

UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E AMBIENTAIS  
CURSO DE AGRONOMIA

**DENNIS FILLIPE PINTO SILVA**

**DETERMINAÇÃO DO POTENCIAL EÓLICO NO FAROL DE  
SANTANA, MUNICÍPIO DE HUMBERTO DE CAMPOS/MA**

Chapadinha/MA

2017

**DENNIS FILLIPE PINTO SILVA**

**DETERMINAÇÃO DO POTENCIAL EÓLICO NO FAROL DE  
SANTANA, MUNICÍPIO DE HUMBERTO DE CAMPOS/MA**

Monografia apresentada ao Centro de Ciências Agrárias e Ambientais da Universidade Federal do Maranhão, como parte das exigências para obtenção do título de Bacharel em Agronomia.

Orientadora: Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Carliane Diniz e Silva

Chapadinha/MA

2017

Ficha gerada por meio do SIGAA/Biblioteca com dados fornecidos pelo(a) autor(a).  
Núcleo Integrado de Bibliotecas/UFMA

Silva, Dennis Fillipe Pinto.

Determinação do Potencial Eólico no Farol de Santana no Município de Humberto de Campos/MA / Dennis Fillipe Pinto Silva. - 2017.

39 f.

Orientador(a): Carliane Diniz e Silva.

Monografia (Graduação) - Curso de Agronomia, Universidade Federal do Maranhão, Centro de Ciências Agrárias e Ambientais, 2017.

1. Energia alternativa. 2. Energia eólica. 3. Velocidade do vento. I. e Silva, Carliane Diniz. II. Título.

**DENNIS FILLIPE PINTO SILVA**

**Determinação do Potencial Eólico no Farol de Santana no Município de  
Humberto de Campos/MA**

Monografia apresentada ao Centro de Ciências Agrárias e Ambientais da Universidade Federal do Maranhão, como parte das exigências para obtenção do título de Bacharel em Agronomia.

Orientadora: Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Carliane Diniz e Silva

Aprovada em: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_

**BANCA EXAMINADORA**

---

**Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Carliane Diniz e Silva (orientadora)**

Doutora em Agronomia

Universidade Federal do Maranhão

---

Francisca Érica do Nascimento Pinto

Especialista em Educação Ambiental e Sustentabilidade

Universidade Estadual do Maranhão

Engenheira da Universidade Federal do Maranhão

---

Euzébio Napoleão Mendonça Sobrinho

Engenheiro Agrônomo

Universidade Federal do Maranhão

Dedico esse trabalho com muito amor e carinho aos meus pais, Luiz Augusto e Lélia de Nazaré, pelo apoio e por sempre acreditarem no meu sucesso.

À razão da minha vida, minha filha Ana Clara.

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, por ter me concedido saúde, força e coragem durante toda esta caminhada e ter me ajudado a enfrentar todos os obstáculos até chegar a essa conquista.

Aos meus queridos e amados pais, um porto seguro para mim, Luiz Augusto Silva e Lélia de Nazaré Pinto Silva, exemplos de valores, princípios e amor incondicional e que nunca deixaram de acreditar em mim.

Ao amor do papai, Ana Clara Sanders Silva, motivo pelo qual nunca desisti de lutar por esta conquista.

Ao meu querido irmão, Luiz Augusto Silva Junior, pela compreensão e companheirismo em todos os momentos de minha trajetória.

Aos meus avós maternos Lêonildes Ribeiro Pinto e José Reinaldo Santos Pinto, famoso “Capilé”, e avós paternos Maria das Dores Tavares Silva e José Maria Roque Silva por terem contribuído na minha educação e pelos ensinamentos ao longo da minha vida.

A toda minha amada querida e maravilhosa família, meus primos e primas, tios e tias, parentes e amigos, por total apoio, carinho e por acreditarem e confiarem em mim. Em especial as minhas tias, Valdenilde, Hélia e Marciele, pelo carinho e contribuição na minha vida, com seus ensinamentos, incentivos e conselhos. Aos meus primos que mesmo distantes sempre confiaram e me apoiaram, a todos vocês meu muito obrigado.

A meu querido padrinho, por sua intervenção crucial em um momento de dificuldade.

A minha querida companheira de todas as horas Glauciane Magalhães do Amaral, pelo amor, carinho e apoio incondicional de sempre.

Aos meus amigos do “grupo Baixaria” pela companhia durante alguns momentos de solidão e pelas inúmeras vezes que me fizeram sorrir.

Aos meus companheiros e amigos da “Republica Pittbul”, Napoleão, Franciscleydson “Tetede” e Caio Fabiano “In Memoriam”, que me receberam de braços abertos e fizeram cada dia mais divertido e em especial, nas famosas rodas do dominó, meu muito obrigada pelo companheirismo, carinho, amizade e risadas.

À minha querida orientadora Dr<sup>a</sup>. Carliane Diniz e Silva, por me orientar neste trabalho, pela compreensão, paciência, amizade e garra que sempre mostrou.

A todos os professores e funcionários do CCAA/UFMA, pelos conhecimentos e ajuda dada na minha vida acadêmica, em especial a minha querida professora Dr<sup>a</sup> Márcia Gondim.

Aos membros da banca examinadora, Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Carliane Diniz e Silva, pelas valiosas sugestões feitas em relação a minha monografia.

Ao Centro de Ciências Agrárias e Ambientais (CCAA) da Universidade Federal do Maranhão (UFMA) pela oportunidade da realização deste curso.

Obrigada a todas as pessoas que de forma direta ou indireta, participaram na realização desta conquista.

## RESUMO

O consumo cada vez maior e a grande dependência dos recursos não renováveis para suprir a demanda mundial de energia, torna a questão energética um dos grandes problemas da sociedade contemporânea, fazendo com que governo e sociedade passem a pensar em novas fontes de energia alternativas em substituição as fontes tradicionais, tornando-se necessário o estudo dessas fontes ou as melhorias que dela derivam diretamente com o menor impacto possível ao meio ambiente. Nesse contexto, o objetivo deste trabalho, foi determinar o potencial eólico do Farol de Santana, no município de Humbero de Campos no estado do Maranhão, como uma alternativa de aproveitamento da energia proveniente dos ventos, e assim contribuir e potencializar a oferta de energia elétrica na região. Foram utilizados dados de velocidade e direção média mensal dos ventos, além da precipitação total mensal, correspondente ao intervalo dos anos de 2009 a 2013, fornecidos pelo INMET (Instituto Nacional de Meteorologia). A velocidade média mensal predominante dos ventos no Farol de Santana é de 4,14 m/s para os meses onde ocorrem os mais baixos índices pluviométricos que são de julho a dezembro. O potencial eólico médio para o mesmo período é de 45,76W/m<sup>2</sup> e a direção predominante dos ventos de acordo com os dados tratados é Nordeste-NE. A partir dos dados, pode-se concluir que a região apresenta um bom potencial na produção de energia eólica.

**Palavras – chave:** Energia eólica, Energia alternativa, Velocidade do vento.

## ABSTRACT

Increasing consumption and high reliance on non-renewable resources to meet world energy demand make energy an of the major problems of contemporary society, causing government and society to think of alternative new energy sources instead Traditional sources, making it necessary to study these sources or the improvements directly derived from it with the least possible impact on the environment. In this context, the objective of this work was to determine the wind potential of Farol de Santana, in the municipality of Humbero de Campos in the state of Maranhão, as an alternative to exploit the energy coming from the winds, and thus contribute and enhance the supply of electric energy in the region. Data were used of the average monthly wind speed and direction, in addition to the total monthly precipitation, corresponding to the interval of years 2009 to 2013, provided by INMET (National Meteorological Institute). The prevailing monthly mean velocity of the winds in the Santana Lighthouse is 4.14 m/s for the months where the lowest rainfall rates occur from July to December. The mean wind potential for the same period is 45.76W/m<sup>2</sup> and the predominant wind direction according to the data treated is Northeast-NE. From the data, it can be concluded that the region has a good potential in the production of wind energy.

**Key - words:** wind energy, Alternative energy, wind speed.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Formação dos ventos devido ao deslocamento das massas de ar.....	20
Figura 2: Gráfico da geração média de energia eólica de 2015 .....	22
Figura 3: Gráfico da emissões de CO2 evitada pela fonte eólica a cada mês em 2015 .....	23
Figura 4: Evolução tecnológica das turbinas eólicas comerciais .....	25
Figura 5: Média mensal da velocidade do vento e precipitações totais mensais referentes ao intervalo entre os anos 2009 e 2013 coletados no Farol de Santana, município de Humberto de Campos. ....	29
Figura 6: Média mensal da velocidade do vento e potencial eólico (PE) referentes ao intervalo dos anos de 2009 e 2013 coletados no Farol de Santana, município de Humberto de Campos.....	32
Figura 7: Direção média mensal em (graus) predominante dos ventos no intervalo dos anos de 2009 e 2013 coletados no Farol de Santana, município de Humberto de Campos. ....	34

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1: Valores da Constante de Proporcionalidade (k) para o cálculo do Potencial Eólico para diferentes unidades de Potência, Área e Velocidade do Vento. ....	28
---	----

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Precipitação total mensal no intervalo dos anos de 2009 e 2013 no Farol de Santana, município de Humberto de Campos.....	30
Quadro 2: Velocidade média mensal do vento e potencial eólico no intervalo de anos de 2009 a 2013 no Farol de Santana, município de Humberto de Campos. ....	32
Quadro 3: Direção média mensal predominante dos ventos no intervalo de anos de 2009 a 2013 no Farol de Santana, município de Humberto de Campos. ....	33

## **LISTA DE SIGLAS**

ABEAMA – Associação Brasileira de Energias Renováveis e Meio Ambiente.

ABEEOLICA - Associação Brasileira de Energia Eólica.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

COPEL– Companhia Paranaense de Energia

CRESEB – Centro de Referências para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito.

EPE – Empresa de Pesquisas Energéticas.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia.

MME – Ministério de Mina e Energia.

GEE – Gases de Efeito Estufa

IDH – Índice de Desenvolvimento Humano



## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO .....	15
2 REVISÃO DE LITERATURA .....	17
2.1 Energias Renováveis .....	17
2.2 Energia Eólica .....	18
2.2 Formação dos Ventos .....	19
2.3 Potencial Eólico .....	20
2.4 Aspectos Socioambientais .....	22
2.5 Aproveitamento da Energia Eólica.....	24
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	27
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	29
4.1 Precipitação Pluviométrica e Velocidade do Vento .....	29
4.2 Velocidade do Vento e Potencial Eólico .....	31
4.3 Direção Dominante dos Ventos .....	33
5 CONCLUSÃO.....	35
REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS .....	36

## 1 INTRODUÇÃO

O crescente aumento na demanda por energia elétrica nos dias atuais traz uma preocupação com relação à política e planejamento energético. Os efeitos das mudanças climáticas e o aquecimento global, causado em grande parte por queima de combustíveis fósseis, são hoje uma grande preocupação, fazendo com que governo e sociedade passem a pensar em novas fontes de energia alternativas em substituição as fontes tradicionais, tornando-se necessário o estudo dessas fontes ou as melhorias que dela derivam diretamente com o menor impacto possível ao meio ambiente. As chamadas energias alternativas são aquelas encontradas livremente na natureza, com disponibilidade infinita ou com maior capacidade de renovação, e que possibilitam justamente a produção de energia elétrica com baixos impactos ao meio ambiente.

A energia solar, a energia eólica, dentre outras, são formas alternativas de obtenção de energia que vêm sendo utilizadas ao longo dos tempos pelo homem, a princípio com caráter empírico e, depois, com subsídios da ciência.

Energia eólica é a energia cinética possível de ser extraída dos ventos. Seu aproveitamento ocorre por meio da conversão da energia cinética de translação em energia cinética de rotação, com o uso de turbinas eólicas, também chamados aerogeradores, para a geração de eletricidade, para trabalhos mecânicos como bombeamento d'água, moagem de grãos e outras aplicações que envolvem energia mecânica.

Dentre as utilizações da energia eólica, duas merecem destaque: a produção de energia elétrica e o bombeamento de água (num primeiro instante de forma completamente mecânica; depois, com o advento de motores elétricos, o bombeamento eólico ganhou novas configurações, sendo comum encontrarmos máquinas eólicas para produção de energia elétrica e bombeamento de águas concomitantemente). O bombeamento mecânico foi, com bastante precisão, uma das primeiras formas de aproveitamento da energia eólica, o primeiro registro histórico de utilização da força motriz do vento para bombeamento de água e moagem de grãos através de cata-ventos remonta à Pérsia (Irã/Iraque), e por volta do ano 200 AC, sendo utilizadas continuamente na Europa há muitos séculos.

No Brasil, os primeiros anemógrafos computadorizados e sensores especiais para energia eólica foram instalados no Ceará e em Fernando de Noronha/PE, no início dos anos 1990. Os resultados dessas medições possibilitaram a determinação do potencial eólico local e a instalação das primeiras turbinas eólicas do Brasil. Apesar de existir muitos postos de

coletas de dados meteorológicos no país, atualmente faltam estações apropriadas para monitoramento eólico voltado para geração elétrica. Uma tentativa de contornar este problema foi a divulgação do Atlas Eólico Brasileiro. Com as informações do atlas, é possível ter uma noção prévia dos locais com maior potencial eólico para geração (OLIVEIRA, 2011).

O Atlas do Potencial Eólico Brasileiro cobre todo o território nacional. O seu objetivo é fornecer informações para capacitar tomadores de decisão na identificação de áreas adequadas para aproveitamentos eólio-elétricos (Atlas do Potencial eólico Brasileiro, 2001). Ele é um forte indicativo da existência ou não de ventos, entretanto ele pode conter erros em algumas regiões.

O Farol de Santana está localizado no município de Humberto de Campos, no litoral oriental maranhense e apresenta uma área de 2.131,2 Km<sup>2</sup> e população em torno de 26.189 habitantes (IBGE, 2010), pertencente à microrregião dos Lençóis Maranhenses. As principais atividades econômicas do município são a pesca e a agricultura. A pesca é artesanal e se processa pelos métodos tradicionais e serve para o consumo local, além de ser exportada para outros municípios. A agricultura é itinerante, praticada sem nenhuma tecnologia e aplicação de insumos, direcionada para a subsistência, tendo como principais produtos a mandioca, o feijão, o milho e o arroz. O aproveitamento da energia local aplicado em energias que podem ser empregadas de forma localizada pode representar uma das ferramentas para melhorar a vida da população da região.

Neste sentido o objetivo desta pesquisa foi determinar o potencial eólico no Farol de Santana para o aproveitamento da energia gerada pelos ventos que está localizado no município de Humberto de Campos no estado do Maranhão.

## **2 REVISÃO DE LITERATURA**

O consumo cada vez maior e a grande dependência dos recursos não renováveis para suprir a demanda mundial de energia, torna a questão energética um dos grandes problemas da sociedade contemporânea. A queima indiscriminada de combustíveis fósseis nas últimas décadas têm causado danos irreversíveis ao meio ambiente, afetando diretamente a qualidade de vida das gerações seguintes. O petróleo e seus derivados, bem como o carvão, são os grandes responsáveis pela emissão dos gases responsáveis pelo efeito estufa, além disso, ao persistir a atual taxa de consumo, suas reservas mundiais poderão se esgotar em algumas décadas, uma vez que essas reservas não são permanentes. Assim, se faz necessário o desenvolvimento de formas alternativas de energia para atender a demanda, sem que com isso o planeta seja impactado negativamente.

### **2.1 Energias Renováveis**

Denominamos energia renovável à forma de energia cuja reposição na natureza dá-se de forma mais rápida do que sua utilização pelo homem, em contraste com as energias não renováveis, de caráter finito ou cuja reposição não se dá na mesma velocidade de sua utilização (CAMPOS, 2004). As energias renováveis são oriundas de ciclos naturais de conversão da radiação solar, que é a origem de quase toda energia disponível na Terra, por isso são consideradas praticamente inesgotáveis, não alteram o balanço térmico do planeta e se configuram como um conjunto de fontes de energia alternativa àquelas baseadas na queima dos combustíveis fósseis. Nesta categoria inclui-se a energia eólica, de biomassa e a solar, por exemplo, que são formas de energia que se regeneram de uma forma cíclica em uma escala de tempo reduzida.

Estas fontes de energias renováveis podem e devem ser utilizadas de uma forma sustentável, de forma que resulte em um mínimo impacto ao meio ambiente. A expectativa mundial é de que as fontes renováveis substituam gradativamente as energias geradas a partir de fontes fósseis. Além de reduzir a emissão de gases do efeito estufa, o modelo renovável proporciona a descentralização da produção, uma vez que prevê mais unidades geradoras em menor escala, instaladas mais próximas aos locais de maior demanda energética, em vez da concentração da geração de energia em grandes usinas hidrelétricas e termelétricas, geralmente distantes dos centros de consumo.

As renováveis estão aos poucos alcançando o espaço que antes era totalmente ocupado pelas fontes fósseis, fato proporcionado pelo desenvolvimento tecnológico que permite o aproveitamento dessas fontes como combustíveis alternativos.

Nesse cenário a energia eólica se destaca e desponta como uma das principais fontes alternativas de energia, já que não apresenta impacto ambiental significativo e possui uma base tecnológica e industrial bem desenvolvida, além de apresentar experiência e confiabilidade adquiridas com a operação de grandes parques eólicos, principalmente na Europa e EUA, Millais (2005a), Camargo (2005).

## **2.2 Energia Eólica**

Os ventos se caracterizam por serem uma fonte de energia limpa, renovável e disponível em todos os lugares. Esta fonte energética traz grandes vantagens para o meio ambiente e para a saúde humana, pois não gera emissões de gases tóxicos e de material particulado, não contamina a água e diminui a queima de combustíveis fósseis (AMÊNDOLA, 2007).

Energia pode ser definida como a quantidade de trabalho que um sistema físico é capaz de realizar. Se apresenta na natureza sob diversas formas: eólica, solar, cinética, potencial, geotérmica, de marés etc. A energia pode ser convertida ou transferida para diversas formas como, por exemplo, energia elétrica e mecânica, conservando sua quantidade na natureza, conforme a Primeira Lei da Termodinâmica (DANISH WIND INDUSTRY ASSOCIATION, 2007).

A energia eólica é a energia cinética contida nas massas de ar em movimento (vento). Seu aproveitamento ocorre por meio da conversão da energia cinética de translação em energia cinética de rotação, com o emprego de turbinas eólicas, também denominadas aerogeradores, para a geração de eletricidade, ou cata-ventos e moinhos, para trabalhos mecânicos como bombeamento d'água (ANEEL, 2006).

O uso do vento para fins elétricos é relativamente recente, data de finais do século XIX na Dinamarca e nos EUA, com a utilização de máquinas que geravam eletricidade a partir do vento, ou aerogeradores (TESTER et al., 2005). A eletricidade com fins comerciais, nos moldes dos dias atuais, data também dos finais do século XIX. Após um século, quando a eletricidade já era fornecido em grande escala por combustíveis fósseis, acontece a crise do petróleo de 1973, levando o governo dos EUA a apoiar a pesquisa e o desenvolvimento da energia eólica.

A energia eólica é hoje em dia vista como uma das mais promissoras fontes de energia renováveis, caracterizada por uma tecnologia madura baseada principalmente na Europa e nos EUA (CASTRO, 2003). O aproveitamento da energia eólica para geração elétrica tem crescido exponencialmente no mundo nos últimos anos. A maior parte dos parques eólicos está instalada em terra (onshore), porém vários parques têm sido implantados no mar (offshore), devido à diminuição de locais apropriados em terra para novos empreendimentos (notadamente na Europa) e pelo bom potencial, apesar de apresentarem maiores custos (CASTRO, 2003).

Segundo a Organização Mundial de Meteorologia (OMM), em apenas 13% da superfície terrestre, o vento apresenta velocidade média igual ou superior a  $7 \text{ m.s}^{-1}$ , em uma altura de 50 m. Essa proporção varia muito entre regiões e continentes, chegando a 32% na Europa Ocidental. Para que a energia eólica seja considerada tecnicamente aproveitável, é necessário que sua densidade seja maior ou igual a  $500 \text{ W/m}^2$ , a uma altura de 50 m, o que requer uma velocidade mínima do vento de 7 a  $8 \text{ m.s}^{-1}$  (GRUBB; MEYER, 1993).

## 2.2 Formação dos Ventos

O vento é provocado pelo aquecimento desigual das superfícies da terra pelo sol, portanto, a energia eólica é uma forma de energia solar. O aquecimento diferenciado das regiões, e em específico da atmosfera, provoca gradientes de pressão que são responsáveis por movimentos da massa de ar. Além das diferenças de pressão, o vento é influenciado por mecanismos complexos que envolvem a rotação da Terra (efeito Coriolis), os efeitos físicos de montanhas, e outros eventuais obstáculos, e da rugosidade dos terrenos (TOLMASQUIM, 2016).

De acordo com CASTRO (2008), os ventos mais fortes, mais constantes e mais persistentes ocorrem em bandas situadas a cerca de 10 km da superfície da terra. Como não é possível colocar os conversores eólicos nessas zonas, o espaço de interesse encontra-se limitado a algumas dezenas de metros na atmosfera. A estas alturas, o vento é diretamente afetado pela fricção na superfície, o que provoca uma diminuição na sua velocidade (CASTRO, 2003).

Segundo CARNEIRO (2013), as massas de ar mais quentes, por serem menos densas do que o ar frio, sobem na atmosfera a uma altitude de 10 km aproximadamente e geram zonas de baixa pressão junto à superfície da terra. Como consequência, massas de ar

frio deslocam-se para essas zonas de baixa pressão e dão origem ao vento, Figura 1 (CARNEIRO, 2013).

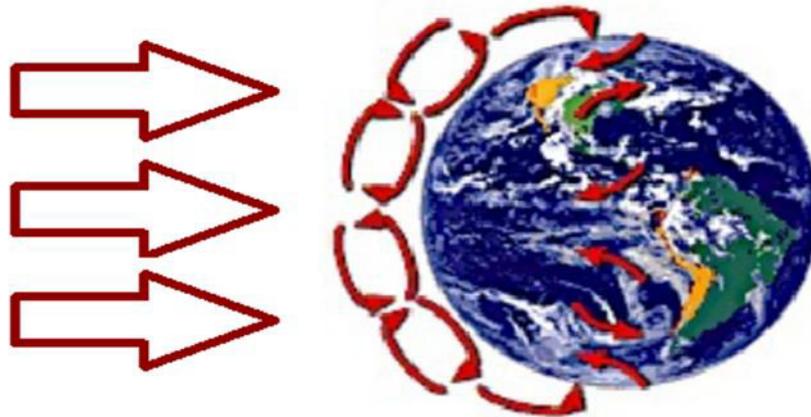


Figura 1: Formação dos ventos devido ao deslocamento das massas de ar. (Fonte: Adaptado de CARNEIRO, 2013).

A fonte eólica é responsável somente por uma pequena parte da energia elétrica produzida no mundo, cerca de 3% do total gerado em 2014 (TOLMASQUIM, 2016). Contudo, a expectativa é que ela possa garantir, até 2020, 12% das necessidades mundiais de eletricidade, gerando 1,7 milhões de empregos, tendo como efeito a redução da emissão de dióxido de carbono, em mais de 10 bilhões de toneladas (JACINTO, 2016). A Dinamarca, por exemplo, foi capaz de suprir 39% da sua demanda de eletricidade em 2014 com energia proveniente do vento (GWEC, 2015). A participação da energia eólica na matriz brasileira deve continuar em forte crescimento, a fonte terá expansão de 62% em comparação ao ano de 2014, com acréscimo de 3.016 MW.(MME, 2015)

De acordo com JÚNIOR (2015), a energia disponível varia conforme as estações e as horas do dia. O relevo influencia na distribuição e frequência dos ventos, bem como sua velocidade em um determinado local, dependendo, além disso, para o aproveitamento da energia eólica numa região, das características de desempenho, altura de operação e espaçamento horizontal dos sistemas de conversão. A avaliação do potencial de vento de uma região é fundamental e primeiro passo de análise para a utilização do recurso eólico (JÚNIOR, 2015).

### 2.3 Potencial Eólico

Para avaliar o potencial eólico de uma determinada região, é necessário fazer um levantamento sobre as condições dos ventos existentes na localidade. No contexto da energia elétrica, são de importante influência os ventos regionais, que são aqueles caracterizados por

brisas marítimas e terrestres, ventos em vales e montanhas, nevoeiros, temporais e tornados. Esses fenômenos caracterizam os ventos de determinadas regiões tanto pela velocidade quanto pela disponibilidade do recurso, podendo fornecer características bastante particulares que viabilizam o uso do recurso eólico para fins elétricos com mais confiança e retorno. Em geral, as regiões onde se pode encontrar maior disponibilidade e qualidade do recurso eólico são as regiões costeiras e montanhosas (CAILLÉ et al., 2007; TESTER et al., 2005).

A recente disponibilidade de dados precisos de vento no Brasil indica a existência de ventos com velocidades médias altas, pouca variação nas direções e baixa turbulência durante todo o ano, comprovando, dessa forma, a existência de um gigantesco potencial comercial de aproveitamento eólico, ainda não explorado, especialmente na região litorânea (SILVA, 2006).

Através das turbinas eólicas, a energia cinética contida no vento é convertida em energia mecânica pelo giro das pás do rotor e transformada em energia elétrica pelo gerador. As turbinas eólicas se encontram inseridas na camada superficial da atmosfera, utilizando a energia do vento em uma ampla faixa de alturas (MARTINS et al., 2008). Hoje em dia, a energia eólica é cada vez mais utilizada para produzir eletricidade, seja para utilização local descentralizada, por exemplo em lugares isolados, seja em grandes “parques eólicos”, constituídos por vários aerogeradores ligados à rede elétrica (CARNEIRO, 2013).

Segundo o Atlas do Potencial Eólico Brasileiro (AMARANTE et al., 2001), o potencial eólico brasileiro, foi calculado através dos dados de medições dos ventos obtidos em todas as regiões do país, incluindo fatores como a altitude, tomando 50 m como valor de referência, densidade média de ocupação de terreno de 2 MW/km<sup>2</sup> e um fator de disponibilidade de 0,98. Ainda de acordo com o Atlas, considerando os valores médios dos ventos, que forma acima de 6 m.s<sup>-1</sup>, e sua distribuição, identificando a extensão territorial em que ocorreram os ventos, foi possível determinar o potencial instalável de eólicas estimado de 143 GW (AMARANTE et al., 2001).

Nos últimos anos a energia eólica experimentou um exponencial e virtuoso crescimento no Brasil. Em 2014, quando a potência total de energia eólica instalada era 5,97 GW, o Brasil elevou sua capacidade em 46%, maior crescimento frente às outras potências eólicas, em 2015 foram 21,37 TWh de geração de energia eólica, significando um aumento de cerca de 80% em relação a 2014 e apresentando recordes expressivos, como o de novembro, quando instantaneamente 10% de todo o Sistema Interligado Nacional – SIN foi abastecido por energia proveniente da força dos ventos (ABEEÓLICA, 2015).

Em termos de representatividade e abastecimento, a fonte eólica foi responsável por 4% na média de toda a geração de energia injetada no Sistema Interligado Nacional - SIN. (ABEEÓLICA, 2015)

A Figura 2, ilustra um gráfico com a geração média verificada em 2015 (ABEEÓLICA, 2015).



Figura 2: Gráfico da geração média de energia eólica de 2015

(Fonte: CCEE\*/ABEEólica \*Câmara de Comercialização de Energia Elétrica, 2015)

## 2.4 Aspectos Socioambientais

A geração de energia através do aproveitamento da força dos vento é geralmente benéfica para a sociedade e para o meio ambiente pois, é limpa, não deriva da queima de fósseis e não emite gases de efeito estufa (GEE). As emissões de GEE no ciclo de vida da geração eólica são estimadas em no máximo 90 g CO<sub>2</sub>eq/kWh, enquanto do carvão podem ultrapassar 1.750 g CO<sub>2</sub>eq/kWh e da geração oceânica 20 g CO<sub>2</sub>eq/kWh, as fontes de geração que mais e menos emitem, respectivamente (TOLMASQUIM, 2016).

Um aerogerador de 600 kW, por exemplo, instalado em uma região favorável poderá, dependendo do regime de vento e do fator de capacidade, evitar a emissão de 20.000 a 36.000 toneladas de CO<sub>2</sub>, equivalentes à geração convencional, durante seus 20 anos de vida útil estimada (EWEA, 2000). Em 2015, o setor eólico brasileiro foi responsável pela geração

de 21,37 TWh, evitando a emissão de 10,42 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub>, Figura 3, o equivalente à emissão anual de cerca de 7 milhões de automóveis. (ABEEÓLICA, 2015)

Um outro efeito benéfico da geração de energia através da fonte eólica, consiste na possibilidade de compatibilização do uso do solo com outros usos, como a agricultura e a criação de gado, permitindo a convivência harmônica dessa nova atividade com atividades tradicionais, diminuindo a interferência na dinâmica sociocultural local, e de possibilitar a injeção de investimentos em localidades economicamente estagnadas fomentando a economia e trazendo benefícios para região.

Outro ponto positivo é que com o desenvolvimento e ampliação da indústria nacional que serve de base para a energia eólica há também o aumento da oferta de empregos no país, estejam eles ligados direta ou indiretamente a essa atividade. (TOLMASQUIM, 2016).

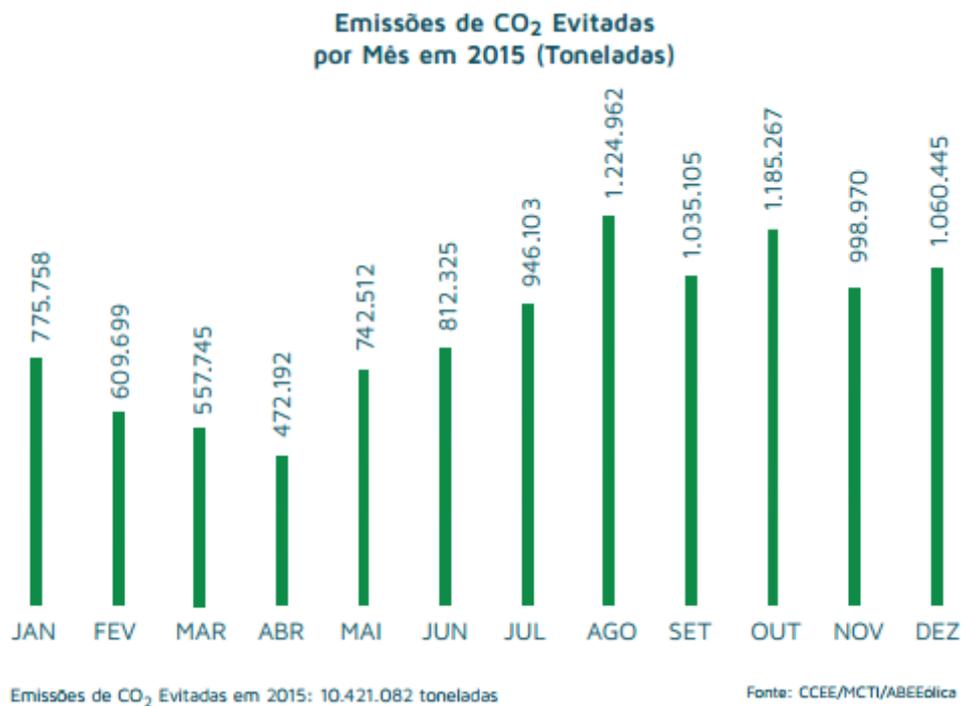


Figura 3: Gráfico da emissões de CO<sub>2</sub> evitada pela fonte eólica a cada mês em 2015 (Fonte:CCEE\*/ABEEólica \*Câmara de Comercialização de Energia Elétrica, 2015)

Grande parte dos parques eólicos fica em regiões pobres, com baixo Índice de Desenvolvimento Humano (IDH), e a entrada de grandes grupos empresariais nessas regiões, com políticas de responsabilidade social, atendendo a medidas compensatórias incluídas nas licenças, está possibilitando o desenvolvimento socioeconômico dessas comunidades carentes. Segundo dados da Associação Brasileira de Energia Eólica(ABEEÓLICA), em 2015

foram investidos cerca de R\$ 500 mil em projetos socioambientais somente em alguns locais do Rio Grande do Sul, Piauí e Rio Grande do Norte, que beneficiaram 5 mil pessoas.

Embora à energia eólica esteja relacionada a uma série de benefícios socioambientais significativos, existem outros aspectos que não podem ser ignorados. O Ministério do Meio Ambiente (MMA) conduziu, em 2009, uma pesquisa com órgãos licenciadores de empreendimentos eólicos onde foram listados os principais impactos potenciais relacionados com a fonte eólica, entre outros temas: a interferência direta na fauna devido a colisão de aves com as pás dos aerogeradores; produção de ruído relacionado com o movimento das pás no ar; alteração na paisagem em locais de grande beleza cênica e/ou em lugares turísticos. Vale ressaltar que a magnitude dessas perturbações variam de acordo com as características da região dos sítios de implantação dos parques eólicos.

## **2.5 Aproveitamento da Energia Eólica**

Inicialmente a força dos ventos era principalmente usada como fonte de energia, na moagem de grãos, serrarias e bombeamento d'água. A utilização do vento com a finalidade de geração de energia se tornou relevante durante os anos de 1990 devido a avanços tecnológicos importantes, aparecimento significativo de fabricantes e das preocupações ambientais com o foco nas emissões de gases de efeito estufa. (TOLMASQUIM, 2016).

O aproveitamento dos ventos na produção de energia eólica é feito pela conversão da energia cinética através dos aerogeradores, que são equipamentos de até 120 metros de altura compostos essencialmente de uma torre, um gerador elétrico e uma hélice. O vento faz com que as pás girem e esse movimento é transformado em energia elétrica pelo gerador (TOLMASQUIM, 2016). A mensuração das condições climáticas, localização e destinação, propiciam um melhor rendimento final (JÚNIOR, 2014).

Para que a energia eólica seja considerada tecnicamente aproveitável, é necessário que sua densidade seja maior ou igual a  $500 \text{ W/m}^2$ , a uma altura de 50 m, o que requer uma velocidade mínima do vento de 7 a 8 m/s (BRACKMANN et al, 2009).

Os parques eólicos podem ser separados em dois tipos, conforme a localização da instalação, em onshore (na terra) ou offshore (no mar). Cada local apresenta características e comportamento diferentes, portanto turbinas diferenciadas podem aproveitar o máximo do potencial energético de cada sítio (TESKE, 2013).

Nos últimos anos o tamanho médio das torres eólicas, Figura 4, cresceu substancialmente, representando em termos de eficiência, fatores de capacidade superiores a

50%, número maior se comparado aos anos de 1980 que alcançavam no máximo 40% (TESKE, 2013).

Torres eólicas podem ser instaladas em áreas costeiras com maior abundância de ventos ou distantes do litoral. As eólicas offshore geram até mais energia do que os parques instalados em terra e os mais recentes desenvolvimentos tecnológicos focam tal potencial. Na Europa, as eólicas offshore já representam cerca de 10% do mercado de energia eólica (EWEA, 2008). Além de captar ventos mais fortes, países ou regiões com baixo potencial eólico onshore ou com limitações do uso da terra se beneficiam dessa categoria de torres (TESKE,2013).

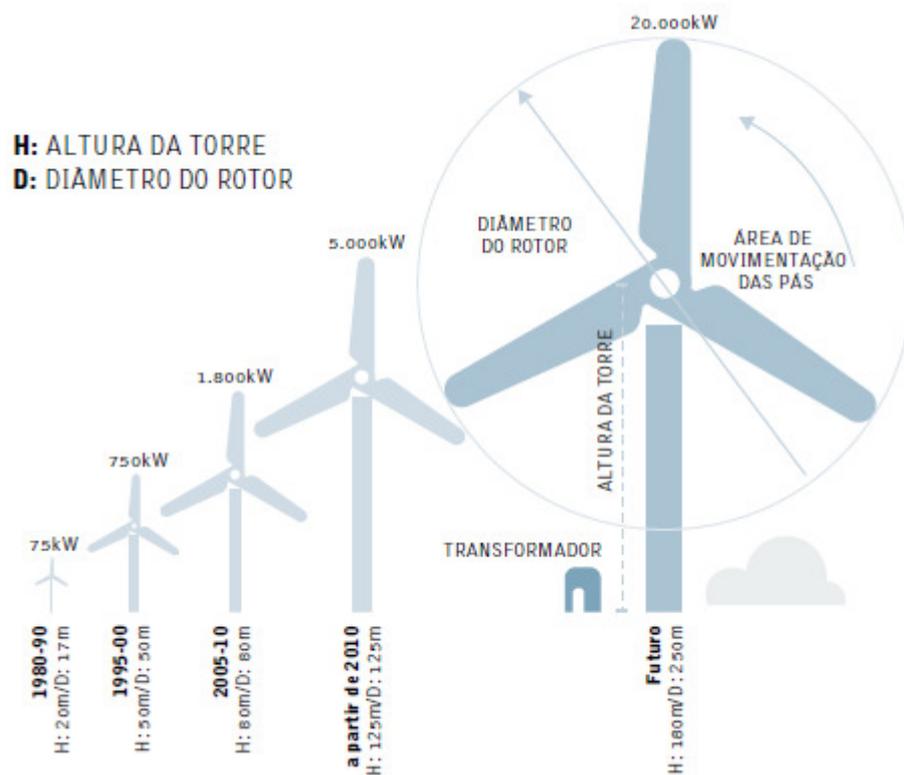


Figura 4: Evolução tecnológica das turbinas eólicas comerciais  
(Fonte: IPCC, 2012)

Antes de iniciar qualquer projeto voltado para aproveitamento da energia eólica, faz-se necessário a realização de análises detalhadas do comportamento do vento para identificar as áreas mais adequadas para captação dessa energia. A variação da velocidade do vento é registrada pelo anemômetro, de tal forma que o traçado por ele produzido conduz ao

conhecimento das velocidades máximas, mínimas e médias além do tempo de duração do vento de determinada intensidade (EPE, 2009).

De acordo com o MME – MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (2007), uma característica importante do vento, da perspectiva do seu potencial para conversão em trabalho útil, é a variabilidade de sua velocidade. O vento pode, de um momento para outro, variar sua velocidade de zero a 100 km/h e, em seguida, baixar para 10km/h ou voltar a zero novamente. O tamanho dessas variações, assim como sua frequência, dependerá da "tempestuosidade" do vento, durante o intervalo de tempo de medida da velocidade.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

Essa pesquisa foi desenvolvida no Centro de Ciências Agrárias e Ambientais (CCAA) da Universidade Federal do Maranhão (UFMA), Campus IV, na cidade de Chapadinha/MA, que está localizada entre as coordenadas geográficas de latitude 3° 44' S e longitude 44° 21' W a 110m acima do nível do mar. A localidade estudada foi o Farol de Santana, município de Humberto de Campos/MA, que possui as seguintes coordenadas geográficas: latitude 2°17'53"S, longitude 43°39'44"W, ao nível do mar.

A pesquisa traz uma alternativa energética que não agride o meio ambiente, e que pode se consolidar como uma importante matriz energética sustentável para o Brasil. Abrange o município de Humberto de Campos, localizado no estado do Maranhão, que possui uma área 2.131,247, com uma população estimada em 2016 de aproximadamente 28.250 mil habitantes segundo o último senso realizado pelo IBGE em 2010.

Esta a 86 km da Capital São Luís. O Estado do Maranhão possui cinco Mesorregiões Geográficas, subdivididas em 21 Microrregiões, onde estão inseridos seus 217 municípios, conforme os limites municipais estabelecidos de acordo com a resolução IBGE N° 05 de 10 de outubro de 2002. A cidade de Humberto de Campos está situada na Mesorregião Norte Maranhense e na Microrregião dos Lenções Maranhenses, faz limites ao norte com o Oceano Atlântico, ao sul com os municípios de Morros e Belágua, a leste com o município de Icatú e a oeste com Primeira Cruz.

Os dados obtidos do município de Humberto de Campos, entre o período de 2009 a 2013, foram tabulados na Universidade Federal do Maranhão, no Centro de Ciências Agrárias e Ambientais (CCAA), com o auxílio de um microcomputador e do software Excel 2010 utilizados para tratamento dos dados meteorológicos, elaboração de todos os gráficos e figuras, e para a verificação e análise da possibilidade de utilizar um sistema eólico decorrente do comportamento dos ventos no município.

Foram tabulados os dados da precipitação total mensal e médias mensais de velocidade e direção do vento, de acordo com os dados fornecidos pelo 2° DISME/INMET (Distrito Meteorológico/Instituto Nacional de Meteorologia). O sensor responsável por medir

a velocidade e a direção do vento encontra-se a 10m de altura, localizada na estação meteorológica A217 – Farol de Santana com as seguintes coordenadas 2° 27’S 43° 62’.

Segundo MIALHE (1980), no processo de determinação do potencial eólico para bombeamento de água, estima-se:

Recurso Eólico: neste, fez-se uma coleta de dados da velocidade do vento média mensal diária fornecido pela estação meteorológica do local ou próxima a este. Desenha-se o gráfico da velocidade eólica mensal e potencial eólico.

O potencial eólico “P” disponível do vento é obtido pela Equação 01:

$$\frac{P}{A} = k * V^3 \quad \text{onde,}$$

P/A = Potencial eólico (W/m<sup>2</sup>);

k = Valor tabelado;

V = Velocidade do vento (m/s).

A variável "k" é um valor tabelado a ser empregado no cálculo do potencial eólico para diferentes unidades de P (potência eólica), A (área) e V (velocidade do vento).

Na Tabela 01 estão dispostos os valores da Constante de Proporcionalidade (k) utilizados no cálculo de potencial eólico das diferentes unidades de P, A e V.

Tabela 1: Valores da Constante de Proporcionalidade (k) para o cálculo do Potencial Eólico para diferentes unidades de Potência, Área e Velocidade do Vento.

<b>Unidade de Potência</b>	<b>Unidade de Área</b>	<b>Unidade de Velocidade</b>	<b>Valor de k</b>
Cv	m <sup>2</sup>	m/s	0,0008766565
KW	m <sup>2</sup>	m/s	0,0006449924
KW	m <sup>2</sup>	km/h	0,0000138244
Hp	ft <sup>2</sup>	m.p.h.	0,0000071316
KW	ft <sup>2</sup>	m.p.h.	0,0000053215

Fonte: Maquinas Motoras na Agricultura, MIALHE 1980.

A direção predominante foi verificada pela observação da frequência dos dados obtidos de direção predominante dos ventos da região no período analisado.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Precipitação Pluviométrica e Velocidade do Vento

Os dados correspondentes a velocidade média mensal do vento e a precipitação pluviométrica total mensal no intervalo dos anos de 2009 a 2013, na Figura 5 e Quadro 1, possibilitam observar que para a região do Farol de Santana no município de Humberto de campos, o período de maior incidência de precipitação ocorreu entre janeiro e julho, época corresponde as estações de verão e outono, e que coincidiram com a menor velocidade dos ventos, de acordo com o Quadro 2. As mais baixas velocidades dos ventos ocorreram nos meses de abril e maio, com  $2,62 \text{ m.s}^{-1}$  e  $2,64 \text{ m.s}^{-1}$ , respectivamente. A partir do mês de julho ocorreu um aumento gradativo da velocidade do vento até atingir seu ápice no mês de setembro com  $4,14 \text{ m.s}^{-1}$  e nos meses seguintes houve uma pequena redução com dezembro apresentando  $3,75 \text{ m.s}^{-1}$ .

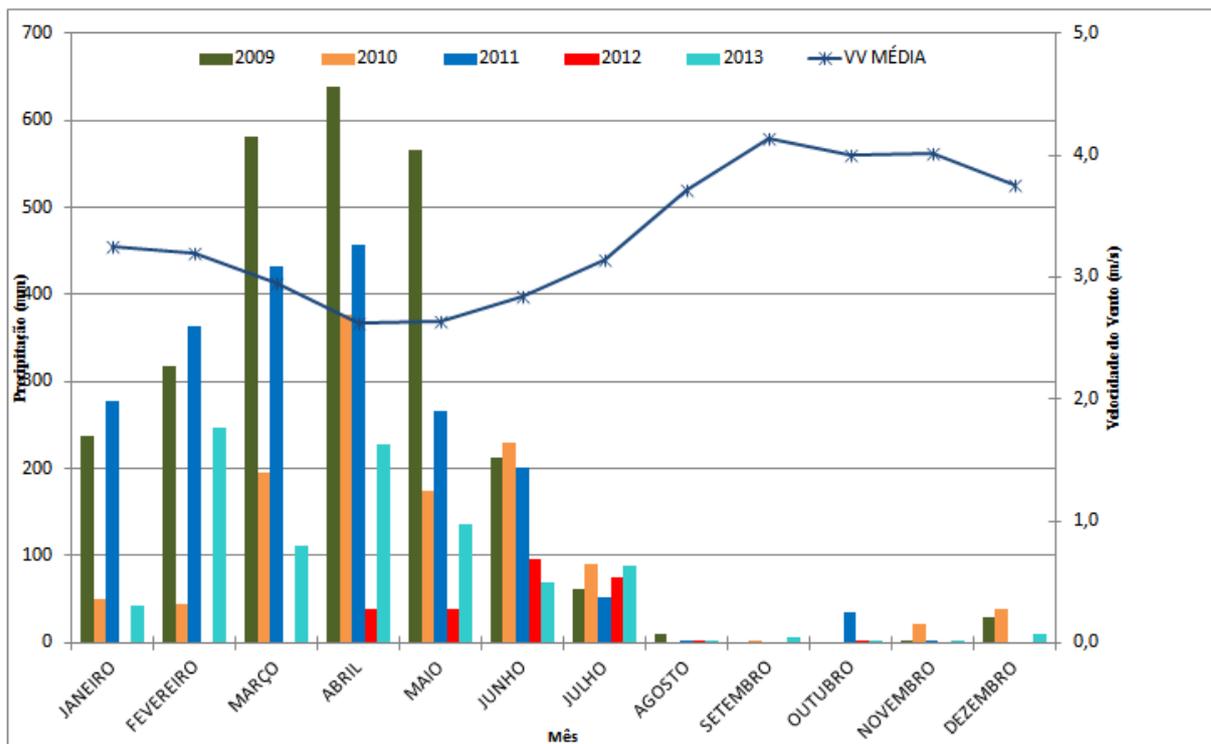


Figura 5: Média mensal da velocidade do vento e precipitações totais mensais referentes ao intervalo entre os anos 2009 e 2013 coletados no Farol de Santana, município de Humberto de Campos.

Observa-se que no período em que houve baixas precipitações ocorreram as maiores médias de velocidade do vento, dados que podem ser melhor observados na Figura 5 onde a velocidade média e a precipitação estão associados.

O resultado obtido na região do Farol de Santana, no município de Humberto de Campos é semelhante com o obtido por Costa (2016) e Jacinto (2016), que analisaram os dados de ventos para a região de São Luís e Barreirinhas, respectivamente. Concluíram que, o período de maior precipitação é de janeiro a junho para ambos os municípios e para a velocidade média dos ventos, as maiores velocidades ocorreram de setembro a dezembro. Estes resultados corroboram com os resultados encontrados no Farol de Santana.

Quadro 1: Precipitação total mensal no intervalo dos anos de 2009 e 2013 no Farol de Santana, município de Humberto de Campos.

MÊS	PRECIPITAÇÃO PLUVOMETRICA (mm)					Média (mm)
	2009	2010	2011	2012	2013	
JAN	238	50	277	—	43	152,00
FEV	317	45	363	—	247	243,10
MAR	581	196	432	—	112	330,05
ABR	638	377	458	38	228	347,84
MAI	566	174	266	39	136	236,28
JUN	212	229	202	96	70	161,68
JUL	61	90	52	75	88	73,28
AGO	11	0	1	2	2	3,04
SET	0	3	0	0	7	1,84
OUT	0	0	34	0	0	6,96
NOV	0	21	1	0	2	4,84
DEZ	28	38	—	0	10	19,25

Entre os meses de janeiro e junho ocorrem os maiores índices pluviométricos e os menores valores de velocidade do vento. Os meses de julho a dezembro, por apresentarem menores valores de precipitação e maiores valores de velocidade média mensal do vento, tornam-se o período ideal para o aproveitamento do potencial do sistema eólico de produção de energia.

Para a região de Humberto de Campos esses resultados demonstram uma grande possibilidade de uso desse elemento como fonte de energia alternativa, uma vez que durante os seis meses do período de baixo índice de precipitação, há uma maior velocidade média dos ventos, potencializando o sistema eólico.

A tecnologia de aproveitamento da velocidade dos ventos nos permite um melhor aproveitamento desta fonte de energia renovável para transformá-las em outras formas de energia como a mecânica que, em geral, é utilizada para tarefas de bombeamento de água; e principalmente serve para transformar em energia elétrica com suas inúmeras utilizações.

#### **4.2 Velocidade do Vento e Potencial Eólico**

Analisando o Quadro 2 e a Figura 6, é possível observar que o potencial eólico atingiu o maior valor em setembro, quando a velocidade do vento atingiu 4,14 m/s correspondente a um potencial de  $45 \text{ W.m}^{-2}$ , sendo também o mês que apresentou a menor precipitação do ano, como pode ser observado no Quadro 1; seguido pelo mês de novembro com  $4,02 \text{ m.s}^{-1}$  com potencial de  $42 \text{ W.m}^{-2}$ . Os resultados obtidos são relativamente melhores e mais expressivos quando comparados com os dados conseguidos por Costa (2016) em que o potencial eólico alcançou o valor máximo de  $15,73 \text{ W.m}^{-2}$  e velocidade do vento de  $2,9 \text{ m.s}^{-1}$  no mês de novembro em São Luís/MA; porém um pouco abaixo dos dados conseguidos por Jacinto (2016), que apresentam velocidade do vento de  $4,9 \text{ m.s}^{-1}$  e potencial eólico de  $75 \text{ W.m}^{-2}$  para o mês de outubro em Barreirinhas/MA.

O potencial eólico do Farol de Santana, varia de  $11 \text{ W.m}^{-2}$  ( $2,64 \text{ m.s}^{-1}$ ) no mês de maio, a  $45 \text{ W.m}^{-2}$  ( $4,14 \text{ m.s}^{-1}$ ) no mês de setembro, que é consideravelmente melhor que Costa (2016), que variou de  $0,67 \text{ W.m}^{-2}$  ( $1,0 \text{ m.s}^{-1}$ ) em maio a  $15,73 \text{ W.m}^{-2}$  ( $2,9 \text{ m.s}^{-1}$ ) em novembro; e muito próximo em relação a Jacinto (2016), que variou de  $11 \text{ W.m}^{-2}$  ( $2,6 \text{ m.s}^{-1}$ ) em maio a  $75 \text{ W.m}^{-2}$  ( $4,9 \text{ m.s}^{-1}$ ) em outubro. Esses resultados demonstram uma melhor perspectiva de aproveitamento do potencial eólico no Farol de Santana quando comparado com os resultados obtidos em São Luís e muito próximo em relação a Barreirinhas, tornando a região do Farol de Santana uma faixa intermediária de potencial eólico na costa leste maranhense.

Quadro 2: Velocidade média mensal do vento e potencial eólico no intervalo de anos de 2009 a 2013 no Farol de Santana, município de Humberto de Campos.

MÊS	VELOCIDADE MÉDIA MENSAL DO VENTO (m/s)						PE (W/m <sup>2</sup> )
	2009	2010	2011	2012	2013	Média	
JAN	3,3	3,4	2,9	—	3,4	3,25	22,14138
FEV	2,8	3,9	2,7	—	3,4	3,20	21,135111
MAR	2,7	3,3	2,5	—	3,3	2,95	16,558487
ABR	2,2	2,7	2,3	3,2	2,7	2,62	11,600013
MAI	1,8	2,8	2,2	3,5	2,9	2,64	11,867695
JUN	2,6	2,5	2,8	3,3	3,0	2,84	14,774392
JUL	3,3	2,9	3	3,5	3,0	3,14	19,968413
AGO	3,8	3,7	3,7	3,7	3,7	3,72	33,203466
SET	4,4	4,2	3,9	4,1	4,1	4,14	45,767335
OUT	4,1	3,7	3,9	4,2	4,1	4,00	41,279514
NOV	4,4	3,9	4,1	3,8	3,9	4,02	41,901807
DEZ	4,0	3,4	—	3,8	3,8	3,75	34,013271

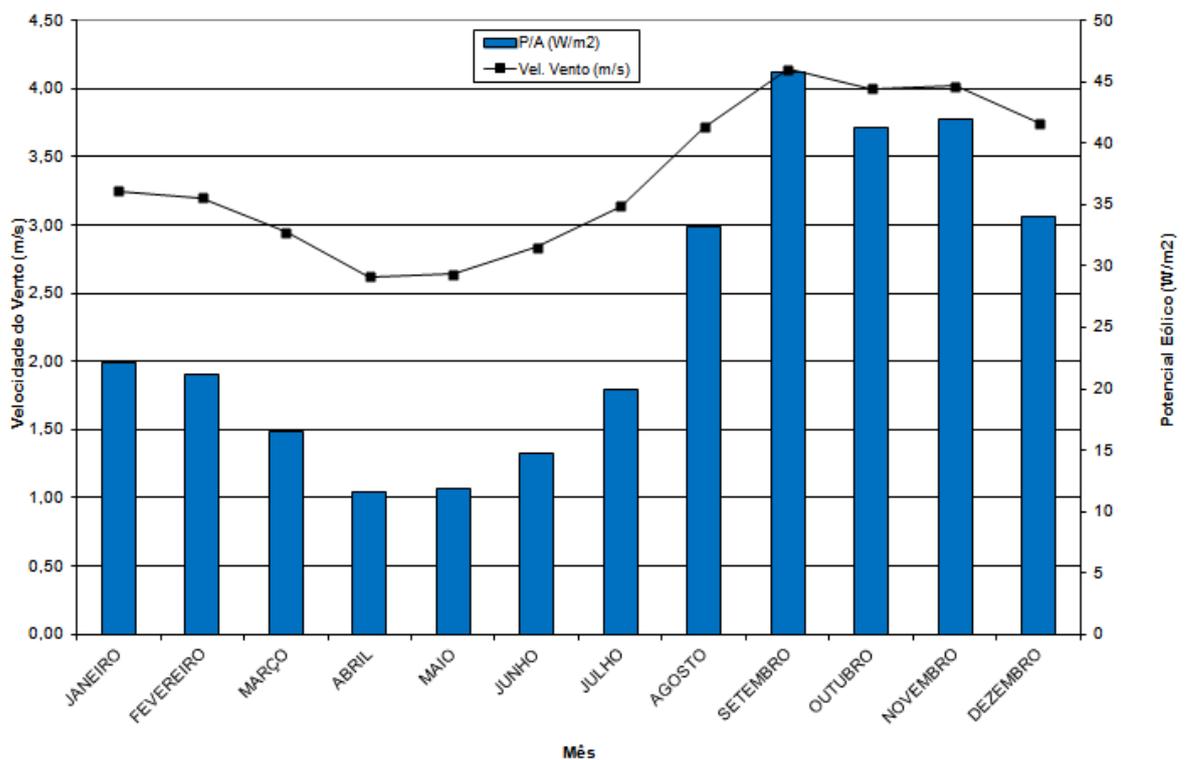


Figura 6: Média mensal da velocidade do vento e potencial eólico (PE) referentes ao intervalo dos anos de 2009 e 2013 coletados no Farol de Santana, município de Humberto de Campos.

### 4.3 Direção Dominante dos Ventos

Na região do Farol de Santana, de acordo com a análise dos dados de direção predominante dos ventos, no período entre os anos de 2009 e 2013 é possível afirmar que a direção predominante é a Nordeste, pois das 60 médias de direção dos ventos coletadas, 90% destes resultados ficou entre 67,5° e 90° que representa a direção Nordeste da Rosa-dos-Ventos, como é possível de ser observados no Quadro 3 e Figura 7.

Costa (2016), na análise feita para a São Luis/MA, observou que a direção predominante dos ventos é a Nordeste (NE); Jacinto (2016) obteve a direção predominante dos ventos para Noroeste (NO), na análise feita para região de Barreirinha/MA, divergindo da região do Farol de Santana.

No Farol de Santana, para se utilizar um cata-vento ou um aerogerador é necessário se colocar a estrutura no sentido perpendicular a direção predominante, de forma que fique frontal a direção Nordeste para haver melhor aproveitamento desta energia na região estudada.

Quadro 3: Direção média mensal predominante dos ventos no intervalo de anos de 2009 a 2013 no Farol de Santana, município de Humberto de Campos.

MÊS	DIREÇÃO PREDOMINANTE DO VENTO (°)				
	2009	2010	2011	2012	2013
<b>JANEIRO</b>	63	69	70	75	61
<b>FEVEREIRO</b>	72	71	87	66	69
<b>MARÇO</b>	74	67	96	67	59
<b>ABRIL</b>	119	89	119	64	67
<b>MAIO</b>	136	78	103	70	78
<b>JUNHO</b>	100	88	81	66	74
<b>JULHO</b>	79	80	76	70	76
<b>AGOSTO</b>	73	70	71	70	69
<b>SETEMBRO</b>	71	71	70	69	71
<b>OUTUBRO</b>	64	61	70	69	67
<b>NOVEMBRO</b>	68	64	72	63	68
<b>DEZEMBRO</b>	68	67	72	65	67

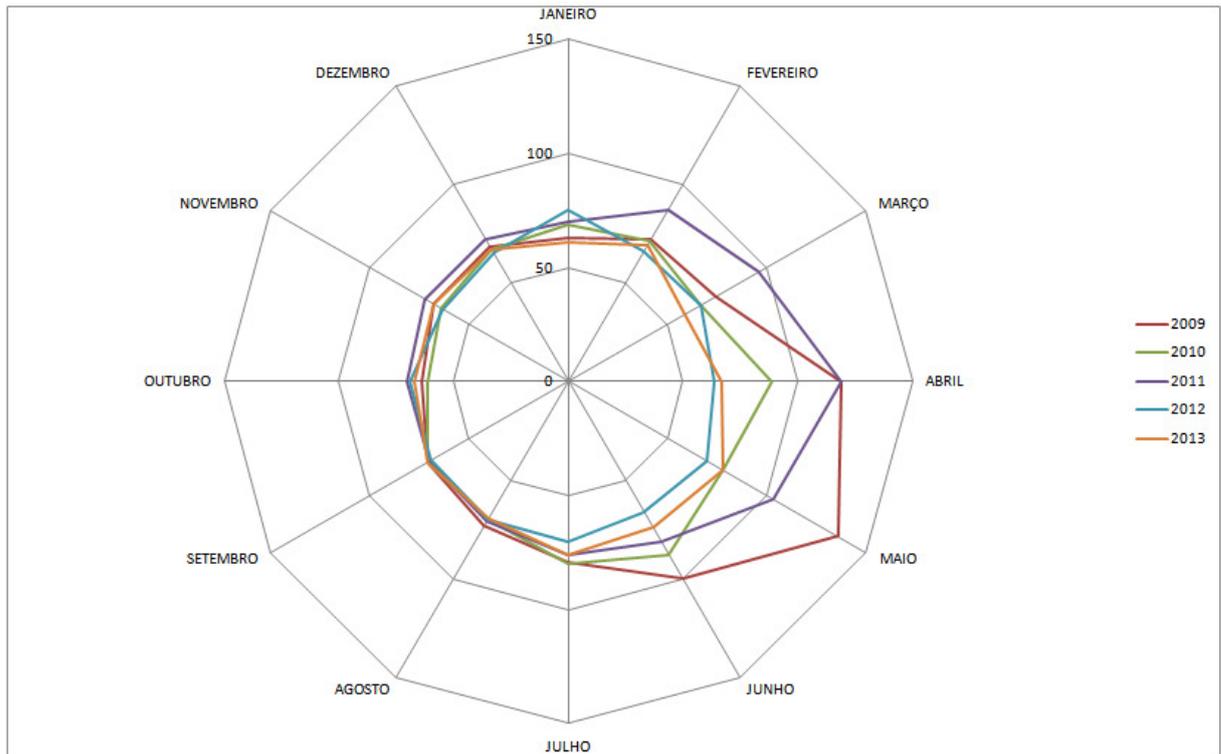


Figura 7: Direção média mensal em (graus) predominante dos ventos no intervalo dos anos de 2009 e 2013 coletados no Farol de Santana, município de Humberto de Campos.

## 5 CONCLUSÃO

Diante do objetivo proposto, é possível concluir que:

A velocidade média mensal predominante dos ventos no Farol de Santana, município de Humberto de Campos/MA, no intervalo de anos de 2009 a 2013 variam de 2,62 a 4,14 m.s<sup>-1</sup> a 10 m de altura.

O potencial eólico varia de 11,60 a 45,76 W.m<sup>-2</sup> nos meses de abril e setembro respectivamente. O período de maior potencial eólico ocorre no final do inverno e se estende por toda primavera, ocorre no período mais seco, ou seja, de menor índice pluviométrico que é de julho a dezembro.

O período de menor potencial eólico ocorre na metade do verão e se estende por todo outono, que compreende os meses de fevereiro a maio coincidindo com período de maior precipitação.

A direção predominante dos ventos de acordo com os dados analisados é a Nordeste (NE) para a região estudada.

Conclui-se que a região apresenta um bom potencial na produção de energia eólica.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABEAMA – Associação Brasileira De Energias Renováveis e Meio Ambiente. **Energia Eólica**.2007. Disponível em: <<http://www.abeama.org.br/pagina.asp?pag=ereolica>>. Acesso em: 25 de março de 2012.
- ABEOLICA (Associação Brasileira de Energia Eólica). **Boletim anual de geração eólica**: 2015. Bela Vista - São Paulo: Pigma Gráfica e Editora Ltda., 2015. 21p.
- AMARANTE, O.A.C., BROWER, M., ZACK, J., SÁ, A.L., **Atlas do Potencial Eólico Brasileiro**. Brasília: Brasil, 2001.
- AMÊNDOLA, César Augusto Moreira. **Contribuição ao estudo de aerogeradores de velocidade e passo variáveis com gerador duplamente alimentado e sistema de controle difuso**. 2007. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.
- ANEEL – AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Banco de informações de geração, 2006. Disponível em: [http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/energia\\_eolica/energia\\_eolica.htm](http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/energia_eolica/energia_eolica.htm) Acesso em: 14 maio de 2016.
- BRACKMANN, Rodrigo et al. Avaliação do potencial eólico do sul do Brasil. **Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais–CRS/INPE–MCT**, 2009.
- CAILLÉ, A. *et al.* 2007 Survey of Energy Resources. United Kingdom: World Energy Council, 2007. Disponível em: <<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.481.5707&rep=rep1&type=pdf>>. Acesso em: 3 ago. 2015.
- CAMARGO, Arilde Sutil Gabriel de. **Análise da operação das usinas eólicas de Camelinho e Palmas e avaliação do potencial eólico de localidades no Paraná**. 2005. Tese de Doutorado. Dissertação de Mestrado em Tecnologia. CEFET-PR. Curitiba.
- CAMPOS, F. G. de. Geração de energia elétrica a partir de fonte eólica com gerador assíncrono conectado ao conversor estático duplo. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2004. Disponível em:<<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3143/tde-25062004-130205/>>. Acesso em: 1 mar. 2007.
- CARNEIRO, Joaquim AO. Energia eólica. **Energia eólica**, 2013. Disponível em: <http://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/22408/1/Energia%20E%C3%B3lica.pdf>. Acesso em 10 de junho 2016.
- CASTRO, Rui MG; RENOVÁVEIS, Energias; DESCENTRALIZADA, Produção. Condições Técnicas e Económicas da Produção em Regime Especial Renovável. **Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior técnico, Lisboa**, 2003.
- CASTRO, Rui MG. **Energias renováveis e produção descentralizada–introdução à energia eólica**. Universidade técnica de Lisboa, 2008.

CAVALIERO, C. K. N. Inserção de mecanismos regulatórios de incentivo ao uso de fontes renováveis alternativas de energia no setor elétrico brasileiro e no caso específico da região amazônica. Campinas: FEM, UNICAMP, 1998. Dissertação (Mestrado) -Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 1998, 284p.

COPEL– Companhia Paranaense de Energia. **Projeto Eólico**, 2007. Disponível em: <http://www.copel.com/hpcopel/root/nivel2.jsp?endereco=%2Fhpcopel%2Froot%2Fpagcopel2.nsf%2F0%2F301DC3A7702B129303257405005C2FDB>. Acesso em: 23 de junho de 2016.

COSTA, RAQUEL FEITOSA. **Avaliação do potencial eólico do município de São Luís-MA**. 2016. 35 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Agronomia) – Universidade Federal do Maranhão – UFMA, Chapadinha, 2016.

CRESCERB – Centro de Referências Para Energia Solar E Eólica Sérgio de Salvo Brito. **Eólica**. 2012. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes>. Acesso em: 12 de janeiro de 2017.

DANISH WIND INDUSTRY ASSOCIATION. **Turbinas Eólicas**.2007.Disponível em:<<http://www.windpower.org>>. Acesso em: 07 nov. 2016.

DALMAZ, Alessandro et al. Estudo do potencial eólico e previsão de ventos para geração de eletricidade em Santa Catarina. 2007.

DA SILVA, Bernardo B. et al. Potencial eólico na direção predominante do vento no Nordeste brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 6, n. 3, p. 431-439, 2002.

DE OLIVEIRA, Luciana de Sousa. **Regras e boas práticas para instalação de torres anemométricas voltadas para estudo de potencial eólico**. 2011. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro

EPE – Empresa de Pesquisas Energéticas. **Análise do Mercado de Energia e Estatísticas**.2009. Disponível em: <http://www.epe.gov.br>. Acesso em: 01 julho de 2016.

EWEA - European Wind Energy Association. **Wind Energy and the Environment 2000e**. Disponível em :< <http://www.ewea.org>> (consultado em 2016).

European Renewable Energy Council, 2008. Renewable energy technology roadmap. 20% 2020.

GRUBB, MICHAELJ. SYSTEMS, AND REGIONAL STRATEGIES.**Renewable energy: sources for fuels and electricity**, v. 157, 1993. Disponível em: [http://www.windpower.org/da/om\\_os/om\\_os.html](http://www.windpower.org/da/om_os/om_os.html). Acesso em: 8 de junho de 2016.

GRUBB, M. J; MEYER, N. I. Wind energy: resources, systems and regional strategies. In: JOHANSSON, T. B. et. al. Renewable energy: sources for fuels and electricity. Washington, D.C.: Island Press, 1993. cap. 3.

GWEC. Global Wind Energy Outlook 2014. [s.l.] GWEC, 2014. Disponível em: <[http://www.gwec.net/wp-content/uploads/2014/10/GWEO2014\\_WEB.pdf](http://www.gwec.net/wp-content/uploads/2014/10/GWEO2014_WEB.pdf)> . Acesso em: 12 jan. 2016.

IBGE. 2010. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Biblioteca virtual. Rio de Janeiro-RJ. Capturado em 20 jan. 2017. Online. Disponível na internet em <http://www.ibge.gov.br/cidadesat/xtras/perfil.php?codmun=210500>.

JACINTO, EDVANY DE ARAUJO SANTOS. **Determinação do potencial eólico do município de Barreirinhas-MA**. 2016. 35 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Agronomia) – Universidade Federal do Maranhão – UFMA, Chapadinha, 2016.

JÚNIOR, MOREIRA; DELGADO, FERNANDO. VIABILIDADE TÉCNICA/ECONÔMICA PARA PRODUÇÃO DE ENERGIA EÓLICA, EM GRANDE ESCALA, NO NORDESTE BRASILEIRO. 2014.

JÚNIOR, Geraldo Alves de Sousa. Energia Renovável: o potencial eólico como alternativa na matriz energética no Rio Grande do Norte. 2015.

MARTINS, F. R.; GUARNIERI, R. A.; PEREIRA, E. B. **O aproveitamento da energia eólica**. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 30, n. 1, p. 1304, 2008.

MIALHE, L. G. A energia dos ventos. In: **Máquinas motoras na agricultura**. v.1. São Paulo: EDUSP, 1980. v.1, p.74-93.

MILLAIS, C. Relatório Wind Force 12: segurança global a partir do vento. **Revista ECO**, v. 21, 2005.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **PLANO NACIONAL SOBRE MUDANÇA DO CLIMA – PNMC –**: Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br>>. Acesso em: 05 jun. 2016.

MARUYAMA, Flávio Minoru. **Arquitetura do plano preferencial de recursos para o setor elétrico no planejamento integrado de recursos energéticos**. 2013. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo

MME – MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Capacidade instalada de energia eólica deve crescer 62% em 2015. Disponível em <<http://www.mme.gov.br>>. Acesso em: 12 jan. 2016.

**Ministério de Minas e Energia & Empresa de Pesquisa Energética** – Brasil. *Matriz Energética Nacional 2030*. Brasília: MME : EPE, 2007.

PACHECO, Fabiana. Energias Renováveis: breves conceitos. Conjuntura e Planejamento, v. 149, p. 4-11, 2006.

SILVA, Neilton Fidelis da. Fontes de energia renováveis complementares na expansão do setor elétrico brasileiro: o caso da energia eólica. **Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro**, 2006.

SILVEIRA, Gilberto Pereira da et al. O papel da energia eólica no desenvolvimento econômico brasileiro. 2012.

SOBRINHO, E. N. M. **Avaliação do potencial eólico no município de Chapadinha-MA**. 2012. 39 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Agronomia) – Universidade Federal do Maranhão – UFMA, Chapadinha, 2012.

TESTER, Jefferson W. et al. Sustainable Energy: Choosing Among Options. 1st. 2005.

TESKE, Sven. [R] evolução energética: a caminho do desenvolvimento limpo. 2013.

TOLMASQUIM, Maurício Tiomno. Energia Renovável. Hidráulica, biomassa, eólica, solar, oceânica. **Empresa de Pesquisa Energética–EPE. Rio de Janeiro, 2016.**