



PREFEITURA DE

**CAMPOS**

SECRETARIA MUNICIPAL  
DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA  
E TECNOLOGIA

 **Mais  
Ciência**

# **Estudo do potencial eólico na localidade do Farol de São Thomé – Campos dos Goytacazes**

**Orientador(a): Gustavo Verçosa de Lima**

Bolsista: Grevi de Souza Bôa Morte

UNIVERSIDADE CÂNDIDO MENDES

2020



## SUMÁRIO

|                                                                |    |
|----------------------------------------------------------------|----|
| RESUMO .....                                                   | 3  |
| ABSTRACT .....                                                 | 4  |
| INTRODUÇÃO .....                                               | 5  |
| REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....                                    | 7  |
| A energia eólica .....                                         | 7  |
| Conceito e formação dos ventos .....                           | 7  |
| Equações fundamentais da energia eólica .....                  | 8  |
| Vantagens e desvantagens da exploração da energia eólica ..... | 9  |
| OBJETIVOS .....                                                | 10 |
| METODOLOGIA .....                                              | 10 |
| Pré-pandemia .....                                             | 10 |
| Pós-pandemia.....                                              | 15 |
| RESULTADOS .....                                               | 19 |
| CONCLUSÃO .....                                                | 19 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....                                | 21 |

## RESUMO

A busca por formas alternativas e sustentáveis de obtenção de energia é cada vez mais frequente, considerando que o uso de fontes não-renováveis causa danos à natureza, sendo ecologicamente insustentável, e ao homem (aquecimento global, poluição do ar e do ambiente, entre outros). Com a crescente relevância dos estudos sobre sustentabilidade e a preocupação com a preservação das condições climáticas do planeta, o uso da energia eólica ganha holofotes, já que utiliza o vento, comum em quase todo o lugar em diferentes intensidades. Com essa relevância, os custos para a utilização dessas novas formas de obtenção de energia diminuíram por conta de novas tecnologias e estudos na área, mas ainda é um investimento considerável. Destarte, torna-se necessário um estudo mais aprofundado do potencial eólico de uma localidade para verificar se de fato há viabilidade para a instalação de aerogeradores de pequeno, médio e/ou de grande porte. Este trabalho propõe a medição e análise da velocidade dos ventos na localidade de Farol de São Thomé, na cidade de Campos dos Goytacazes – RJ, para altura de 10 metros, em pontos estratégicos, a partir do atlas eólico nacional, estação meteorológica do heliporto local e medidas preliminares e de curto prazo já realizadas, com a utilização de anemômetro de copos para as medições. Estes dados demonstraram um possível potencial para a implementação deste tipo de sistema de geração de energia elétrica. Para a altura medida, foram encontrados ventos com uma velocidade média de aproximadamente 3 m/s, que implicam em projeções superiores a 4 m/s para alturas maiores. Vale ressaltar que, de acordo com o Atlas Eólico Nacional e a estação meteorológica da região, estas medições foram realizadas em períodos do ano com menor incidência de ventos, entre março e junho. Ainda assim, tais valores aproximam-se do mínimo ideal médio para a instalação de aerogeradores. Depreende-se, portanto, que a região possui características interessantes relativas à velocidade do vento que indicam a necessidade de estudos mais abrangentes a serem realizados, em termos de altura e localização na costa.

**Palavras-chave:** Energia Eólica, Potencial Eólico, Aerogeradores.

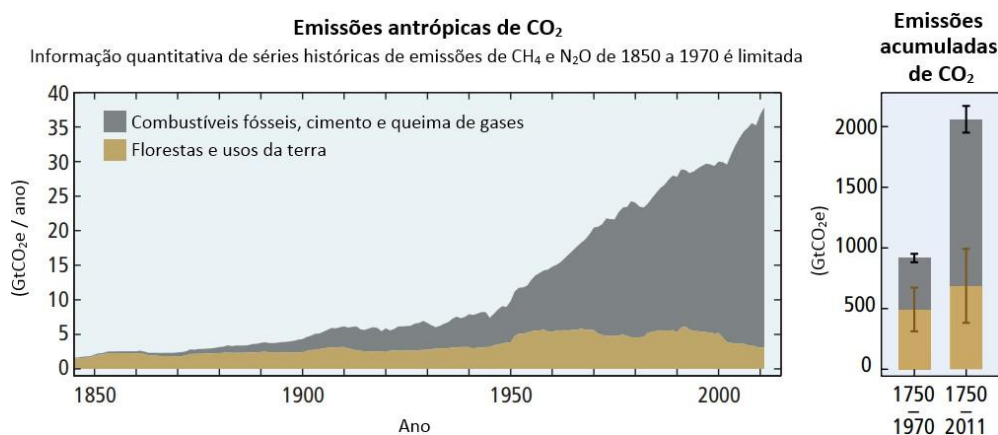
## ABSTRACT

The search for alternative and sustainable ways of obtaining energy is increasingly frequent, considering that the use of non-renewable energy sources harms nature, being ecologically unsustainable, and man (global warming, air and environmental pollution, amongst others). With the increasing relevance of studies about sustainability and worries about preserving the climatic conditions of the planet, the use of wind energy is highlighted, since it is universally common in different intensities. With such relevance, costs for implementing these new ways of obtaining energy have drastically reduced because of new technologies and studies, but it is still presented as a considerable cost. Thus, a more profound study of the wind potential of a location is needed, as to verify if there is indeed a viability for the installation of small, mid and/or large sized wind generators. This study utilizes data from previous studies already done in the location of Farol de São Thomé, in Campos dos Goytacazes city, Rio de Janeiro, for a 10-meter height, using cup anemometers for the measurements. These results, along with information obtained in the National Wind Atlas and with the meteorology station of the Farol de São Thomé heliport, show a possible wind potential for the implementation of a wind energy system. For the measured height, winds with an approximate speed of 3m/s were found and could reach up to 4 m/s with projections to ideal heights. It is worth noticing that, according to the National Wind Atlas and the meteorology station of the region, these measurements were taken in the least favorable period of the year, with less wind incidence. Still, these numbers are near ideal for the installation of wind generators. Thus, the region presents itself as an interesting place, wind speed wise, indicating the necessity of broader studies to be done, regarding height and placement along the coastline

## INTRODUÇÃO

A crescente necessidade de novas formas de obtenção de energia se deve ao reconhecimento, primeiro pela comunidade científica e depois pela maior parte da sociedade, de que o modelo de obtenção de energia por meio de fontes não-renováveis, principalmente combustíveis fósseis, é insustentável a longo prazo. Isto porque, majoritariamente, o consenso na comunidade científica é de que a principal causa para o aquecimento global é a emissão de gases de efeito estufa, notadamente o CO<sub>2</sub> (dióxido de carbono). Essas emissões são, em sua maioria (aproximadamente 80% dos casos), provenientes de queima de combustíveis fósseis.

Os outros 20% são provenientes de desmatamento de áreas verdes.<sup>1</sup>



Desta forma, buscando um modelo de obtenção de energia mais sustentável que possa permitir a perpetuação da civilização e do planeta, as fontes de energia sustentável e alternativas se tornam cada vez mais atrativas.

Dentre elas, pode-se citar a energia solar fotovoltaica, a energia nuclear, e a energia eólica. Apesar de ser uma fonte de energia renovável, estudos recentes indicam que a energia proveniente de hidrelétricas é responsável por emissão de gases do efeito estufa, como o gás carbônico e metano. Portanto, não se deve incluí-la como fonte de energia sustentável.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> <https://www.mma.gov.br/informma/item/4125-combustiveis-fosseis-sao-maiores-responsaveis-pelo-efeito-estufa> - acessado em 05/12/2019

<sup>2</sup> <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/10/12/124019/pdf> - acessado em 05/12/2019

O impulso para a obtenção de energia de forma sustentável está diretamente ligado à diminuição das emissões de gases de efeito estufa, em especial o dióxido de carbono. E para frear o aumento ou a manutenção de índices alarmantes de emissões destes gases, algumas iniciativas foram tomadas desde o início da década de 90 do século passado, quando países-membros da Organização das Nações Unidas se reuniram no Rio de Janeiro para a Rio-92.

A partir desta reunião, em 1994 entrou em vigor a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas, que estipulou as “responsabilidades comuns, porém diferenciadas”, em que países que mais emitiram gases de efeito estufa devem se comprometer a realizar um esforço maior em reverter os danos causados. O primeiro acordo internacional de fato sobre mudanças climáticas foi assinado em 1994, mas sem estipular metas de redução da emissão de dióxido de carbono. Após ele, surgiu o Protocolo de Quioto em 1997, mas só ratificado em 2005 pelo número mínimo de países para que pudesse começar a valer, estipulando metas de redução de emissões até 2012.

A Emenda de Doa foi assinada em 2013, dando início ao segundo período do Protocolo de Quioto, estipulando metas de redução da emissão de dióxido de carbono até 2020, sendo ratificada por 38 países desenvolvidos, incluindo a União Europeia.

Também com o objetivo de reverter o quadro de crise climática, o Acordo de Paris entrou em vigor em novembro de 2016, com ratificação de 55 países, que representam o mínimo de 55% das emissões mundiais de gases de efeito estufa.<sup>3</sup>

Todos estes acordos vão ao encontro da ideia de reversão da crise climática causada principalmente pela utilização de combustíveis fósseis para geração de energia. É por isso que é vital e o mais importante pilar na estratégia de redução das emissões de gases de efeito estufa a utilização de fontes de energia renováveis como a energia eólica. Desde antes de Cristo, a energia eólica é utilizada para impulsionar barcos e moinhos de vento. No século 11, a ideia de utilizar vento para beneficiar o homem começou a se espalhar, como no oriente médio, que possuía bombas de água movidas a vento que auxiliavam na produção de alimentos.

Mas o maior movimento em favor do uso da força dos ventos veio entre as décadas de 70 e 80, com a Crise do Petróleo que causou um baque na economia mundial

---

<sup>3</sup> <https://www.consilium.europa.eu/pt/policies/climate-change/international-agreements-climate-action/>

obrigando as economias dos países desenvolvidos e em desenvolvimento a pensar numa maior diversificação da matriz energética.

Com isto, tomando como exemplo os Estados Unidos, houve um enorme suporte à pesquisa e desenvolvimento de turbinas eólicas, fazendo com que, no início da década de 80, milhares de turbinas eólicas foram instaladas na Califórnia.<sup>4</sup>

No Brasil, em 1994 foi feita a conexão da primeira usina eólica ao sistema elétrico integrado, a Usina Eólico-Elétrica Experimental Morro do Camelinho. Hoje, o Brasil conta com aproximadamente 14 GW de capacidade instalada de energia eólica.<sup>5</sup>

Todas essas informações e dados corroboram a tese de que a energia eólica é uma das formas de obtenção de energia renovável mais eficientes e viáveis, apesar de um custo de instalação considerável que deve ser encarado como um investimento necessário, em um mundo onde a mudança de paradigma de uma matriz energética não-renovável para renovável é uma realidade.

## **REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **A energia eólica**

A energia eólica é uma das formas assumidas pela energia solar (Picolo, A. P.; Rühler, A. J.; Rampinelli, G. A.). Ela provém da radiação solar uma vez que os ventos são gerados pelo aquecimento não uniforme da superfície terrestre (CRESESB, 2008).

A energia eólica é uma forma convertida de energia solar, que é produzida pela fusão nuclear do hidrogênio em hélio em seu núcleo. A fusão acima descrita gera calor e colunas de radiação eletromagnética que se espalham por todas as direções partindo do sol. (TONG, Wei, 2010).

### **Conceito e formação dos ventos**

Alexander Kamilkov define vento como “ar atmosférico em movimento. É onipresente e um dos elementos básicos da física em nosso ambiente. Dependendo da

<sup>4</sup> <https://www.eia.gov/energyexplained/wind/history-of-wind-power.php> - acessado em 05/12/2019

<sup>5</sup> <http://agenciabrasil.ebc.com.br/economia/noticia/2018-11/producao-de-energia-eolica-no-pais-atinge-marca-de-14-gigawatts> - acessado em 05/12/2019

velocidade do ar em movimento, pode parecer leve e etéreo, sendo invisível ao olho nu e silencioso, ou pode ser forte e destrutivo, barulhento e visível devido aos destroços que carrega. A velocidade do vento define a sua força e está diretamente relacionada à quantidade de sua energia cinética.” (LETCHER, Trevor M., 2017).

A atmosfera terrestre não é igualmente atingida pelos raios solares que penetram a nossa atmosfera devido à inclinação e rotação do globo, tornando o aquecimento da superfície terrestre desigual e desequilibrado.

Porções da atmosfera terrestre, como nas zonas tropicais que são atingidas pelos raios solares quase sem inclinação, são mais aquecidas, fazendo com que as massas de ar atmosférico nessas regiões se tornem menos densas, elevando-as às camadas mais superiores. Com isto, o espaço desocupado é ocupado por massas de ar menos aquecidas. A estes deslocamentos damos o nome de ventos. (Picolo, A. P.; Rühler, A. J.; Rampinelli, G. A.).

### **Equações fundamentais da energia eólica**

Alexander Kamilkov detalha e cita, em obra editada por Trevor M. Letcher, as equações necessárias para alcançar o que ele chama de “equação fundamental da energia eólica”. (LETCHER, Trevor M., 2017)

A equação fundamental da energia eólica é a que nos responde quanta energia há no vento. A energia do vento depende de alguns fatores, como a quantidade de ar, a sua velocidade e sua massa.

A força do vento quantifica o montante de energia eólica fluindo por uma área de interesse por unidade de tempo. É, portanto, o fluxo de energia eólica passando por uma área de interesse.

Fluxo é um conceito fundamental da mecânica dos fluídos e dos fenômenos de transporte, medindo a taxa de escoamento de qualquer quantidade carregada pelo fluído em movimento por uma unidade de área.

Fluxo volumétrico seria, portanto, o volume que escoar por uma área de interesse por unidade de tempo e unidade de área.

Kamilkov descreve, então, que a taxa de escoamento ou fluxo da massa de um fluído é igual ao fluxo volumétrico multiplicado pela área da secção e pela densidade do fluído.

$$\frac{dm}{dt} = \rho \cdot A \cdot U$$

Em que  $\rho$  é a densidade do fluido,  $A$  é a área da secção por onde o fluido se movimento e  $U$  é o fluxo volumétrico.

A partir deste raciocínio, e considerando que a energia eólica é uma manifestação de energia cinética, definida pela fórmula:

$$Ec = \frac{1}{2} \cdot m \cdot U^2$$

Entende-se que a força do vento nada mais é do que a taxa de fluxo da energia cinética. Então, fazendo a substituição da massa pelo fluxo mássico, obtém-se:

$$P = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot U^3$$

Em que  $P$  é a força do vento,  $\rho$  é a densidade do fluido,  $A$  é a área da secção por onde o fluido se movimento,  $U$  é o fluxo volumétrico.

Para Kamilkov, a equação acima é a equação fundamental da energia eólica, pois quantifica e determina a força do vento.

Observa-se uma dependência crucial da velocidade do vento (fluxo volumétrico), considerando que, se dobrarmos a velocidade ou taxa, aumentamos em oito vezes o fluxo de energia eólica, ou força do vento, como definido pelo autor.

### **Vantagens e desvantagens da exploração da energia eólica**

Existem várias vantagens para a utilização da energia eólica como fonte de geração de energia elétrica: Provém de energia limpa; sustentabilidade; possibilidade de construção em quase qualquer lugar; compatível com o uso de terra para outros fins; segurança nacional; criação de empregos; entre outros.

Por outro lado, alguns desafios são apresentados quando da exploração desta fonte de energia, como a intermitência dos ventos; poluição sonora; perturbação da vida selvagem; custo inicial, entre outros. (LETCHER, Trevor M., 2017)

O maior benefício para a utilização de energia eólica é a não-emissão de dióxido de carbono na atmosfera. (TERCIOTE, Ricardo, 2002). Em uma realidade em que o aquecimento global é cientificamente indiscutível, a não-emissão de dióxido de carbono é uma necessidade na busca de formas alternativas de geração de energia, o que demonstra a relevância do uso da energia eólica como alternativa viável.

Dentre as desvantagens, a principal é o impacto ambiental relativo à fauna e à

poluição sonora. Quanto à fauna, a preocupação é, em grande parte, em relação à colisão de populações aviárias com as pás, rotores ou torres de suporte, podendo prejudicar o funcionamento do ecossistema local. Em relação à poluição sonora, ocorre quando a instalação dos parques eólicos é próxima de áreas residenciais e locais com população, considerando que o ruído do funcionamento dos equipamentos pode ser incômodo. (BARBOSA FILHO, Wilson Pereira, 2013)

## **OBJETIVOS**

**OBJETIVO GERAL:** A proposta deste trabalho é analisar a viabilidade da instalação de geradores eólicos na praia do Farol de São Thomé, no município de Campos dos Goytacazes, norte fluminense.

**OBJETIVOS ESPECÍFICOS:** O presente trabalho tem como objetivo específico a análise da velocidade dos ventos na região escolhida para determinar se é possível a instalação de um empreendimento de geração de energia eólica de médio/grande porte. Ademais, busca-se o desenvolvimento de um mapa do vento na região com medidas reais, facilitando o cálculo do potencial eólico da região.

Por fim, também é objetivo específico deste trabalho a escolha e estudo do melhor aerogerador para as características do local escolhido, na praia de Farol do São Thomé.

## **METODOLOGIA**

### **Pré-pandemia**

A partir do Atlas Eólico nacional, foi possível determinar e localizar as regiões de maior incidência de ventos considerados propícios para a geração de energia a partir de aerogeradores.

Para a obtenção destes dados, foram considerados anemômetros de copos que permitiriam a medida da velocidade dos ventos.

Considerando a dificuldade de instalação do equipamento na altura ideal para um aerogerador, por não haver edificações com as características propícias nos locais mais adequados para um empreendimento do tipo, foi necessário fazer projeções que aproximam as medidas reais das medidas nas alturas ideais.

A ferramenta escolhida para estas aproximações foi a Fórmula de Altitude de

Hellman, da literatura especializada, que permite projeções de medição da velocidade do vento em alturas superiores à da medição.

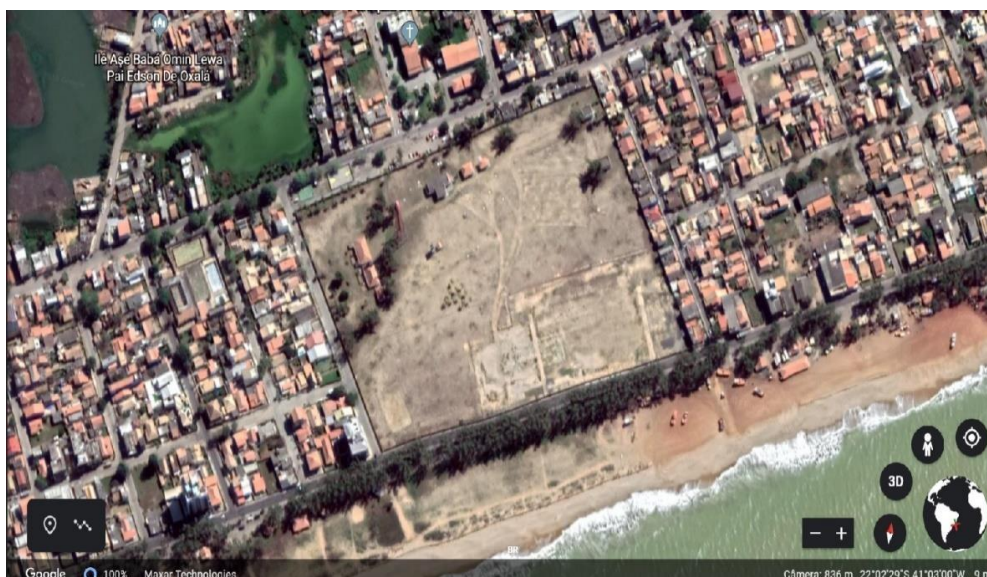
$$v_w(h) = v_1 \cdot \left(\frac{h}{h_1}\right)^a$$

Em que  $v_w$  é a velocidade do vento na altura almejada,  $v_1$  é a velocidade do vento na altura medida,  $h$  é a altura almejada e  $h_1$  é a altura da velocidade mensurada. O coeficiente  $\alpha$  é chamado Coeficiente de Hellmann.

Foi considerado como local propício edificações com alturas que se aproximassem de 30m de altura, para simular a altura de um aerogerador, além de, preferencialmente, locais mais distantes das residências, diminuindo os obstáculos e consequentemente a turbulência gerada por eles.

A primeira edificação buscada foi o próprio Farol de São Thomé, construído por Gustave Eiffel, conservado e mantido pela Marinha do Brasil.<sup>6</sup>

Em contato com oficiais da Marinha, obteve-se a informação de que o Farol de São Thomé possui aproximadamente 45m de altura, o que o torna uma edificação de altura propícia para a instalação do equipamento. Ademais, a estrutura não é rodeada por outros prédios altos, o que permite uma leitura mais precisa dos dados buscados.



(Imagem 1 – Coordenadas do Farol de São Thomé)

<sup>6</sup> <http://tvbrasil.ebc.com.br/conheca-o-farol-de-sao-tome-projetado-por-gustave-eiffel> - acessado em 03/01/2019



(Imagem 1 – Coordenadas do Farol de São Thomé)



(Imagem 2 - Farol de São Thomé)

A segunda edificação foi o “Farolzinho”, mais distante da área central. A edificação possui altura aproximada de 18m, mas está construída a aproximadamente 2m do nível do mar. Com as projeções utilizando a fórmula de Hellman, é possível a medição da velocidade dos ventos na altura desejada.



(Imagem 3 - Farolzinho)



(Imagem 4 - Coordenadas do Farolzinho)

Ocorre que nenhuma das duas estruturas atende o requisito facultativo de ser uma edificação afastada de residências, essencial para a instalação de aerogeradores, considerando seus impactos socioambientais.<sup>7</sup>

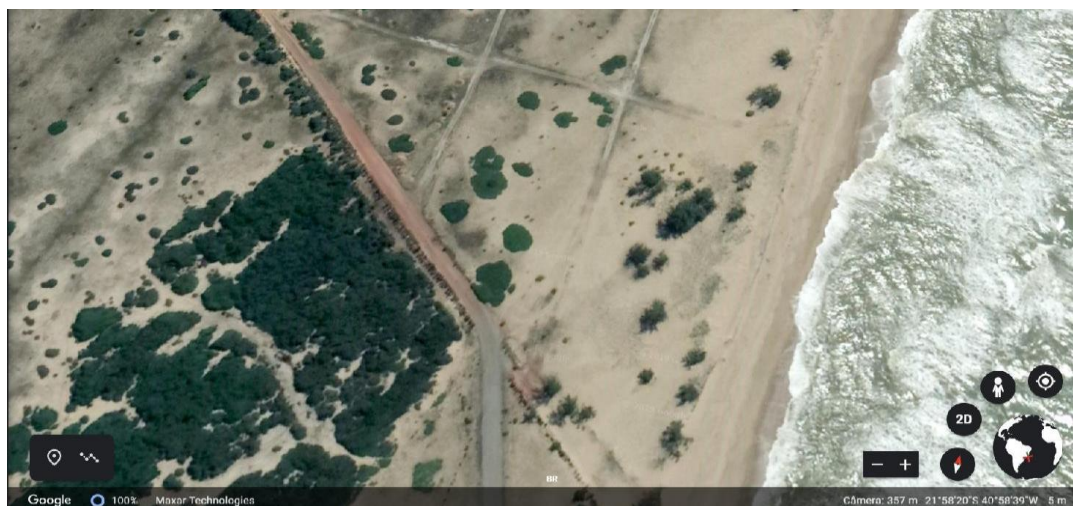
Isto porque as turbinas eólicas afetam as populações ao redor de sua estrutura com poluição sonora e visual, o que deve ser levado em consideração na construção de um empreendimento do tipo.

Outrossim, as turbinas podem causar efeitos prejudiciais à região, como desgaste e erosão do solo, e impacto na população aviária de um local.<sup>8</sup>

Além das duas estruturas escolhidas e supracitadas, buscou-se um local mais afastado onde poderia ser instalado um parque eólico de médio/grande porte, com o objetivo de encontrar qualquer tipo de estrutura onde pudessem ser instalados anemômetros de copos.

Então, um pouco mais além do Farolzinho, foi encontrado um local afastado de residências e da área central da praia do Farol de São Thomé. O local é tão afastado que nem mesmo distribuição elétrica chega na região. Porém, por ser completamente afastado de qualquer resquício de edificação, o vento flui com bastante velocidade, o que seria uma vantagem para este tipo de empreendimento.

Ademais, a distância entre este local e os pontos de medição é suficientemente adequada, de modo que um empreendimento eólico não causaria impactos socioambientais supracitados aos moradores da região, ao mesmo tempo em que as medições obtidas não devem ser muito diferentes das que porventura fossem obtidas se fosse possível a instalação de anemômetros no local.



(Imagem 5 – Coordenadas local ermo)

<sup>7</sup> [http://www.inicepg.univap.br/cd/INIC\\_2016/anais/arquivos/0859\\_1161\\_01.pdf](http://www.inicepg.univap.br/cd/INIC_2016/anais/arquivos/0859_1161_01.pdf)- acessado em 10/12/2019

<sup>8</sup> [http://www.inicepg.univap.br/cd/INIC\\_2016/anais/arquivos/0859\\_1161\\_01.pdf](http://www.inicepg.univap.br/cd/INIC_2016/anais/arquivos/0859_1161_01.pdf)- acessado em 10/12/2019

Destarte, decidiu-se pelo Farol de São Thomé e pelo Farolzinho como estruturas adequadas para a instalação do equipamento para medir a velocidade do vento e a viabilidade de empreendimentos de geração de energia eólica na praia de Farol de São Thomé.

O segundo passo então foi buscar a autorização para a instalação destes equipamentos, considerando que ambos os locais são administrados e mantidos pela Marinha do Brasil que, num primeiro contato, foram solícitos a instalação do equipamento.

Após estas etapas, buscou-se adquirir os equipamentos necessários, qual sejam, os anemômetros de copos.

Primeiro foi solicitada a aquisição por parte da Prefeitura Municipal de Campos dos Goytacazes, por intermédio da CODEMCA. As solicitações não foram atendidas.

Depois, solicitou-se a aquisição dos anemômetros por parte da Universidade Cândido Mendes, que aceitou a solicitação, mas por questões burocráticas relacionadas ao fim do ano letivo, a aquisição não foi feita.

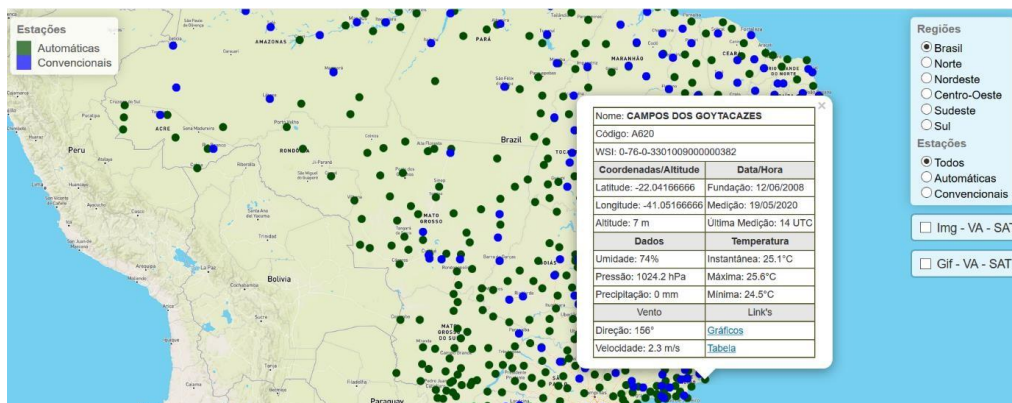
, os elaboradores do projeto buscaram a aquisição dos anemômetros com investimentos próprios, mas os equipamentos não foram entregues até o momento, devido às questões logísticas relacionadas à pandemia da Covid-19.

### **Pós-pandemia**

No início de março de 2020, enquanto aguardava-se a chegada dos equipamentos adquiridos para dar continuidade à proposta inicial do projeto de pesquisa, o mundo inteiro foi tomado pela pandemia da Covid-19, causada pelo novo Coronavírus. Este novo cenário e paradigma mundial obrigou-nos a pensar em uma outra metodologia para a aquisição e interpretação dos dados necessários para uma análise preliminar a respeito da viabilidade de um empreendimento eólico no Farol de São Thomé.

Foi decidido então que os dados seriam adquiridos por meio do site do Instituto Nacional de Metrologia (INMET), que disponibiliza medições diversas em várias regiões do Brasil.

Escolheu-se a Estação automática A620, localizada no Farol de São Thomé, e foram retirados os dados a respeito da velocidade mensurada do vento em metros por segundo do dia 17/05/2019 (dezessete de maio de 2019) até 17/05/2020 (dezessete de maio de 2020).



(Imagem 6 – Estação A620)

Estes dados foram registrados um por um, de hora em hora, durante todos os dias neste intervalo de tempo, em planilhas do software Excel.

|      |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |  |
|------|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--|
| AG24 |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |  |
|      | A  | B   | C   | D   | E   | F   | G   | H   | I   | J   | K   | L   | M   | N   | O   | P   | Q   | R   | S   |  |
| 1    |    | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   | 10  | 11  | 12  | 13  | 14  | 15  | 16  | 17  | 18  |  |
| 2    | 0  | 5,3 | 3   | 5,2 | 2,5 | 2,7 | 5,8 | 8,2 | 4,3 | 2,4 | 2,7 | 2,9 | 1,3 | 2,7 | 0,8 | 1,7 | 1,3 | 9,3 | 2,7 |  |
| 3    | 1  | 5,3 | 2,8 | 3,5 | 2,3 | 1,8 | 5,5 | 7,8 | 5,9 | 2,6 | 2,6 | 2,4 | 1,5 | 2,8 | 1   | 1,2 | 0,6 | 9,7 | 4,1 |  |
| 4    | 2  | 5,8 | 3,7 | 3,6 | 2,3 | 1,9 | 4,9 | 6,8 | 4,5 | 2,4 | 2,6 | 1,2 | 1,5 | 1,9 | 0,9 | 0   | 1,4 | 8,3 | 2,3 |  |
| 5    | 3  | 5   | 3   | 2,6 | 2,1 | 1,3 | 5,4 | 6,8 | 3,2 | 2,2 | 2   | 0,8 | 1,4 | 1,9 | 0,9 | 0,7 | 1,4 | 8,7 | 2,7 |  |
| 6    | 4  | 5,4 | 2,7 | 2   | 2,7 | 0,6 | 5,7 | 7,6 | 2,7 | 1,9 | 1,2 | 1,3 | 1,1 | 1,2 | 1,2 | 0,7 | 0,2 | 8,4 | 1,8 |  |
| 7    | 5  | 4   | 2,7 | 2,2 | 2,1 | 1,1 | 5,5 | 6,1 | 2,6 | 1   | 0,5 | 0,5 | 1   | 0,9 | 0,8 | 1,4 | 1   | 7   | 2,7 |  |
| 8    | 6  | 3,7 | 1,9 | 2,5 | 2,2 | 2,1 | 6,3 | 6,7 | 1,1 | 1,8 | 1,6 | 0,8 | 0,9 | 1,2 | 0   | 2,1 | 1,8 | 7,6 | 3   |  |
| 9    | 7  | 3,5 | 0,9 | 1,7 | 2,1 | 2   | 6,4 | 4,3 | 1,4 | 1   | 1,8 | 1,1 | 0,4 | 0,8 | 0   | 1,1 | 0,7 | 7,7 | 2,8 |  |
| 10   | 8  | 3,8 | 2,4 | 3,2 | 1,6 | 1,3 | 6,3 | 4,6 | 2,1 | 1,7 | 1,5 | 1,7 | 0,2 | 2   | 0,9 | 0,9 | 0,6 | 6,7 | 5,5 |  |
| 11   | 9  | 3,8 | 1,6 | 3,8 | 1,8 | 0,8 | 6,4 | 3,9 | 2,5 | 1,6 | 1,7 | 2,2 | 0,8 | 2,3 | 1,8 | 0,9 | 1,9 | 7,5 | 4,2 |  |
| 12   | 10 | 4,3 | 0,3 | 2,9 | 1,5 | 2,1 | 6,7 | 7,5 | 1,5 | 1,7 | 1,8 | 1,5 | 0,7 | 3,1 | 1,8 | 0,9 | 1,9 | 6   | 2,7 |  |
| 13   | 11 | 3,7 | 1,2 | 3,6 | 1,6 | 3,4 | 6,5 | 6,7 | 2,3 | 1,4 | 1,3 | 2   | 0,9 | 3,1 | 1,1 | 1,1 | 1,2 | 6,2 | 4   |  |
| 14   | 12 | 3,3 | 1,6 | 4,4 | 1,5 | 3,6 | 7   | 6,6 | 2,6 | 0,7 | 1   | 2,8 | 0,2 | 2,9 | 2,1 | 0,8 | 1,6 | 6,1 | 3,1 |  |
| 15   | 13 | 2,7 | 0,7 | 4   | 2,8 | 2,6 | 7,7 | 6,8 | 3,2 | 1,9 | 1,2 | 4   | 1,8 | 2,6 | 1,8 | 4,4 | 2,5 | 5,4 | 4,3 |  |
| 16   | 14 | 2,2 | 2   | 3,9 | 2,7 | 1,9 | 8,5 | 6,5 | 2,7 | 2,4 | 3,5 | 3,2 | 2,3 | 2,6 | 1,9 | 3,5 | 2,3 | 5   | 3,3 |  |
| 17   | 15 | 2,1 | 1,8 | 3,8 | 3,1 | 3,2 | 7,8 | 6,5 | 3,2 | 2,9 | 3,9 | 3,3 | 3,4 | 3   | 2,1 | 3,6 | 1,6 | 5,1 | 3,3 |  |
| 18   | 16 | 1,6 | 2,8 | 4   | 3,4 | 2,9 | 8,1 | 7,5 | 3   | 2,8 | 4,2 | 3,4 | 2,8 | 3,5 | 2,8 | 4   | 2,9 | 4,8 | 3,1 |  |
| 19   | 17 | 5   | 2,1 | 3,8 | 2,2 | 3,4 | 7,5 | 6,9 | 3,5 | 2,4 | 3,3 | 2,9 | 4,1 | 3,5 | 3,6 | 3,4 | 3,2 | 5,2 | 3,3 |  |
| 20   | 18 | 5,8 | 2,6 | 5,6 | 1,9 | 6,2 | 8,1 | 7,1 | 3   | 3   | 3,3 | 4,8 | 4,4 | 3,9 | 3,7 | 2,8 | 5,7 | 4   | 2,8 |  |
| 21   | 19 | 5,5 | 2,6 | 5   | 2,1 | 8   | 7,8 | 8,7 | 2,3 | 3   | 3,6 | 3,9 | 3,6 | 3,5 | 3,3 | 4,3 | 7,4 | 3,9 | 2,4 |  |
| 22   | 20 | 4,5 | 2,5 | 4,1 | 2,3 | 7,3 | 8,6 | 7,7 | 1,7 | 3,4 | 3   | 3,4 | 3,1 | 2,7 | 2,4 | 2,8 | 8,8 | 3,6 | 3,7 |  |

(Imagem 7 – Exemplo de dados registrados em planilha)

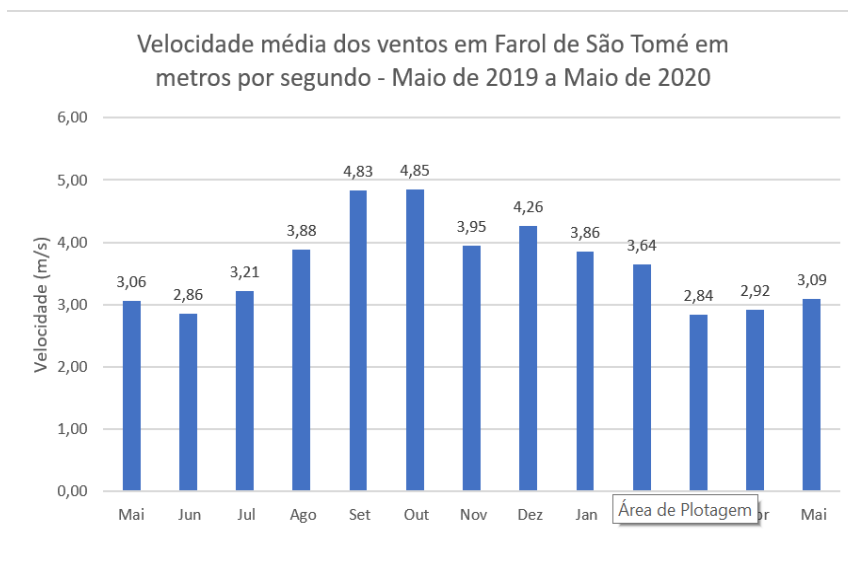
A partir daí, após o registro de todas essas medições, foi calculada uma média diária da velocidade do vento em metros por segundo neste intervalo de maio/19 a maio/20, por meio de uma fórmula do próprio software Excel.

(Imagem 8 – Médias diárias da velocidade em metros por segundo)

Por fim, com a média diária das velocidades do vento, foi possível calcular a média mensal aproximada da velocidade dos ventos em metros por segundo no Farol de São Tomé, conforme se depreende das imagens abaixo.

|        | Velocidade média (m/s) |
|--------|------------------------|
| mai/19 | 3,06                   |
| jun/19 | 2,86                   |
| jul/19 | 3,21                   |
| ago/19 | 3,88                   |
| set/19 | 4,83                   |
| out/19 | 4,85                   |
| nov/19 | 3,95                   |
| dez/19 | 4,26                   |
| jan/20 | 3,86                   |
| fev/20 | 3,64                   |
| mar/20 | 2,84                   |
| abr/20 | 2,92                   |
| mai/20 | 3,09                   |

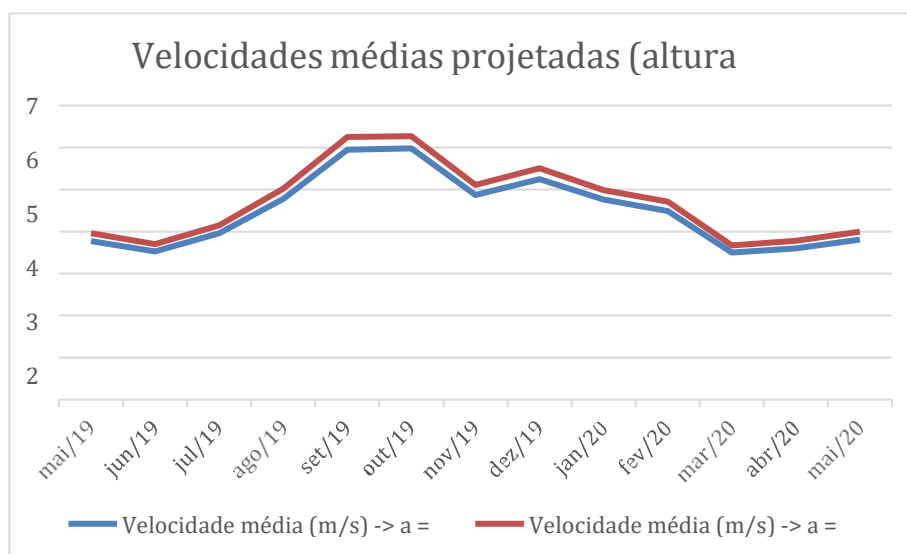
(Imagem 9 – Tabela de média mensal da velocidade dos ventos em m/s)



(Imagem 10 – Média mensal da velocidade dos ventos em metros por segundo, em gráfico)

Com estas médias mensais, utilizando-se a Fórmula de Hellman supracitada, é possível fazer projeções para alturas ideais, com o objetivo de descobrir a velocidade média do vento em cenários hipotéticos.

Desta forma, fez-se a projeção para altura de 50 metros, ideais para aerogeradores de médio e grande porte, com os seguintes resultados:



(Imagem 11 – Média mensal projetada da velocidade dos ventos em metros por segundo)

Observa-se que foram utilizados os coeficientes de Hellman para superfícies planas em costas, que varia entre 0,13 e 0,16.

Desta forma, fazendo-se as projeções para estes dois valores, utilizando a altura inicial de 10m referentes à altura do aparelho de medição da estação meteorológica A620 do Farol de São Tomé, e a altura final de 50m, ideal para este tipo de empreendimento, obteve-se os resultados acima.

## **RESULTADOS**

Na análise dos dados obtidos de velocidade média mensal e velocidade média mensal projetada com o uso da Fórmula de Hellman, é possível dizer que as velocidades observadas alcançam valores muito próximos a das velocidades ótimas para um empreendimento eólico comercial na localidade de farol de São Tomé. Isto porque as velocidades médias observadas atingem níveis próximos a 7,0 m/s.

Como se pode observar do gráfico acima, nos meses de setembro e outubro essa meta é quase atingida, e considerando que as medições foram realizadas em locais um pouco mais distante da costa, devido à necessidade de adaptação por causa da pandemia, é possível imaginar que esses valores poderiam ser maiores em locais mais adequados.

Desta forma, pode-se dizer que possivelmente obteríamos resultados satisfatórios (acima de 7,0 m/s) para a viabilidade de um empreendimento eólico comercial de grande porte na localidade.

Insta salientar que estas medições foram feitas na estação meteorológica do Farol de São Tomé, em uma localidade específica. Não se pode afirmar de forma absoluta, por falta de equipamentos e condições (devido à pandemia), que o empreendimento seria ou não viável em outra localidade do Farol, como as localizadas por parte deste projeto em áreas mais remotas (o que geralmente indica uma incidência mais forte de ventos), pois não foram obtidos dados quanto à velocidade do vento que incide nestes locais, o que demonstra uma necessidade de possível continuidade neste estudo.

## **CONCLUSÃO**

O presente projeto iniciou-se de forma entusiasmada e com perspectivas

promissoras a respeito da viabilidade de um empreendimento eólico na localidade de Farol do São Tomé, com base em dados preliminares de Atlas Eólico dos Ventos.

Fez-se uma visita à localidade com o objetivo de encontrar localidades viáveis para tirar medições com equipamentos próprios e, futuramente, instalação de turbinas eólicas de forma a não causar disrupção na população local.

Entretanto, questões burocráticas, falta de equipamentos e, posteriormente, condições de realização do projeto da forma como inicialmente idealizado obrigou a adaptação de novos paradigmas e realidades para que fosse possível a entrega de um resultado preliminar que indicasse sobre a viabilidade ou não de um empreendimento eólico de porte considerável na localidade.

Assim, o estudo seguiu com uma nova metodologia, o que levou a obtenção de dados que indicam que parece promissora a instalação de um parque eólico na localidade do Farol de São Tomé, sendo possível afirmar que, com base nesses resultados preliminares, que existem indícios de uma viabilidade de exploração da energia eólica na região.

Portanto, com os dados obtidos por este estudo, a conclusão que se chega é de que existe a possibilidade de viabilidade de um empreendimento eólico na localidade de Farol do São Tomé.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

LETCHER, Trevor M. Wind Energy Engineering: A Handbook for Onshore and Offshore Wind Turbines. London. Academic Press, 2017.

PICOLO, A. P.; RÜHLER, A. J.; RAMPINELLI, G. A. Uma abordagem sobre a energia eólica como alternativa de ensino de tópicos de física clássica. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 36, n. 4, p. 4306-1-4306-13, 2014. <http://dx.doi.org/10.1590/S1806-11172014000400007>

TONG, W. Wind Power Generation and Wind Turbine Design. Boston: WIT Press, 2010

TERCIOTE, R. A energia eólica e o meio ambiente. In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 4., 2002, Campinas.

BARBOSA FILHO, W. P.; AZEVEDO, A. C. S. de. Impactos ambientais em usinas eólicas. Itajubá: Agrener, 2013.