



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ  
CENTRO DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA  
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO EM ENERGIAS RENOVÁVEIS**

**KAUÊ QUEIROZ DE CARVALHO**

**ANÁLISE PRELIMINAR DE RECURSOS RENOVÁVEIS PARA GERAÇÃO DE  
ENERGIA ELÉTRICA E SEUS DESAFIOS DE IMPLANTAÇÃO: ESTUDO DE CASO**

**FORTALEZA -CE**

**2019**

KAUÊ QUEIROZ DE CARVALHO

ANÁLISE PRELIMINAR DE RECURSOS RENOVÁVEIS PARA GERAÇÃO DE  
ENERGIA ELÉTRICA E SEUS DESAFIOS DE IMPLANTAÇÃO: ESTUDO DE CASO

Trabalho de conclusão de curso apresentada ao curso de Graduação em Energias Renováveis da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Engenheiro de Energias Renováveis.

Orientador: Prof. Dr. Ronaldo Steffanuti.

Fortaleza

2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Biblioteca Universitária  
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

- C324a Carvalho, Kauê Queiroz de.  
Análise preliminar de recursos renováveis para geração de energia elétrica e seus desafios de implantação:  
estudo de caso / Kauê Queiroz de Carvalho. – 2019.  
43 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia,  
Curso de Engenharia de Energias Renováveis, Fortaleza, 2019.  
Orientação: Prof. Dr. Ronaldo Steffanuti.
1. Eólica. 2. Fotovoltaica. 3. Viabilidade. I. Título.

CDD 621.042

---

KAUÊ QUEIROZ DE CARVALHO

ANÁLISE PRELIMINAR DE RECURSOS RENOVÁVEIS PARA GERAÇÃO DE  
ENERGIA ELÉTRICA E SEUS DESAFIOS DE IMPLANTAÇÃO: ESTUDO DE CASO

Trabalho de conclusão de curso apresentada ao curso de Graduação em Engenharia de energias renováveis da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de engenheiro em energias renováveis.

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

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Ronaldo Stefanutti (Orientador)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. Ana Fabiola Leite Almeida  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

M.Sc. Adão Linhares Muniz  
Secretaria de Infraestrutura do Estado do Ceará (SEINFRA-CE)

## **AGRADECIMENTOS**

À Deus, pela iluminação dos caminhos da minha vida.

Aos meus pais, por todo o amor e dedicação e por acreditarem no meu potencial.

Ao Grupo Espírita Casa de João Irmão Francisco, por ser um local onde pude encontrar um equilíbrio emocional e motivação para buscar meu aprimoramento como indivíduo e cidadão.

À toda a equipe da Energo Engenharia e Consultoria em Energias, pela oportunidade, pelo acolhimento e pelo agregamento de tantas competências profissionais.

## RESUMO

Esse estudo de caso visou identificar com base nas poligonais de dois terrenos localizados no interior do Estado do Ceará, sendo eles a fazenda 1 localizada no município de Forquilha e fazenda 2 município de Catunda, as principais questões preliminares e relevantes e foi averiguada a viabilidade de implantação de uma usina de geração de energia elétrica a partir das fontes de energias renováveis, solar fotovoltaica e eólica. Com isso, foi realizado um paralelo entre a capacidade instalada, a produção anual estimada, a distribuição espacial e o *micrositing* preliminar, materiais disponíveis no mercado, custos de implantação, custos de operação, condições de conexão e expansão de subestações e linhas de transmissão, limitações e precauções ambientais, e então, Verificado as melhores condições de mercado em que os empreendimentos se enquadraram, como geração centralizada e geração distribuída e suas oportunidades de negócios no mercado livre e regulado de energia. Com base em dados verificados através de sites governamentais, programas computacionais, relatórios e notas técnicas, apresentando um indicativo da melhor solução e um descritivo básico de roteiro para concretização do investimento da usina de geração de energia elétrica. Desse modo, foi demonstrado que nesse estudo caso, a energia solar fotovoltaica permite um melhor aproveitamento da área da fazenda 1 com um Capex de 1,35 bilhões de reais e Opex de 18,30 milhões de reais, além disso, foi demonstrado para a fazenda 2 outra forma de utilizar a área para produção de energia elétrica a partir de fontes renováveis, pois a fazenda dois possui limitação devido as condições de conexão.

**Palavras-chave:** Eólica. Fotovoltaica. Viabilidade.

## SUMÁRIO

|  |    |
|--|----|
| <b>1 INTRODUÇÃO</b> .....  | 8  |
| <b>2 OBJETIVO</b> .....  | 9  |
| <b>3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....                             | 9  |
| <b>3.1 Análise preliminar de recursos energéticos</b> .....      | 9  |
| 3.1.1 Potencial Eólico .....                                     | 9  |
| 3.1.2 Potencial Solar .....                                      | 10 |
| <b>4 TERRENOS ANALISADOS</b> .....                               | 11 |
| <b>5 METODOLOGIA</b> .....                                       | 12 |
| <b>5.1 Dados climáticos da fazenda 1</b> .....                   | 13 |
| 5.1.1 Recurso solar .....  | 13 |
| 5.1.2 Recurso eólico .....                                       | 15 |
| <b>5.2 Dados climáticos da fazenda 2</b> .....                   | 17 |
| 5.2.1 Recurso solar .....  | 17 |
| 5.2.2 Recurso eólico .....                                       | 20 |
| <b>5.3 Topografia e características de solos</b> .....           | 22 |
| 5.3.1 Topografia e características de solo da fazenda 1 .....    | 22 |
| 5.3 Topografia e características de solo da fazenda 2 .....      | 23 |
| <b>7 CÁLCULO DA PRODUÇÃO ANUAL DE ENERGIA</b> .....              | 24 |
| <b>7.1. Possíveis interferências</b> .....                       | 24 |
| <b>7.2. Descritivos de equipamentos a serem utilizados</b> ..... | 26 |
| 7.2.1. Equipamentos de geração fotovoltaica .....                | 26 |
| 7.2.2. Descritivo de geração eólica .....                        | 27 |
| <b>7.3 Descritivo físico dos parques</b> .....                   | 28 |
| 7.3.1. <i>Layout</i> da fazenda 1 .....                          | 28 |
| 7.3.2. <i>Layout</i> da fazenda 2 .....                          | 30 |
| <b>7.4. Estimativa de produção</b> .....                         | 31 |
| <b>8 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....                            | 33 |
| <b>8.1. Conexão e transmissão</b> .....                          | 36 |
| <b>8.2. Estimativa de custos de O&amp;M</b> .....                | 37 |
| <b>9 CONCLUSÃO</b> .....   | 39 |

## 1 INTRODUÇÃO

As energias renováveis representam as fontes de energia consideradas inesgotáveis, pois suas quantidades se renovam constantemente, são exemplos, a solar, a eólica, a biomassa e a geotérmica. Algumas dessas fontes apresentam variação na geração de energia elétrica ao longo do dia ou do ano, como é o caso da eólica, que não é usada quando não há ventos e a energia solar, no período noturno.

A energia de radiação emitida pelo Sol pode ser utilizada direta ou indiretamente como fonte de energia renovável térmica ou elétrica, sendo a fonte de energia com maior potencial para suprir a crescente demanda energética em todo o mundo. A energia solar recebida pela Terra é cerca de 5 mil vezes maior do que o consumo mundial de eletricidade e energia térmica somados (DEREK ABBOTT, 2010).

As fontes renováveis de energia são consideradas limpas, pois emitem menos gases de efeito estufa que as fontes fósseis e, desse modo, estão conseguindo uma boa inserção no mercado brasileiro e mundial. A energia solar que chega a Terra em um ano é cerca de 35 vezes maior do que as reservas mundiais de petróleo, carvão, gás natural e urânio somadas, o que pode contribuir com os esforços para mitigar os efeitos adversos causados pelas mudanças climáticas (NEBOJSA NAKICENOVIC, JOSEPH ALCAMO, GERALD DAVIS, BERT DE VRIES et al., 2000).

Nesse estudo de caso, foi elaborada uma análise simplificada de viabilidade energética e financeira para duas fazendas localizadas no interior do Estado do Ceará, sendo elas, a fazenda 1 localizada no município de Forquilha e a fazenda 2 localizada no município de Catunda.

Foram contempladas questões geomorfológicas, climáticas, condições de conexões com subestações, materiais necessários a geração de energia elétrica a partir das fontes de energias renováveis solar fotovoltaica e eólica, *micrositing* preliminar possível para as fontes solar fotovoltaica e eólica, cálculo de produção anual prevista para cada uma das fazendas verificadas, levando em consideração as duas possíveis usinas.

A motivação dessa análise parte da solicitação de um fazendeiro do interior do Estado do Ceará, que pretende obter o conhecimento sobre os potenciais energéticos renováveis, solar fotovoltaico e eólico de suas terras para fins comerciais, e com isso, obter um roteiro orientativo para as melhores oportunidades de negócios.



## 2 OBJETIVO

Analisar os potenciais energéticos solar fotovoltaico e eólico em duas áreas do interior do Ceará, levando em conta fatores técnicos e econômicos para identificar as melhores combinações de negócios.

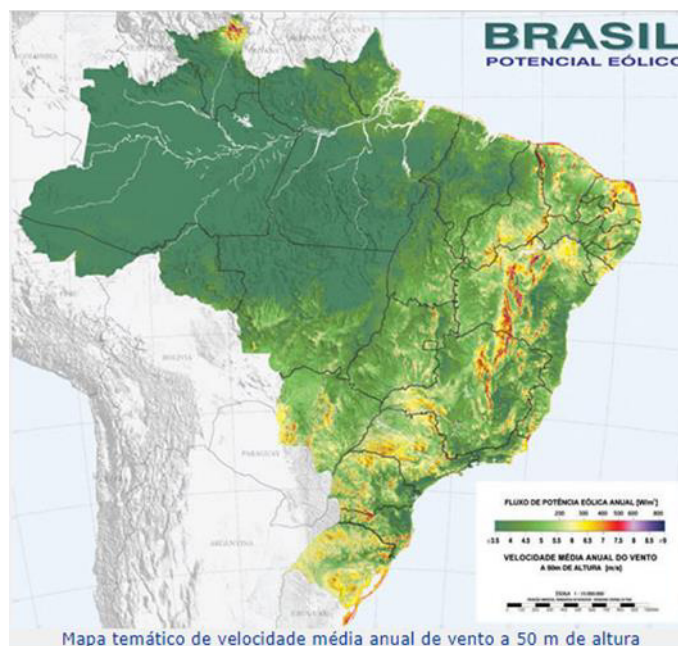
## 3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 3.1 Análise preliminar de recursos energéticos

#### 3.1.1 Potencial Eólico

O CRESESB<sup>1</sup> (Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica de S. Brito), baseado em dados do atlas brasileiro de 2001, apresenta mapas temáticos dos regimes médios de vento (velocidade, direções predominantes e parâmetros estatísticos de *Weibull*) e fluxos de potência eólica na altura de 50 m, na resolução horizontal de 1 km x 1 km, para todo o País, aponta o estado do Ceará como uma localização privilegiada quando se trata de disponibilidade de ventos, ficando numa região que recebe forte influência dos ventos alísios, caracterizados pela constância, direção e força (AMARANTE; ZACK; SÁ, 2001). A figura 1 apresenta o Mapa do potencial eólico do Brasil a 50m.

Figura 1 – Mapa do potencial eólico do Brasil a 50m



Fonte: Atlas do potencial eólico brasileiro de (2001)

<sup>1</sup> CRESESB, <http://www.cresesb.cepel.br/>

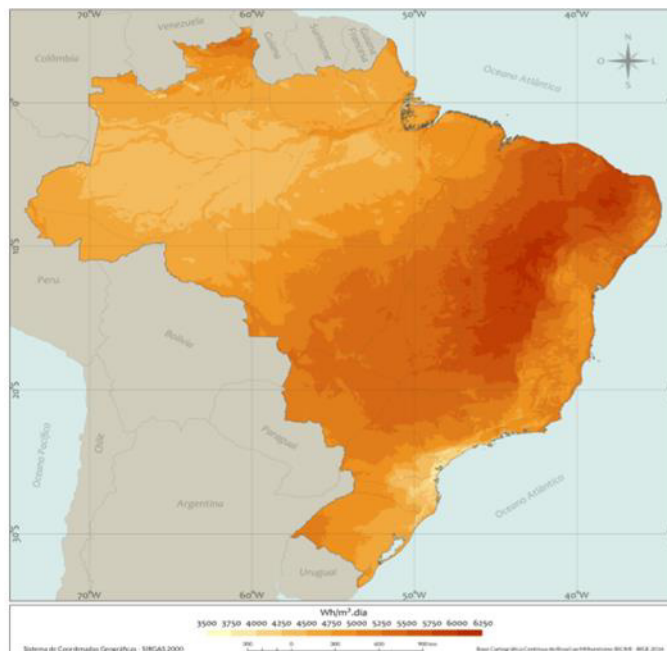
### 3.1.2 Potencial Solar

Segundo o CRESESB, o Brasil, apresenta uma incidência de energia solar bastante favorável. A potência instantânea incidente na superfície terrestre pode atingir valores superiores a  $1.000 \text{ W/m}^2$ . A média anual de energia incidente na maior parte do Brasil varia entre  $4 \text{ kWh/m}^2.\text{dia}$  e  $5 \text{ kWh/m}^2.\text{dia}$ , tendo em vista que o seu território está situado em sua maioria em latitudes entre o Equador e o Trópico de Capricórnio (CHESF; CEPEL; UFPE, 2000).

Conforme o atlas do potencial solarimétrico brasileiro publicado no ano 2000 pelo CEPEL (Centro de Pesquisas de Energia Elétrica), em parceria com a CHESF (Companhia Hidro Elétrica do São Francisco) e a Universidade Federal de Pernambuco, o Nordeste brasileiro situa-se em uma localização privilegiada quando se trata de disponibilidade solar, ficando numa região que apresenta elevados índices de radiação global média, além disso, possui aproximadamente 8 horas diárias de insolação média anual com  $5,9 \text{ kWh/m}^2$  (CHESF; CEPEL; UFPE, 2000).

O estado do Ceará, por estar inserido nessa região é considerado um local atrativo para investidores em energias renováveis, como solar fotovoltaica e solar térmica. A figura 2 apresenta o mapa do potencial solarimétrico do Brasil.

Figura 2 – Distribuição do recurso solar no Brasil no plano inclinado



Fonte: Atlas Solarimétrico brasileiro de (2000)

#### 4 TERRENOS ANALISADOS

A análise inicia com dados das poligonais das fazendas 1 e 2 fornecidos pelo proprietário que foram inseridos no Google Earth™, plataforma de computador desenvolvida e distribuída pela empresa Google™ cuja função é apresentar um modelo tridimensional do globo terrestre, construído a partir de um mosaico de imagens de satélite obtidas de fontes diversas, imagens aéreas e SIG 3D (sistema de informações geográficas).

O terreno da fazenda 1 está localizado no município de Forquilha e dista de aproximadamente 31,6 km da cidade de Sobral e 201 km da cidade de Fortaleza, ambos municípios do estado do Ceará. Possui uma área total de 1.284,66 hectares. A figura 3, ilustra a poligonal<sup>2</sup> da fazenda 1 e a envolvente do terreno.

Figura 3- Poligonal da fazenda 1



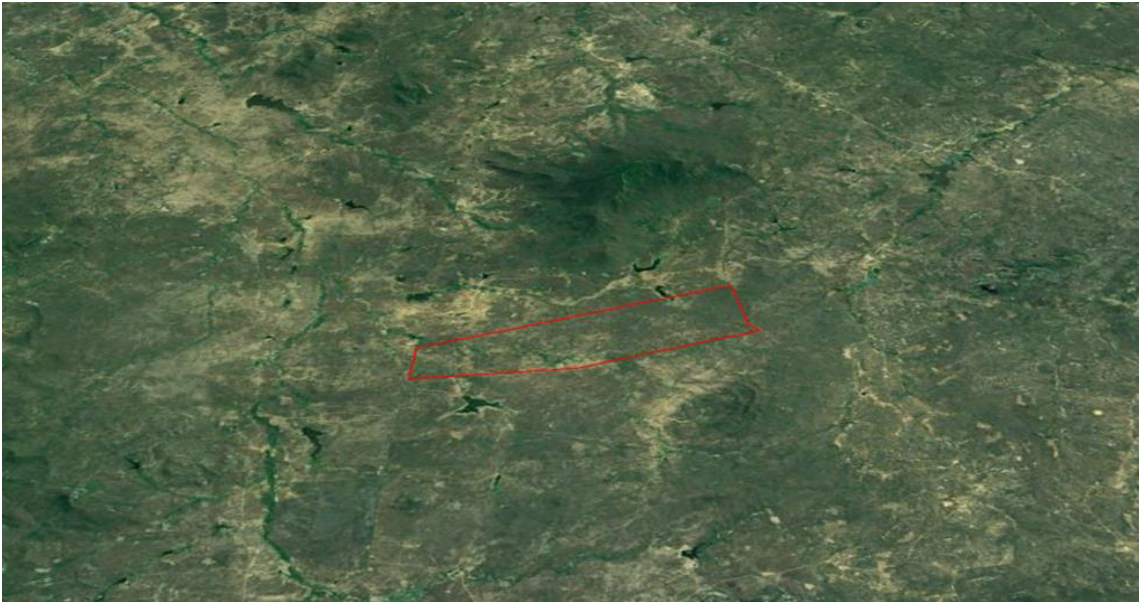
Fonte: Elaborada pelo autor

A fazenda 2 está localizada no município de Catunda e dista de 24,4 km da cidade de Santa Quitéria e 240 km da cidade de Fortaleza, ambos municípios do estado do Ceará. Possui uma área de 1.290,34 hectares. A figura 4, ilustra a poligonal da fazenda 2 e a envolvente do terreno:

---

<sup>2</sup> Poligonais: são as coordenadas georreferenciadas em UTM do terreno, não especificadas para proteger a privacidade do fazendeiro.

Figura 4 – Poligonal da fazenda 2



Fonte: Elaborada pelo autor

## 5 METODOLOGIA

Os dados climatológicos utilizados para a análise solar, foram exportados e analisados a partir do aplicativo *Meteonorm*<sup>3</sup>, que fornece acesso mundial a séries históricas de irradiância, temperatura e precipitação de chuvas, oferecendo esses valores de hora em hora, além disso, está integrado com diversos *software* de simulação para sistemas.

Os dados utilizados no estudo do recurso eólico foram exportados e analisados a partir da base de dados do site CRESESB, que oferece dados relativos ao regime dos ventos a 50 metros de altura.

O *WeatherSpark*<sup>4</sup> é um site que fornece relatórios detalhados do clima típico de 150.165 localidades distribuídas por todo o mundo e foi utilizado para gerar os gráficos de nebulosidade para as duas fazendas em estudo.

---

<sup>3</sup> Meteonorm7.3, <https://meteonorm.com>

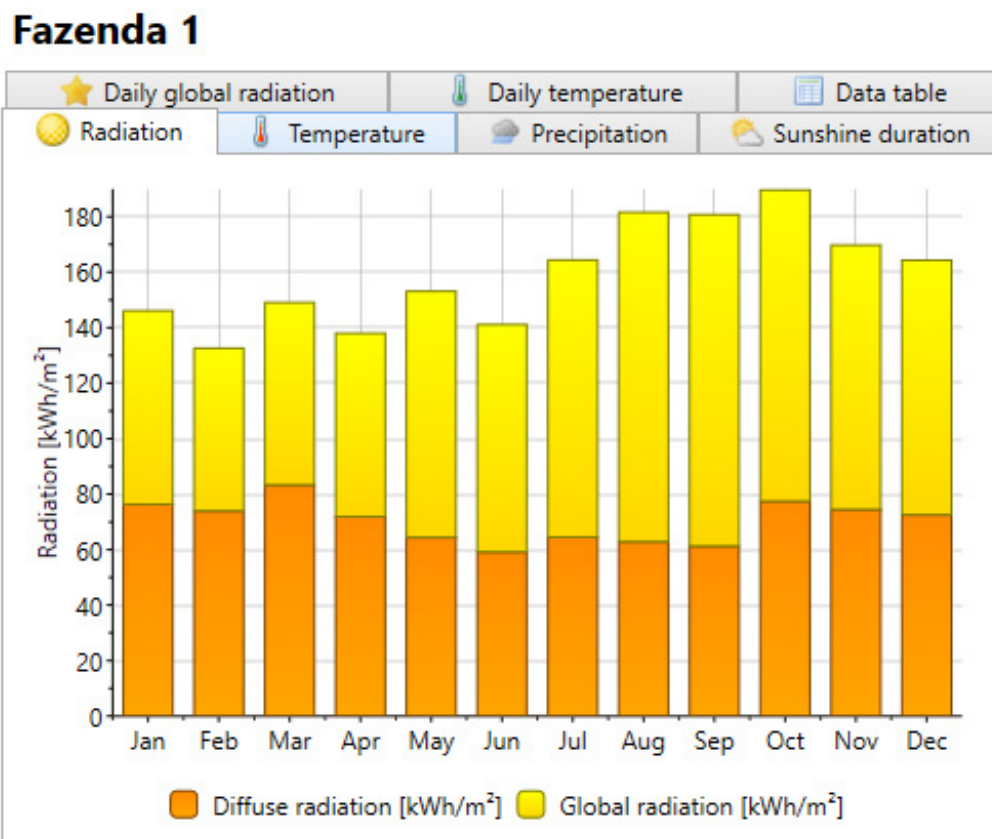
<sup>4</sup> WeatherSpark, <https://pt.weatherspark.com>

## 5.1 Dados climáticos da fazenda 1

### 5.1.1 Recurso solar

Para latitude:  $-3.725862^\circ$  e longitude:  $-40.150028^\circ$  no terreno da fazenda 1 e utilizando a base de dados do *Meteonorm* foi possível calcular os valores de irradiação solar para representar de forma preliminar, o recurso solar do terreno da fazenda 1.

Gráfico 1 – Dados climatológicos de radiação da fazenda 1



Fonte: Aplicativo *Meteonorm*

O período escolhido para a análise do recurso da região é o período de um ano baseando-se numa série de dados medidos e elaborada pelo programa *Meteonorm*, que tem base de dados própria desde 1985.

A partir desse gráfico é possível notar que nos períodos de agosto a dezembro ocorre índices mais elevados de radiação direta, que é um dos principais fatores analisados quando se trata produção de energia solar fotovoltaica, pois é a parte da radiação solar total que não sofre nenhum desvio causado pela atmosfera, vindo diretamente do sol. Mesmo nos meses onde os

índices de radiação direta é menor, não fica muito abaixo dos principais meses, apresentando boa constância anual (PINHO; GALDINO, 2014).

É importante salientar que essas informações são indicativas e possuem limitações. Para avaliações mais precisas, necessita-se de medições de irradiação solar no local de instalação através de torres solarimétricas, apesar disso, o recurso solar no Nordeste apresenta pouca variação anual sendo mais confiável a sua caracterização através de *softwares* de simulação.

A tabela 1 ilustra os dados de radiação ao longo do período escolhido para a análise.

Tabela 1 – Tabela de radiação solar da fazenda 1

### Fazenda 1

|           | Radiation                |                          |                          | Temperature          |          | Precipitation | Sunshine duration |
|-----------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|----------------------|----------|---------------|-------------------|
|           | ★ Daily global radiation |                          |                          | 🌡️ Daily temperature |          |               | Data table        |
|           | Gh<br>kWh/m <sup>2</sup> | Dh<br>kWh/m <sup>2</sup> | Bn<br>kWh/m <sup>2</sup> | Ta<br>°C             | Td<br>°C | FF<br>m/s     |                   |
| January   | 146                      | 76                       | 101                      | 27,7                 | 22,8     | 3,7           |                   |
| February  | 133                      | 74                       | 82                       | 27,5                 | 23,3     | 3,2           |                   |
| March     | 149                      | 83                       | 90                       | 27,2                 | 23,4     | 2,9           |                   |
| April     | 138                      | 72                       | 97                       | 26,9                 | 23,5     | 2,7           |                   |
| May       | 153                      | 64                       | 133                      | 27,2                 | 23,2     | 3,1           |                   |
| June      | 141                      | 59                       | 127                      | 26,7                 | 22,4     | 3,3           |                   |
| July      | 164                      | 64                       | 153                      | 26,8                 | 21,5     | 3,8           |                   |
| August    | 182                      | 63                       | 173                      | 27                   | 20,9     | 4,3           |                   |
| September | 181                      | 61                       | 169                      | 27,4                 | 20,9     | 4,8           |                   |
| October   | 190                      | 77                       | 158                      | 27,8                 | 21       | 4,9           |                   |
| November  | 170                      | 75                       | 137                      | 28                   | 21,6     | 4,8           |                   |
| December  | 164                      | 73                       | 134                      | 28,1                 | 22,3     | 4,4           |                   |
| Year      | 1909                     | 842                      | 1555                     | 27,4                 | 22,2     | 3,8           |                   |

Fonte: aplicativo Meteonorm

Na tabela 1 a radiação global é representada por Gh, a radiação horizontal difusa por Dh, radiação direta normal por Bn, a temperatura do ar (2m) por Ta, a temperatura de orvalho por Td e a velocidade do vento por FF.

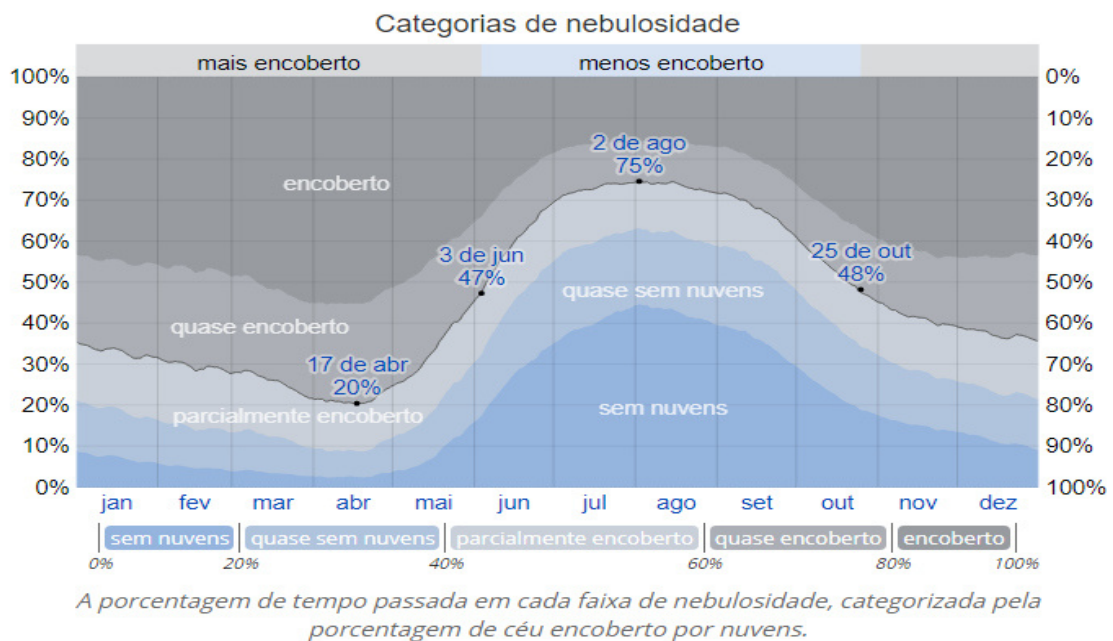
O que se pode inferir do estudo do recurso solar é que a região possui uma boa disponibilidade de radiação solar e que os meses com maiores médias de irradiação são os compreendidos entre agosto a dezembro.

De acordo com o site *WeatherSpark*, em Forquilha, a percentagem média de céu encoberto por nuvens sofre extrema variação sazonal ao longo do ano (DIEBEL; NORDA; KRETCHMER, 2019).

A época mais nublada do ano em Forquilha começa por volta de 3 de junho e dura 4,7 meses, terminando em 25 de outubro. Em 2 de agosto, o dia mais nublado do ano, o céu permanece sem nuvens, quase sem nuvens ou parcialmente encoberto durante 75% do tempo e encoberto ou quase encoberto durante 25% do tempo como indicado no gráfico 2 (DIEBEL; NORDA; KRETCHMER, 2019).

A época mais nublada do ano começa por volta de 25 de outubro e dura 7,3 meses, terminando em torno de 3 de junho. Em 17 de abril, o dia mais nublado do ano, o céu permanece encoberto ou quase encoberto durante 80% do tempo e sem nuvens, quase sem nuvens ou parcialmente encoberto durante 20% do tempo (DIEBEL; NORDA; KRETCHMER, 2019).

Gráfico 2 – Nebulosidade no município de Forquilha



Fonte: site WeatherSpark

### 5.1.2 Recurso eólico

Para latitude:  $-3.7263^\circ$  e longitude:  $-40.1579^\circ$ , escolhida num ponto central do terreno da fazenda 1, calculou-se através dos dados do CRESESB, valores de velocidade do vento para representar, de forma preliminar, o recurso eólico do terreno da fazenda 1 como indica a tabela 2.

Tabela 2 – Dados de ventos para a fazenda 1

## Dados de Vento

Latitude: 3,7263° S  
Longitude: 40,1579° O

| Atlas do Potencial Eólico Brasileiro |                  | Dados de vento a 50 m de Altura |         |         |         |       |
|--------------------------------------|------------------|---------------------------------|---------|---------|---------|-------|
| Grandeza                             | Unidade          | Dez-Fev                         | Mar-Mai | Jun-Ago | Set-Nov | Anual |
| velocidade média do vento            | m/s              | 4,84                            | 3,38    | 5,6     | 6,92    | 5,19  |
| fator c                              |                  | 5,46                            | 3,82    | 6,31    | 7,71    | 5,86  |
| fator k                              |                  | 1,96                            | 2,05    | 2,46    | 3,32    | 2,11  |
| densidade de potência                | W/m <sup>2</sup> | 135                             | 44      | 172     | 271     | 156   |

Fonte: site CRESESB

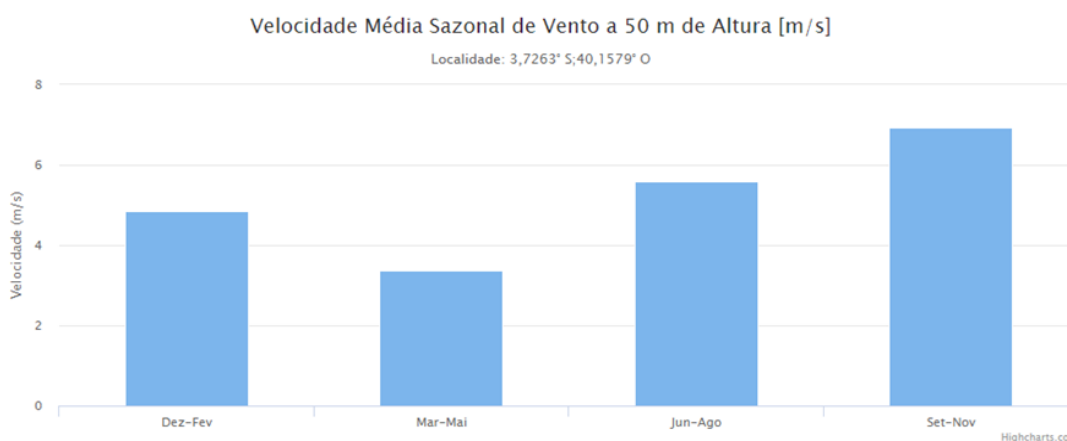
Nessa tabela o fator C representa fator de escala e o fator K a constante de *Weibull*.

O período escolhido para a análise do recurso da região foi de um ano, com base em uma série de dados medidos e elaborada pelo CRESESB.

É importante referir que essas informações são indicativas e orientativas. Para avaliações de recursos eólicos com maiores precisões recomenda-se a realização de campanhas de medições com torres anemométricas, atendendo às especificações exigidas para outorga e participação em leilões promovidos pelo Governo Federal.

O que se pode inferir do estudo do recurso eólico é que a região possui uma velocidade média anual de 5,19 m/s e que os meses com maiores médias de velocidade são os compreendidos entre setembro a novembro como apresenta o gráfico 3 (CORTEZ; SÉRGIO DE SALVO BRITO; CEPEL, 1994).

Gráfico 3 – Dados de velocidade de vento trimestrais da fazenda 1



Fonte: site CRESESB

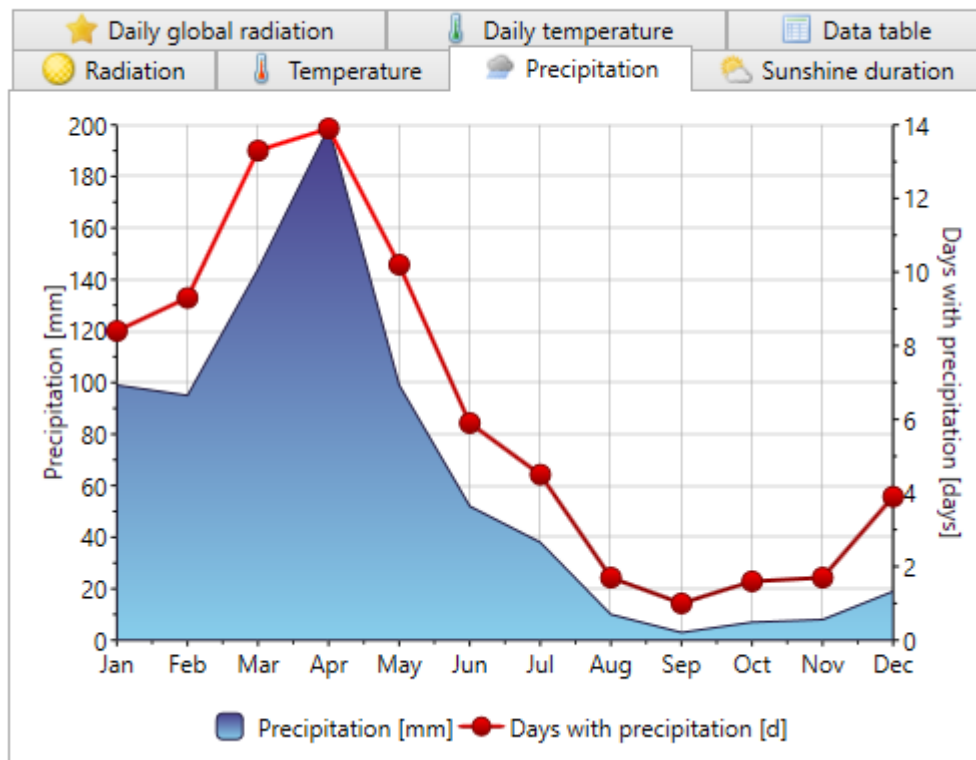
Os dados de precipitação são importantes para a logística de operação e manutenção dos aerogeradores, pois nesse período de chuvas as atividades ficam restritas, e isso poderia acarretar custos.



Além disso, nos períodos de chuva ocorre maior incidência de raios e de acordo com os dados do INPE<sup>5</sup> (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) fornecidos em tempo real, o município de Forquilha é o 6º com maior densidade de descargas elétricas atmosféricas do Estado do Ceará, chegando a aproximadamente 7,30 km<sup>2</sup>/ano, o que leva a necessidade de parada das turbinas. Desse modo, no gráfico 4 tem-se os dados de regime de chuvas (MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, 2019).

Gráfico 4 – precipitação de chuvas na fazenda 1

### Fazenda 1



Fonte: Aplicativo Meteonorm

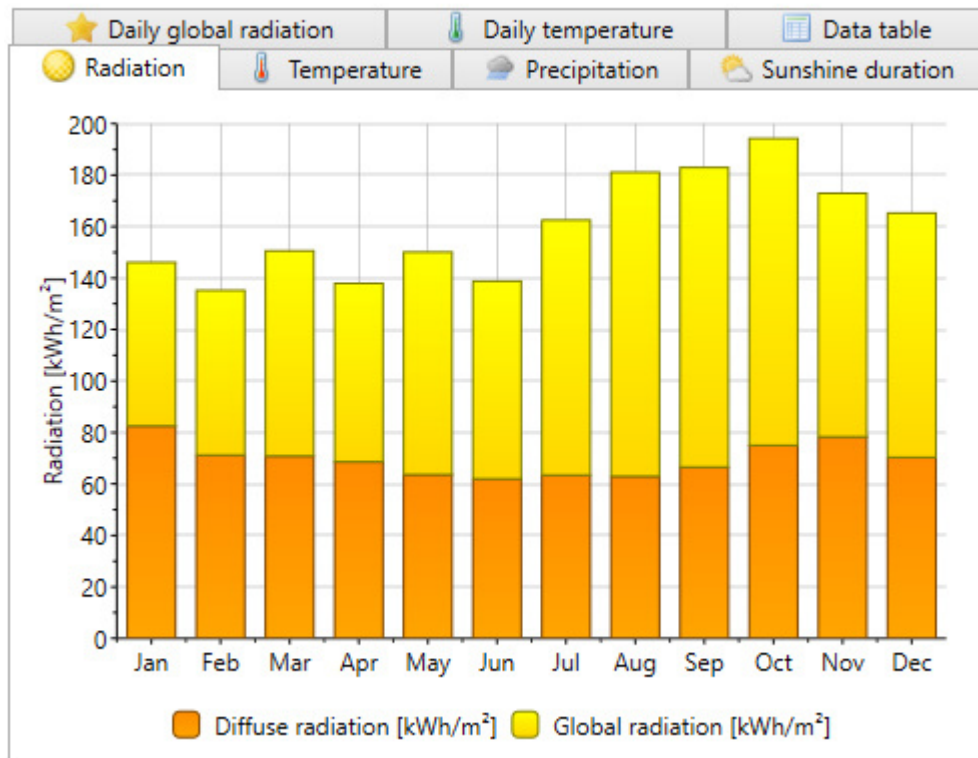
## 5.2 Dados climáticos da fazenda 2

### 5.2.1 Recurso solar

Para a latitude:  $-4.521980^\circ$  e longitude:  $-40.130415^\circ$  escolhida no ponto central do terreno da fazenda 2 foi calculado através dos dados do *Meteonorm*, valores de irradiação solar para representar, de forma preliminar, o recurso da área indicado pelo gráfico 5.

<sup>5</sup> O Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) foi criado em 1961 com o objetivo de capacitar o país nas pesquisas científicas e nas tecnologias espaciais, <http://www.inpe.br/>.

Gráfico 5 – Dados de radiação solar para fazenda 2

**Fazenda 2**

Fonte: Aplicativo Meteonorm

A partir do gráfico 5 é possível notar que nos períodos de agosto a dezembro ocorrem índices mais elevados de radiação direta, que é um dos principais fatores analisados quando se trata produção de energia solar fotovoltaica, pois é a parte da radiação solar total que não sofre nenhum desvio causado pela atmosfera, vindo diretamente do sol. Mesmo nos meses onde os índices de radiação direta é menor, não fica muito abaixo dos principais meses, apresentando boa constância anual (PINHO; GALDINO, 2014).

É importante referir que essas informações são indicativas e possuem algumas limitações. Para avaliações mais precisas, necessita-se de medições de irradiação solar no local de instalação através de torres solarimétricas.

O que se pode inferir do estudo do recurso solar é que a região possui uma boa disponibilidade de radiação solar e que os meses com maiores médias de irradiação são os compreendidos entre agosto a dezembro, conforme indica a tabela 3:

Tabela 3 – Tabela de radiação solar da fazenda 2

**Fazenda 2**

|           | Radiation<br>★ Daily global radiation | Temperature<br>🌡️ Daily temperature | Precipitation<br>☁️      | Sunshine duration<br>☀️ | Data table |           |  |
|-----------|---------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------|-------------------------|------------|-----------|--|
|           | Gh<br>kWh/m <sup>2</sup>              | Dh<br>kWh/m <sup>2</sup>            | Bn<br>kWh/m <sup>2</sup> | Ta<br>°C                | Td<br>°C   | FF<br>m/s |  |
| January   | 146                                   | 82                                  | 96                       | 28,4                    | 22,6       | 2,3       |  |
| February  | 135                                   | 71                                  | 89                       | 28,2                    | 22,9       | 1,9       |  |
| March     | 151                                   | 71                                  | 111                      | 27,9                    | 23,3       | 1,6       |  |
| April     | 138                                   | 69                                  | 99                       | 27,8                    | 23,3       | 1,4       |  |
| May       | 150                                   | 64                                  | 131                      | 28,3                    | 23         | 1,8       |  |
| June      | 139                                   | 62                                  | 120                      | 28                      | 22         | 2         |  |
| July      | 163                                   | 63                                  | 153                      | 28                      | 20,9       | 2,4       |  |
| August    | 181                                   | 63                                  | 174                      | 28,3                    | 20,3       | 2,8       |  |
| September | 183                                   | 67                                  | 166                      | 28,7                    | 20,2       | 3,2       |  |
| October   | 194                                   | 75                                  | 168                      | 29,1                    | 20,5       | 3,3       |  |
| November  | 173                                   | 78                                  | 135                      | 29,3                    | 21         | 3,2       |  |
| December  | 165                                   | 70                                  | 137                      | 29,1                    | 21,8       | 2,9       |  |
| Year      | 1916                                  | 835                                 | 1581                     | 28,4                    | 21,8       | 2,4       |  |

Fonte: Aplicativo Meteonorm

Na tabela 3 a radiação global é representada por Gh, a radiação horizontal difusa por Dh, radiação direta normal por Bn, a temperatura do ar (2m) por Ta, a temperatura de orvalho Td, a velocidade do vento por FF.

Para o caso da fazenda 2 os dados utilizados de nebulosidade serão representados pelos dados do município de Santa Quitéria, pois é o local mais próximo que possui fonte de dados pelo site *WeatherSpark*.

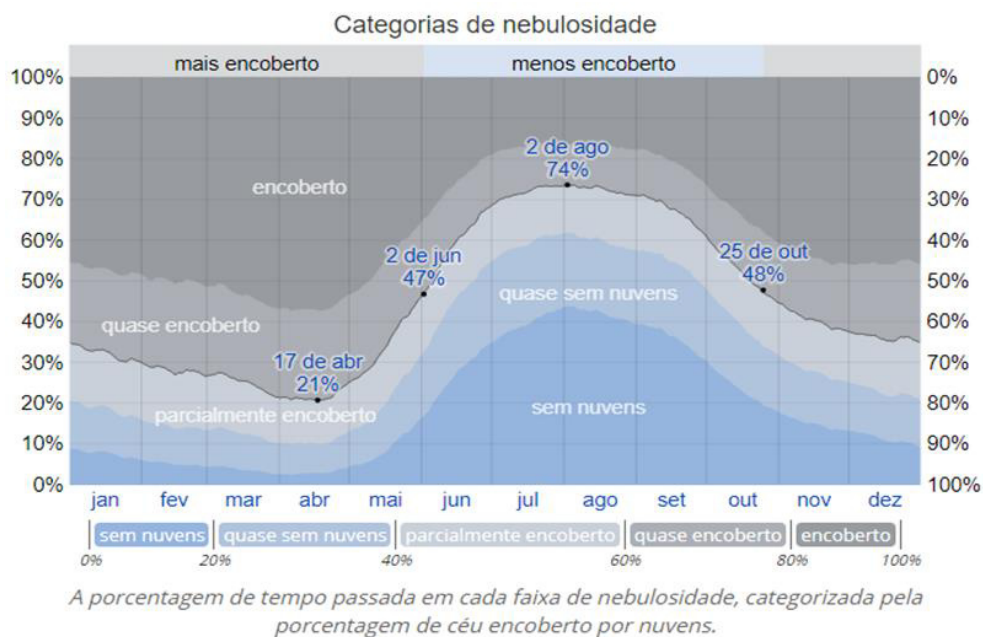
Em Santa Quitéria, a porcentagem média de céu encoberto por nuvens sofre extrema variação sazonal ao longo do ano (DIEBEL; NORDA; KRETCHMER, 2019).

A época menos nublada do ano em Santa Quitéria começa por volta de 2 de junho e dura 4,7 meses, terminando em 25 de outubro. Em 2 de agosto, o dia menos nublado do ano, o céu permanece sem nuvens, quase sem nuvens ou parcialmente encoberto durante 74% do tempo e encoberto ou quase encoberto durante 26% do tempo (DIEBEL; NORDA; KRETCHMER, 2019).

A época mais nublada do ano começa por volta de 25 de outubro e dura 7,2 meses, terminando em torno de 2 de junho. Em 17 de abril, o dia mais nublado do ano, o céu permanece encoberto ou quase encoberto durante 79% do tempo e sem nuvens, quase sem nuvens ou

parcialmente encoberto durante 21% do tempo como indicado no gráfico 6 (DIEBEL; NORDA; KRETCHMER, 2019).

Gráfico 6 – nebulosidade em Santa Quitéria



Fonte: site WeatherSpark

### 5.2.2 Recurso eólico

Para latitude:  $-4.519934^\circ$  e longitude:  $-40.134657^\circ$ , escolhida num ponto central do terreno da fazenda 2, calculou-se através dos dados do CRESESB, valores de velocidade do vento para representar, de forma preliminar, o recurso eólico do terreno da fazenda 2 apresentado pela tabela 5.

O período escolhido para a análise do recurso da região foi de um ano com base em uma série de dados medidos e elaborada pelo CRESESB.

Tabela 5 – Dados de ventos da fazenda 2

#### Dados de Vento

Latitude:  $4,519934^\circ$  S  
Longitude:  $40,134657^\circ$  O

| Atlas do Potencial Eólico Brasileiro |                  | Dados de vento a 50 m de Altura |         |         |         |       |
|--------------------------------------|------------------|---------------------------------|---------|---------|---------|-------|
| Grandeza                             | Unidade          | Dez-Fev                         | Mar-Mai | Jun-Ago | Set-Nov | Anual |
| velocidade média do vento            | m/s              | 4,8                             | 3,48    | 5,56    | 6,72    | 5,14  |
| fator c                              |                  | 5,42                            | 3,93    | 6,26    | 7,48    | 5,8   |
| fator k                              |                  | 2,16                            | 1,99    | 2,59    | 3,4     | 2,21  |
| densidade de potência                | W/m <sup>2</sup> | 120                             | 50      | 162     | 245     | 144   |

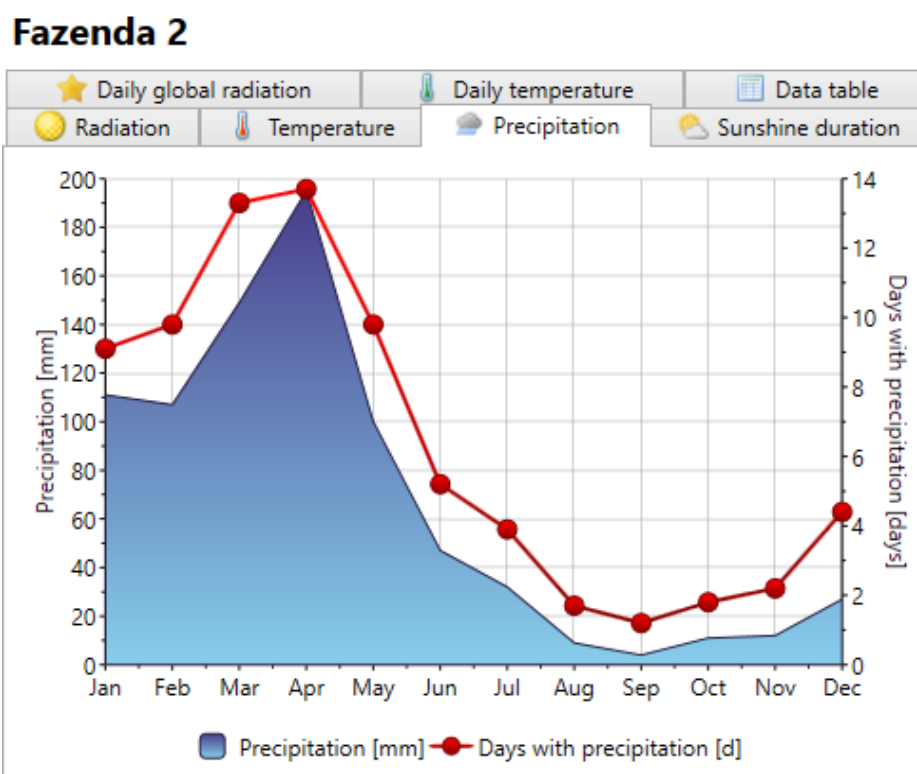
Fonte: site CRESESB

É importante referir que essas informações são indicativas e orientativas. Para avaliações de recursos eólicos com maiores precisões recomenda-se a realização de campanhas de medições com torres anemométricas atendendo às especificações exigidas para outorga e participação em leilões promovidos pelo Governo Federal.

Os dados de precipitação são importantes para a logística de operação e manutenção dos aerogeradores, pois nesse período de chuvas as atividades ficam restritas.

Além disso, ocorre maior incidência de raios e de acordo com os dados do INPE que fornece dados em tempo real o município de Catunda é o 120º com maior densidade de descargas elétricas atmosféricas do Estado do Ceará, chegando a aproximadamente 1,84 km<sup>2</sup>/ano o que leva a necessidade de parada das turbinas, desse modo, segue no gráfico 7 os dados de regime de chuvas (MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, 2019).

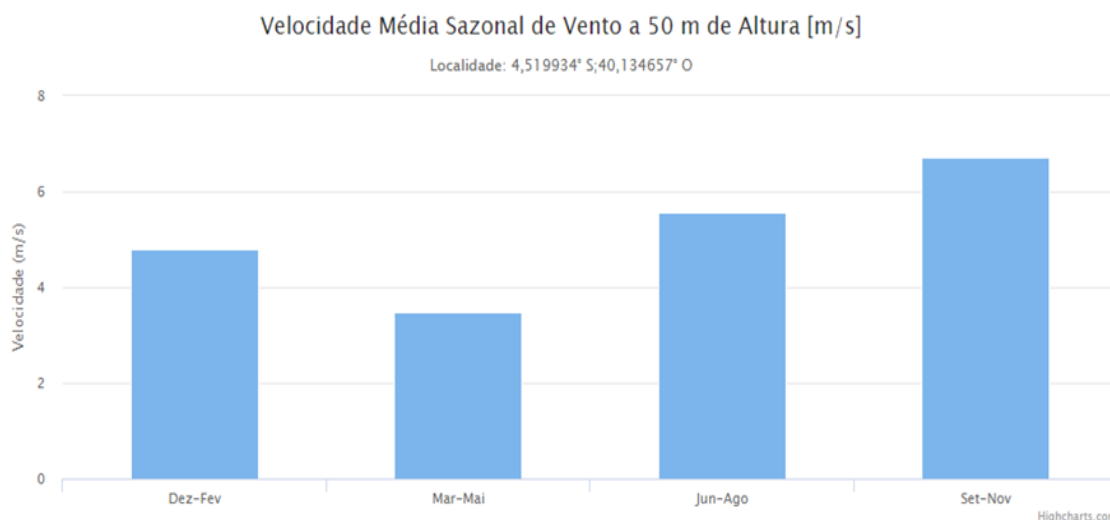
Gráfico 7 – precipitação de chuvas na fazenda 2



Fonte: aplicativo Meteonorm

O que se pode inferir do estudo do recurso eólico é que a região possui uma velocidade média anual de 5,14 m/s e que os meses com maiores médias de velocidade são os compreendidos entre setembro a novembro como tem-se no gráfico 8.

Gráfico 8 – Dados de velocidade de vento trimestrais da fazenda 2



Fonte: site CRESESB

### 5.3 Topografia e características de solos

Para gerar os dados topográficos é necessário exportar os dados georreferenciados no *Google Earth*, para o *Global Mapper*<sup>6</sup>, um *software* de geoprocessamento capaz de exibir formatos como vetores, dados elevação, curvas de nível dentre outras funções.

#### 5.3.1 Topografia e características de solo da fazenda 1

O terreno da fazenda 1 possui desníveis com variação de 50 metros até 650 metros, além disso possui uma grande elevação que é a serra localizada dentro do terreno com altitude de 746 metros acima do nível do mar ilustrados pela figura 5.

Conforme o site da CPRM<sup>7</sup> (Companhia de pesquisa de recursos minerais), ocorrem na região solos bruno não-cálcicos, e, subsidiariamente, os podzólicos, cobertos por caatinga arbustiva aberta e caatinga arbórea, com espécies espinhosas. (VASCONCELOS et al., 1998)

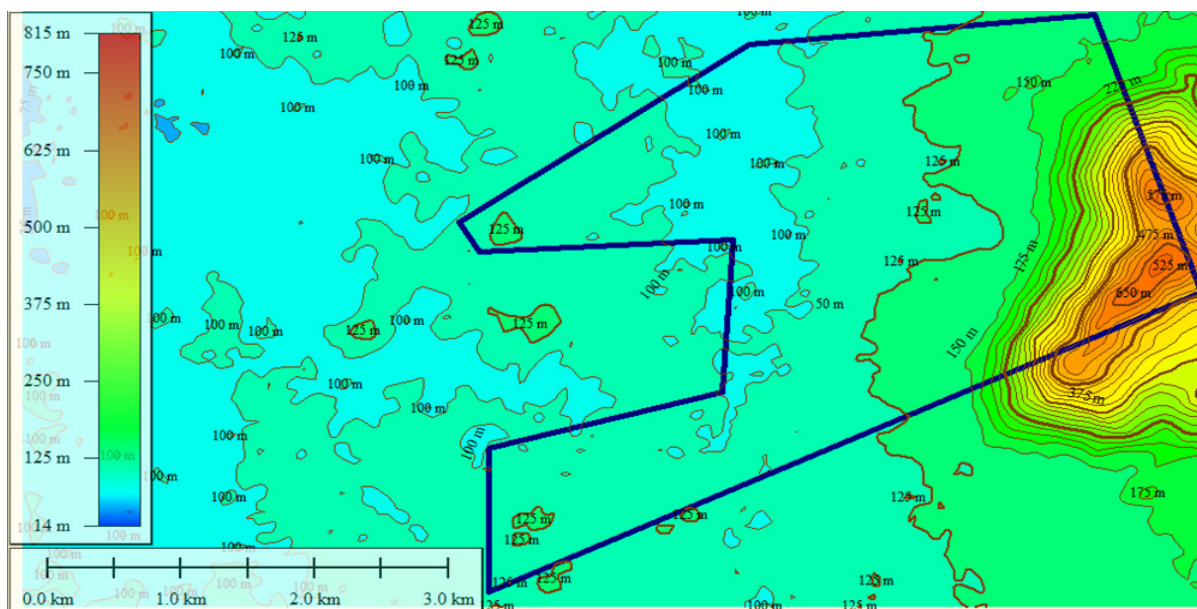
O município de Forquilha apresenta um quadro geológico relativamente simples, observando-se um predomínio de rochas do embasamento cristalino de idade pré-cambriana, representadas por gnaisses e migmatitos diversos, associados a quartzitos, granitos e xistos. Sobre esse substrato repousam coberturas aluvionares, de idade quaternária, encontradas ao longo dos principais cursos d'água que drenam o município e foi considerada as características

<sup>6</sup> O Global Mapper 17.0.5, é um *software* de geoprocessamento completo e rico em funcionalidades, polivalente e de uso muito fácil e intuitivo. <http://www.engesat.com.br/software/global-mapper/>.

<sup>7</sup> CPRM, Empresa Pública vinculada ao Ministério de Minas e Energia com as atribuições de Serviço Geológico do Brasil, <http://www.cprm.gov.br/>.

básicas de solo e vegetação para as proximidades da fazenda 1. Para uma análise mais detalhada é necessário um estudo topográfico específico no local indicado para instalação dos equipamentos de geração de energia (VASCONCELOS et al., 1998).

Figura 5 – Topografia da fazenda 1



Fonte: Elaborada pelo autor

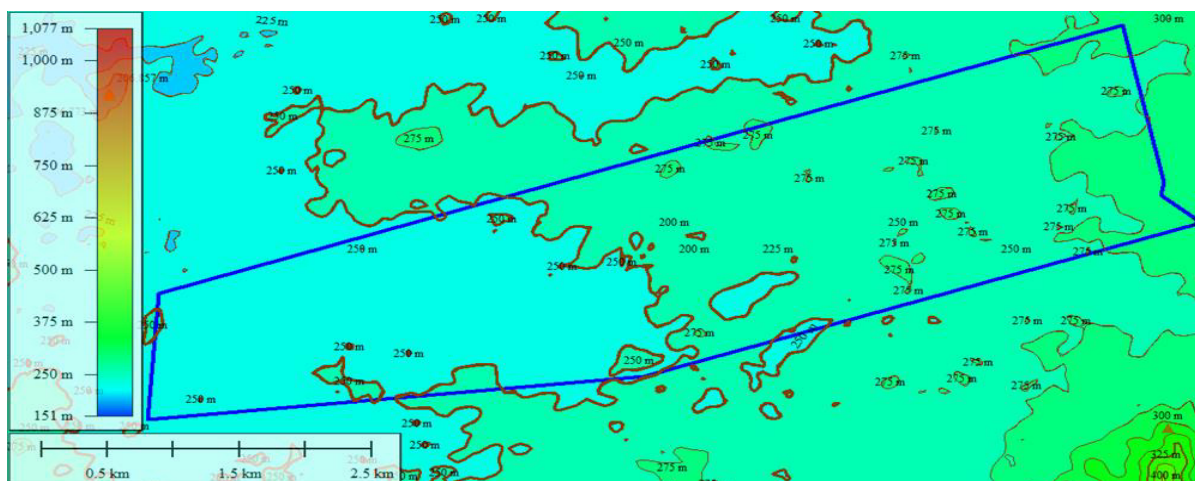
### 5.3 Topografia e características de solo da fazenda 2

O terreno da fazenda 2 possui desníveis com variação de 250 metros até 270 metros acima do nível do mar como ilustrado na figura 6.

Conforme o site CPRM, desenvolvem-se na região solos tipo bruno não-cálcico e podzólicos, e a vegetação típica é a caatinga arbustiva aberta, em determinados locais com espécies de maior porte (caatinga arbórea ou floresta caducifólia espinhosa); nos maciços e vertentes, desenvolve-se a floresta subcaducifólia tropical pluvial (CPRM, 1998).

O município de Catunda apresenta um quadro geológico relativamente simples, observando-se um predomínio de rochas do embasamento cristalino, representadas principalmente por granitos e granitóides do pré-cambriano indiviso. Sobre esse substrato, repousam coberturas sedimentares terciário-quadernárias, detríticas, que aparecem como manchas isoladas na região e coberturas aluvionares, de idade quadernária, encontradas ao longo dos principais cursos d'água que drenam o município. As características básicas de vegetação e solo serão aplicadas de forma preliminar ao terreno da fazenda 2. Para uma análise mais detalhada é necessário um estudo topográfico específico no local indicado para a instalação dos equipamentos de geração de energia (CPRM, 1998)

Figura 6 – Topografia da fazenda 2



Fonte: Elaborado pelo autor

## 7 CÁLCULO DA PRODUÇÃO ANUAL DE ENERGIA

Para a análise do potencial solar e eólico, foram elaborados *layouts* básicos representativos de usinas fotovoltaicas e parques eólicos para os dois terrenos, com o intuito de avaliar a viabilidade da geração solar nas áreas úteis nas fazendas, de acordo com as características meteorológicas e do solo. Isso permite estimar a dimensão para cada usina e a quantidade de equipamentos a serem distribuídos nos terrenos, atentando-se para algumas considerações e restrições que possam existir nas áreas.

### 7.1. Possíveis interferências

Considerando todos os dados meteorológicos, topografia, características de solo, características de vegetação e a distancias das subestações de cada fazenda, é possível indicar aspectos que necessitem de especial atenção devido ao possível impacto na viabilidade do investimento.

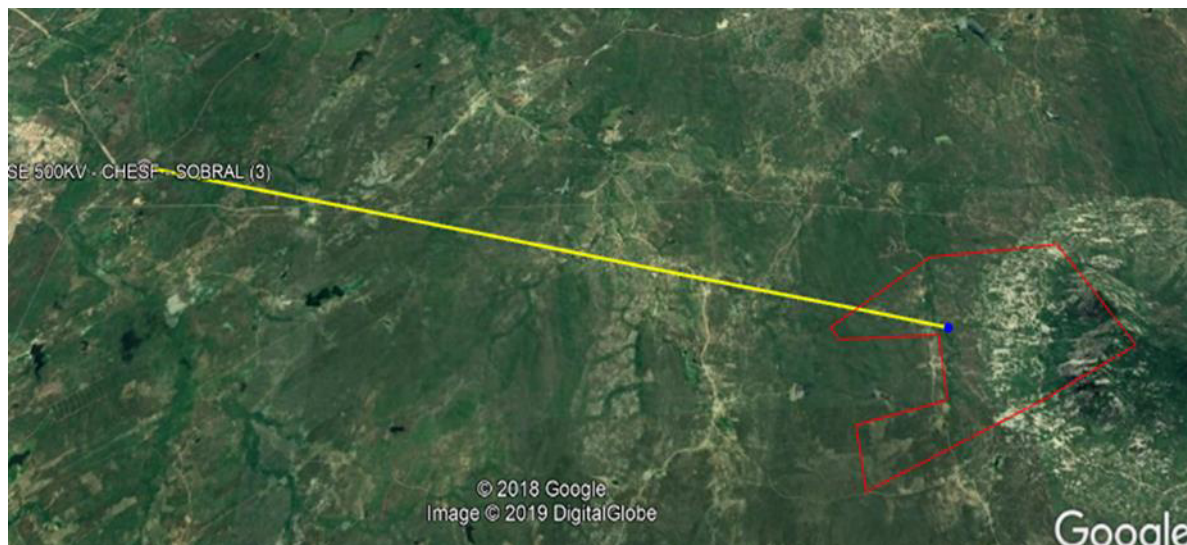
Na fazenda 1, é possível apontar algumas desvantagens como as elevadas diferenças de altitudes devido à proximidade com a serra de elevada altitude, que podem gerar zonas de sombreamento e atrapalhar as correntes de ventos favoráveis em algumas áreas do terreno, além disso, pelas características de solo e vegetação será necessária uma análise detalhada, já que pode implicar em custos de obras civis devido ao solo duro e a áreas de restrições ambientais.

A vantagem da fazenda 1 é possuir proximidade com a subestação da Rede Básica da concessionária de transmissão CHESF SE Sobral III (SE SBT) em tensão de 500 kV, que



dista cerca de 21,7 km do terreno. A figura 7 ilustra o terreno com relação a subestação SE Sobral III.

Figura 7 – Distância entre a subestação e a fazenda 1



Fonte: Elaborada pelo autor

Na fazenda 2, as desvantagens são as consideráveis distâncias entre o terreno e as subestações mais próximas, com distancias superiores a 30 km em linha reta, podendo inviabilizar os custos com transmissão, a média baixa de velocidade de vento, além disso, pelas características de solo e vegetação será necessária uma investigação mais detalhada, pois podem implicar em custos de obras civis.

As duas subestações mais próximas do terreno da fazenda 2, são: a SE Nova Russas (69 kV) que dista do terreno 49,32 km e a SE Monsenhor Tabosa (69 kV) que dista cerca de 30,64 km do terreno. Ambas pertencem ao sistema de distribuição da concessionária ENEL. A figura 8 ilustra o terreno com relação as duas subestações citadas, SE Nova Russas e SE Monsenhor Tabosa.

Figura 8 – Distância entre a subestação e a fazenda 2



Fonte: Elaborada pelo autor

A vantagem da fazenda 2 é o fato do terreno ser mais nivelado que na fazenda 1, facilitando questões de instalação dos equipamentos de geração, além disso suas preocupações ambientais são mais simples se comparada com a fazenda 1.

## 7.2. Descritivos de equipamentos a serem utilizados

Os equipamentos utilizados na análise estimada foram escolhidos pelo seu alto grau de qualidade e por serem mais comumente utilizados no mercado de energia solar fotovoltaica e no mercado de energia eólica.

### 7.2.1. Equipamentos de geração fotovoltaica

Foram analisados dois modelos de módulos fotovoltaicos, porém de tecnologias distintas – um de silício monocristalino e outro de silício policristalino, das fabricantes JA Solar e Canadian Solar respectivamente, essas tecnologias podem apresentar diferentes desempenhos quando submetidas a determinadas faixas de temperatura, como é o caso do monocristalino que pode (CANADIAN SOLAR, 2019); (JA SOLAR, 2019).

Para os inversores, devido ao tamanho físico e o potencial solar das duas fazendas, a análise foi realizada utilizando inversores interativos centrais, com maior potência e robustez. Esses equipamentos possuem os sistemas de proteção necessários à conexão à rede já implementados em seu *hardware* e *software*. Foram escolhidos os inversores do fabricante ABB

(modelo PVS980-58) e os inversores do tipo eletrocentro solar da fabricante WEG (modelo ESW700-4.0). As tabelas 6 e 7 apresentam as informações técnicas desses equipamentos (ABB, 2018); (WEG, 2019).

Tabela 6 – Informações sobre os módulos fotovoltaicos

| MÓDULOS FOTOVOLTAICOS |               |          |                |
|-----------------------|---------------|----------|----------------|
| FABRICANTE            | MODELO        | POTÊNCIA | DESCRIÇÃO      |
| Canadian Solar        | MAXPOWER CS6U | 355 Wp   | Policristalino |
| JA Solar              | JAM72S01 Mono | 370 Wp   | Monocristalino |

Fonte: Elaborada pelo autor

Tabela 7 – Informações sobre os inversores

| INVERSORES CENTRAIS |                     |           |   |
|---------------------|---------------------|-----------|---|
| FABRICANTE          | MODELO              | POTÊNCIA  | DESCRIÇÃO   |
| ABB                 | PVS980-58           | 2.000 kW  | Sem transformador                                     |
| WEG Solar           | Eletrocentros Solar | 4.000 kVA | 2x Inversores 2.000 kW + 1x Transformadores 4.200 kVA |

Fonte: Elaborada pelo autor

### 7.2.2. Descritivo de geração eólica

Foram analisados três modelos de aerogeradores, porém de tecnologias distintas – um modelo WEG, outro *Wolbben Enercon* e outro Vestas. As tabelas com as informações técnicas desses equipamentos seguem na tabela 8. (VESTAS, 2018); (WEG, 2017); (WOBBEN WINDPOWER, 2016).

Tabela 8 – Especificações dos aerogeradores

| TURBINAS EÓLICAS |         |          |          |
|------------------|---------|----------|----------|
| FABRICANTE       | MODELO  | POTÊNCIA | DIÂMETRO |
| Vestas           | V117    | 4.200 kW | 117 m    |
| Wobben Enercon   | E-92    | 2.350 kW | 92 m     |
| Weg              | AGW-110 | 2.200 kW | 110 m    |

Fonte: Elaborada pelo autor

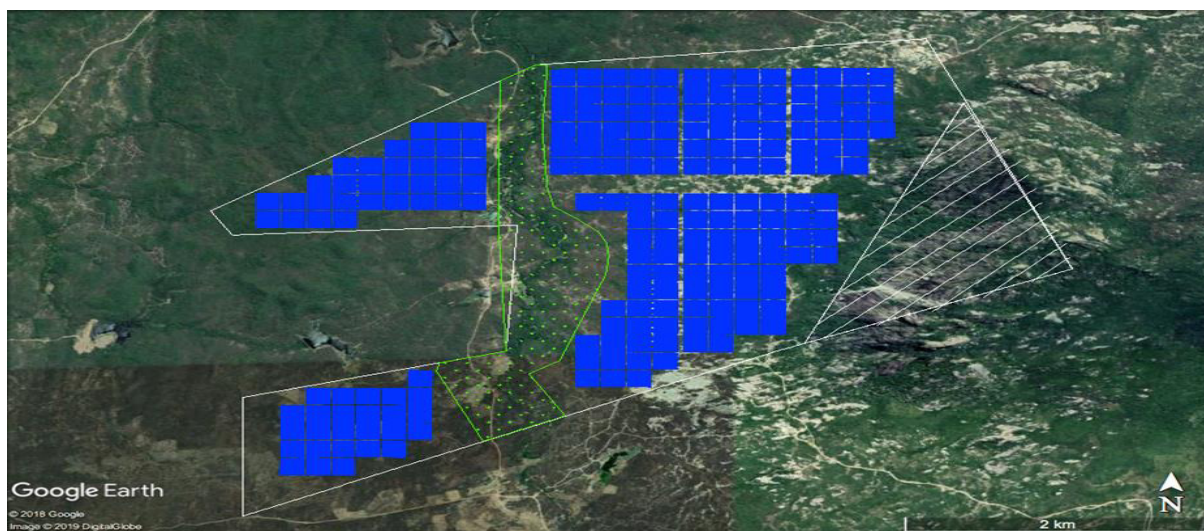
### 7.3 Descritivo físico dos parques

O estudo do *micrositing* preliminar foi desenvolvido via *software* CAD computacional em cima das coordenadas das áreas das fazendas.

#### 7.3.1. *Layout* da fazenda 1

Esse terreno possui 1.284,66 hectares, sendo cerca de 973 hectares de área considerada útil para a instalação de uma usina solar. Essa área útil é definida a partir da exclusão de 20% de área total do terreno destinada à ARL (Área de Reserva Legal) e aplicando um fator de área na alocação dos painéis de 100%.w A figura 9 referente ao *layout* preliminar elaborado para esse terreno (BRASIL, 2012); (SOUZA; IVAN; TAPIA, 2018).

Figura 9 – *Layout* preliminar da usina solar da fazenda 1



Fonte: Elaborada pelo autor

A área hachurada em branco compreende a região mais próxima da serra, onde o sombreamento prejudica a produção de energia e a área hachurada em verde compreende uma região de proteção ambiental, visto que há um riacho cortando o terreno nesta posição.

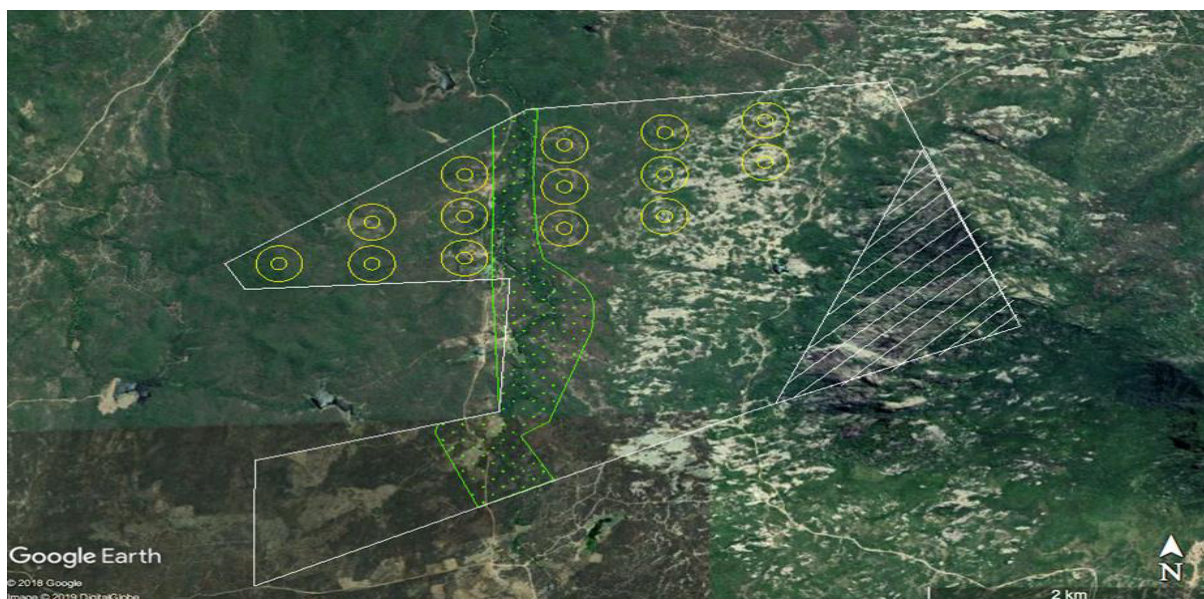
Para o caso da usina eólica, as considerações utilizadas para esse desenvolvimento foram:

- Diâmetro médio da turbina: 110m;
- Direção predominante do vento: Leste;
- Distância lateral entre turbinas: 330m – 3D (três diâmetros);
- Distância frontal entre turbinas: 660m – 6D (seis diâmetros);

Para esse estudo, foram utilizados os distanciamentos mínimos exigidos pela resolução Normativa da Aneel 391, de 15 de dezembro de 2009, 3D entre turbinas e 6D entre as fileiras na direção predominante do vento. O intuito da construção desse *layout* foi avaliar o potencial da região em termos de quantidade de turbinas que poderiam ser alocadas no terreno (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL, 2009).

Considerando um comportamento estável do vento como normalmente ocorre na região nordeste bem como sua direção constante, esses distanciamentos são aplicados para que não ocasione grandes turbulências no vento e esteiras entre as turbinas como ilustrado na figura 10 (AMARANTE; ZACK; SÁ, 2001).

Figura 10 – *Layout* preliminar do parque eólico da fazenda 1



Fonte: Elaborada pelo autor

Devido à proximidade da serra com o terreno, à leste, a área útil para um projeto de parque eólico ficou limitada mais ao norte onde a interferência nos ventos é minimizada. A serra em questão bloqueia o vento em sua direção predominante, provocando turbulência e tornando o vento “pobre” em alturas padrões de aerogeradores.

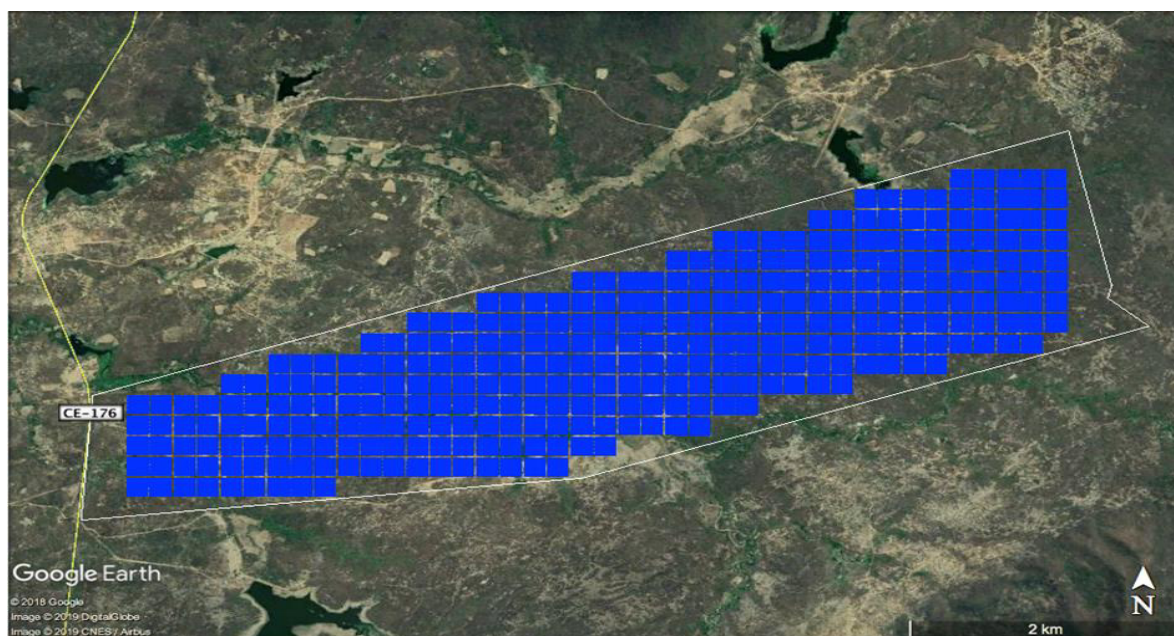
Com isso, a área útil para um projeto eólico ficou aproximadamente 428 hectares que estaria apta a receber 14 turbinas eólicas, resultando em até de 58,8 MW de potência para o terreno.

Para elaboração de um *layout* final, uma análise mais detalhada deverá ser realizada levando em consideração os estudos ambientais dos locais, medições de vento nos locais cálculo de incertezas e cálculo de sombreamento nos módulos fotovoltaicos e as esteiras entre as turbinas.

### 7.3.2. Layout da fazenda 2

Com base nas premissas estabelecidas, a análise foi realizada para a fazenda 2. A fazenda em questão possui 1.290,34 hectares, sendo cerca de 1.032 ha de área útil para a instalação de uma usina solar fotovoltaica como demonstrado na figura 11.

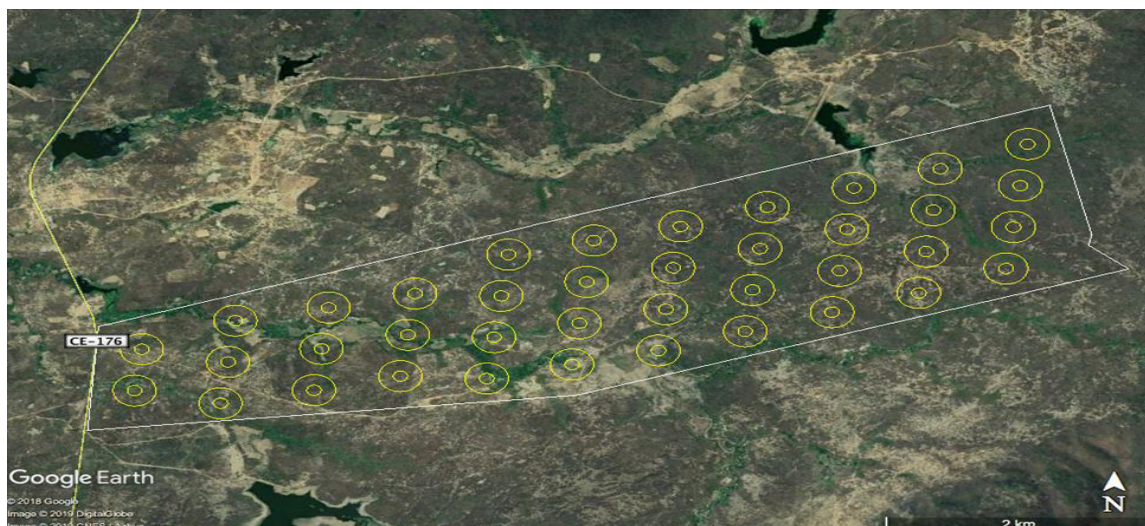
Figura 11 – *Layout* da usina solar da fazenda 2



Fonte: Elaborada pelo autor

A fazenda em questão possui 1.290,34 hectares, sendo cerca de 1.032 ha de área útil para a instalação de uma usina solar fotovoltaica.

A área da fazenda 2 possui uma geografia favorável em comparação ao terreno da fazenda 1 e a área útil para um projeto eólico é praticamente o terreno todo da fazenda. Desse modo, o estudo mostra que a área possui condições de receber 39 turbinas eólicas e dessa forma, projeto eólico teria até 163,80 MW como foi ilustrada na figura 12.

Figura 12 – *Layout* preliminar do parque eólico da fazenda 2

Fonte: Elaborada pelo autor

#### 7.4. Estimativa de produção

A produção de energia solar bruta anual é estimada através da modelagem do recurso solar associada às características climáticas locais. Essa produção estimada corresponde ao valor anual com a maior probabilidade de ocorrência. Segue a fórmula usada para os cálculos da produção anual.

$$PA(MWh) = CI(MW) \times N^{\circ} \text{ de horas do ano} \times FC \quad (1)$$

Onde PA representa a produção anual, CI capacidade instalada e FC fator de capacidade para o Ceará.

Assim, para cada terreno e seu correspondente *layout* preliminar, pode-se encontrar uma capacidade instalada estimada em MWp<sup>8</sup> (Megawatt pico) e uma produção de energia estimada em MWh (Megawatt hora), para cada fazenda, conforme as tabelas 8 e 9.

<sup>8</sup> Watt-pico é uma medida de potência energética, normalmente associada com células fotovoltaicas, indicando a potência máxima do painel. As unidades mais corretamente usadas são os múltiplos do Wp, como o kWp ou o MWp.

Tabela 8 – Produção estimada para fazenda 1

| Fazenda 1 (973,81 ha)                        |                      |                     |
|--|----------------------|---------------------|
| Fabricante dos Módulos                       | Canadian solar       | JA solar            |
| Modelo                                       | MAXPOWER CS6U (poli) | JAM72S01 (mono)     |
| Dimensões (A x L x E)                        | 1.960 x 992 x 35 mm  | 1.960 x 991 x 40 mm |
| Potência do Módulo (Wp)                      | 355                  | 370                 |
| Quantidade de Módulos/Mesa                   | 42                   |                     |
| Quantidade de Mesas                          | 33.488               |                     |
| Quantidade de Inversores ABB                 | Aproximadamente 208  |                     |
| Quantidade de Inversores WEG (Eletrocentros) | Aproximadamente 104  |                     |
| Fator de Capacidade                          | 19%                  |                     |
| Potência Estimada da Usina (MWp)             | 499,30               | 527,44              |
| Produção Anual de Energia (MWh)              | 831.034,92           | 877.871,14          |

Fonte: Elaborada pelo autor

Tabela 9 – Produção estimada para fazenda 2

| Fazenda 2 (1290,34 ha)                       |                      |                     |
|--|----------------------|---------------------|
| Fabricante dos Módulos                       | Canadian solar       | JA solar            |
| Modelo                                       | MAXPOWER CS6U (poli) | JAM72S01 (mono)     |
| Dimensões (A x L x E)                        | 1.960 x 992 x 35 mm  | 1.960 x 991 x 40 mm |
| Potência do Módulo (Wp)                      | 355                  | 370                 |
| Quantidade de Módulos/Mesa                   | 42                   |                     |
| Quantidade de Mesas                          | 51.037               |                     |
| Quantidade de Inversores ABB                 | Aproximadamente 320  |                     |
| Quantidade de Inversores WEG (Eletrocentros) | Aproximadamente 160  |                     |
| Fator de capacidade                          | 19%                  |                     |
| Potência Estimada da Usina (MWp)             | 760,96               | 793,11              |
| Produção Anual de Energia (MWh)              | 1.266.541,82         | 1.320.052,28        |

Fonte: Elaborada pelo autor

A produção bruta anual de energia é estimada, correspondendo ao valor anual mais provável de ocorrer.

Para este estudo não foi levado em consideração as perdas por efeito de esteira entre os próprios aerogeradores e a rugosidade do terreno, sendo, portanto, sugerido apenas *layouts* preliminares e valores de produção estimados.

Considera-se relevante comentar que o fator de capacidade adotado para os parques foi estimado baseando-se em cálculos e comparado com o fator de capacidade médio previsto para o estado do Ceará indicado na tabela 10. Ressalta-se ainda que para a produção estimada



utilizou o modelo de turbina Vestas V117@117m e 4.2 MW de potência (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL, 2009); (VESTAS, 2018).

Tabela 10 – Estimativa de produção de energia eólica para as fazendas 1 e 2

| Produção Eólica                          |           |           |
|--|-----------|-----------|
| Terenos                                  | Fazenda 1 | Fazenda 2 |
| Quantidade de máquinas                   | 14        | 39        |
| Capacidade instalada (MW)                | 58,8      | 163,8     |
| Número de horas / ano                    | 8760      |           |
| Produção anual de energia esperada (MWh) | 515188    | 1434888   |
| Fator de Capacidade estimado (%)         | 43,40%    |           |
| Produção anual de energia estimada (MWh) | 223548,19 | 622741,39 |

Fonte: Elaborada pelo autor

## 8 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As áreas das fazendas 1 e 2 apresentadas para análise de potencial de geração solar fotovoltaica nesse estudo, apresentam um grande potencial para instalação de parques de geração solar fotovoltaica, variando de 499,30 MW (com painel Canadian) a 527,44 MW (com painel JA), para a fazenda 1, e de 760,96 MW (com painel Canadian) a 793,11 MW (com painel JA), para a fazenda 2. A confirmação desse potencial requer uma avaliação mais criteriosa local a partir de um estudo detalhado de uso e ocupação do solo, onde serão excluídas todas as áreas com impedimentos ambientais, estruturais físicos e deficientes de irradiação por sombreamento natural.

No caso da geração eólica as fazendas 1 e 2 apresentaram nesse estudo, um potencial para geração de energia eólica de 58,80 MW e 163,80 MW respectivamente.

Desse modo, na tabela 11 tem-se a estimativa de investimento para a implantação das usinas solares fotovoltaicas nas áreas da fazenda 1 (UFV 1) e da fazenda 2 (UFV 2), foram consideradas as premissas de mercado adotadas para os projetos vencedores dos últimos leilões realizados pelo Governo Federal para o atendimento do mercado regulado de energia. Para os totais de capacidades instaladas possíveis estimados para as duas fazendas apresenta-se as estimativas para investimento (CAPEX<sup>9</sup>) valores que podem variar de 2 a 3 milhões R\$ por MWp (EPE; MINISTÉRIOS DE MINAS E ENERGIA, 2017).

<sup>9</sup> CAPEX é a sigla da expressão inglesa *capital expenditure* (em português, despesas de capital ou investimento em bens de capital) e que designa o montante de dinheiro despendido na aquisição (ou introdução de melhorias) de bens de capital de uma determinada empresa.

Tabela 11 – Estimativa de CAPEX para instalação de usinas fotovoltaicas nas áreas da fazenda 1, Forquilha-CE e fazenda 2, Catunda-CE.

| Usina Solar Fotovoltaica | Capacidade Instalada (MWp) | Produção Anual de Energia (MWh) | CAPEX (b R\$) |
|--------------------------|----------------------------|---------------------------------|---------------|
| <b>UFV 1</b>             | 499,30                     | 831.034,92                      | 1,35          |
|                          | 527,44                     | 877.871,14                      | 1,42          |
| <b>UFV 2</b>             | 760,96                     | 1.266.541,82                    | 2,05          |
|                          | 793,11                     | 1.320.052,28                    | 2,14          |

Fonte: Elaborada pelo autor

A estimativa de investimento para a implantação das usinas eólicas nas áreas da fazenda 1 (EOL 1) e da fazenda (EOL 2) estruturadas na tabela 12, foram consideradas as mesmas premissas de mercado adotadas para os projetos vencedores dos últimos leilões realizados pelo Governo Federal para o atendimento do mercado regulado de energia. Para os totais de capacidades instaladas possíveis estimados para as duas fazendas apresenta-se as estimativas para investimento (CAPEX) valores podem variar de 4 a 5 milhões de R\$ por MW (EPE; MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME), 2018).

Tabela 12 – Estimativa de CAPEX para instalação de usinas eólicas nas áreas da fazenda 1, Forquilha-CE e fazenda 2, Catunda-CE.

| Usina de Energia Eólica | Capacidade Instalada (MW) | Produção Anual de Energia (MWh) | CAPEX (MM R\$) |
|-------------------------|---------------------------|---------------------------------|----------------|
| <b>EOL 1</b>            | 58,8                      | 223.458,19                      | 294            |
| <b>EOL 2</b>            | 163,8                     | 622.741,39                      | 819            |

Fonte: Elaborada pelo autor

A partir disso, para seguir com qualquer um dos projetos de implantação de uma usina de geração fotovoltaica ou eólica para a fazenda 1 e para fazenda 2 é necessário seguir algumas etapas, levando em consideração duas opções de negócios.

A primeira opção: Atuar como investidor inicial, assumindo o custo com o desenvolvimento do projeto e posteriormente realizando a venda do projeto para um investidor

final que assumirá o risco da implantação e operação da usina. Para isso, é necessário realizar algumas atividades.

- a) Abertura de uma SPE (sociedade empresária de propósito específico) com atribuições de desenvolvimento de projetos de geração e comercialização de energia elétrica;
- b) Realização de campanha de medições solarimétricas por um ano, e anemométricas de três anos;
- c) Desenvolvimento dos projetos básicos civil e elétrico;
- d) Realização dos estudos ambientais e licenciamento ambiental prévio;
- e) Realização da certificação de dados de radiação solarimétricos e anemométricos e da certificação de produção anual de energia;
- f) Preparação e elaboração da documentação formal para o cumprimento dos requisitos para obtenção de outorga e para cadastro em leilões regulares para os mercados regulado ou livre;

Após o desenvolvimento e com o projeto pronto, atendendo aos requisitos para participação em leilão para o mercado regulado, ou para contratação de venda de energia em contratos de longo prazo em mercado livre, o projeto torna-se um ativo com valor atribuível (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL, 2015).

Nessa altura, esse ativo pode ser negociado e adquirido por um investidor que assumirá o controle da empresa de energia, proprietária do projeto e todas as responsabilidades e custos de investimento necessários para cumprimento de:

- g) Garantias para a participação em leilão;
- h) Contratação de venda de energia elétrica como outorgado e concessionário de geração de energia;
- i) Garantias de fiel cumprimento de implantação do projeto;
- j) Investimentos para a implantação da usina;
- k) Operação e manutenção da usina pelo período contratado, normalmente de 20 anos (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL, 2015).

A segunda opção: Somente a operação de arrendamento mercantil do terreno para um investidor-desenvolvedor. Neste caso, este investidor correria os riscos iniciais de desenvolvimento. A remuneração dessa opção se dá através de um contrato, considerando um valor pré-estabelecido do faturamento líquido com a venda de energia elétrica produzida pela usina.

## 8.1. Conexão e transmissão

A área da fazenda 1 apresenta um diferencial de vantagem pela proximidade da subestação SOBRAL III de 500 kV, da concessionária de transmissão CHESF, que dista aproximadamente 21,7 km. Conforme o último registro de informação disponível sobre capacidade de conexão remanescente para a referida subestação, segundo o relatório do ONS (Operador Nacional do Sistema Elétrico), esta subestação de SOBRAL III (SBT) possui a disponibilidade de capacidade remanescente para leilão de até 1.300 MW, mas encontra-se com restrição do tipo D, definida como:

“requer extensão de barramento e construção de novos vãos em áreas não disponíveis na subestação. O empreendedor assume o risco de adquirir terreno para a expansão do barramento, incluindo os aspectos relacionados à viabilidade construtiva, adequação à capacidade das instalações existentes e licenciamento ambiental. Neste caso, a extensão do barramento e a área adquirida para tal, deverão ser transferidas, de forma não onerosa, para a concessionária de transmissão proprietária da subestação.”(ONS - OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA, 2018).

Dessa forma, os custos de conexão e transmissão para um parque de produção energia, seja solar ou eólico, são ainda indefinidos, o que poderá aumentar o nível risco do investimento.

Para a fazenda 2, as subestações mais próximas da rede básica com capacidade suficiente para absorver a energia das possíveis usinas da fazenda 2 são: SE Sobral III (a 92 km de distância), Tauá II (162 km) e Quixadá (140 km). Os custos de investimento para a conexão da usina em qualquer dessas subestações encareceriam muito o projeto. No entanto, há nas proximidades do terreno da fazenda 2 duas subestações de média tensão, 69 kV, pertencentes à concessionária de distribuição ENEL, são elas: SE Nova Russas (69 kV), que dista 49,32 km do terreno, e a SE Monsenhor Tabosa (69 kV), que dista 30,64 km. Estas subestações possuem restrições de capacidade para suportar uma usina solar de geração centralizada, porém suas capacidades podem permitir a conexão de plantas de GD (geração distribuída) de até 5 MW, desde que seja verificado a necessidade de reforço de rede de média tensão, o que incorrerá em custos para o investimento em GD. A figura 13 apresenta um indicativo das posições das subestações.

Figura 13 – Mapa ilustrativo das distâncias para as conexões das fazendas às subestações para usinas nas áreas da fazenda 1, Forquilha-CE e fazenda 2, Catunda-CE



Fonte: Mapa interativo do site do ONS

## 8.2. Estimativa de custos de O&M

Para que um parque eólico apresente um bom desempenho, é necessário que exista um bom plano de O&M (operação e manutenção), com a finalidade fazer a gestão e operação dos ativos responsáveis pela geração, conexão, transmissão e entrega da energia gerada ao SIN (sistema elétrico nacional integrado).

Para o efeito deste estudo, aplicou-se uma estimativa direta dos dados informados pelos próprios investidores participantes dos leilões ocorridos realizados pelo Governo Federal. Estas estimativas de custos para (OPEX<sup>10</sup>) com base anual, foram nivelados para todo o período de operação contratado de 20 anos. Os valores médios usuais estão em torno de 30 a 38 R\$/MWh para energia eólica e 20 a 28 R\$/MWh para energia fotovoltaica, nas tabelas 13 e 14 encontram-se os valores calculados (EPE; MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME), 2018); (EPE; MINISTÉRIOS DE MINAS E ENERGIA, 2017).

<sup>10</sup> OPEX é uma sigla derivada da expressão Operational Expenditure, que significa o capital utilizado para manter ou melhorar os bens físicos de uma empresa, tais como equipamentos, propriedades e imóveis. As despesas operacionais são os preços contínuos para dirigir um produto, o negócio, ou o sistema.

Tabela 13 – Estimativa de OPEX para uma usina fotovoltaica nas áreas da fazenda 1, Forquilha-CE e fazenda 2, Catunda-CE

| Usina Solar Fotovoltaica | Capacidade Instalada (MWp) | Produção Anual de Energia (MWh) | OPEX (MM R\$/ ano) |
|--------------------------|----------------------------|---------------------------------|--------------------|
| UFV 1                    | 499,30                     | 831.034,92                      | 18,28              |
|                          | 527,44                     | 877.871,14                      | 19,31              |
| UFV 2                    | 760,96                     | 1.266.541,82                    | 27,86              |
|                          | 793,11                     | 1.320.052,28                    | 29,04              |

Fonte: feito pelo autor

Tabela 14 – Estimativa de OPEX para uma usina eólica nas áreas da fazenda 1, Forquilha-CE e fazenda 2, Catunda-CE

| Usina de Energia Eólica | Capacidade Instalada (MW) | Produção Anual de Energia (MWh) | OPEX (MM R\$/ ano) |
|-------------------------|---------------------------|---------------------------------|--------------------|
| EOL 1                   | 58,8                      | 223.548,2                       | 9,0                |
| EOL 2                   | 163,8                     | 622.741,4                       | 28,0               |

Fonte: feito pelo autor

## 9 CONCLUSÃO

Com base nesse estudo, a oportunidade de negócio mais adequada seria o investimento em uma usina solar fotovoltaica de GC<sup>11</sup> (geração centralizada) para a fazenda 1, pois nessa fazenda o potencial para geração de energia solar não sofre um grande impeditivo ambiental como a geração de energia eólica, cujo as direções dos ventos favoráveis ficam restritas devido à grande altitude da serra. Além disso, com a energia solar é possível fazer uma usina de até 500 MWp, enquanto a eólica limita-se a 60 MW, fazendo um melhor uso da área útil da fazenda, outro fator que pode ser considerado é que a base de custos R\$/MWh de O&M de energia fotovoltaica é inferior ao de eólica.

Para encontrar as melhores de negócio para a fazenda 2, aplicam-se as mesmas considerações adotadas para a fazenda 1. No entanto, deve-se considerar a indisponibilidade de subestações na tensão de 230 kV (Rede Básica) com distância que permitam a viabilidade do empreendimento.

No entanto, foram consideradas as subestações SE Sobral III (SE SBT), com distância de 92 km, SE Quixadá (SE QXA), com distância de 140 km e SE Tauá II (SE TAD), com distância de 162 km. A melhor opção para o caso ainda permanece a conexão com SE SBT, a 92 km. Esse fato eleva substancialmente os custos de conexão para a UFV 2.

Entretanto, levando em consideração as características do terreno, pelas condições de radiação solar e sua topografia, apresentam boas condições para comportar geração solar.

Tomando em consideração a malha de rede de distribuição na região dos municípios próximos ao município de Catunda, estão disponíveis duas subestações de média tensão em 69 kV, pertencentes à concessionária de distribuição ENEL, quais sejam: SE Nova Russas (69 kV), que dista 49,32 km do terreno, e a SE Monsenhor Tabosa (69 kV), que dista 30,64 km. Essas subestações, apesar de serem restritas em capacidade para suportar geração centralizada, podem permitir a conexão de plantas de GD<sup>12</sup> (geração distribuída) de até 5 MW, desde que seja avaliado, por parte da concessionária, a necessidade de reforço da rede de média tensão. Qualquer reforço que se fizer necessário incorrerá em custos para o investimento em GD, estabelecido em regulação pela resolução ANEEL 482/2012. Há também a possibilidade, como oportunidade de negócio, de investimento em uma usina de geração distribuída a ser arrendada

---

<sup>11</sup> A geração centralizada solar fotovoltaica, composta por projetos de usinas de grande porte acima de 5 MW, assim como tantas outras aplicações da tecnologia solar fotovoltaica no Brasil, tem se consolidado cada vez mais como uma fonte renovável de geração de energia elétrica com alto valor agregado à sociedade brasileira.

<sup>12</sup> GD - Geração de energia feita em pontos diversos, através de sistemas geradores que ficam próximos ou até mesmo na própria unidade consumidora (casas, empresas e indústrias) e que são ligados a rede elétrica pública.

para clientes consumidores em regime de compensação remota ou condomínios (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL, 2012).

A fim de complementar esse trabalho, propõe-se um estudo de viabilidade de implantação de um parque de geração de energia elétrica híbrido, geração eólica combinado com energia solar fotovoltaica para a fazenda1, além disso, pode-se realizar um estudo de viabilidade financeira para construção de uma usina de geração distribuída de energia para a fazenda 2.



## REFERÊNCIAS

ABB. **ABB bidirectional converters PVS980-58BC – 1454 to 2091 kVA ABB bidirectional converters PVS980-58BC – 1454 to 2091 kVA**. 2018.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL. **RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 391, DE 15 DE DEZEMBRO DE 2009**. Estabelece. 2009.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. **RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 482, DE 17 DE ABRIL DE 2012**. 2012.

AMARANTE, O. A. C. DO; ZACK, M. B. E. J.; SÁ, A. L. DE. **Atlas do Potencial Eólico Brasileiro**. Ministério de Minas Energia, p. 44, 2001.

BRASIL. **LEI Nº 12.651, DE 25 DE MAIO DE 2012**. BRASIL, 2012. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/codigo-florestal/entenda-o-codigo-florestal>>. Acesso em: 21 maio. 2019.

CANADIAN SOLAR. **MAXPoWER CS6U- 325| 330| 335P Canadian**. 2019.

CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Programa de Recenseamento de Fontes de Abastecimento por Água Subterrânea no Estado do Ceará, Município de Catunda**. 1998.

CORTEZ, D. M.; SÉRGIO DE SALVO BRITO; CEPEL. **CRESESB - Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito / CEPEL - Centro de Pesquisas de Energia Elétrica**. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br/>>. Acesso em: 22 maio. 2019.

DEREK ABBOTT, F. I. **Keeping the Energy Debate Clean: How Do We Supply the World's Energy Needs? Proposed solutions include: Sensible energy conservation; Solar thermal collection using parabolic reflectors; Hydrogen used as an energy carrier in combustion engines and for energy storage and transportation**. 2010.

DIEBEL, J.; NORDA, J.; KRETCHMER, O. **Weather Spark**. Disponível em: <<https://pt.weatherspark.com>>. Acesso em: 21 maio. 2019.

EPE; MINISTÉRIOS DE MINAS E ENERGIA. **RETRATO DOS NOVOS PROJETOS SOLARES FOTOVOLTAICOS NO BRASIL. Base de projetos habilitados tecnicamente para o 2º Leilão de Energia de Reserva de 2016**, 2017.

EPE; MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME). **Série ESTUDOS DE LONGO PRAZO -NOTA TÉCNICA PR 07/18 - Premissas e Custos da Oferta de Energia Elétrica no horizonte 2050**. 2018.

JA SOLAR. **375W PERC Module**. 2019.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, I. E. C. **INPE**. Disponível em: <<http://www.inpe.br/>>. Acesso em: 21 maio. 2019.

NEBOJSA NAKICENOVIC, JOSEPH ALCAMO, GERALD DAVIS, BERT DE VRIES, J. F. **Special Report on Emissions Scenarios**. 2000.

ONS - OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA. **LEN A-4/2018: QUANTITATIVOS DA CAPACIDADE REMANESCENTE DO SIN PARA ESCOAMENTO DE GERAÇÃO PELA REDE BÁSICA, DIT E ICG**. 2018.

PINHO, J. TAVARES; GALDINO, M. A. **Manual de Engenharia para sistemas fotovoltaicos**. 2014.

SOUZA, D. V. DE; IVAN, G.; TAPIA, M. **Análise do sombreamento entre painéis fotovoltaicos**. 2018.

CHESEF, CEPEL, UFPE **Brazilian Atlas of Solar Energy: Terrestrial Data Bases**. v. 1, p. 59. 2000.

CPRM-SERVIÇO GEOLOGIO DO BRASIL. **Programa de Recenseamento de Fontes de Abastecimento por Água Subterrânea no Estado do Ceará, Município de Forquilha**. 1998.

VESTAS. **V117-4.2 MW<sup>TM</sup> at a glance**. Disponível em: <[https://www.vestas.com/en/products/4-mw-platform/v117-4\\_2\\_mw#!typhoon](https://www.vestas.com/en/products/4-mw-platform/v117-4_2_mw#!typhoon)>. Acesso em: 23 maio. 2019.

WEG. **Wind Turbine AGW 110/2.2**. 2017.

WEG. **Eletrocentro Solar WEG**. 2019.

WOBLEN WINDPOWER. **E-92 / 2.350 kW**. Disponível em: <<http://www.wobben.com.br/produtos/produtos-no-brasil/e-92-2350-kw/>>. Acesso em: 25 maio. 2019.