



DIMENSIONAMENTO DE PARQUE EÓLICO NO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO

Ana Herminia Machado¹, Fabiano Subtil Da Silva² & Lúcio Passos Patrocínio³

ABSTRACT: Este artigo evidencia um estudo preliminar de dimensionamento de um parque eólico com base nos dados obtidos pelo INMET – Instituto Nacional de Meteorologia apresentando os conceitos aplicados para a geração de energia sustentável. Propõe-se um estudo que apresenta a implantação de um parque eólico em uma região do Espírito Santo, comparando a média de velocidade dos ventos anuais em cada região (Linhares e Presidente Kennedy), analisando qual região será mais viável a implantação, a escolha do modelo de aerogerador e a análise da melhor eficiência para implantação do parque eólico. Os resultados obtidos mostram que o município de Presidente Kennedy apresenta o melhor potencial para o dimensionamento do parque visto que apresenta a melhor estabilidade na direção dos ventos (Nordeste seguido de Leste-Nordeste) e a melhor média de velocidade de 3,7m/s. A partir da escolha da região foi escolhido o aerogerador para o parque (modelo Enercon E-82/2000KW com torre de concreto de 98 metros), e calculado a melhor eficiência que o parque poderá operar que é de 75,095%. Operando-se nessa eficiência o parque contará com 27 aerogeradores distribuídos em três fileiras numa área de 8000m² podendo produzir uma energia anual em torno de 74079,183 MWh.

Palavras-chave: parque eólico, aerogerador, eficiência.

RENEWABLE ENERGY: PROPOSAL FOR WIND FARM SCALING OF ESPÍRITO SANTO

ABSTRACT: This article shows a preliminary study of the design of a wind farm based on data obtained by INMET - National Institute of Meteorology presenting the concepts applied for the generation of sustainable energy. It is proposed a study that presents the implementation of a wind farm in a Espírito Santo region, comparing the average speed of the annual winds in each region (Linhares and Presidente Kennedy), analyzing which region will be more feasible the implantation, the choice of Wind turbine model and the analysis of the best efficiency for the implementation of the wind farm. The results show that the municipality of Presidente Kennedy presents the best potential for the dimensioning of the park since it presents the best stability towards the winds (Northeast followed by East-Northeast) and the best average speed of 3.7m / s. From the choice of the region, the wind turbine was chosen for the park (model Enercon E-82 / 2000KW with a concrete tower of 98 meters), and the best efficiency that the park can operate is calculated to be 75.095%. Operating in this efficiency the park will have 27 wind turbines distributed in three rows in an area of 8000m² and can produce an annual energy around 74079,183 MWh.

KEYWORDS: wind farm, wind turbine, efficiency.

1 INTRODUÇÃO

Um dos grandes desafios do mundo, no que se refere ao consumo humano, diz respeito à questão da energia elétrica, a qual representa um elemento que garante maior comodidade e auxílio no desempenho de diversas atividades de intervenção realizadas pelo ser humano em seu contexto social, sobretudo no que diz respeito ao progresso industrial.

De acordo com o estudo desenvolvido por Oliveira e Santos (2008), garantiu em uma época em que se

discute amplamente a questão ambiental, a geração de energia elétrica gera uma preocupação em relação a emissão de gases de efeito estufa e degradação ambiental. Dentre as soluções, que acentua-se em diversas partes do mundo, inclusive no Brasil, a utilização das fontes renováveis de energia.

Nesse contexto, a energia eólica, produzida pela movimentação do ar (vento), tem sido uma das formas de produção de energias alternativas que mais cresce no Brasil, por causa da facilidade de obtenção de sua fonte primária e pela quantidade de recursos disponível no país.

Chagas e Lucas (2011), defenderam em seus estudos muitas vantagens atribuídas à energia eólica. Dentre elas,

¹ Graduandos de Engenharia Mecânica da Instituição FAESA
email: ana.herminia@gmail.com ; subtil16@gmail.com ;

¹ Professor MSc. da Instituição FAESA. Email:
lpatrocinio@terra.com.br

os autores consideraram como mais relevante o fato de ela ser renovável, o que implica dizer que essa forma de energia é mais limpa, inesgotável e tenha mais facilidade de ser distribuída, já que a movimentação das massas de ar é observada em todas as partes do mundo.

No Brasil, sabe-se que cerca de 80 parques eólicos já foram construídos, e há potencial para outros aproveitamentos. Segundo a pesquisa de Epalanga (2013), mesmo sabendo da importância, viabilidade e necessidade em se investir na construção de parques eólicos, muitos desafios, como falta de planejamento, gestão e recursos ainda constituem entraves que impedem a construção desses empreendimentos.

Conforme Wu, Xhu e Miller (2013), cerca de 80% do processo da energia global vem de combustíveis fósseis (petróleo, gás natural e carvão) e essa reserva vem encolhendo com o passar dos anos. Por conseguinte, o pensamento vigente, no que se refere ao progresso de um país, diz respeito à utilização racional dos recursos naturais, consolidando uma economia sustentável, pautada no desenvolvimento racional e no equilíbrio entre o consumo e a preservação das fontes energéticas (CARVALHO, 2014).

Embora a questão da energia eólica tenha avançado nas últimas décadas, sobretudo nos anos de 1990 conforme Custódio (2013), sabe-se que esse tipo de energia já era utilizada pelos povos antigos, tendo destaque especial com o desenvolvimento comercial e industrial (GELLER, 2003). Conforme análises feitas por Martins, Guarnieri e Pereira (2008), a transformação da energia cinética dos ventos em energia mecânica é uma metodologia utilizada há mais de 3000 anos. Esses autores afirmam que os moinhos de vento utilizados para moagem de grãos e bombeamento de água em atividades agrícolas foram as primeiras aplicações da energia eólica. Destacam-se também a contribuição da energia eólica no período das Grandes Navegações do século XV.

Custódio (2013), cita diversos benefícios oriundos da energia eólica. Além da questão ambiental e da redução nos custos, esse autor também analisa a importância desse tipo de energia elétrica no que se refere ao âmbito social. Isso porque, as usinas eólicas não provocam desapropriações de áreas e remanejamentos de pessoas, comuns principalmente nos aproveitamentos hidrelétricos.

Nota-se que a transformação da energia eólica em energia elétrica requer processamento realizado por máquinas específicas. Esse processamento ocorre em espaços específicos denominados de parques eólicos. No contexto brasileiro, alguns investimentos públicos vêm sendo realizados em diversas regiões, haja vista implementar esses parques, no intuito de fortalecer o abastecimento de energia em muitas capitais brasileiras (STAUT, 2011).

Através de estudo aplicado na região nordeste do Brasil, Staut (2011), concluiu que a construção de parques eólicos não constitui uma atividade serena. Ao contrário, envolve um conjunto de atividades e metodologias a serem fielmente seguidos, os quais permitem um trabalho sistematizado e planejado, sendo o parque caracterizado como um complexo empreendimento.

Em relação ao estado do Espírito Santo, apesar de seus diversos benefícios, poucos estudos foram realizados para averiguar a capacidade de captação. A implantação desse sistema proporcionaria efetiva contribuição para o meio ambiente, redução de gases de efeito estufa e não gera resíduo além de proporcionar geração de investimentos em zonas desfavorecidas. A implantação de aerogeradores seria uma das opções mais viáveis para competir em termos de rentabilidade com as fontes de energia tradicionais.

O objetivo do estudo é dimensionar um parque eólico para o estado do Espírito Santo, verificando o melhor local com potencial eólico para implantar os aerogeradores, especificar aerogeradores que podem ser implantados, suas características e dimensionamento e estimar a produtividade anual do parque com base nos dados anemométricos locais.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 FATORES ANALISADOS

2.1.1 Comportamento do vento com a altura

De acordo com Custódio (2013), conhecendo-se as características do terreno e a velocidade do vento em duas ou mais alturas distintas é possível corrigir a velocidade do vento a ser trabalhada com os aerogeradores em determinada altura usando o perfil logarítmico conforme equação (1).

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{\ln\left(\frac{h_1}{z_0}\right)}{\ln\left(\frac{h_2}{z_0}\right)} \quad (1)$$

onde:

- h_1 = altura do solo no ponto 1 [m];
- h_2 = altura do solo no ponto 2 [m];
- v_1 = velocidade do vento no ponto 1 [m/s];
- v_2 = velocidade do vento no ponto 2 [m/s];
- z_0 = Comprimento da rugosidade do local [m].

2.1.2 Rugosidade do terreno

A rugosidade de uma superfície é determinada pelo tamanho e distribuição dos elementos de rugosidade que a compõe. Sendo medida através do comprimento de rugosidade da superfície (Z_0), dado em unidade de comprimento. Este comprimento de rugosidade consiste na altura em que a velocidade do vento é igual à zero, considerando o perfil do vento sendo logarítmico (CUSTODIO, 2013).

Conforme a classificação das superfícies quanto à rugosidade feita por Troen e Pettensen (1989), citado por Custódio (2013, p.139), onde propôs quatro classes que ilustram as áreas de acordo com a Tabela 1, pode-se encontrar o Z_0 da área proposta.

Tabela 1 - Classificação da superfície quanto à rugosidade

Classe	Z_0 (m)	Tipo de Área
0	0,0002	Com água, tais como mares e lagos.
1	0,03	Aberta com poucos quebra-ventos, plana ou levemente ondulada, podendo apresentar simples fazendas e árvores ou arbustos.
2	0,1	Terrenos de fazendas com quebra-ventos afastados a mais de 1000 metros entre si e algumas construções espalhadas; caracterizados por grandes áreas abertas entre alguns quebra-ventos, com uma passagem aberta; o terreno pode ser plano ou ondulado
3	0,4	Áreas urbanas, florestas e terras com muitos quebra-ventos; a área de fazenda é caracterizada por muitos quebra-ventos aglomerados, com separação média de poucas centenas de metros.

2.1.3 Turbina Eólica

Segundo Ferreira (2001), uma turbina eólica ideal pode extrair no máximo 59,3% da potência disponível no vento. Uma turbina real fará somente a extração de parte deste máximo.

O Coeficiente de potência (C_p) indica a relação entre a potência realmente extraída do vento e a potência disponível no vento de acordo com a velocidade do vento. Esta variação ocorre devido as alterações das eficiências aerodinâmicas causadas pelas pás do rotor da turbina em função da velocidade do vento incidente. De acordo com Custódio (2013), a equação (2) para cálculo do coeficiente de potência é:

$$C_p = \frac{P_t}{0,5\rho Av^3} \quad (2)$$

onde:

C_p = coeficiente de potência de uma turbina eólica [adimensional];

P_T = potência produzida pela turbina eólica [W];

ρ = massa específica do ar [Kg/m^3] (em geral, utiliza-se o valor médio de 1,2256 kg/m^3);

A = área varrida pelo rotor da turbina [m^2];

v^3 = velocidade do vento [m/s].

Segundo Ferreira (2001), a potência gerada pelo aerogerador é a potência do vento (P_v) versus coeficiente de potência (C_p) da turbina. A produção anual de eletricidade de um aerogerador é denominada de energia anual gerada – EAG, sendo estimada através dos dados

do comportamento do vento feito anualmente. Este cálculo da energia gerada é feita pelo cruzamento da estatística do vento com a curva de potência do aerogerador, considerando que um ano contém 8760 horas, pode-se calcular o EAG conforme a equação (3) a seguir:

$$EAG = \sum [f(v) P(v)] * 8760 \text{ [kWh]} \quad (3)$$

onde:

v = velocidade do vento [m/s];

$f(v)$ = frequência de ocorrência da velocidade do vento v [%];

$P(v)$ = potência produzida pelo aerogerador na velocidade do vento v [kW].

Os aerogeradores possuem perdas em seus componentes, reduzindo seu rendimento. O rendimento total do aerogerador considera todas as perdas, conforme equação (4). Deve-se ressaltar que a curva de potência fornecida pelos fabricantes, já incluem o rendimento total do aerogerador (FERREIRA, 2001).

$$P = \frac{1}{2} \eta \rho AV^3 \quad (4)$$

onde:

P = potência do aerogerador [W];

C_p = coeficiente de potência [adimensional];

η = rendimento do aerogerador [adimensional];

ρ = massa específica do ar [kg/m^3];

A = área da seção transversal do rotor da turbina eólica [m^2];

v = velocidade do vento que incide na turbina eólica [m/s].

O Fator de capacidade de um aerogerador (F_c) depende do perfil do vento do local onde o aerogerador será instalado. Sendo expressa através da relação entre a energia elétrica gerada e sua capacidade de produção de acordo com a equação (5) citada por Custódio (2013).

$$F_c = \frac{EAG}{8760 * P} \quad (5)$$

onde:

F_c = fator de capacidade [adimensional ou%, se multiplicado por 100];

EAG = energia anual gerada [kWh];

P = potência nominal [kW].

2.1.4 Disposição dos Aerogeradores

Parte da energia cinética do vento é extraída ao passar por uma turbina eólica. O fluxo de ar que passa pelo rotor, tem sua energia cinética diminuída, conseqüentemente a velocidade do vento se reduz. A região afetada pela extração da energia feita pelo o rotor, que se encontra atrás da turbina é conhecida como esteira. Esta esteira tende a desaparecer conforme se afasta da turbina, pois a massa de ar tende a estabilizar novamente o fluxo (FERREIRA, 2001).

A quantidade de potência extraída do vento, está diretamente ligada ao coeficiente de potência. Assim sendo, duas máquinas que possuem o mesmo coeficiente de potência extraem a mesma energia do vento (LUDWIG, 2011).

Para o cálculo do efeito da esteira em uma turbina utiliza-se a equação (6).

$$K = \frac{0,5}{\ln\left(\frac{h}{z_0}\right)} \quad (6)$$

onde:

- k = constante da perda da esteira (adimensional);
- h = altura do cubo da turbina [m];
- z₀ = comprimento de rugosidade do solo [m].

O coeficiente de empuxo (C_t) pode ser encontrado em função do coeficiente de potência da turbina (C_p), com a equação (7) de acordo com Custódio (2013)

$$C_p = 0,5 C_t (1 + \sqrt{1 - C_t}) \quad (7)$$

onde:

- C_p = coeficiente de potência da turbina [adimensional];
- C_t = coeficiente de empuxo da turbina [adimensional].

Para se obter o efeito da esteira que chega nos aerogeradores subsequentes é necessário a velocidade do vento na esteira da turbina (V_e), a constante de perda da esteira (k) e o coeficiente de empuxo da turbina (C_T). A velocidade do vento (V_e) na esteira da turbina é calculada pela equação (8).

$$v_e = v [1 - (1 - \sqrt{1 - C_t}) (D / (D + 2 k X))^2] \quad (8)$$

onde:

- v = velocidade do vento livre da influência da turbina [m/s];
- v_e = velocidade do vento dentro da esteira [m/s];
- C_t = coeficiente de empuxo do vento dentro da esteira [m/s];
- X = distância detrás da turbina, onde a velocidade do vento é V_e [m];
- D = diâmetro do rotor da turbina [m];
- K = constante de perda da esteira [adimensional].

Quanto maior a predominância dos ventos em uma determinada direção, mais se pode otimizar os espaços dos aerogeradores, influenciando na eficiência de um parque eólico.

O resultado desta eficiência, equação (9), é um importante fator na disposição das turbinas em uma fazenda eólica, aumentando conforme o distanciamento entre as turbinas. A distância geralmente adotada entre os aerogeradores é de 5D – cinco vezes o diâmetro do rotor da turbina no sentido do vento predominante e de 3D – três vezes o diâmetro do rotor da turbina perpendicularmente ao mesmo. Os aerogeradores podem ser dispostos em uma única fila, em várias filas ou em

posições sem espaçamento simétrico. (CUSTODIO, 2013)

$$\eta = \frac{\sum_{i=1}^n P_{pe}}{\sum_{i=1}^n P_{livre}} \times 100 \quad (9)$$

onde:

- η = eficiência do parque eólico [%];
- P_{pe} = energia produzida por cada aerogerador dentro do parque [MWh];
- P_{livre} = energia produzida por cada aerogerador com o vento livre [MWh];
- i = aerogerador (adimensional).

2.2 ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DO VENTO

A escolha do município para a implantação de aerogeradores teve como início verificar as regiões promissoras para parques eólicos neste estado que segundo Amarante (2009) são Linhares e Presidente Kennedy. Assim, utilizou-se dados obtidos pelo INMET Instituto Nacional de Meteorologia, da velocidade do vento de Janeiro de 2009 a Dezembro de 2014, através das estações automáticas que se encontraram nesses locais, nas quais os sensores de captação de vento se encontram a 10 metros de altura em relação ao solo. O sensor da estação forneceu a direção horária predominante do vento (em graus) e a velocidade correspondente (em metros por segundo) medida de hora em hora.

Os dados coletados pelas estações de medição foram analisados através do diagrama Rosa dos Ventos. O diagrama exibe a distribuição temporal e azimutal da velocidade do vento para um dado local (Figura 1).

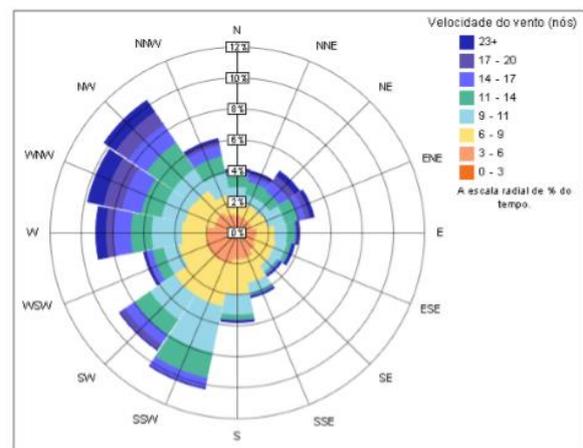


Figura 1 – Diagrama da Rosa dos ventos. Fonte: Autodesk, 2015.

Divide-se em setores de 30° graus que representam os estudos de comportamento de vento, onde cada setor mostra a predominância da direção dos ventos (CUSTÓDIO, 2013).

Após os dados serem tratados no Excel foi feita a rosa dos ventos de cada região através do software gratuito WRPLOT VIEW, disponibilizado na página <http://www.weblakes.com/products/wrplot/index.html>, da empresa Lakes Enviroment Wrplot.

Após a construção da rosa dos ventos, os dados foram calculados no Excel obtendo a média anual e mensal de cinco anos (2009 a 2014), assim pode-se analisar a melhor região para a implantação do parque eólico.

3 RESULTADOS E DISCURSÃO

3.1 ANÁLISE DA VELOCIDADE DO VENTO

Através dos resultados encontrados na rosa dos ventos, média anual e mensal da velocidade do vento, foi possível a escolha da região a ser implantado o parque eólico. Com a rosa dos ventos verificou-se a direção predominante do vento em cada região, conforme mostra a Figura 2 e Figura 3

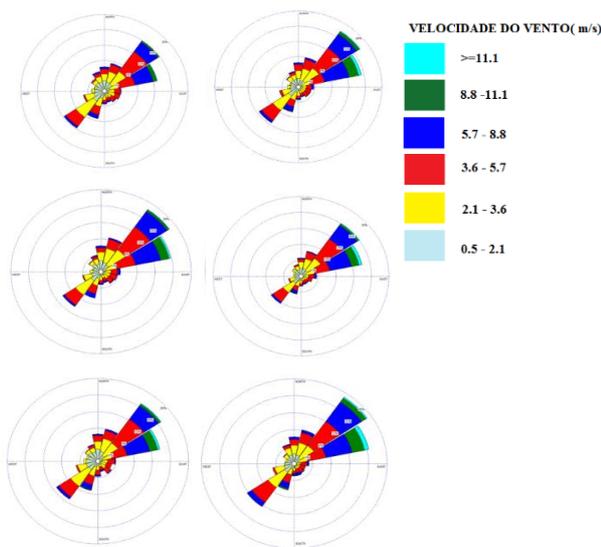


Figura 2 - Rosa dos ventos Presidente Kennedy

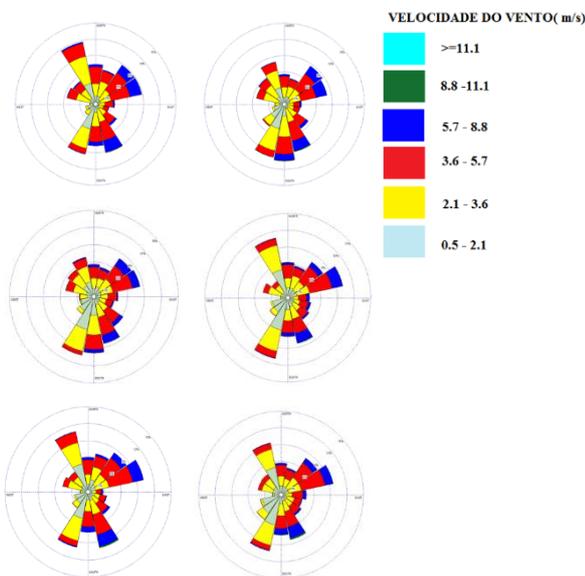


Figura 3 - Rosa dos ventos Linhares anual

Pode-se observar os dados correspondentes da velocidade média dos ventos mensais (Figura 4) e anuais (Figura 5) das regiões de Presidente Kennedy/ES e Linhares/ES, no período de 2009 a 2014.

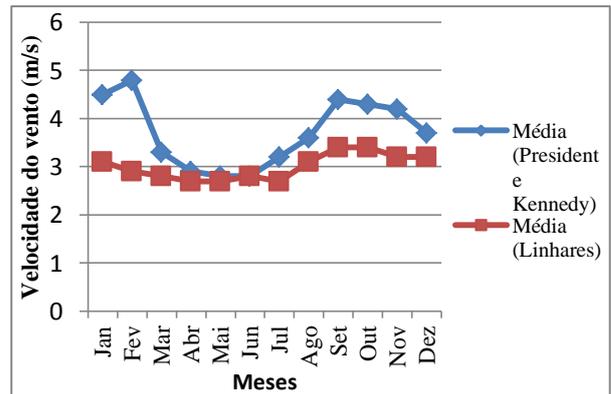


Figura 4 – Média mensal da velocidade do vento da região de Presidente Kennedy e Linhares

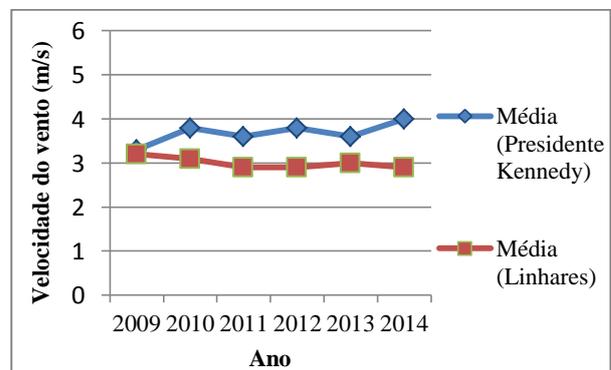


Figura 5 – Média anual da velocidade do vento da região de Presidente Kennedy e Linhares

Após análise feita da rosa dos ventos e médias da velocidade do vento conforme mostrado, conclui-se que a melhor região para a implantação do parque eólico é Presidente Kennedy, pois apresenta a melhor estabilidade na direção dos ventos (Nordeste seguido de Leste-Nordeste) e a melhor média de velocidade (3,7m/s).

Conforme explicado no referencial teórico a velocidade do vento varia com altura. Sendo assim, foi feito a frequência dos ventos de acordo com a classe das velocidades na altura de 10m (dados obtidos pelo INMET), corrigido com a função logarítmica para a faixa de trabalho proposta.

Para calcular a equação logarítmica é necessário saber a rugosidade do local, para isso foi feito um comparativo com a Figura 6 obtida através do Atlas Eólico do Espírito Santo, segundo Amarante (2009), e dados da Tabela 1, obtendo a rugosidade $Z_o = 0,1(m)$. Assim, com a equação (1) pode-se obter a correção da altura de

acordo com a média da frequência do vento dos anos de 2009 a 2014 (Figura 7).



Figura 6 – Município de Presidente Kennedy

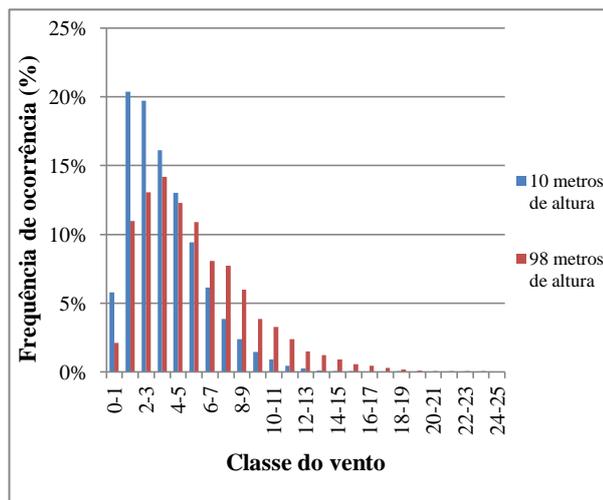


Figura 7 - Correção da altura de acordo com a média da frequência do vento dos anos

3.2 ESCOLHA DO AEROGERADOR

Para se definir o layout de uma usina eólica, é necessário definir o modelo do aerogerador a ser utilizado. Neste trabalho, foi utilizado o modelo Enercon E-82/2000KW com torre de concreto de 98m.

O fator principal que levou a escolha deste aerogerador foi a sua fabricação nacional pela subsidiária da Enercon Brasil (Wobben Windpower). A Enercon é um dos maiores fabricantes de aerogeradores, tendo o maior número de aerogeradores instalados no Brasil. O Quadro 1 mostra os dados técnicos do E-82 retirado do site do fabricante.

Especificações Técnicas	
Fabricante	Wobben Windpower/ ENERCON GmbH
Família	E-82
Potência nominal	2000 KW
Diâmetro do rotor	82m
Altura do eixo do rotor	98m
Tipo	De frente para o vento
Sentido da rotação	Horário
Número de pás	3
Área varrida pelas pás	5281m ²
Velocidade do rotor	Variável, 6 - 19,5rpm
Velocidade do vento - início de produção	2 m/s
Velocidade do vento - potência nominal	12 m/s
Velocidade do vento - corte de produção	28-34 m/s

Quadros 1 - Dados Técnicos E-82

Através do catálogo que consta no site do fabricante, consegue-se obter os dados da curva de potência calculada (Figura 8) e os valores da potência e coeficiente de potência do aerogerador de acordo com a frequência de distribuição da velocidade do vento (Tabela 2).

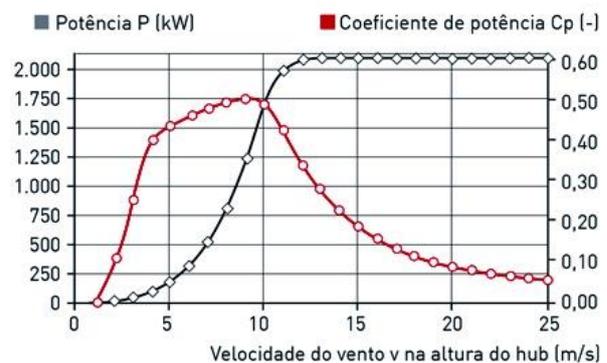


Figura 8 – Curva de potência calculada

Tabela 2 - Curva de potência calculada

Velocidade do vento (m/s)	Potência (kw)	Coefficiente de Potência (Cp)
1	0	0
2	3	0,12
3	25	0,29
4	85	0,4
5	174	0,43
6	321	0,46
7	532	0,48
8	815	0,49
9	1180	0,5
10	1580	0,49
11	1810	0,42
12	1980	0,35
13	2050	0,29
14	2050	0,23
15	2050	0,19
16	2050	0,15
17	2050	0,13
18	2050	0,11
19	2050	0,09
20	2050	0,08
21	2050	0,07
22	2050	0,06
23	2050	0,05
24	2050	0,05

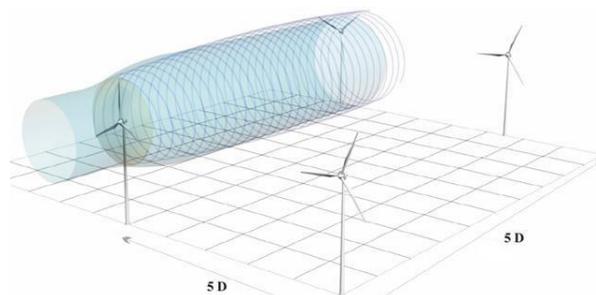
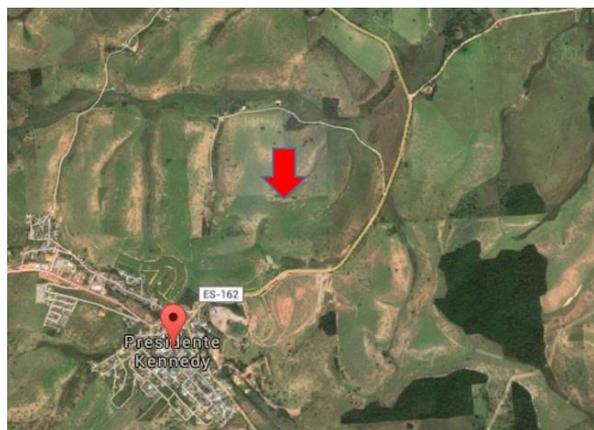
Portanto após a obtenção desses dados calculou-se a média da energia anual gerada-EAG com a equação (3) e o coeficiente de potência- C_p com a equação (2) para a frequência do vento local para um aerogerador. Assim, com esses resultados foi calculado através da equação (5) o fator de capacidade- F_c (Tabela 3).

Tabela 3 – Cálculos do EAG, C_p e F_c de um aerogerador

Energia Anual Gerada (MWh)	Coefficiente de Potência	Fator de Capacidade
4608,339	0,369	26%

3.3 LAYOUT DO PARQUE

A distância na profundidade e na lateral em relação ao vento foi considerada de 5 vezes o diâmetro do aerogerador conforme propôs o fabricante (Figura 9). A área para a instalação do parque foi escolhida com o critério de utilizar a mesma altitude em que se encontraram as estações automáticas do INMET (80 m), assim, à área encontrada foi de aproximadamente 8000m² (Figura 10). Com isso, consegue-se uma fila com 9 aerogeradores, podendo nesta área trabalhar com o máximo de 4 filas, consequentemente 36 aerogeradores.

**Figura 9** – Layout do parque eólico**Figura 10** – Área para implantação. Fonte: Google Maps, 2015.

Conforme equação (8) calculou-se a velocidade do vento na esteira para cada arranjo de fila e em seguida com a equação (5) foi calculado o fator de capacidade (Tabela 4).

Tabela 4 – Cálculo médio da velocidade do vento na esteira e fator de capacidade

Esteira	Velocidade do Vento na Esteira (m/s)	Fator de Capacidade
1ª	5,071	17%
2ª	4,759	20%
3ª	4,400	17%

Através dos dados obtidos pode-se avaliar com a equação (3) multiplicada pela quantidade de aerogeradores em cada fila, a energia anual gerada pelo parque (Tabela 5).

Tabela 5 – Energia gerada para cada fileira

Número de Filas	Energia Anual Produzida pelo Parque (MWh)
1	41475,051
2	67508,762
3	98653,867
4	124909,125

A eficiência do parque eólico pode ser alcançada pela equação (9) que mostra como será o desempenho conforme a quantidade de filas e aerogeradores instalados (Tabela 6).

Tabela 6 – Eficiência do parque eólico

Número de Filas	Quantidade de Aerogeradores	Eficiência do Parque Eólico (%)
2	18	62,778
3	27	75,095
4	36	63,321

Utilizando a energia total produzida pelo parque com a porcentagem de eficiência que se consegue em cada fila, obtêm-se os seguintes resultados (Tabela 7):

Tabela 7 – Energia efetiva produzida pelo parque eólico

Número de Filas	Energia anual Produzida pelo Parque (MWh)	Energia Total x Eficiência (MWh)
2	67508,765	42375,256
3	98653,864	74079,183
4	124909,125	79067,476

Com base nos resultados das tabelas 5, 6 e 7, pode-se observar que houve perda na eficiência da produção de energia ao instalar uma quarta fileira de aerogeradores, não influenciando significativamente na produção de energia total do parque eólico.

4 CONCLUSÃO

Pode-se notar com os dados da Tabela 6, que ao incluir mais uma fileira de aerogerador no estudo do parque eólico, houve uma queda na eficiência do mesmo. Sendo assim, conclui-se que para o melhor aproveitamento do parque em Presidente Kennedy-ES é viável implantar o projeto com a melhor eficiência (75,095%), pois pelos autores abordados um bom projeto de fazenda eólica deve ter perda inferior a 5% na eficiência, desta maneira, o parque portará de 3 fileiras do aerogerador E-82, com espaçamento de 410 metros entre as torres, totalizando 27 torres em uma área de 8000m² gerando energia anual em torno de 74079,183 MWh.

Ressalta-se que diversos outros fatores que contribuem para esta viabilidade não foram tratados neste estudo, como o comparativo dos dados obtidos com softwares já existentes para este estudo, a conexão na rede, análise da viabilidade econômica, tempo de retorno de capital investido e análise ambiental para a implantação do mesmo.

5 REFERÊNCIAS

AMARANTE; O. A. C.; SILVA, F. J. L.; ANDRADE, P. E. P; PARECY, E. **Atlas Eólico do Espírito Santo**. Vitória-ES. Aspe, 2009. 100 páginas.

CARVALHO, Joaquim Francisco de. Energia e sociedade. **Revista Estudos Avançados**, São Paulo, v. 28, n. 82, p. 25-39, 2014.

CHAGAS, Lucas Dall'Agnol das; LUCAS, Tiago Bordin. Ponderações sobre a energia eólica e sua aplicação. **Colégio Mãe de Deus, Revista Eletrônica**, Porto Alegre, v. 2, set. 2011. Disponível em: <http://www.colegiomadedeus.com.br/revistacmd/revistacmd_v_22011/artigos/a14_remc_cmdset2011.pdf>. Acesso em: 24 set. 2015.

CUSTÓDIO, Ronaldo dos Santos. **Energia eólica para produção de energia elétrica**. 2ª. ed. Rio de Janeiro: Synergia, 2013.

EPALANGA, Oteniel. **Energia eólica: viabilidade técnica de projeto eólico na região de Urubici**. 2013. 92 f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis: UFSC, 2013. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/115460/TC_C%20Oteniel%20-%20Energia%20E%20C3%B3lica.pdf?sequence=>>. Acesso em: 24 set. 2015.

FERREIRA, Agostinho Paulo. **Projeto e Operação de Parques Eólicos com Excedente de Potência Instalada**. Porto. 2001. 115 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica), Faculdade de Engenharia (FEUP), Universidade do Porto, 2001. Disponível em: <<https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/11447/2/Texto%20integral.pdf>>. Acesso em: 24 set. 2015.

GELLER, H. S. **Revolução Energética**: Políticas para um Futuro Sustentável. Rio de Janeiro: Relume Dumará, 2003.

GOOGLE MAPS. Disponível <<https://www.google.com.br/maps/place/Presidente+Kennedy+ES>>. Acesso em: 24 set. 2015.

LUDWIG, D. E. **Análise Numérica da Influência de Fatores Atmosféricos na Esteira Aerodinâmica de Turbinas Eólicas**. Porto Alegre, 2011, 83 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre: UFRS, 2011. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/30132/000778666.pdf?...1>>. Acesso em: 24 set. 2015.

MARTINS, F. R.; GUARNIERI, R. A.; PEREIRA, E.B. O aproveitamento da energia eólica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 30, n. 1, p. 1304.1-1304.13, 2008.

OLIVEIRA, Thiago Fleury Fernandes de; SANTOS, Harlen Inácio dos. **Uso da energia eólica como alternativa para mitigar o agravamento do efeito estufa**. Goiânia: UCG, 2008.

Disponível em: <
<http://www.ucg.br/ucg/prope/cpgss/ArquivosUpload/36/file/USO%20DA%20ENERGIA%20E%20C3%93LICA%20COMO%20ALTERNATIVA%20PARA%20MITIGAR%20O%20AGRAVAMENTO%20DE%20EFEITO%20ESTUFA.pdf>>. Acesso em: 24 set. 2015.

STAUT, Fabiano. **O processo de implantação de parques eólicos no nordeste brasileiro**. 2011. 165 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental Urbana, Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia. Salvador: UFBA, 2011. Disponível em: <
https://repositorio.ufba.br/ri/bitstream/ri/18675/1/DISSE RTACAO_FABIANO_STAUT_FINAL.pdf>. Acesso em: 24 set. 2015.

WU, X.; ZHU, J.; MILLER, C. Kinetics study of fermentative hydrogen production from liquid swine manure supplemented with glucose under controlled pH. **Journal of Environmental Science and Health, Part B: Pesticides, Food Contaminants, and Agricultural Wastes**, London, v. 48, n. 6, p. 477-485, 2013.