,00	29468,12613
5,00	0,13	367,6012185	174,00	63962,61203
6,00	0,12	345,2527725	321,00	110826,14
7,00	0,10	301,5182998	532,00	160407,7355
8,00	0,09	246,7096053	815,00	201068,3284
9,00	0,07	190,0508174	1.180,00	224259,9645
10,00	0,05	138,2958404	1.580,00	218507,4279
11,00	0,03	95,28716665	1.810,00	172469,7716
12,00	0,02	62,27393507	1.980,00	123302,3914

13,00	0,01	38,65471502	2.050,00	79242,16579
14,00	0,01	22,81245074	2.050,00	46765,52401
15,00	0,00	12,81063557	2.050,00	26261,80292
16,00	0,00	6,849922136	2.050,00	14042,34038
17,00	0,00	3,489406235	2.050,00	7153,282782
18,00	0,00	1,694192678	2.050,00	3473,09499
19,00	0,00	0,784300163	2.050,00	1607,815333
20,00	0,00	0,346296286	2.050,00	709,9073855
21,00	0,00	0,145873697	2.050,00	299,0410795
22,00	0,00	0,058636894	2.050,00	120,2056334
23,00	0,00	0,022496628	2.050,00	46,118087
24,00	0,00	0,008239348	2.050,00	16,890664
25,00	0,00	0,00288114	2.050,00	5,906337329
TOTAL DE KWh no período de Verão = 1492596,056 KWh				

Período de outono a 100m de Altura

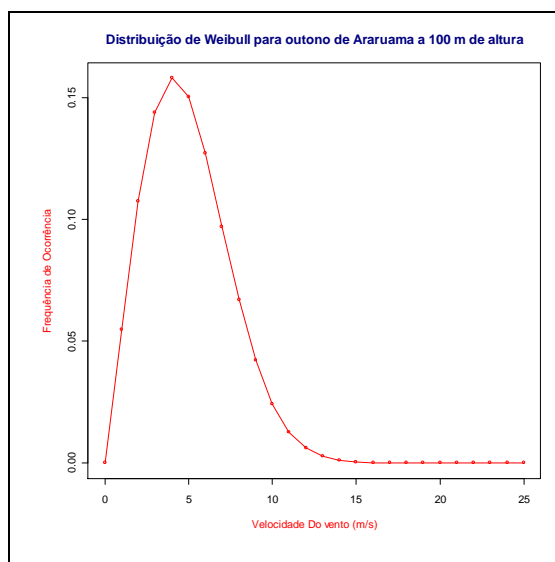


Figura 284 - Distribuição de Weibull para Araruama no outono a 100m de altura

Depois de obtida essa curva, tem-se a frequência de ocorrência de ventos durante esse período de 4 meses, podendo-se então fazer o cálculo de KWh que o aerogerador E82 pode fornecer, Tabela 43.

Tabela 43 - Potência KWh Outono Araruama

Outono Araruama 100m				
Velocidade Vento (m/s)	F (u)	Quantidade de horas	Potência (KW)	Economia KWh
0,00	0,00	0	0,00	0
1,00	0,05	158,0373921	0,00	0
2,00	0,11	310,1522686	3,00	930,4568058
3,00	0,14	415,10098	25,00	10377,5245
4,00	0,16	455,4446211	82,00	37346,45893
5,00	0,15	433,4794463	174,00	75425,42365
6,00	0,13	366,7578462	321,00	117729,2686
7,00	0,10	279,3362152	532,00	148606,8665
8,00	0,07	192,8934419	815,00	157208,1551
9,00	0,04	121,2931169	1.180,00	143125,8779
10,00	0,02	69,64317965	1.580,00	110036,2238
11,00	0,01	36,57818497	1.810,00	66206,51479
12,00	0,01	17,59456432	1.980,00	34837,23735
13,00	0,00	7,756819867	2.050,00	15901,48073
14,00	0,00	3,135840406	2.050,00	6428,472832
15,00	0,00	1,162844777	2.050,00	2383,831793
16,00	0,00	0,395603254	2.050,00	810,9866698
17,00	0,00	0,123480321	2.050,00	253,1346583
18,00	0,00	0,0353617	2.050,00	72,49148408
19,00	0,00	0,009290523	2.050,00	19,04557113
20,00	0,00	0,00223911	2.050,00	4,590174678
21,00	0,00	0,000494974	2.050,00	1,014696204
22,00	0,00	0,000100345	2.050,00	0,205706496
23,00	0,00	1,86525E-05	2.050,00	0,038237657
24,00	0,00	3,17858E-06	2.050,00	0,006516082
25,00	0,00	4,96474E-07	2.050,00	0,001017772
TOTAL DE KWh no período de Outono = 927705,3081 KWh				

Período de Inverno a 100m de Altura

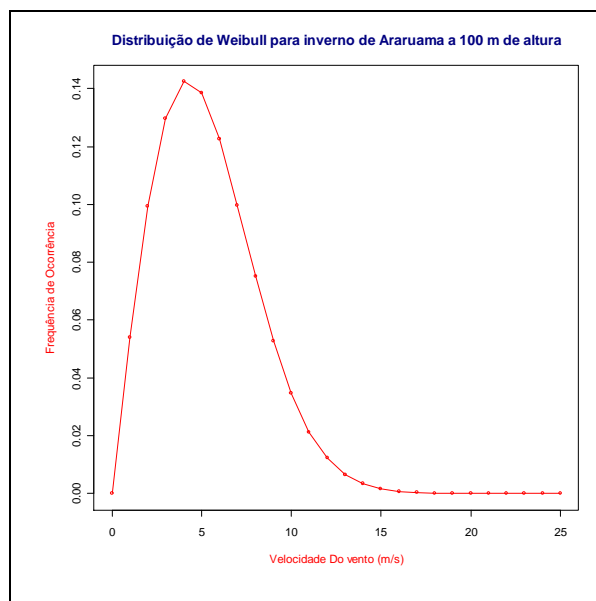


Figura 295 - Distribuição de Weibull para Araruama no inverno a 100m de altura

Depois de obtida essa curva, tem-se a frequência de ocorrência de ventos durante esse período de 4 meses, podendo-se então fazer o cálculo de KWh que o aerogerador E82 pode fornecer, Tabela 44.

Tabela 44 - Potência KWh Inverno Araruama

Inverno Araruama 100m				
Velocidade Vento (m/s)	F (u)	Quantidade de horas	Potência (KW)	Economia KWh
0,00	0,00	0	0,00	0
1,00	0,05	155,6167163	0,00	0
2,00	0,10	286,3485814	3,00	859,0457441
3,00	0,13	373,8243759	25,00	9345,609397
4,00	0,14	410,3554486	82,00	33649,14678
5,00	0,14	399,4814309	174,00	69509,76897
6,00	0,12	353,1642635	321,00	113365,7286
7,00	0,10	287,1408475	532,00	152758,9309
8,00	0,08	216,3370437	815,00	176314,6906
9,00	0,05	151,7748834	1.180,00	179094,3624
10,00	0,03	99,48243844	1.580,00	157182,2527
11,00	0,02	61,06616674	1.810,00	110529,7618

12,00	0,01	35,16602667	1.980,00	69628,7328
13,00	0,01	19,02356984	2.050,00	38998,31817
14,00	0,00	9,677336422	2.050,00	19838,53967
15,00	0,00	4,633089927	2.050,00	9497,83435
16,00	0,00	2,088928858	2.050,00	4282,304158
17,00	0,00	0,887461074	2.050,00	1819,295202
18,00	0,00	0,355420236	2.050,00	728,6114833
19,00	0,00	0,134234772	2.050,00	275,1812823
20,00	0,00	0,047825083	2.050,00	98,04142072
21,00	0,00	0,016077994	2.050,00	32,9598886
22,00	0,00	0,005101462	2.050,00	10,45799645
23,00	0,00	0,001528029	2.050,00	3,132460064
24,00	0,00	0,000432135	2.050,00	0,885876895
25,00	0,00	0,000115405	2.050,00	0,236580583
TOTAL DE KWh no período de Inverno = 1147823,829 KWh				

Total de KWh no período anual = 4961301,62

6.4 – Análise dos resultados

A metodologia aplicada foi escolhida embasada nos dados que se tinha do aerogerador, que eram apenas faixas de velocidade e a potência que o mesmo retornaria, e, como foi utilizada a distribuição de Weibull, que também retorna dados discretos, acabou-se por optar pelo estudo em meio discreto.

Pode-se por base de comparação entre as potências obtidas em cada local, respeitando a altura em estudo, comparar esses valores entre si e ter a melhor opção para cada localidade.

As demais tabelas que seguem foram montadas através do somatório total da Energia (KWh) de cada estação do ano, totalizando o período anual para cada altura.

Na Tabela 45, pode se notar uma grande vantagem para o potencial na localidade de Rio das Ostras, caso opte-se por um aerogerador de pequeno porte.

Tabela 45 – Tabela comparativa dos potenciais nas regiões a 50m de Altura

Resultados 50m De altura	
Local	Potência Anual KWh
Cabo Frio	660.799,61
Rio das Ostras	1.024.188,92
Araruama	638523,26

Na Tabela 46, pode se observar que a diferença entre o potencial de Cabo Frio e Rio das Ostras é muito pequena ou praticamente nulo se pensarmos em turbinas de médio porte.

Tabela 46 - Tabela comparativa dos potenciais nas regiões a 75m de Altura

Resultados 75m De altura	
Local	Potência Anual KWh
Cabo Frio	2792849,66
Rio das Ostras	2741130,19
Araruama	1756565,47

Já no caso de se utilizar uma turbina de grande porte, a Tabela 47 demonstra que a melhor opção seria a localidade de Cabo Frio, porém a diferença novamente entre os potenciais de Cabo Frio e Rio das Ostras é bem pequena.

Tabela 47 - Tabela comparativa dos potenciais nas regiões a 100m de Altura

Resultados 100m De altura	
Local	Potência Anual KWh
Cabo Frio	7550601,78
Rio das Ostras	7100019,49
Araruama	4961301,62

Após observada essas comparações, nota-se que a região de Rio das Ostras em termos de potencial em geral é a região que melhor se enquadra no projeto em estudo, sendo seguida bem de perto por Cabo Frio, já a região de Araruama tem potenciais bem abaixo das demais,

o que não torna tão viável um investimento visto que as outras regiões são igualmente próximas.

Antes de ressaltar o resultado mais importante do estudo, cabe explicar que após uma pesquisa sobre valores de aerogeradores, conseguiu-se apenas o valor de mercado do Aerogerador E-82, valor estimado em R\$ 10.000.000,00. É em cima deste valor que pode-se calcular o tempo de retorno do investimento.

Utilizou-se como base um fator de aproveitamento dessa turbina de 90%, e o preço do MWh próximo a R\$ 90,00, Figura 2 . Assim teremos:

Do estudo de caso tem-se que o total de KWh no período anual foi de 7550601,78 KWh.

$$7550601,78 \text{ kWh} * 0.9 = 6795541,60 \text{ KWh}$$

$$\text{Tempo retorno} = \frac{\text{Valor Turbina}}{\text{Potência Gerada} * \text{Preço do MWh}}$$

Tempo retorno = 9,95 anos

Esse resultado é bem aceitável, visando a estimativa de vida útil de um gerador eólico, praticamente sem manutenção, variar em torno de 25 anos, dado fornecido pelo próprio fabricante.

O ponto mais frustrante do estudo foi a região de Araruama que mostrou ter um potencial bem abaixo das demais, o que não era esperado.

Cabe ressaltar também que pelo pico de energia nesta região ser sazonal, devido ao fato de ser local muito procurado no verão, gerando incremento populacional nesta época do ano, podemos observar que até nesse aspecto a região de rio das ostras leva vantagem sobre as demais, vide Tabela 48.

Tabela 48 - Resultados período de verão

Resultados no Período de Verão			
	Cabo frio	Rio das ostras	Araruama
50m	259056,97 KWh	271535,49 KWh	167988,79 KWh
75m	684971,46KWh	716999,90 KWh	460496,38 KWh
100m	1900755,54 KWh	1888061,51 KWh	1492596,05 KWh

Analisando os objetivos propostos, temos os seguintes resultados:

- Conseguiu-se demonstrar que a necessidade de ramificação energética é um conceito que cresce em todo o mundo e o quão importante ela é.
- Ratificou-se a importância da PROINFA para o setor, tanto no campo de implantação de projetos, como no incentivo a estudos no setor.
- Os principais componentes dos geradores e seu princípio de funcionamento foram brevemente citados, visto que não este tema principal do estudo.
- Foi feita uma análise geral no estado através do mapeamento de velocidade média anual dos ventos no estado, e assim resolveu-se utilizar as três áreas escolhidas.
- As curvas de velocidade dos ventos foram obtidas exatamente através do método proposto.
- Através dos resultados e do tempo de retorno do projeto, fica evidenciado a aplicabilidade do mesmo no local de estudo, merecendo destaque a área de Rio das Ostras.

Capítulo 7 – Conclusões

Este estudo foi voltado à intenção de introduzir esse tipo de fonte renovável em uma determinada região do estado do rio de janeiro, tendo em vista o crescimento de tais regiões e este fator estar atrelado ao aumento de consumo energético.

O objetivo principal foi cumprido, que era comprovar a capacidade eólica da região e servir de incentivo para projetos futuros, isso ficou transparente no item 6.4 nas análises de resultado que mostra o tempo de retorno do projeto que ficou em 16,35 anos.

O resultado não previsto foi a grande diferença no potencial eólico de Araruama, que ficou evidentemente bem abaixo das demais.

Os objetivos secundários foram obtidos ao longo do estudo através das figuras e planilhas que explicaram o que o trabalho se propunha a fazer.

As dificuldades principais para este estudo foram dificuldade de obtenção de dados das turbinas, dificuldade de obtenção de dados sobre ventos e outros estudos semelhantes ao mesmo para comparar resultados.

Como ideia para estudo posterior, dar enfoque na parte de erros e falhas de turbinas, estas análises serão importantes para definir o real tempo de retorno de um projeto deste porte. Outra ideia de estudo é analisar as oscilações deste tipo de energia quando acoplado a rede elétrica tradicional.

Por fim, o trabalho se mostrou efetivo naquilo que se propôs a fazer, foi mostrado que é possível realmente um projeto de grande estrutura no local, bem como a necessidade de o Brasil como um modo geral pensar em outros tipos de fonte, e a PROINFA tem se mostrado um grande aliado a tudo isso. O principal resultado do projeto, junto a necessidade de crescimento tecnológico nacional, ratificam a importância do estudo.

Capítulo 7 - Bibliografia

- [1] Portal Brasileiro de Energias Renováveis < <http://energiarenovavel.org> > Acesso em: Novembro 2012.
- [2] Programa de incentivo as fontes alternativas de Energia elétrica – PROINFA <http://www.mme.gov.br/programas/proinfa/menu/programa/Energias_Renovaveis.html> Acesso em : Dezembro 2013.
- [4] Ministério do Meio ambiente <<http://www.mma.gov.br/clima/energia/energias-renovaveis>> Acesso em: Dezembro 2012.
- [5] Norte Energia Usina Belo Monte <<http://blogbelomonte.com.br/2011/02/14/por-que-belo-monte/>> Acesso em: Março 2013.
- [6] PAP, Proinfa <http://www.aneel.gov.br/cedoc/areh20121385_2.pdf> Acesso em: Março 2013.
- [7] Tutorial de Energia Eólica - Princípios e Tecnologias <http://www.cresesb.cepel.br/tutorial/tutorial_eolica.htm/> Acesso em: abril 2013.
- [8] Mecanismo de Geração dos Ventos <<http://www.cresesb.cepel.br/content.php?cid=211>> Acesso em: Março 2013.
- [9] Energia Eólica <http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/energia_eolica/6_2.htm> Acesso em: Março 2013.
- [10] Investimento em Energia Renovável no mundo, <<http://www.pewenvironment.org/uploadedFiles/PEG/Publications/Report/G-20Report-LOWRes-FINAL.pdf>> Acesso em: Abril 2013.
- [11] Estimativa de geração Eólica <<http://www.energias-renovables.com/articulo/i-wwea-publica-su-informe-mundial-sobre>> Acesso em: Março 2013.

- [12]Custo de geração por Energia
<<http://renewenergygroup.wordpress.com/2013/04/22/matriz-energetica-brasileira-cenario-2010-2030/>> Acesso em: Maio 2013.
- [13]Regime dos ventos e dos rios <<http://jornaloexpresso.wordpress.com/2010/06/17/o-debate-sobre-hidreletricas/>> Acesso em: Março 2013.
- [14]Aplicação de controle vetorial e teoria PQ no controle de aerogeradores conectados a rede elétrica, Júlio Cesar de Carvalho Ferreira
<<http://www.pee.ufrj.br/teses/textocompleto/2005042704.pdf>> Acesso em: Janeiro 2013.
- [15]Tipos de rotores Eólicos <<http://www.cdcc.sc.usp.br/escolas/juliano/eolica.html>> Acesso em: Fevereiro 2013.
- [16]Componentes de um aerogerador ,CRESEB
<<http://www.cresesb.cepel.br/content.php?cid=231>> Acesso em: Maio 2013.
- [17]Geradores Wobben, Wobben<<http://www.wobben.com.br/upload/downloads/dossie-2012-1352222648.pdf>> Acesso em: Março 2013.
- [18]Consumo por setor no Estado do Rio de Janeiro, Eletrobrás
<<http://www.eletobras.com.br>> Acesso em: Janeiro 2013.
- [19]Atlas eólico do Rio de Janeiro
<http://http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/atlas_eolico/AtlasEolicoRJ.pdf>
Acesso em: Dezembro 2013.
- [20]Distribuição de Weibull <<http://energiaeolicaufabc.blogspot.com.br/2011/11/distribuicao-de-weibull.html>>. Acesso em : Fevereiro 2013.
- [21]Jornal A tribuna, Estado do rio de janeiro.
<<http://www.atribunarj.com.br/noticia.php?id=12018&titulo=APAG%C3O%20DEIXA%20%20MILH%C3O%20DE%20PESSOAS%20SEM%20LUZ>>. Acesso em : Janeiro 2013.
- [22]Valor Econômico <www.valor.com.br>, “Siemens aposta na geração eólica no Brasil” .
Acesso em : Agosto 2013.
- [23] Revista Veja <www.veja.com.br>“A força que vem do vento”. Acesso em : Julho 2013.