



UNISUL

UNIVERSIDADE DO SUL DE SANTA CATARINA

JULIANA SANTOS DA SILVEIRA

**ESTUDO DO POTENCIAL DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA ATRAVÉS DE
FONTES RENOVÁVEIS – EÓLICA E FOTOVOLTAICA – PARA A
AUTOSSUFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM FERNANDO DE NORONHA**

Palhoça

2019

JULIANA SANTOS DA SILVEIRA

**ESTUDO DO POTENCIAL DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA ATRAVÉS DE
FONTES RENOVÁVEIS – EÓLICA E FOTOVOLTAICA – PARA A
AUTOSSUFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM FERNANDO DE NORONHA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade do Sul de Santa Catarina como requisito parcial à obtenção do título de Engenheira Ambiental e Sanitarista.

Orientador: Prof. Jorge Alberto Lewis Esswein Junior, Me. Eng.

Palhoça

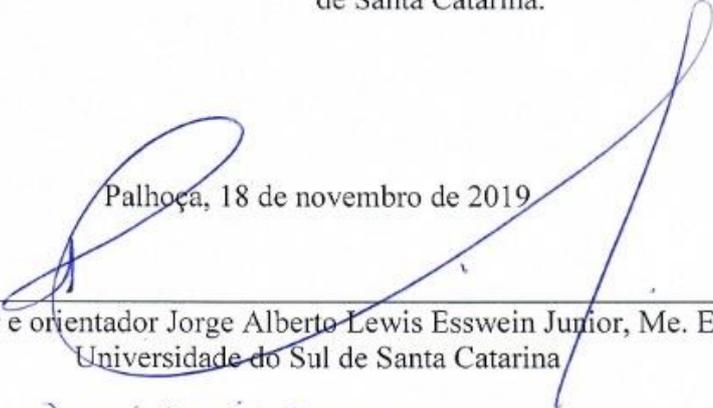
2019

JULIANA SANTOS DA SILVEIRA

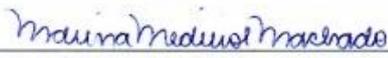
**ESTUDO DO POTENCIAL DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA ATRAVÉS DE
FONTES RENOVÁVEIS – EÓLICA E FOTOVOLTAICA – PARA A
AUTOSSUFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM FERNANDO DE NORONHA**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado à obtenção do título de Engenheira Ambiental e Sanitarista e aprovado em sua forma final pelo Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade do Sul de Santa Catarina.

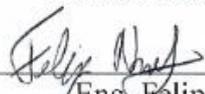
Palhoça, 18 de novembro de 2019



Professor e orientador Jorge Alberto Lewis Esswein Junior, Me. Eng.
Universidade do Sul de Santa Catarina



Profa. Marina de Medeiros Machado, Dra.
Universidade do Sul de Santa Catarina



Eng. Felipe de Barros Nassif, Me.
Nassif Renewable Energy

Dedico o presente trabalho a minha mãe,
que foi meu maior apoio e que fez de tudo para
a faculdade se tornar o sonho possível”.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar quero agradecer a Deus por ter colocado pessoas tão boas na minha vida, que sempre me apoiaram e deram amor. Agradeço também as minhas avós Senira (in memoriam) que onde estiver sempre estará cuidando de mim, e a Nona, que sempre fizeram de tudo por mim, sem medir esforços.

Gratidão a minha mãe, a mulher da minha vida que sem ela eu não estaria onde estou e é o exemplo que tento seguir. Esse estudo é a prova que seu esforço e renúncias que foram feitas durante essa jornada para que desse o melhor a mim.

A minha filha, razão do meu viver e de onde eu tiro força para nunca desistir.

A minha irmã Daniela, minha madrinha Andrea, as primas Tatiane e Gabriela, a tia Kaká, por estarem ao meu lado e por me fazerem ter confiança nas minhas decisões.

Obrigada a minha família: pela proteção, alegria, exemplo de dedicação, esforço, humildade e reciprocidade.

Meu muito obrigada a minha grande amiga Débora, que sem o seu esforço e cuidado dedicado a mim, eu não teria conseguido realizar esse sonho. Obrigada a Izadora que em todos os momentos em que precisei, sempre me ajudou.

Gratidão especial às minhas amigas Andresa, Paula e Thais, que foram primordiais desde que iniciei os estudos na Unisul. Sendo minha família, minha base, minhas confidentes e motivadoras. A minha amiga Sulie e Wagner por se disporem a me ajudar quando foi preciso.

As minhas queridas amigas Hermanas, que não importa onde estivessem, sempre se fizeram presentes, dando carinho, atenção e apoio.

Gostaria de deixar o meu profundo agradecimento ao professor e orientador Jorge, que desde o início acreditou no projeto, me incentivou e se dedicou para a realização deste estudo. Seus conhecimentos fizeram grande diferença no resultado final deste trabalho.

E por fim, porém não menos importante, o meu agradecimento ao Felipe Ledur que foi essencial na primeira etapa deste projeto, sendo paciente e estando sempre disposto a me ajudar.

“Aprender é a única coisa que a mente nunca se cansa, nunca tem medo e nunca se
arrepende”.

Leonardo Da Vinci

RESUMO

O Arquipélago Fernando de Noronha tem como principal fonte geração de energia elétrica um grupo de geradores a diesel, usufruindo de uma fonte finita, emissora de gases poluentes e que devido ao seu transporte expõem a região a perigos constantes. Com isso, a fim de verificar a possibilidade de autossuficiência energética através da geração de energia por fontes renováveis (fotovoltaica e eólica) este trabalho utilizou o software *System Advisor Model*, desenvolvido pela NREL (*National Renewable Energy Laboratory*), que propicia a criação, processamento e análise de cenários de sistemas de geração de energia. O programa computacional admite inserir dados climáticos, comparar a produtividade de cada cenário, modelar sistemas com a combinação de mais de uma fonte e definir parâmetros que particularizam o projeto. A metodologia deste estudo iniciou pelo levantamento de dados secundários para caracterizar a ilha e os recursos renováveis, entender e traçar um perfil do comportamento do consumo elétrico e averiguar as restrições ambientais. Em seguida, foram construídos cenários utilizando painéis fotovoltaicos, turbinas eólicas e sistemas de *backup* compostos por baterias. Como critério para verificação da eficácia do sistema, foi observado a quantidade de energia que seria necessário gerar pela termelétrica após a inclusão do sistema combinado. As simulações mostraram que o local dispõe de um elevado potencial para a geração através dos recursos renováveis e que o sistema de backup é fundamental para a suprir a demanda quando as fontes não estiverem fornecendo energia suficiente. Além disso, a projeção do sistema composto pela combinação das fontes e banco de baterias possibilitou reduzir o fornecimento elétrico proveniente da termelétrica a 4% e com isso minimizar a emissão de CO₂ em aproximadamente em 95,43%, equivalendo a 2.548,27 ton/ano que deixariam ser lançados para o meio ambiente.

Palavras-chave: Geração Renovável; *System Advisor Model*; Autossuficiência Energética; Fernando de Noronha; Energias Renováveis.

ABSTRACT

The archipelago of Fernando de Noronha uses a group of diesel generators as major source for electricity generation. This is a finite source that emits gases which contribute to the air pollution, and the diesel transportation also exposes the region to constant danger. Therefore, willing to verify the possibility of implementing a self-sufficient energy system through renewable sources (photovoltaic and wind energy) this paper applied the software System Advisor Model, developed by the National Renewable Energy Laboratory (NREL), which allows to create, process and analyze different scenarios of energy generation. In the software, it is possible to insert climatic data, to compare their productivity, to model systems with the combination of more than one energy source and to define parameters that individualize the project. The methodology of this study begun with the search for secondary data in order to characterize the island and its renewable systems, to understand it and define the profile of the behavior of energy consumption and the environmental restrictions. After that, scenarios with photovoltaic panels, wind turbines and backup systems composed by batteries. The criteria to verify the system efficiency was to observe the amount of energy that would have to be generated by the thermoelectric after the inclusion of the combined system. The simulations demonstrated that the archipelago has high potential to generation through the renewable systems and that the backup system is vital to supply the demand whenever the sources are not generating enough energy. Besides that, the projection of the system composed by the combination of the sources and the batteries bank made it possible to reduce the electricity from the thermoelectric to 4% and, therefore, reduce the CO₂ emission in approximately 95,43%, what is equivalent to 2.548,27 ton/year which would not be released to the environment.

Keywords: Renewable Generation; System Advisor Model; Energy self-sufficiency; Fernando de Noronha; Renewable energy.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Fluxo de energia elétrica em 2017 no Brasil	24
Figura 2: Matriz energética brasileira e mundial em 2016.....	28
Figura 3: Percentual do uso de fontes não renováveis e renováveis na matriz elétrica brasileira e mundial em 2016.	29
Figura 4: Tipos de fontes utilizadas na matriz elétrica brasileira em 2016 e 2017.	29
Figura 5: Capacidade fotovoltaica no mundo entre os anos de 2007 e 2017.	30
Figura 6: Evolução da capacidade eólica mundial instalada entre os anos de 2007 e 2017.....	30
Figura 7: Turbinas com eixos horizontal e turbina com eixo vertical	31
Figura 8: Alguns tipos de máquinas eólicas de conversão de energia com turbinas de eixo horizontal.....	33
Figura 9: Vista dos itens que compõem uma torre eólica de eixo horizontal.....	34
Figura 10: Turbinas eólicas <i>onshore</i> e <i>offshore</i>	35
Figura 11: Visualização do efeito fotovoltaico.....	36
Figura 12: Corte transversal de uma célula fotovoltaica.	36
Figura 13: Efeito fotovoltaico.....	37
Figura 14: Exemplo de um sistema isolado de energia	38
Figura 15: Sistema interligado à rede com geração distribuída.....	39
Figura 16: Exemplo de sistema híbrido	40
Figura 17: Sistema <i>on grid</i> e <i>off grid</i>	41
Figura 18: Zoneamento da poligonal referente ao Arquipélago de Fernando de Noronha	43
Figura 19: Mapa de Fernando de Noronha com destaque para as unidades de conservação. ..	46
Figura 20: Infraestrutura presente na Usina Termoelétrica Tubarão em Fernando de Noronha.	50
Figura 21: Etapas do desenvolvimento do trabalho	53
Figura 22: Gráficos de Carga de Global disponibilizada no relatório de Consolidação da Previsão da Carga para o Plano Anual da Operação Energética dos Sistemas Isolados – PEN SISOL 2019 da ONS.	56
Figura 23: Parte do documento de texto a ser inserido no SAM contendo a estimativa do consumo horário de energia em Fernando de Noronha.	57
Figura 24: Imagem da quantidade de irradiação global para a superfície idealmente inclinada apresentada pelo <i>SWERA</i>	58

Figura 25: Imagem dos gráficos de velocidade e direção do vento de Fernando de Noronha provenientes do Banco de Dados Climatológicos do Comando da Aeronáutica.	61
Figura 26: Imagem do gráfico de velocidade máxima provenientes do Banco de Dados Climatológicos do Comando da Aeronáutica.	61
Figura 27: Imagem da localização de Fernando de Noronha com a circulação dos ventos em tempo real.	62
Figura 28: Vista do formato do documento de Recurso Eólico para o formato SRW	63
Figura 29: Imagem da tabela fornecida pelo <i>Climate.OneBuilding</i> com os dados climáticos de Fernando de Noronha.	63
Figura 30: Tabela com os dados de rugosidade.....	64
Figura 31: Fluxograma da metodologia para a simulação de cada cenário.....	66
Figura 32: Aba de inserção de dados de consumo horário de energia – <i>Electric Load</i> do SAM.	70
Figura 33: Interface da página <i>Date Tables</i> do SAM.....	71
Figura 34: Interface com os resultados da simulação dos cenários pelo SAM.	75
Figura 35: Fluxograma da metodologia para a simulação de cada cenário.....	76
Figura 36: Interface inicial do Cenário Combinado pelo SAM.....	77
Figura 37: Tabela com as características técnicas do <i>Power Store™ Station 20'</i> ABB	78
Figura 38: Data tables com o resultado final das variáveis a serem analisadas para o desempenho do sistema combinado.	80
Figura 39: Vista parcial de Fernando de Noronha com as áreas escolhidas para a implantação do novo sistema de geração de energia elétrica em evidência.	89
Figura 40: Gráfico geral da geração de energia pelo sistema fotovoltaico em kWh relacionado ao consumo em Fernando de Noronha.	91
Figura 41: Mapa do <i>layout</i> proposto pelo SAM para o sistema eólico em Fernando de Noronha	93
Figura 42: Gráfico geral da geração de energia pelo sistema eólico em kWh relacionado ao consumo em Fernando de Noronha.	93

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Capacidade instalada, gerada e consumida de energia elétrica no Brasil de 2008 a 2017 (GWh/ano).....	20
Gráfico 2: Consumo anual de energia elétrica total Brasil por classe	22
Gráfico 3: Geração elétrica por fonte no Brasil.....	23
Gráfico 4: Emissões de GEE provenientes da Geração Elétrica no Brasil – MtCO ₂	26
Gráfico 5: Consumo de óleo diesel na Usina Tubarão em Fernando de Noronha no período de 2013 a 2015.	51
Gráfico 6: Resultado parcial do Cenário do Sistema Fotovoltaico para a Geração de Energia Elétrica.....	72
Gráfico 7: Interpretação do resultado parcial do Cenário do Sistema Fotovoltaico para a Geração de Energia Elétrica.	72
Gráfico 8: Resultado parcial do Cenário do Sistema Eólico para a geração de energia elétrica em Fernando de Noronha.	75
Gráfico 9: Interpretação do resultado parcial do Cenário do Sistema Eólico para a geração de energia elétrica em Fernando de Noronha.	76
Gráfico 10: Gráfico do sistema combinado apresentado as variáveis para compreensão geral do sistema combinado.	81
Gráfico 11: Gráfico para a interpretação do o uso do sistema de <i>backup</i> para a geração de energia.	81
Gráfico 12: Estimativa do Percentual de consumo de energia elétrica por dia em Fernando de Noronha	85
Gráfico 13: Gráfico geral do sistema combinado sem <i>backup</i>	94
Gráfico 14: Visão geral do desempenho do sistema combinado para Fernando de Noronha ..	98
Gráfico 15: Visão geral da geração de energia evidenciando a participação de cada fonte geradora do sistema para Fernando de Noronha	98
Gráfico 16: Percentual da participação de cada fonte geradora no sistema para Fernando de Noronha	99

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Consumo de energia elétrica por classe no Brasil de 2008 a 2018 (GWh)	22
Tabela 2: Emissões de GEE provenientes da Geração Elétrica no Brasil – MtCO ₂ de 2009 a 2017	26
Tabela 3: Consumo de óleo diesel na UTE Tubarão no período de 2013 a 2015.	50
Tabela 4: Material utilizado para traçar o perfil do local de estudo.	54
Tabela 5: Indicadores utilizados para determinar o perfil de geração, consumo e restrições ambientais em Fernando de Noronha	55
Tabela 6: Dados do arquivo meteorológico para a simulação do cenário fotovoltaico.....	59
Tabela 7: Dados inseridos para compor o documento de Recurso Eólico	62
Tabela 8: Interpretação dos valores das variáveis apresentados no Data tables.....	80
Tabela 9: Estimativa de perfil de consumo em Fernando de Noronha.....	84
Tabela 10: Porcentagem horária de consumo de eletricidade	84
Tabela 11: Impactos ambientais relacionados a instalação dos sistemas de geração de energia fotovoltaico e eólico	85
Tabela 12: Síntese dos zoneamentos escolhidos	87
Tabela 13: <i>Design</i> do sistema fotovoltaico para Fernando de Noronha.....	90
Tabela 14: <i>Design</i> do sistema de <i>backup</i> por baterias para Fernando de Noronha.....	95
Tabela 15: Configuração final do sistema combinado	96
Tabela 16: Comparação dos sistemas antes e depois do cenário combinado.....	100

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	15
2	OBJETIVOS	18
2.1	OBJETIVO GERAL	18
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	18
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	19
3.1	DEMANDA DE ENERGIA ELÉTRICA.....	19
3.2	IMPACTOS AMBIENTAIS.....	24
3.3	ENERGIAS RENOVÁVEIS	27
3.3.1	Energia Eólica.....	31
3.3.2	Energia Fotovoltaica	35
3.4	SISTEMA DE GERAÇÃO DE ENERGIA	38
3.4.1	Sistema Isolado de Energia.....	38
3.4.2	Sistema Interligado à Rede Elétrica	39
3.4.3	Sistema Híbrido de Energia	40
4	CARACTERIZAÇÃO DO ARQUIPÉLAGO FERNANDO DE NORONHA	42
4.1	LOCALIZAÇÃO	42
4.2	OCUPAÇÃO DA ILHA	43
4.3	CARACTERIZAÇÃO AMBIENTAL.....	44
4.3.1	Clima	44
4.3.2	Biomassas e Ecossistema.....	44
4.3.3	Oceanografia.....	47
4.3.4	Relevo	48
4.4	SITUAÇÃO ATUAL DE ENERGIA ELÉTRICA.....	48
4.4.1	Usina Termoelétrica Tubarão	49
4.4.2	Usina Solar Noronha I	51
4.4.3	Usina Solar Noronha II.....	52
5	MATERIAIS E MÉTODOS	53
5.1	FASE EXPLORATÓRIA	53
5.2	PREPARAÇÃO DOS DADOS	54
5.2.1	Perfil de Consumo de Energia em Fernando de Noronha.....	55
5.2.2	Preparação dos Dados Meteorológicos e Ambientais	58
5.2.2.1	Recurso Solar.....	58

5.2.2.2	Recurso Eólico.....	60
5.2.2.3	Identificação dos locais disponíveis para a instalação do sistema	64
5.3	MODELAMENTO DOS SISTEMAS PELO PROGRAMA COMPUTACIONAL <i>SYSTEM ADVISOR MODEL</i>	65
5.3.1	Simulação dos Cenários	66
5.3.1.1	Simulação do Potencial Fotovoltaico	67
5.3.1.1.1	<i>Módulo</i>	67
5.3.1.1.1.1	<i>Potência do Sistema</i>	68
5.3.1.1.2	<i>Inversor</i>	68
5.3.1.1.3	<i>Design do Sistema</i>	69
5.3.1.1.4	<i>Perdas</i>	69
5.3.1.1.5	<i>Consumo de Energia</i>	70
5.3.1.1.6	<i>Simulação do Cenário Fotovoltaico</i>	71
5.3.1.2	Simulação do Potencial Eólico	72
5.3.1.2.1	<i>Download dos Dados Climáticos</i>	73
5.3.1.2.2	<i>Escolha da Turbina</i>	73
5.3.1.2.2.1	<i>Potência do Sistema</i>	73
5.3.1.2.3	<i>Determinação do Parque Eólico</i>	74
5.3.1.2.4	<i>Consumo de Energia</i>	74
5.3.1.2.5	<i>Simulação do Cenário Eólico</i>	74
5.3.2	Combinação e Otimização dos Cenários	76
5.3.2.1	<i>Power Plant</i>	77
5.3.2.2	Armazenamento da bateria	78
5.3.2.3	Consumo de Energia.....	79
5.3.2.4	Simulação	79
5.3.2.4.1	<i>Economia do Diesel</i>	81
6	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	83
6.1	PERFIL DE CONSUMO ELÉTRICO DA ILHA DE FERNANDO DE NORONHA ...	83
6.2	LOCAIS DISPONIVEIS PARA A INSTALAÇÃO DAS FONTES GERADORES DE ENERGIA.....	85
6.3	SISTEMA DE GERAÇÃO DE ENERGIA POR FONTES RENOVÁVEIS	90
6.3.1	Sistema Fotovoltaico	90
6.3.2	Sistema Eólico	92
6.3.3	Sistema Combinado com Fonte Fotovoltaica e Eólica	94

6.3.3.1 Eficiência do Sistema	99
7 CONCLUSÃO.....	101
REFERÊNCIAS	103
APÊNDICES	111
APÊNDICE A – Gráfico da geração de energia da matriz fotovoltaica para o cenário combinado	112
APÊNDICE B – Gráfico da geração de energia pelo parque eólico para o cenário combinado	115
APÊNDICE C– Gráfico total de geração de energia do cenário combinado.....	118
APÊNDICE D– Gráfico do desempenho do sistema de <i>backup</i> das baterias	120

1 INTRODUÇÃO

Ao longo da história, o homem busca na natureza os elementos necessários para a sua sobrevivência, normalmente usufruindo desse bem sem a devida consciência, considerando-a um recurso infinito. Nesse segmento, a sociedade atual mostra muita dificuldade em relação a sua sustentabilidade em diversos fatores (DUPONT *et al.*, 2015).

“Um dos segmentos que mais tem recebido destaque e relevância no que tange à sustentabilidade é a questão energética mundial”. (DUPONT *et al.*, 2015, pg. 71). Tendo em vista que para toda a geração de energia, foi necessário extrair recursos naturais para a sua transformação, é incontestável que este crescimento não impacte no meio ambiente (DUPONT *et al.*, 2015).

Com o passar dos anos, a demanda de energia no mundo vem crescendo e junto a isso os efeitos da mudança climática tornam-se cada vez mais perceptíveis. Esse fato ocorre porque a principal fonte de geração de energia é obtida pelas fontes não renováveis, como por exemplo, o petróleo e o carvão, importantes emissores dos gases de efeito estufa que provocam o aumento da temperatura no planeta. Cabe dizer que esse impacto não resulta apenas devido ao uso dessas fontes, mas também pela utilização sem moderação (CALIJURI; CUNHA, 2013, NAPOLEÃO; NETO, 2016).

Exemplo disso, cita-se o caso dos combustíveis fósseis que carecem de um longo tempo para a sua formação e a velocidade no qual são extraídos impossibilita a renovação do mesmo pela natureza. Além disso, a utilização dessa fonte implica em outros impactos negativos ao meio ambiente, bem como a contaminação da água e mortalidade da fauna, causados pela extração em grandes profundidades no mar, refino, transporte e uso (BARSANO, 2014, GALVÃO, 2017, SILVEIRA, 2013).

A utilização deste tipo de fonte para a geração de energia é presenciada na maioria dos sistemas isolados, como no caso de Fernando de Noronha. Localizada a 545 km de Recife, capital do estado de Pernambuco, é considerado um dos locais que mais emite gases do efeito estufa em virtude de aproximadamente 90% da geração elétrica ser proveniente da queima de combustíveis fósseis. Além disso, a ilha está constantemente exposta a riscos de acidentes devido ao transporte por embarcações que abastecem a Termelétrica Tubarão. (SILVEIRA, 2013, BEDINELLI, 2018).

Após o acidente na Usina Termelétrica de Tubarão, ocorrido em 2007, intensificou-se a implantação de sistemas fotovoltaicos na ilha, não apenas para minimizar o lançamento de CO₂, mas também para evitar catástrofes ambientais que afetem a biodiversidade (SILVEIRA, 2013).

Atualmente o arquipélago conta com uma termelétrica (UTE Tubarão) que representa quase 90% do total da geração de energia, sendo complementada por duas usinas fotovoltaicas, Noronha I e II, que juntas correspondem ao restante da geração elétrica.

Em 2008, conforme o Ministério de Minas e Energia (2008 apud Silveira, 2013, pg. 63), Fernando de Noronha lançou 50,33 tCO₂ per capita, quantidade proporcional aos países desenvolvidos.

Como solução, cita-se o caso análogo de alguns países que para suprir a demanda interna e alcançar a autossuficiência energética estão adequando suas matrizes elétricas, substituindo o uso de combustíveis fósseis por fontes alternativas, como as providas das energias renováveis. (PACHECO, 2006).

Consoante *Worldwide Electricity Production from Renewable Energy Sources – Stats and Figures* (2012 apud SILVEIRA, 2013, pg. 3), as energias renováveis estão se inserido gradativamente no âmbito da geração de eletricidade. O fato se dá devido a esse tipo de energia ser considerada como uma fonte inesgotável, ser acessível a todos e possibilitar a redução da emissão de CO₂.

Dentre essas energias, uma das que mais se destaca é a fotovoltaica. (NAPOLEÃO; NETO, 2016). Segundo Câmara (2011), a quantidade diária de irradiação solar na superfície do planeta é mais que suficiente para suprir a demanda de energia mundial em um ano, tornando-se a alternativa mais favorável para o desenvolvimento sustentável.

Quanto a energia eólica, esta foi utilizada desde as primeiras crises do petróleo. A Europa Ocidental foi a pioneira no âmbito de promover o uso das energias renováveis para a geração elétrica, tencionando à sustentabilidade ambiental. (CHRISTÓFARO, 2010). No entanto, o seu crescimento tornou-se significativo apenas a partir de 1996 (LAGE; PROCESSI, 2013).

Dessa forma, objetivando tornar a ilha autossuficiente energeticamente no contexto da geração de energia elétrica, com a preocupação ambiental de possibilitar evitar desastres ao bioma local e minimizar a emissão de gases poluentes, como o CO₂, foram simulados no modelo computacional *System Advisor Model – SAM*, cenários de sistemas de geração elétrica por fontes renováveis.

O *software* SAM, desenvolvido pelo NREL – *National Renewable Energy Laboratories*, órgão vinculado ao Departamento de Energia dos Estados Unidos, tem como propósito relacionar aspectos de engenharia e variáveis econômicas para criar cenários de um sistema de geração de energia elétrica combinado com fontes renováveis e conectado à rede de distribuição.

Posto isso, será exposto nesse estudo algumas projeções de sistemas de geração de eletricidade por meio de fontes renováveis – eólica e fotovoltaica – que possam suprir a necessidade da população, reduzir os impactos ambientais, projetar um sistema de *backup* verificar a eficiência do sistema quanto a redução do uso de óleo diesel na UTE Tubarão e consequente emissão de CO₂.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Verificar a possibilidade de autossuficiência energética, através da geração de energia por fontes renováveis, eólica e fotovoltaica, para o Arquipélago Fernando de Noronha, em Pernambuco.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analisar o perfil de consumo de energia elétrica na ilha através de dados secundários;
- Identificar os locais disponíveis para instalação das fontes geradoras de energia renovável baseado nas restrições e impacto ambiental gerado;
- Estimar a potência de cada fonte geradora para suprir a demanda de energia da ilha;
- Dimensionar um sistema de *backup* e armazenamento de energia elétrica que garanta o atendimento da carga;
- Verificar a eficiência do sistema mediante a comparação dos dados atuais com os valores resultantes após a simulação da nova matriz energética referente a quantidade de energia fornecida pela termoeletrica e a quantidade de CO₂ emitido para atmosfera

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 DEMANDA DE ENERGIA ELÉTRICA

“Energia pode ser conceituada como capacidade de realizar trabalho ou, ainda, como a capacidade de movimento”. (CALIJURI; CUNHA, 2013, p. 669).

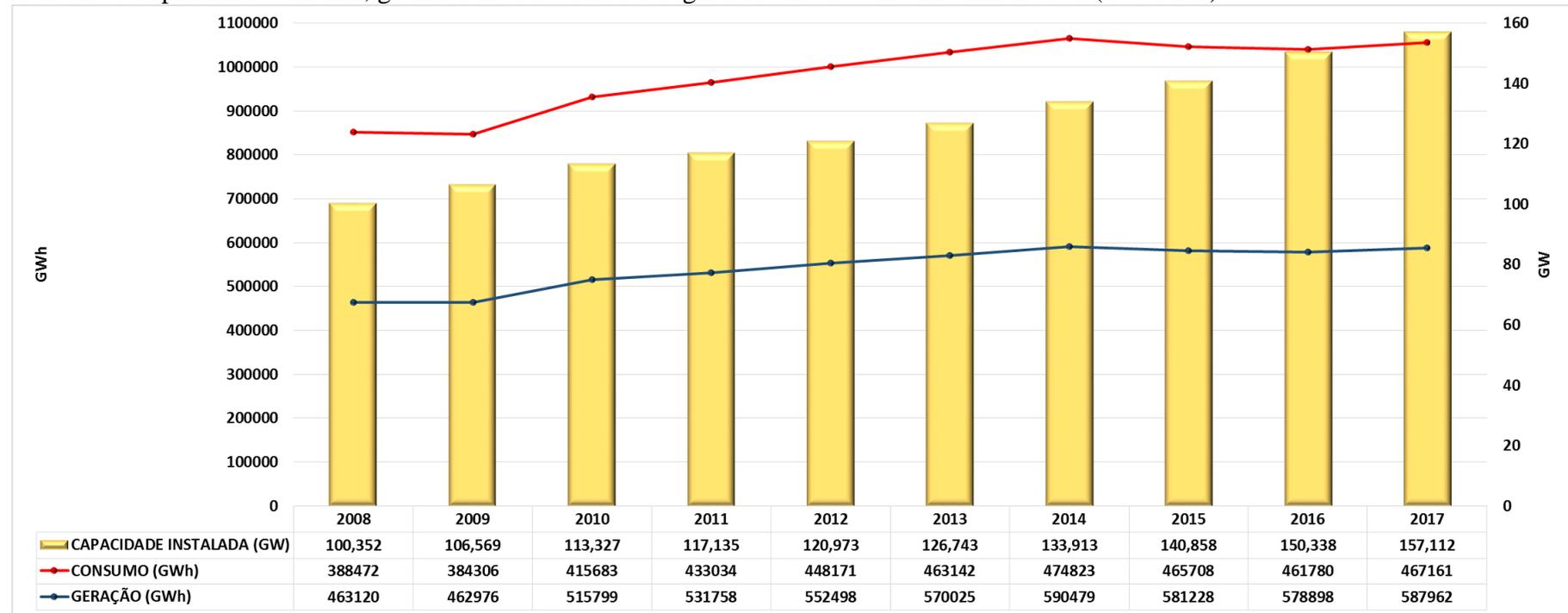
Dentre os tipos de energia existente, um dos mais utilizado é a energia elétrica. Esse fato se dá em virtude da importância no cotidiano e por compor o conjunto dos serviços de infraestruturas básicas para a sobrevivência da humanidade. (REIS, 2017).

No entanto, ao que concerne à demanda¹ de energia, cabe dizer que a mesma está correlacionada aos princípios de geração², instalação e consumo elétrico. Diante disso, o Gráfico 1, elucida o panorama brasileiro, de acordo com os três setores.

¹ “Média das potências elétricas ativas ou reativas, solicitadas ao sistema elétrico pela parcela da carga instalada em operação na unidade consumidora, durante um intervalo de tempo especificado, expressa em quilowatts (kW) e quilovolt-ampère reativo (kVAr), respectivamente”. (COPEL, 2019)

² Geração: que perfaz a função de converter alguma forma de energia em energia elétrica” (KAGAN, OLIVEIRA E ERNERTO, 2010).

Gráfico 1: Capacidade instalada, gerada e consumida de energia elétrica no Brasil de 2008 a 2017 (GWh/ano)



Fonte: Adaptado de EPE 2012, 2014 e 2018.

Nota: a geração equivale ao valor de consumo somado as perdas

Ao observar o gráfico acima, é possível verificar que os anos que mais se distinguiram, foram 2010, 2014 e 2016. Conforme a publicação no Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2011, apresentado pela EPE (2011, pg.18):

[...] o ano de 2010 foi atípico relativamente ao consumo de energia elétrica no segmento industrial. Depois da queda do consumo deste segmento em 2009, associada à crise financeira internacional que se iniciou no final do ano anterior, percebe-se, em 2010, recuperação significativa do consumo de energia pelas indústrias, com expansão de 10,9%. Já nos segmentos residencial e comercial, o consumo seguiu crescendo de forma sustentada, com taxas não inferiores a 6%.

Referente ao ano que teve o maior aumento do consumo de energia elétrica, a EPE (2015), afirma que em 2014, os valores alcançados podem estar relacionados ao aumento da população e o consumo per capita. Além disso, cabe dizer que em 2017, após dois anos decorridos de queda, a demanda obteve um crescimento de aproximadamente 1,2%, fazendo com que o Brasil estivesse no *ranking* mundial dos dez maiores países consumidores. (EPE, 2018).

Já a baixa em 2016, posterior há anos contínuos de crescimento, a EPE (2017), relata que essa circunstância foi reflexo principalmente do conjunto econômico do país. (EPE, 2017).

Segundo Bardelin (2004), o consumo de energia elétrica, no Brasil, possui um crescimento quase que contínuo. Entre os anos de 1960 a 2000, a taxa média de consumo teve um aumento de 7,35% ao ano. (LIMA; SCHMIDT, 2004). Tabela 1 e Gráfico 2, no período de 2008 a 2018, a demanda de energia elétrica aumentou em torno de 2,16% ao ano, passando de 388.472 GWh em 2008 para 472.242 GWh em 2018. (EPE, 2018)

Mais especificamente, pode-se observar que esse cenário resulta do consumo das classes³ industrial, residencial, comercial e outros. Onde, o maior crescimento foi do setor residencial, seguido do comercial e outros. (EPE, 2017; EPE, 2018).

Em contrapartida, diferentemente das demais categorias e do contexto geral do país, a indústria apesar de ser a maior contribuinte, durante esses 10 anos apresentou uma queda de 3,57%. (EPE, 2017; EPE, 2018).

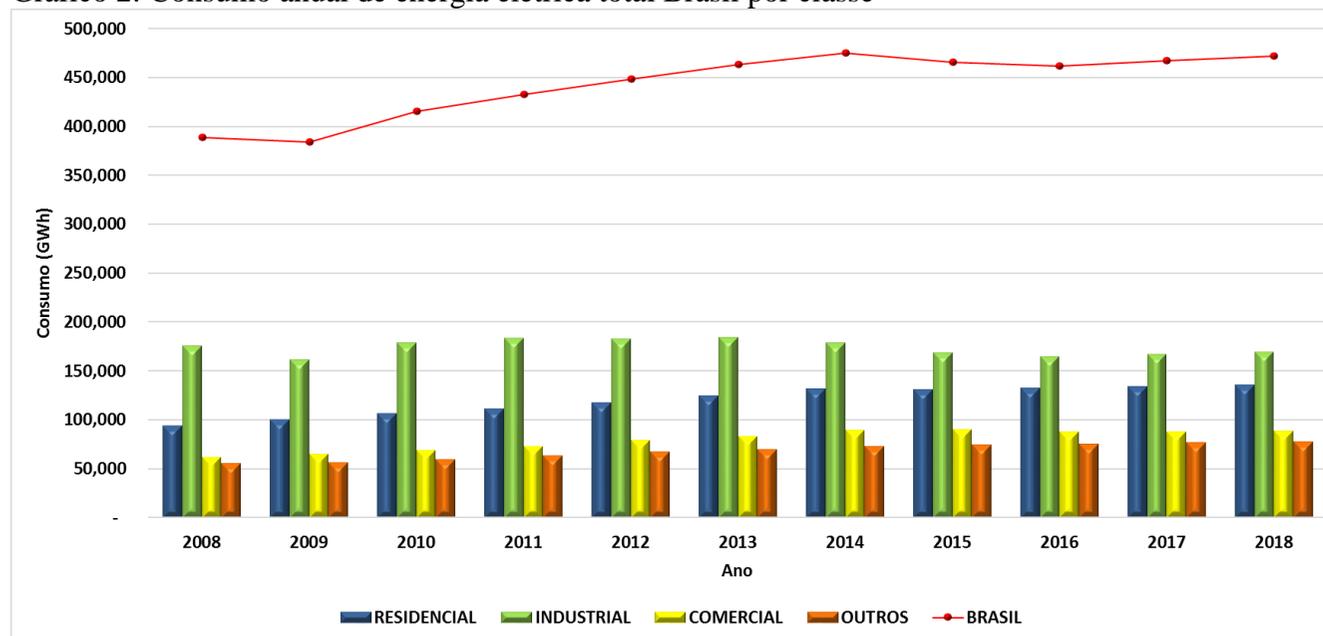
³ Segundo a Resolução Normativa nº 800 de 19 de dezembro de 2017, a classificação dos consumidores de energia elétrica, se dá conforme sua característica principal: Residencial, Industrial, Comercial e para este trabalho, o consumo realizado pelas classes rural, poder público, iluminação pública, serviço público e próprio será classificado como Outros.

Tabela 1: Consumo de energia elétrica por classe no Brasil de 2008 a 2018 (GWh)

Localidade	Ano										
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Brasil	388.472	384.306	415.668	433.016	448.126	463.142	474.823	465.708	461.780	467.161	472.242
Residencial	94.746	100.776	107.215	111.971	117.646	124.908	132.302	131.190	132.872	134.368	136.022
Industrial	175.834	161.799	179.478	183.576	183.425	184.685	179.106	169.289	165.314	167.398	169.549
Comercial	61.813	65.255	69.170	73.482	79.226	83.704	89.840	90.768	87.873	88.292	88.815
Outros	56.079	56.477	59.805	63.988	67.829	69.846	73.575	74.462	75.721	77.103	77.856

Fonte: Adaptado de EPE (2018).

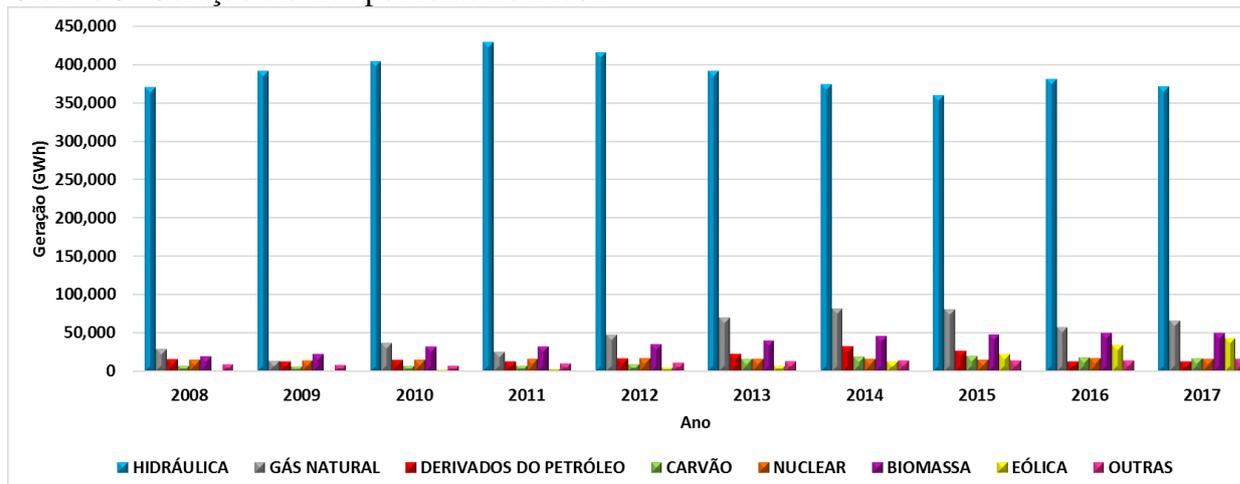
Gráfico 2: Consumo anual de energia elétrica total Brasil por classe



Fonte: Adaptado de EPE (2018)

No que diz respeito a geração de energia elétrica, a matriz brasileira é composta pelas fontes hidráulica⁴, gás natural, derivados do petróleo⁵, carvão, nuclear, biomassa⁶, eólica e outras⁷. Posto isto, o Gráfico 3 retrata o uso dessas fontes no período de 2008 a 2017. (EPE, 2017).

Gráfico 3: Geração elétrica por fonte no Brasil



Fonte: Adaptado de EPE 2012, 2014 e 2018.

Posto isso, percebe-se a discrepância de geração de energia elétrica pela fonte hidráulica, ocasionada pelo fato do Brasil deter de grandes cursos d'água em seu território. Além disso, outra forma de geração que se destaca no gráfico acima, devido ao seu crescimento ao longo do tempo, resultante do incentivo de políticas públicas, é a fonte eólica. (CCEE, [2019?]).

Do mesmo modo, inserida no grupo Outros, a produção de eletricidade por meio da fonte solar, vem progredindo nos últimos anos. Na região nordeste, a radiação é mais favorecida ao se comparar com as que estão ao sul e sudeste do país e com isso há uma tendência de crescimento da utilização dessa fonte a região. (CCEE, [2019?]).

Quanto ao uso de derivados do petróleo que está demonstrado pela cor verde, apesar de sua representatividade inferior as demais, seu uso hoje em dia é essencial para o atendimento da demanda de pico e prover aos cidadãos em sistemas isolados. (CCEE, [2019?]).

Por fim, de acordo com a EPE (2018), para suprir com eficiência o consumo imposto pela população, deve-se haver um planejamento da capacidade de geração, no qual assegura-se

⁴ Inclui autoprodução;

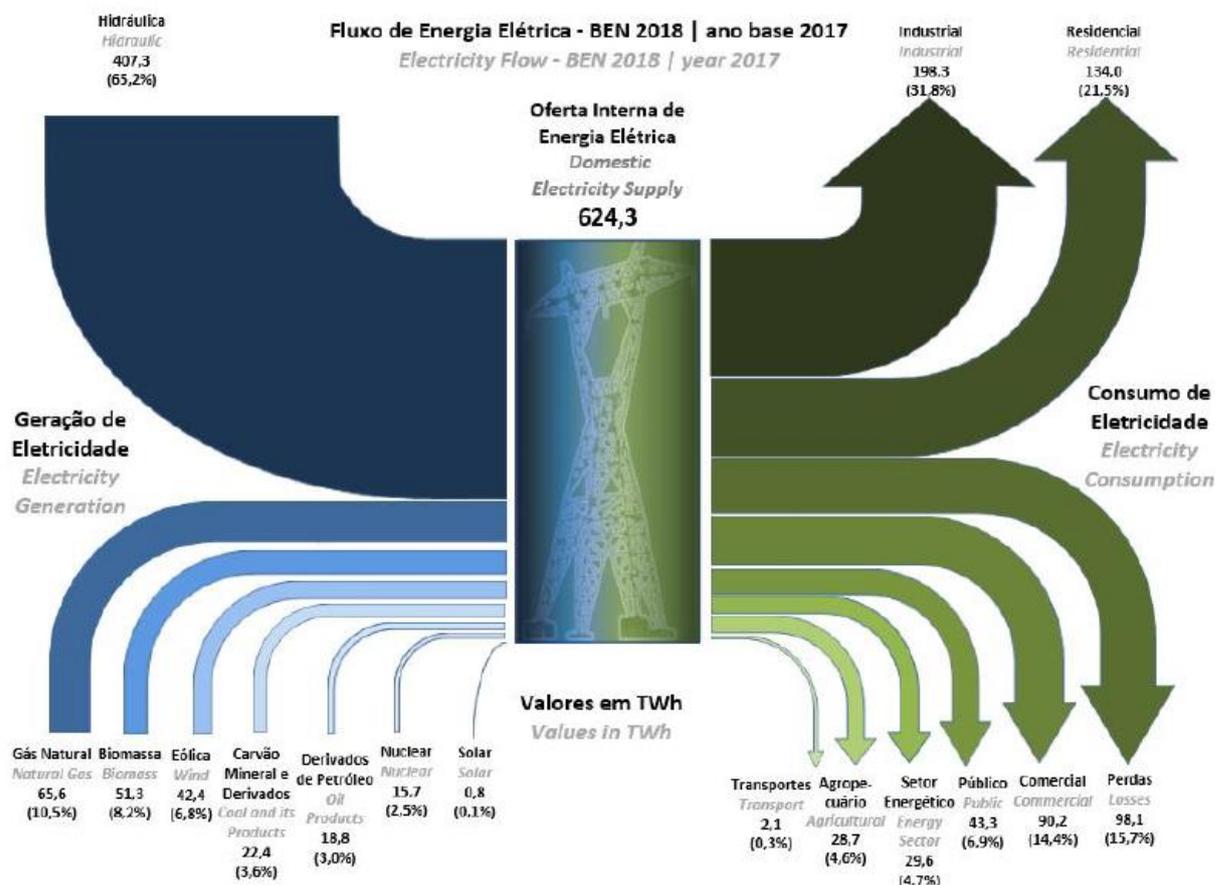
⁵ Derivados de petróleo: óleo diesel e óleo combustível;

⁶ Biomassa: lenha, bagaço de cana e lixo;

⁷ Outras: gás de coqueria, outros secundários, outras renováveis não renováveis, outras renováveis e solar.

a disposição de recursos que possam satisfazer a demanda total projetada, levando em consideração as imprecisões do projeto (como perfil e crescimento da demanda, oferta de geração, falha nos equipamentos) (Figura 1).

Figura 1: Fluxo de energia elétrica em 2017 no Brasil



Fonte: EPE, 2018.

3.2 IMPACTOS AMBIENTAIS

Segundo a ANEEL (2002, pg. VII) “é preciso que, cada fonte ou recurso energético seja, estrategicamente aproveitado, visando à maximização dos benefícios proporcionados e à minimização dos impactos negativos ao meio ambiente e à sociedade”. (ANEEL, 2002, pg. VII).

Bem como agregado a esse propósito, é considerado impacto ambiental, como:

“Qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam: I - a saúde, a segurança e o bem-estar da população; II - as atividades sociais e econômicas; III - a biota; IV - as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente; V - a qualidade dos recursos ambientais”. (RESOLUÇÃO CONAMA nº 001, DE 23 DE JANEIRO DE 1986, art. 1º).

Portanto, qualquer tipo de conversão de energia em eletricidade pode causar algum impacto ambiental, seja desde a instalação dos equipamentos à geração elétrica. (BARSANO; BARBOSA; VIANA, 2014).

Para os sistemas híbridos, a fase que apresenta os impactos negativos mais significantes é durante a implantação do sistema, visto que a geração é de pequeno e médio porte e utilização dos recursos não de fontes de energia renováveis. (BARBOSA, 2006).

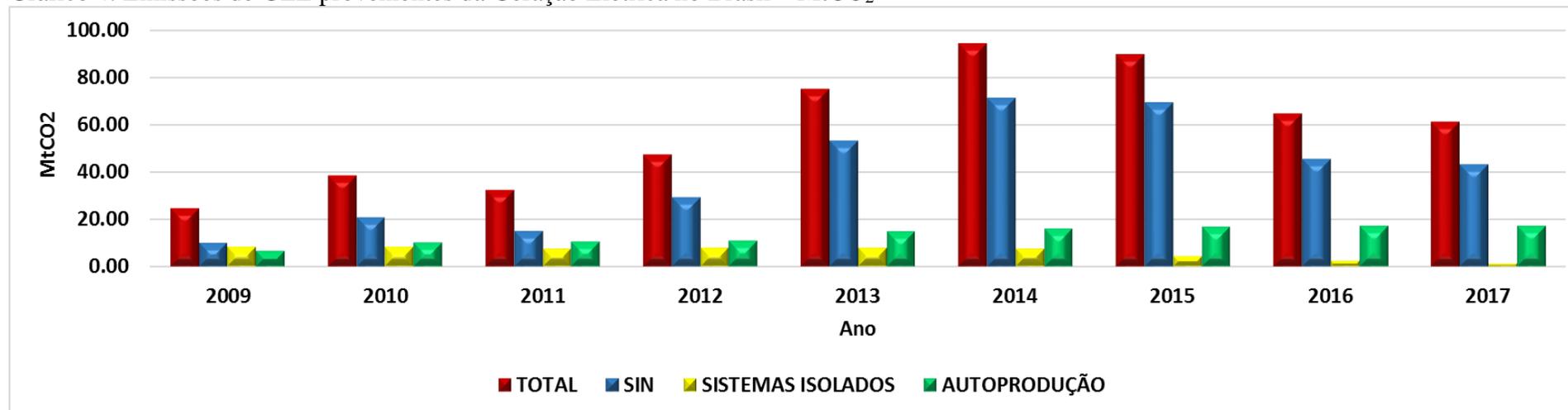
Ao contrário das termelétricas, onde o impacto ambiental negativo mais citado entre os autores, é a emissão dos gases de efeito estufa (GEE) que ocorre durante a operação. A Tabela 2, juntamente ao Gráfico 4, apresentam as emissões dos GEE provenientes da geração de eletricidade no período de 2009 a 2017. (EPE, 2018).

Tabela 2: Emissões de GEE provenientes da Geração Elétrica no Brasil – MtCO₂ de 2009 a 2017

Tipo de Geração	Ano									
	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	
Total	24,48	38,40	32,12	47,16	74,79	94,07	89,61	64,44	61,14	
SIN	9,96	20,80	14,89	28,95	52,83	71,00	68,96	45,35	43,14	
Sistema Isolado	8,02	7,86	7,10	7,58	7,52	7,30	4,20	2,37	1,11	
Autoprodução	6,50	9,74	10,13	10,63	14,44	15,77	16,44	16,72	16,89	

Fonte: Adaptado de EPE (2014), EPE (2018).

Nota: Demais fontes equivaleram a 0,24 MtCO₂ em 2017 e 2014. Dados preliminares

Gráfico 4: Emissões de GEE provenientes da Geração Elétrica no Brasil – MtCO₂

Fonte: Adaptado de EPE (2014), EPE (2018).

Nota: demais fontes equivaleram a 0,24 MtCO₂ em 2017 e 2014.

O aumento dos GEE, segundo relato da EPE (2014) é consequência das condições hidrológicas desfavoráveis que o país enfrentou sendo necessário o acionamento de termelétricas a combustíveis fósseis.

“A substituição do petróleo por outro energético não é algo tão simples, dado que o petróleo é uma fonte bastante flexível, com conteúdo energético elevado, podendo ser transportado sem dificuldades e produzir combustíveis diversos para múltiplas aplicações” (COSTA, PRATES, 2005, pg. 10).

A substituição extremista do petróleo por energias renováveis é impossível, nos dias de hoje, porém, se essa mudança for realizada gradativamente, o resultado alcançado pode ser benéfico tanto à esfera econômica (dependência da importação, impacto na balança comercial), como para sociais (acesso à energia), tecnológico (desenvolvimento do parque industrial), quanto à ambiental (minimização da escassez de recursos não renováveis). (COSTA, PRATES, 2005).

A título de exemplo, pode-se citar o caso do objeto deste estudo, Fernando de Noronha, que de acordo com Velame ([2019], pg. 17):

O funcionamento pleno das duas usinas resulta na economia de 400 mil litros de biocombustível na termoelétrica de Tubarão, principal responsável pelo abastecimento de energia em Fernando de Noronha. Além de impactar na complexa logística que garante a chegada do combustível ao arquipélago, a substituição parcial da fonte geradora de eletricidade evita a emissão de mais de 200 toneladas de dióxido de carbono (CO₂) pela queima do diesel.

Esse cenário ocorre devido ao fato de que a utilização de energia solar para a conversão em energia elétrica, não há emissão de poluentes, como material particulado, NO_x, SO₂, CO e, sequer, gases de efeito estufa. (EPE, [2019?]).

3.3 ENERGIAS RENOVÁVEIS

A energia renovável se caracteriza pela sua fonte de geração. Essa fonte considerada como recurso natural é teoricamente inesgotável, ou seja, sempre se renova. (CALIJURI; CUNHA, 2013).

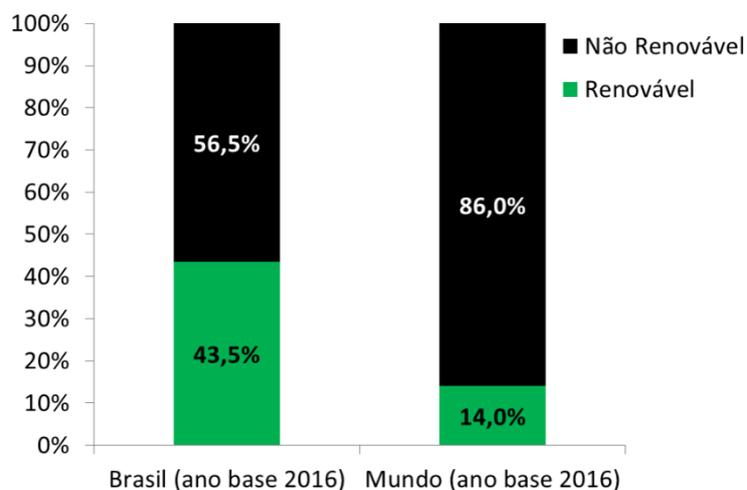
Segundo Calijuri e Cunha (2013), pode-se citar como energia renovável a eólica, solar, biomassa e hidráulica dos rios, posto que:

A energia da biomassa, ou da matéria orgânica, tem origem na energia captada do Sol através da fotossíntese, que é a conversão da energia da luz solar em energia química. A energia da água dos rios, usada para mover turbinas de usinas hidrelétricas, tem

origem na evaporação, nas chuvas e no degelo provocados pelo calor do Sol. A energia dos ventos tem origem nas diferenças de temperatura e pressão na atmosfera ocasionadas pelo aquecimento solar. (VILLALVA, 2015).

No Brasil, as fontes de energias renováveis se mostram significativas no uso da matriz energética⁸. Conforme a Figura 2, é possível observar que o percentual do uso dessas fontes no país, é três vezes maior ao se comparar com o uso mundial. (COSTA; PRATES, 2005).

Figura 2: Matriz energética brasileira e mundial em 2016.



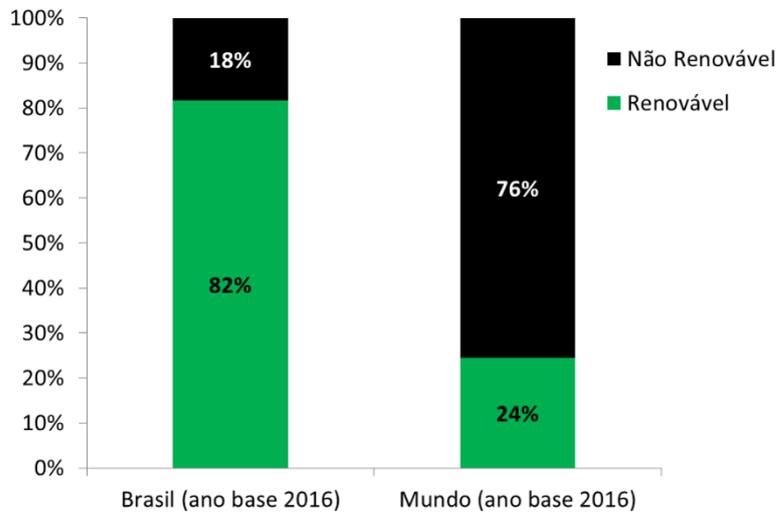
Fonte: EPE, [2019].

Segundo dados fornecidos pela EPE (2019), o uso de fontes renováveis na matriz elétrica brasileira⁹ é ainda maior do que a energética (Figura 3), isso porque em geral, as hidrelétricas são as maiores responsáveis pela geração de energia elétrica no Brasil, representando aproximadamente 65,2%, enquanto o petróleo e seus derivados chegam a cerca de 2,5% (Figura 4).

⁸ Matriz energética: “representa o conjunto de fontes de energia disponíveis para movimentar os carros, preparar a comida no fogão e gerar eletricidade”. (EPE, [2019]).

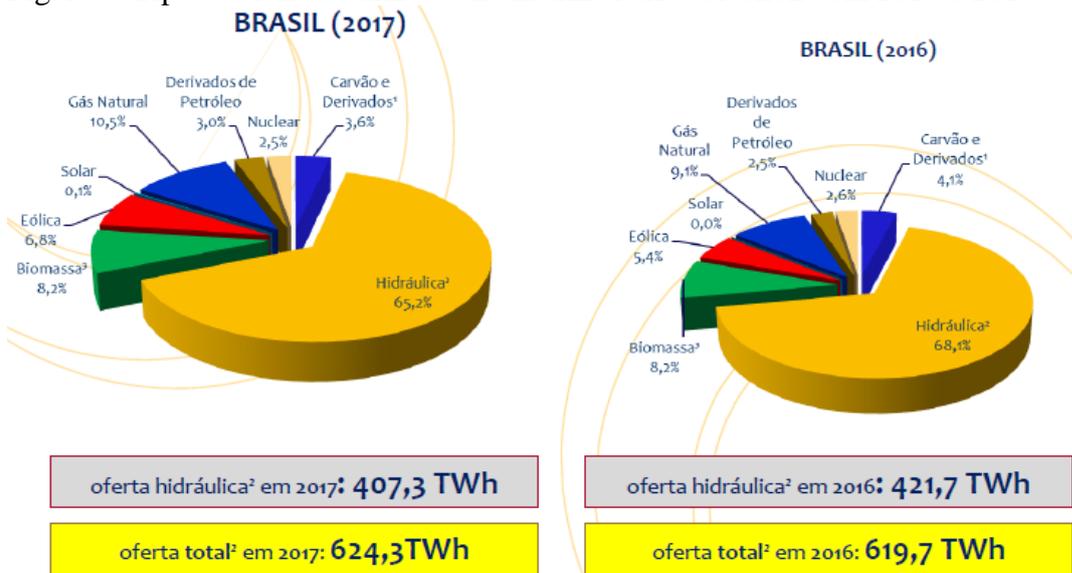
⁹ Matriz elétrica: “é formada pelo conjunto de fontes disponíveis apenas para a geração de energia elétrica”. (EPE, 2019).

Figura 3: Percentual do uso de fontes não renováveis e renováveis na matriz elétrica brasileira e mundial em 2016.



Fonte: EPE, [2019].

Figura 4: Tipos de fontes utilizadas na matriz elétrica brasileira em 2016 e 2017.



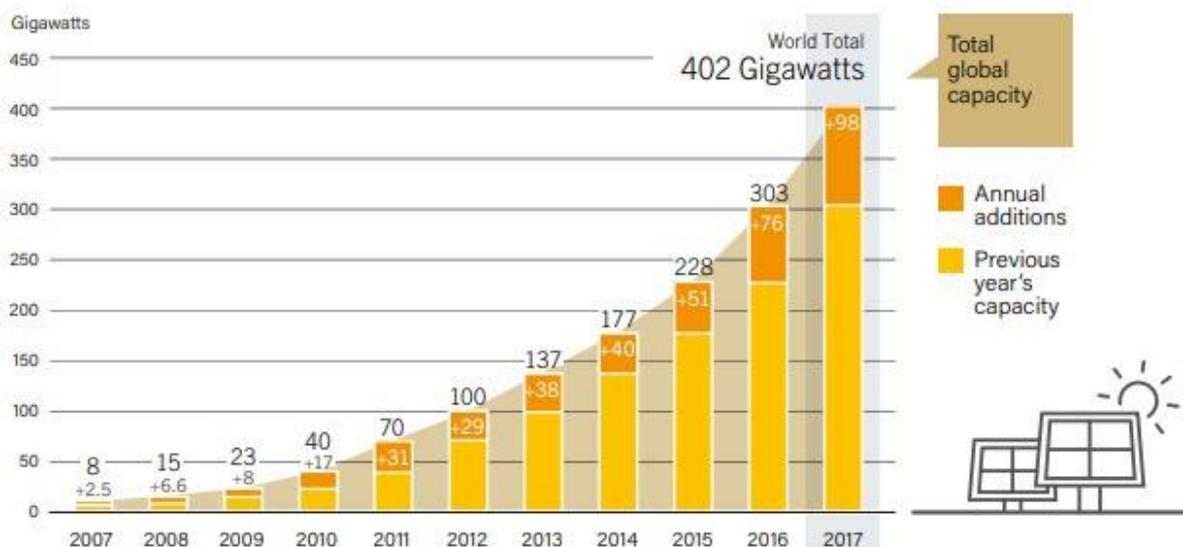
Fonte: EPE, 2018.

Apesar disso, para assegurar um cenário ideal do setor elétrico, a ANEEL (2002), afirma a necessidade de um aproveitamento maior das fontes renováveis.

Dessa maneira, em concordância com o que foi dito anteriormente, por consequência de incentivos de políticas públicas, o Brasil, junto a hidrelétrica, vem crescendo o uso de outras fontes renováveis para a geração de energia elétrica, como a eólica e fotovoltaica. (CCEE, [2019?]); INTERNATIONAL ENERGY AGENCY – IEA, 2011 apud SILVEIRA, 2013, p.8; VILLALVA, 2015).

No cenário mundial, a capacidade de geração de energia elétrica através de sistemas fotovoltaicos em 2007 era de 8 GW (gigawatts), alcançando em 2017 aproximadamente 402 GW. Isso resultou em um crescimento de aproximadamente 50 vezes, tornando a energia fotovoltaica a energia com maior expansão ao se comparar com as demais. (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY – IEA, 2011 apud SILVEIRA, 2013, p.8; VILLALVA, 2015).

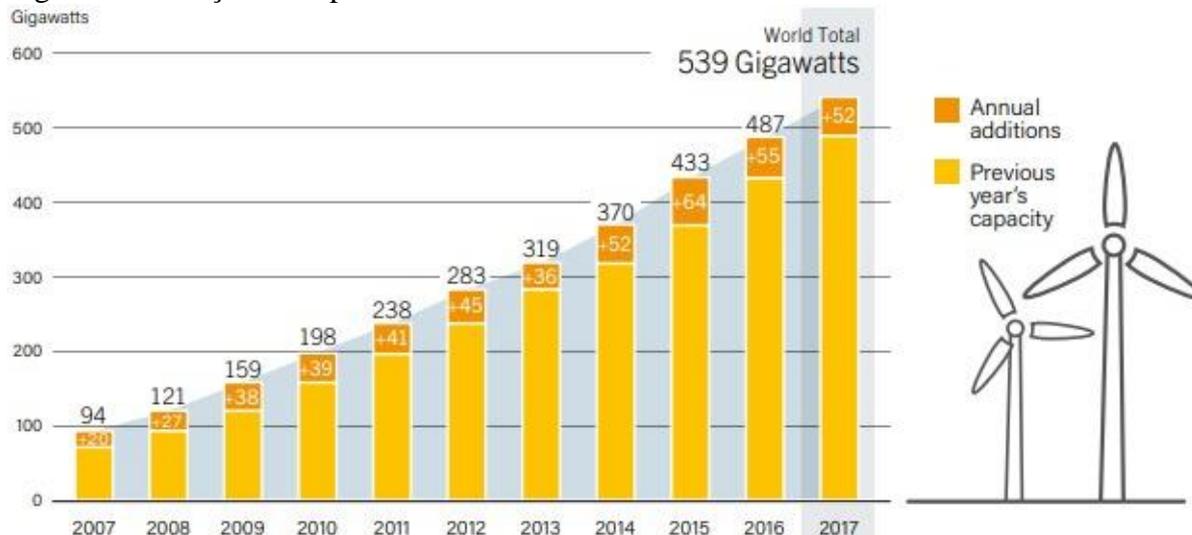
Figura 5: Capacidade fotovoltaica no mundo entre os anos de 2007 e 2017.



Nota: Os dados são fornecidos em corrente contínua (CC). Os resultados totais são apresentados com arredondamento
 Fonte: (REN 21, 2018, p.90).

Já a energia eólica, no mesmo período, obteve aproximadamente um crescimento de quase 6 vezes da capacidade instalada no mundo (Figura 6). (SILVEIRA, 2013).

Figura 6: Evolução da capacidade eólica mundial instalada entre os anos de 2007 e 2017.



Fonte: (REN 21, 2018, p.109).

3.3.1 Energia Eólica

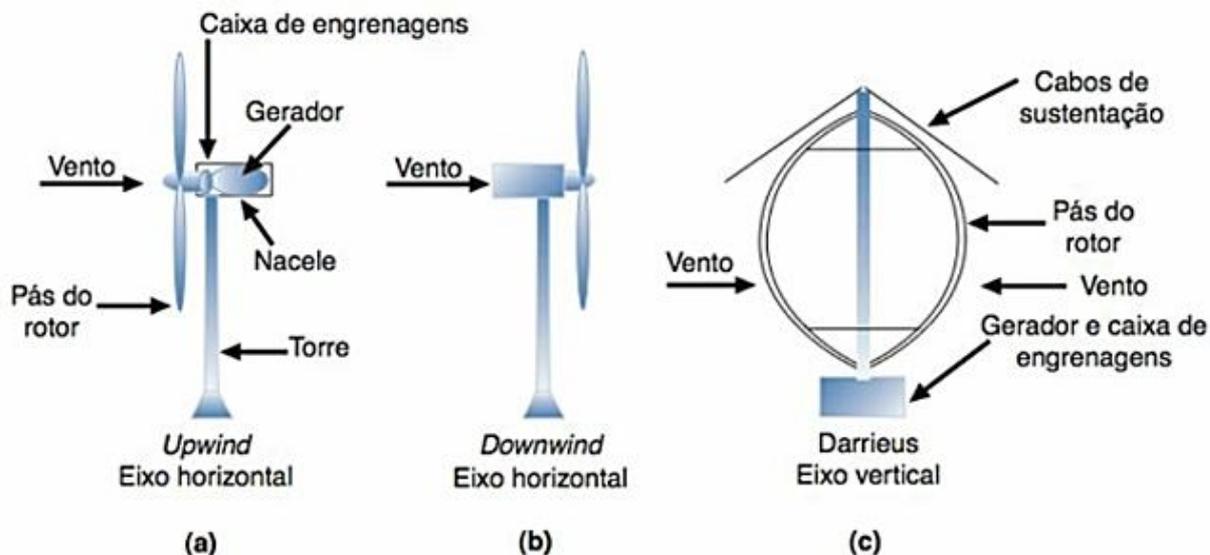
“A energia eólica provém da energia solar, uma vez que os ventos são originados como decorrência do aquecimento desuniforme da atmosfera, pela radiação solar. Essa principalmente, pela orientação dos raios solares e pelos movimentos do planeta”. (CEPEL, ([2001?], p. 40).

Balat (2005) e ANNEL (2008 apud Calijuri e Cunha 2013, p.674) apresentam uma definição mais completa de energia eólica:

“A tecnologia eólica converte a energia disponível dos ventos em eletricidade ou energia mecânica através da utilização de turbinas eólicas. Seu aproveitamento ocorre por meio da conversão da energia cinética de translação em energia cinética de rotação, com o emprego de turbinas eólicas, também denominadas aerogeradores, para a geração de eletricidade ou por meio de cataventos (e moinhos) para trabalhos mecânicos como bombeamento da água”.

Segundo Villalva (2015), as turbinas eólicas são classificadas de acordo com a orientação do eixo de giro das pás: turbina de eixo vertical e turbina de eixo horizontal (Figura 7).

Figura 7: Turbinas com eixos horizontal e turbina com eixo vertical



Fonte: PINTO, 2013.

As turbinas de eixo vertical, podem ser consideradas como turbinas de pequeno porte, pois sua aplicação se limita a suprir a demanda local de eletricidade. Estas tem como vantagens: a possibilidade do aproveitamento do vento em qualquer direção, não ter necessidade de

controle de ajuste da direção do vento, a nacele¹⁰ pode permanecer ao solo auxiliando na manutenção e, principalmente a pouca complexidade de manuseio. Com isso, normalmente esses tipos de turbinas são instaladas em residências e prédios. (PINTO, 2013; VILLALVA, 2015).

No entanto, esse tipo de mecanismo apresenta diversas desvantagens, por exemplo:

As pás ficam relativamente perto do solo, onde a velocidade do vento é bem menor. Como a potência disponível do vento aumenta com o cubo da velocidade deste, há, portanto, um considerável incentivo em colocar as pás em locais mais elevados, em que a velocidade do vento é maior. Ventos próximos ao solo não são somente mais fracos como também turbulentos, o que aumenta a tensão sob uma turbina de eixo vertical (PINTO, 2013).

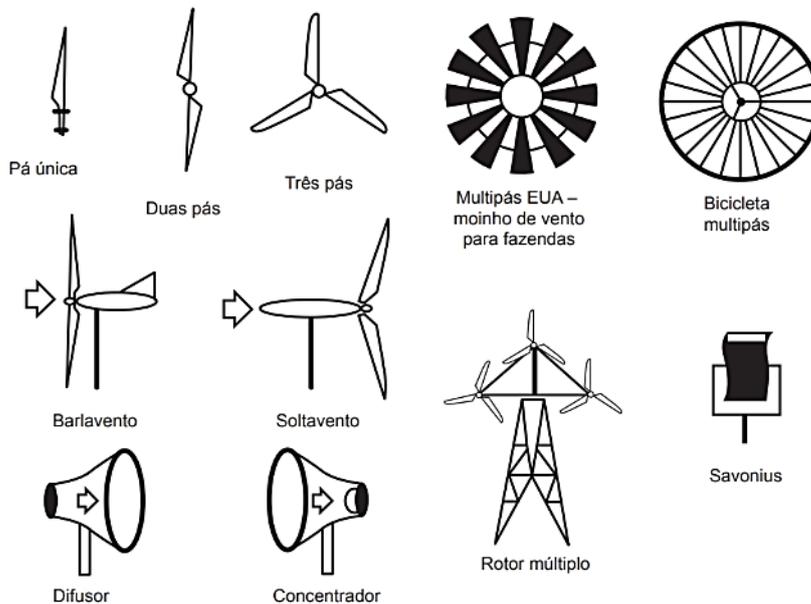
Já as turbinas eólicas horizontais, devido à sua altura, têm acesso a ventos com maiores velocidades, alta eficiência e a possibilidade de controle da velocidade do rotor e saída de potência. As desvantagens seriam a complexibilidade de transporte e instalação e necessidade de sistemas de controle para o manuseio. (PINTO, 2013).

No que concerne as pás dos aerogeradores, “o número de pás a serem utilizadas é inversamente proporcional à velocidade no eixo do rotor e diretamente relacionada ao torque gerado; dessa forma, quanto menor o número de pás, mais rápido o eixo gira” (SILVA, 2006 apud SANTOS 2013).

Além disso, a quantidade é o que direciona a turbina para o seu uso. Normalmente as utilizadas para a geração de eletricidade possuem três pás, enquanto as que são usadas para transformar a energia eólica em energia mecânica, tendem a ter uma maior quantidade (Figura 8). (FADIGAS, 2011; SANTOS, 2013).

¹⁰ Nacele: “compartimento instalado no alto da torre da turbina e que abriga o gerador, a caixa de engrenagens e outros componentes mecânicos” (PINTO, 2013, p. 80).

Figura 8: Alguns tipos de máquinas eólicas de conversão de energia com turbinas de eixo horizontal.



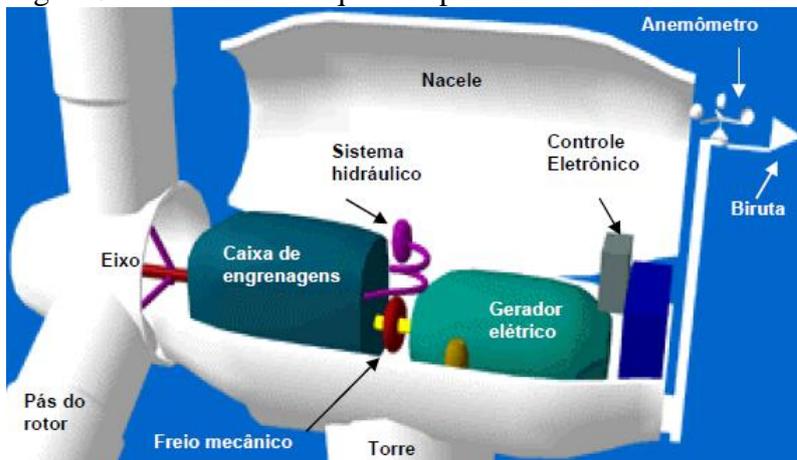
Fonte: (MANWELL *et al.*, 2004 apud FADIGAS, 2011).

Segundo Salles (2004), os principais itens que compõem uma torre eólica de eixo horizontal são:

- Torre: é a estrutura que sustenta a nacela e o rotor acima do solo. Quanto maior a torre, menor rugosidade e conseqüentemente mais favorável as condições do vento para a operação;
- Nacela: é o item que comporta as principais peças da turbina: caixa de engrenagens, controlador de freio e o gerador elétrico. Protegendo-as de elementos externos;
- Pás do rotor: captam o vento e transformam sua potência ao centro do rotor;
- Rotor: é o sistema que converte a energia cinética em energia mecânica através do seu eixo;
- Transmissão: transfere a energia mecânica do eixo do rotor para o gerador;
- Caixa multiplicadora: devido ao fato da diferença de rotação entre rotor e o gerador convencional, coloca-se esse equipamento entre esses dois para aumentar a velocidade que é baixa (ARGENTINO; BEPPU, 2007 apud SANTOS, 2013);
- Gerador elétrico: transforma a energia mecânica em energia elétrica através de uma bobina girando em um campo magnético devido ao torque do giro do rotor (GIPE, 1995 apud SALLES, 2004);

- Mecanismos de controle: este item é destinado a orientar o rotor quanto a direção e sentido do vento, além do controle da velocidade e carga (CEPEL, 2001);
- Controle de potência: objetiva impedir a sobrecarga elétrica e do sistema de transmissão quando houver o aumento do fluxo de ar das forças de sustentação aerodinâmicas para que não passe das condições ideais de operação (ARGENTINO & BEPPU, 2007);
- Anemômetro: mede a intensidade e a velocidade dos ventos.

Figura 9: Vista dos itens que compõem uma torre eólica de eixo horizontal



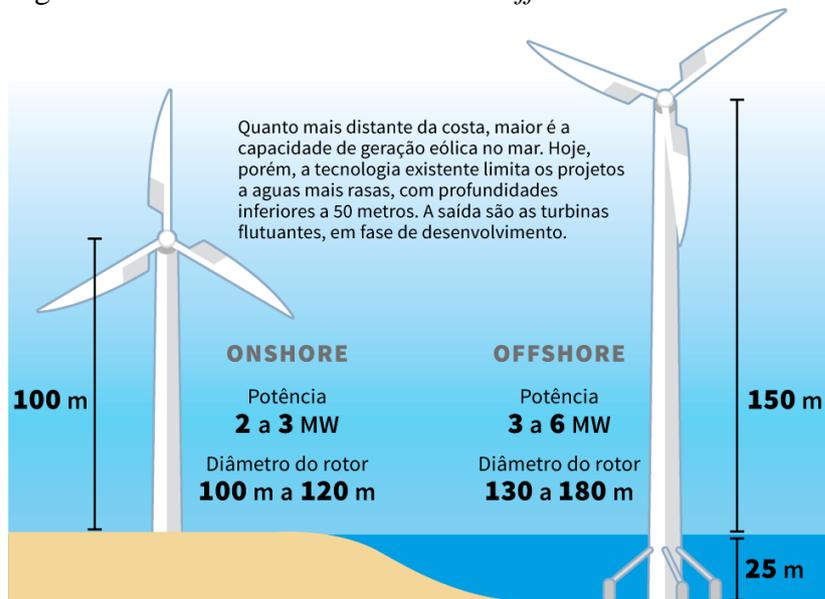
Fonte: WINDPOWER, 1998 *apud* SALLES, 2004.

Para o sistema eólico, vários parâmetros devem ser levados em consideração, como por exemplo (SILVA, 20106):

- Velocidade do vento: tendo em vista que a geração de energia eólica é proveniente do vento, deve-se traçar um perfil do comportamento do vento baseado em suas características como a velocidade, intensidade e direção espacial em curto, médio e longo período;
- Rugosidade do terreno: aconselha-se que a rugosidade do solo deve ser baixa para que haja um melhor rendimento, considerando a relação de que quanto mais acentuada a rugosidade do terreno, menor a velocidade do vento;
- Altura: este parâmetro é de extrema importância para a determinação do aerogerador, pois quanto maior a altitude, maior a velocidade do vento, influenciando diretamente no eixo das turbinas e seu sistema;
- Direção do vento: a variação da direção do vento determina forma de avaliação das conformidades da turbina e o layout das máquinas.

Os sistemas eólicos podem ser instalados em terra ou no mar, conhecidos respectivamente como *onshore* e *offshore*. (SILVEIRA, 2013).

Figura 10: Turbinas eólicas *onshore* e *offshore*.



Fonte: Site Gazeta do Povo. Acesso 19/05/2019.

3.3.2 Energia Fotovoltaica

Segundo Silveira (2013, p. 7), “as três principais tecnologias para o aproveitamento da energia solar para a produção de energia são a fotovoltaica, a termossolar e a solar termoelétrica”.

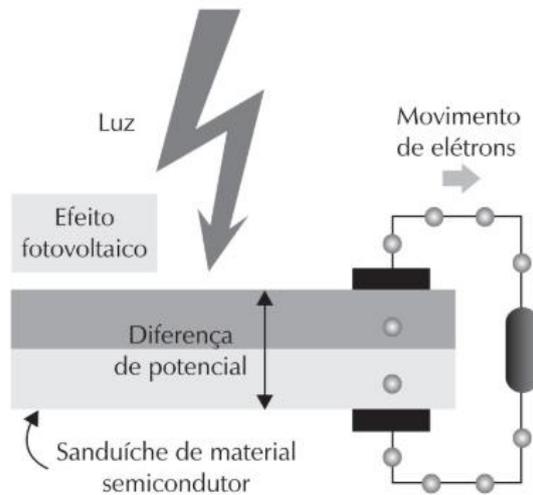
A geração de energia fotovoltaica se resume em converter diretamente a luz solar em eletricidade através de materiais semicondutores, como por exemplo do mais utilizado, o silício¹¹. (CÂMARA, 2011, SILVEIRA, 2013).

De acordo com Villalva (2015), o princípio da geração de energia elétrica pelo sistema de energia solar fotovoltaica refere-se ao efeito fotovoltaico que:

Consiste na transformação da radiação eletromagnética do Sol em energia elétrica através da criação de uma diferença de potencial, ou uma tensão elétrica, sobre uma célula formada por um sanduíche de materiais semicondutores. Se a célula for conectada a dois eletrodos, haverá tensão elétrica sobre eles. Se houver um caminho elétrico entre os dois eletrodos, surgirá uma corrente elétrica. (VILLALVA, 2015, p.39).

¹¹ Conforme Villalva (2015), cerca de 95% das células fotovoltaicas são fabricadas pelo silício em função deste ser um material de baixo custo e com muita disponibilidade para o mercado.

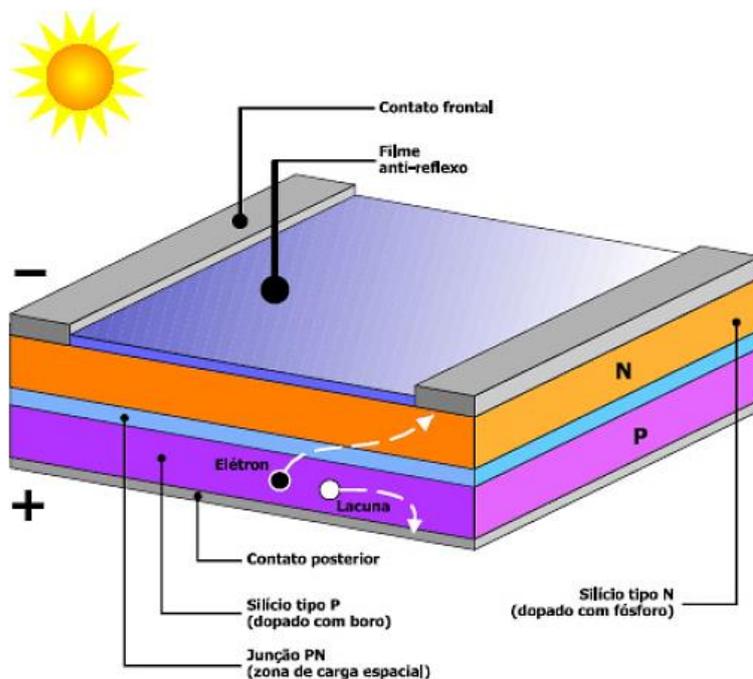
Figura 11: Visualização do efeito fotovoltaico.



Fonte: VILLALVA, 2015.

A célula fotovoltaica, nada mais é que a união de duas camadas de material semiconductor do tipo P com outra do tipo N (Figura 12). Ao contrário do N que apresenta elétrons em excesso, considera-se o material P sendo o material positivo, devido ao fato do mesmo possuir menos elétrons que o semiconductor puro e apresentar lacunas com espaços vazios. Assim os elétrons da camada N “saltam” para a camada P, ocupando o espaço livre originando um campo magnético e criando uma barreira de potencial entre elas. (VILLALVA, 2015)

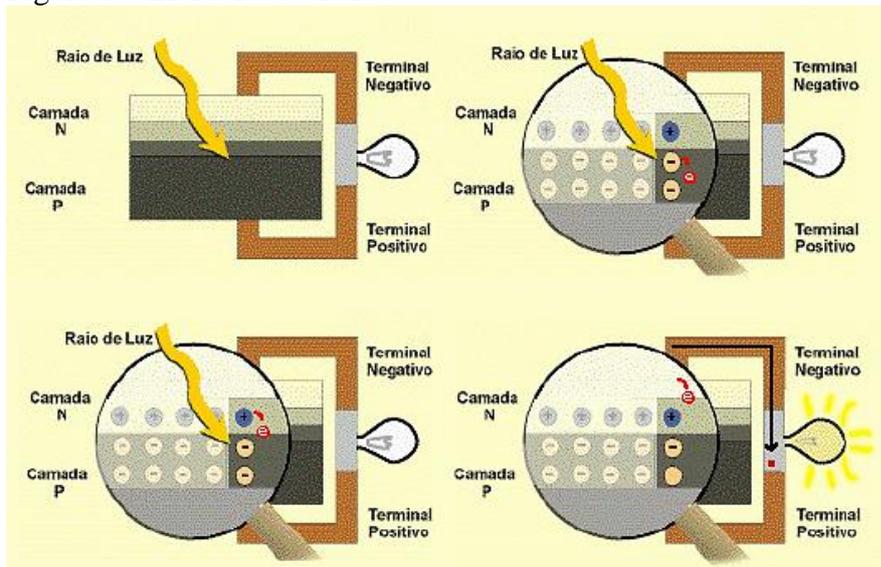
Figura 12: Corte transversal de uma célula fotovoltaica.



Fonte: CÂMARA, 2011.

A corrente elétrica é formada quando a luz solar penetra a célula fotovoltaica, libera sua energia atingindo o material N e faz com que os elétrons se movimentem para a camada P. Na presença de um eletrodo metálico, os elétrons livres circulam em circuito fechado à direção da camada N, formando a corrente elétrica. (VILLALVA, 2015).

Figura 13: Efeito fotovoltaico.



Fonte: CÂMARA, 2011.

Essas células, quando unidas entre si, formam os módulos fotovoltaicos. Um módulo, é formado por um conjunto de células em série e paralelo, instaladas acima de uma estrutura rígida e ligadas eletricamente (VILLALVA, 2015).

Esses módulos geram eletricidade em corrente contínua, tornando necessário um inversor para transformar essa corrente para o tipo alterada, como o caso de sistemas ligados à rede elétrica, ou armazenada em bateria, como nos sistemas isolados, onde o consumo é realizado em outro momento. (SANTOS, 2013).

Em suma, é importante mencionar que ao projetar um sistema de energia fotovoltaica, deve-se levar em consideração as seguintes características: insolação, orientação dos módulos fotovoltaicos, ângulo azimutal, declividade solar, altura solar, ângulo de incidência do sol, escolha do ângulo de inclinação do módulo solar e espaçamento entre os módulos (VILLALVA, 2015).

3.4 SISTEMA DE GERAÇÃO DE ENERGIA

Tanto o sistema eólico, como o fotovoltaico podem ser classificados quanto ao seu sistema de geração em três categorias: sistemas conectados à rede, híbridos e isolados (CALIJURI; CUNHA, 2013, CÂMARA, 2011).

3.4.1 Sistema Isolado de Energia

Os sistemas isolados (Figura 14), são considerados sistemas de pequeno porte e normalmente utilizam um sistema de armazenamento. A forma mais usual de armazenamento, por exemplo, quando se pretende utilizar aparelhos elétricos, é realizada através de baterias. (CÂMARA, 2011).

Outros equipamentos importantes presentes nesse sistema são: o controlador de carga e o inversor. O controlador de carga é usado em aparelhos com baixa tensão, corrente contínua e destina-se a evitar que ocorra danos à bateria por causa da sobrecarga ou descarga profunda, enquanto o inversor é utilizado para otimizar a potência em equipamentos de corrente alterada. (CÂMARA, 2011).

Figura 14: Exemplo de um sistema isolado de energia



FONTE: Site REDIMAX. Acesso em 20/05/2019.

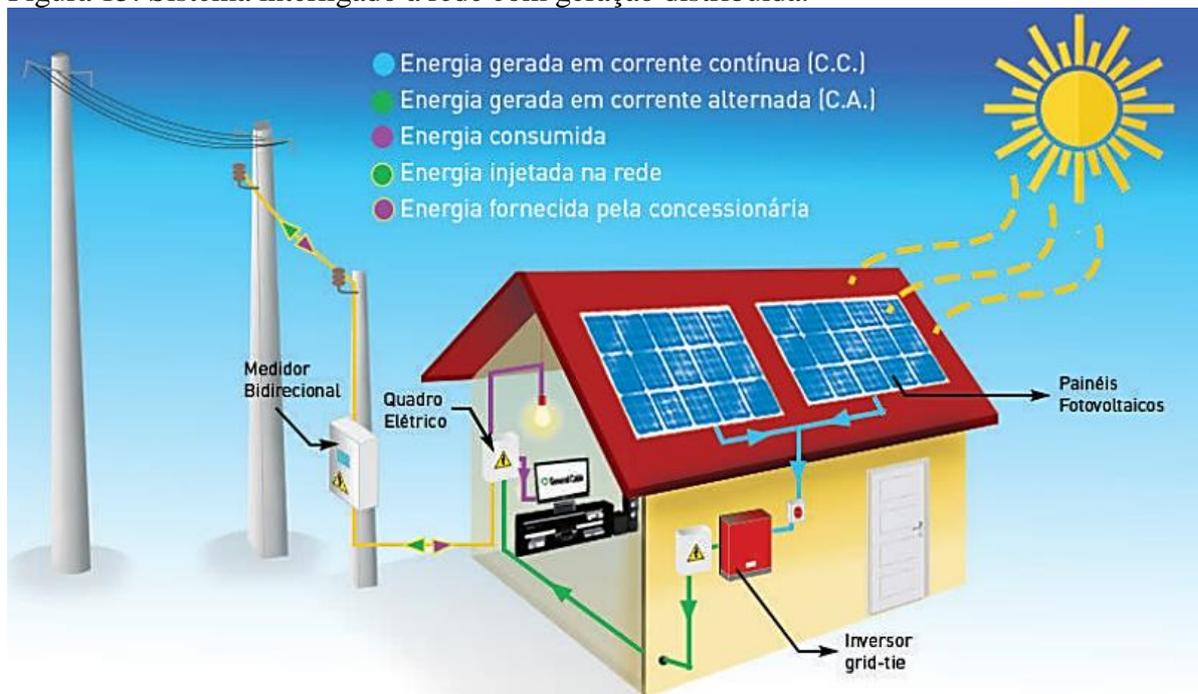
3.4.2 Sistema Interligado à Rede Elétrica

Os sistemas interligados à rede elétrica são considerados aqueles que “fornecem energia de forma complementar ao sistema de grande porte ao qual estão conectados, não sendo necessários, portanto, sistemas de armazenamento de energia”. (TOMASQUIM, 2003 apud SANTOS 2013, cap. 6.2.3.2).

Em outras palavras, nesse tipo de sistema é dispensável a utilização de acumuladores de energia, como por exemplo, as baterias. Isso porque quando a quantidade de energia consumida for maior que a produzida, a rede elétrica da concessionária poderá fornecer energia ao local, ou ao contrário, em casos onde a geração de energia elétrica pelos painéis fotovoltaicos for maior que o consumo do local, esse excesso poderá ser introduzido à rede elétrica da companhia. (CÂMARA, 2011).

No caso das fotovoltaicas, os painéis são mensurados objetivando contemplar toda ou parte da demanda de energia da edificação ou outros locais (áreas livres, estacionamentos, etc.). O funcionamento se dá pela ligação desses painéis a um inversor, que transforma a corrente contínua (CC) em corrente alterada (CA) e posteriormente direciona à rede de distribuição (Figura 15). (CÂMARA, 2011).

Figura 15: Sistema interligado à rede com geração distribuída.



Fonte: GENERAL CABLE BRASIL

3.4.3 Sistema Híbrido de Energia

O sistema híbrido de energia (SHE) corresponde a combinação de diferentes fontes de energias renováveis como turbinas eólicas, painéis fotovoltaicos, entre outras, com combustíveis fósseis (normalmente geradores a diesel), objetivando o fornecimento de energia elétrica (Figura 16) (SILVEIRA, 2013).

Figura 16: Exemplo de sistema híbrido



Fonte: CÂMARA, 2011.

Normalmente, a principal finalidade de incorporar as energias renováveis ao SHE é economizar o uso de combustíveis fósseis, tornando a sua aplicação apenas para o uso do sistema de reserva (*backup*). (SILVEIRA, 2013).

“Um sistema híbrido pode ser configurado basicamente de três diferentes maneiras: conectado à rede (*on grid*), fora da rede com sistema de distribuição (*off grid*) e fora da rede sem sistema de distribuição e com alimentação direta da carga (*off grid with direct supply*)” (SILVEIRA, 2013, p. 6). O *on grid* assegura o fornecimento de energia através da sua ligação com a rede; enquanto as configurações *off grid* são sistemas considerados isolados, podendo suprir uma ou mais cargas espalhadas. (SILVEIRA, 2013).

Figura 17: Sistema *on grid* e *off grid*

Fonte: Site AWS ENERGY. Acesso em 20/05/2019.

É importante evidenciar que devido a diversidade de arranjo, muitas combinações, como por exemplo, solar-diesel, solar-eólico, diesel-eólico-solar, entre outras; e carência de um controle eficiente de todas as fontes, o estudo para dimensionar o sistema deve ser realizado caso a caso. (CÂMARA, 2011).

4 CARACTERIZAÇÃO DO ARQUIPÉLAGO FERNANDO DE NORONHA

Segundo o Plano de Manejo da APA Fernando de Noronha – Rocas –São Pedro e São Paulo (2005.p.13), o Arquipélago de Fernando de Noronha (FN) “é formado por 21 ilhas e rochedos, e tem área total de 26 km². A ilha principal, com ocupação humana permanente, mede em torno de 11 km de comprimento e 3 km de largura, sendo que seu ponto culminante tem altitude de 323 m”.

A formação do Arquipélago FN é advinda de eventos vulcânicos, resultando em rochas ígneas que são as responsáveis pela configuração irregular do local, com muitas reentrâncias, saliências e superfícies onduladas. (SILVEIRA, 2013).

Devido ao fato de estar localizada na rota das grandes navegações, FN foi abordada por muitos povos antes da ocupação definitiva dos portugueses em 1737, que na época construiu o maior sistema de fortificações do Brasil, conjuntamente a cadeias para presos condenados a longa data. (GOVERNO DO ESTADO DE PERNAMBUCO, 2013).

Posteriormente, a partir de 1938, a região também serviu como Presídio Político, depois passando a ser administrada por militares, até que em 1988 foi reintegrado ao Estado de Pernambuco, sendo hoje um Distrito Estadual. (GOVERNO DO ESTADO DE PERNAMBUCO, 2013).

Desde 2001, Fernando de Noronha é considerado pela Comissão Brasileira de Sítios Geológicos e Paleontológicos (Sigep/Unesco) como sendo um Sítio do Patrimônio Mundial Natural, e integra uma das seis ilhas ou arquipélagos que constituem as Ilhas Oceânicas do Brasil. (MOHR *et al.*, 2009).

4.1 LOCALIZAÇÃO

O Arquipélago Fernando de Noronha fica localizado no estado de Pernambuco, estando a 545 km do Recife (capital do estado) e a 360 km de Natal (RN) (IBGE,2010). Situada abaixo da linha do Equador, com as seguintes coordenadas geográficas: 03° 54'S de latitude e 32° 25'W de longitude.

4.2 OCUPAÇÃO DA ILHA

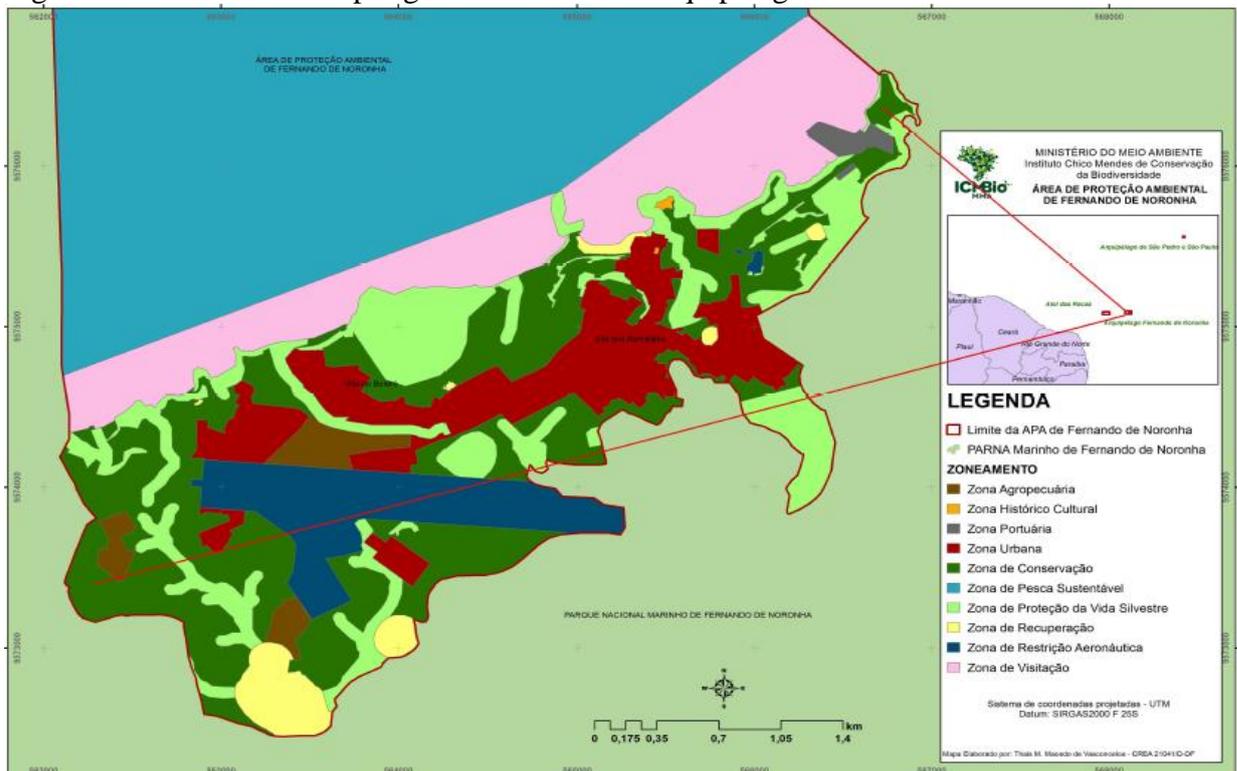
Com extensão de 17,6 km², a única ilha habitável em FN, possuía uma população de 2.630 pessoas em 2016. (BRASIL; IBAMA [2005?]; CENSO, 2010).

Devido a ocupação desordenada na ilha, o Governo de Pernambuco elaborou o Plano de Gestão do Arquipélago de Fernando de Noronha, Ecoturismo e Desenvolvimento, onde foi definido ao zoneamento de FN em: Proteção de Vida Silvestre, Conservação, Recuperação, Histórico-Cultural, Agropecuária, Restrição Aeronáutica, Portuária Urbana, Visitação e Pesca Sustentável (Figura 18) (BRASIL; ICMBIO, 2017).

A população encontra-se localizada nas zonas de Conservação, Agropecuária, Restrição Aeronáutica, Urbana, nas quais são compostas por 15 vilarejos: Vila dos Remédios, Floresta Nova, Floresta Velha, Vila do Trinta, Vacaria, Três Paus, Boldró, Núcleo Habitacional DPV, Coréia, Conceição/Italcable, Quixaba, Estrada Velha do Sueste, Vai quem Sabe, Basinha e Vila do Porto (BRASIL; IBAMA [2005?], BRASIL; ICMBIO, 2017).

Cabe dizer que “o limite APA/PARNAMAR foi definido, inclusive, com base no uso e ocupação já existente na época de criação do PARNAMAR (1988) ”. (BRASIL; IBAMA [2005?])

Figura 18: Zoneamento da poligonal referente ao Arquipélago de Fernando de Noronha



Fonte: BRASIL, ICMBIO (2017)

4.3 CARACTERIZAÇÃO AMBIENTAL

4.3.1 Clima

O clima tropical no arquipélago é caracterizado por estações bem definidas (secas e chuvosas) e pela intensa irregularidade da precipitação pluviométrica temporal. (SILVEIRA, 2013).

Diante disso, a região normalmente apresenta a taxa de evaporação maior que a precipitação pluviométrica, assim, criando um cenário no qual apresenta elevados valores de temperatura e salinidade superficial. (BEZERRA JR., 1999 apud BRASIL; IBAMA, [2006?]).

Segundo o Resumo Executivo – Plano de Manejo, Fase 1, APA de Fernando de Noronha – Rocas – São Pedro e São Paulo ([2006?], p. 4):

A precipitação média anual é de 1.300 mm, com maiores índices entre março e maio e estiagem entre agosto e janeiro. A temperatura média é de 25,4°C. A umidade relativa tem média anual de 81%. A insolação média máxima ocorre no mês de novembro (312,5 h) e mínima em abril (216,8 h).

Os ventos da região têm direção predominante sudeste, com velocidade média de 6,6 m/s e com maiores intensidades entre julho e agosto. Estes estão sob a influência da Zona Continental Intertropical (ZCIT), zona de convergência dos ventos alísios e úmidos. (BRASIL; IBAMA, [2005?]; ANJOS, 2013;).

4.3.2 Biomas e Ecossistema

Titulado pela ONU como Reserva da Biosfera da Mata Atlântica e Sítio de Patrimônio Natural Mundial, FN apresenta os últimos vestígios de Mata Atlântica Insular e dispõem do único manguezal oceânico do Atlântico Sul, por esse motivo é considerado um dos mais ricos ecossistemas brasileiros. (BRASIL; IBAMA, [2005?], ANJOS, 2013, SILVEIRA, 2013).

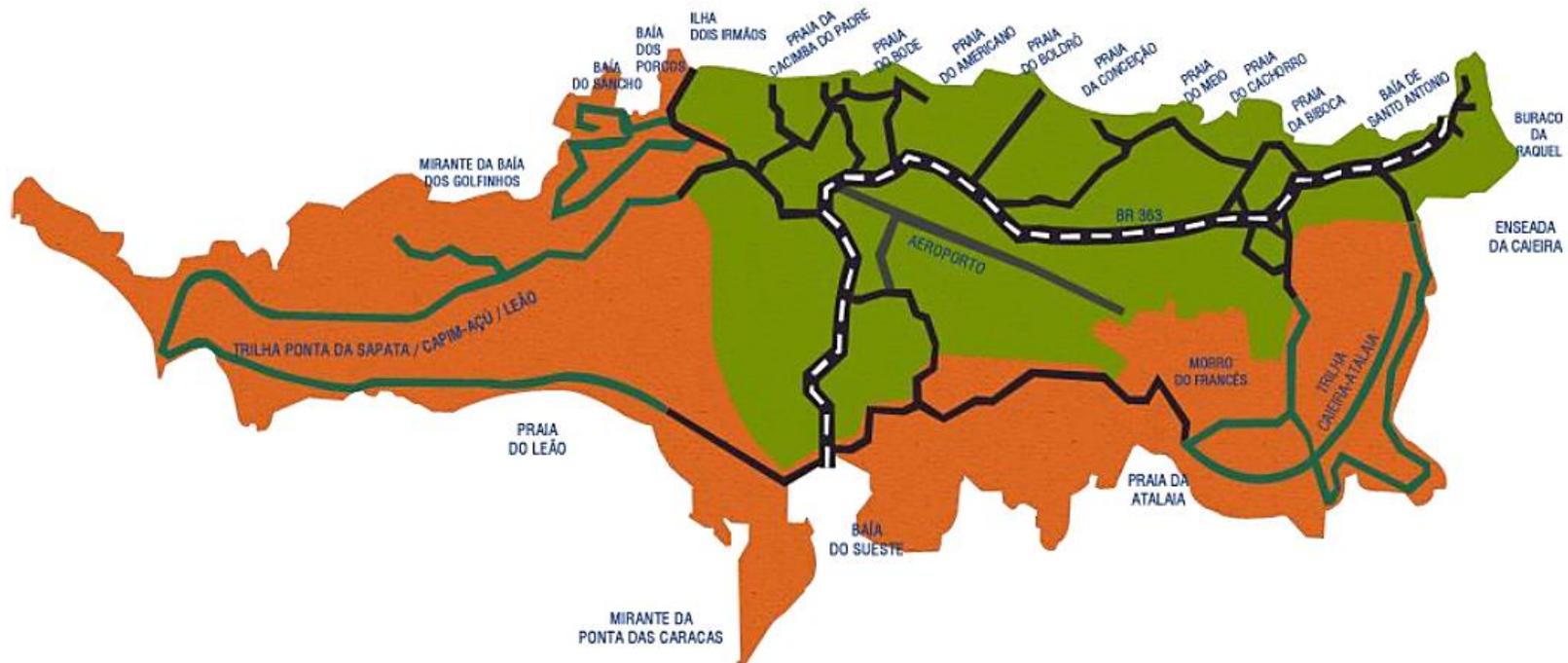
Objetivando preservar os recursos naturais e favorecer o desenvolvimento sustentável, o arquipélago foi dividido em duas unidades de conservação: Parque Nacional Marinho (PANAMAR/FN) e Área de Proteção Ambiental (APA/FN) (GOVERNO DO ESTADO DE PERNAMBUCO, 2013).

Destinado à conservação da fauna, flora e proteção dos recursos naturais, o PANAMAR/FN (Figura 19 – parte laranja) foi criado através do Decreto nº 96.693, de 14 de setembro de 1988 e representa 70% do arquipélago. Envolvendo uma área de aproximadamente

11.270 ha, cabe expor que o PANAMAR/FN inclui todas as ilhas secundárias e contempla uma área marítima até a delimitação com isóbata de 50 m. (BRASIL; IBAMA [2006?], ANJOS, 2013, GOVERNO DO ESTADO DE PERNAMBUCO, 2013, SILVEIRA, 2013).

Enquanto a APA/FN (Figura 19 – parte verde), criada pelo Decreto n° 92.755, de 05 de junho de 1986, abrange uma área 79.706 ha e enquadra-se como um espaço de uso residencial, espaço de atividades múltiplas e zonas especiais de preservação em razão dos impactos negativos que a área pudesse sofrer por estar fora do Parque Nacional Marinho e permitir desenvolver o uso racional da região. (BRASIL; IBAMA [2006?], ANJOS, 2013, GOVERNO DO ESTADO DE PERNAMBUCO, 2013, SILVEIRA, 2013).

Figura 19: Mapa de Fernando de Noronha com destaque para as unidades de conservação.



Fonte: SILVEIRA, 2013.

“Biologicamente, a área da APA não pode ser desvinculada da área do Parque, visto que as atividades desenvolvidas na APA podem gerar impactos diretos e/ou indiretos na área deste” (BRASIL; IBAMA, [2006?], p.6).

“A vegetação predominante em FN é composta por espécies típicas do agreste Nordeste, perdendo folhagem na estação seca. Na ilha existe a única ocorrência de mangue insular no Atlântico Sul, localizada na Baía do Sudeste, ocupando uma área de 1.500 m²”. (SILVEIRA, 2013, p. 57).

Segundo o Resumo Executivo – Plano de Manejo, Fase 1, APA de Fernando de Noronha – Rocas – São Pedro e São Paulo ([2006?], p.6):

A APA apresenta algumas regiões de extrema importância para a conservação da fauna e da flora do Arquipélago de Fernando de Noronha. São elas: Morro do Pico e vegetação de entorno; falésias, praias e costões rochosos da Baía de Santo Antônio a Praia da Cacimba do Padre; açudes, principalmente o do Xaréu, e vegetação de entorno.

A fauna terrestre e marinha é outra característica que torna FN tão importante. Isso porquê o território insular abriga as maiores colônias reprodutivas de aves marinhas das ilhas do Atlântico Sul. Além do que, a área do PANAMAR/FN é o único lugar em todo o Oceano Atlântico onde ocorre a concentração dos golfinhos rotadores e da espécie ameaçada de extinção como a tartaruga-de-pente. (SILVEIRA, 2013).

4.3.3 Oceanografia

A região do Arquipélago de Fernando de Noronha sofre a ação da corrente de ar denominada Corrente Sul Equatorial. Essa corrente advinda do sentido da África para a costa brasileira, resulta na indução de ressurgências ¹². (TRAVASSOS *et al.*, 1999 apud BRASIL; IBAMA [2006?]).

Originado da glaciação, a plataforma marinha que envolve por 20 km o arquipélago, denominada como Alto Fundo Drina, está situada a 15 km de FN, com seu topo a 80 m de profundidade (BRASIL; IBAMA [2006?]).

Compete evidenciar que FN também é tida como uma das quinze regiões com a Zona Marinha mais importante para a conservação ambiental. Esse fato resulta do local possuir uma área onde ocorre a reprodução de aves marinhas significantes, servir como berçário para

¹² As águas mais profundas do oceano sobem para as regiões menos profundas, transportando consigo importantes nutrientes

espécies ameaçadas de baleias, golfinhos e tartarugas, além de representar local de alimento e descanso para espécies migratórias. (BRASIL; IBAMA [2006?]; BRASIL, SECRETARIA DA BIODIVERSIDADE E FLORESTA, 2002).

4.3.4 Relevo

A estrutura geológica de origem vulcânica é marcada por formas constituídas desde áreas planas de baixa altitude a picos isolados e morros com encostas íngremes, como planaltos, vertentes, planícies costeiras e linhas de rochas de praia. O Morro do Pico é considerado a maior elevação da ilha, com 321 m acima do nível do mar. (BRASIL; IBAMA [2006?]).

“As condições topográficas atuais, bastante diferentes dos maciços vulcânicos originais, evidenciam a presença de agentes intempéricos associados à erosão, que se acentuaram após a remoção da cobertura vegetal” (MOHR *et al.*, 2009).

O relevo da faixa da costa sul e leste da ilha, devido a erosão eólica causada pelos ventos alíseos, apresenta-se com características desgastadas. Assim como na APA, as comunidades de Quixaba e Remédios por apresentarem relevo de planaltos e áreas com menores declividades, fizeram com que houvesse a maior ocupação e descaracterização do local. (BRASIL; IBAMA [2005?])

“O Arquipélago de Fernando de Noronha corresponde aos topos de uma montanha submarina que se ergue a partir do assoalho oceânico, situado a uma profundidade de até 4.000 m”. (BRASIL; IBAMA [2006?]). As variações no nível relativo do mar e do clima de ondas constituem outros processos geológico-oceanográficos que preocupam quanto à erosão costeira nestes ambientes insulares. (MOHR *et al.*, 2009).

4.4 SITUAÇÃO ATUAL DE ENERGIA ELÉTRICA

Proporcionada pela Companhia de Eletricidade de Pernambuco – CELPE, a geração de energia elétrica em FN é proveniente da Usina Termoelétrica Tubarão, Usina Solar Noronha I e Usina Solar Noronha II, enquanto a distribuição é realizada pelas redes F1, F2, F3 e BT (baixa tensão) com 5,2 km, 4,97km, 4,48 km e 21,17 km, respectivamente. (NAPOLEÃO; NETO, 2016; NEOENERGIA, 2018; SILVEIRA, 2013).

Desde 1992, a ilha vem investindo em energias renováveis. Primeiramente foi instalada uma turbina eólica de 75 kW e em 2001, outra com 225 kW. Devido a problemas e a uma tempestade que atingiu com um raio a segunda turbina, o sistema parou de funcionar. (ROSAS *et. al.* 2013).

Ainda assim, recentemente foram instaladas em nove imóveis, placas solares com capacidade de geração de 27 kWp, podendo resultar em uma redução da queima de 12.000 litros de óleo diesel por ano da UTE Tubarão. (CELPE, [2019?]).

No que tange ao consumo, segundo dados fornecidos pela ONS (2018), FN apresenta um consumo bastante variável durante o ano, com picos maiores o início do ano. A geração térmica também tem um grande aumento entre os meses de janeiro e fevereiro se comparados a julho e agosto.

De acordo com os dados da CELPE, divulgado pela Base de Dados do Estado de Pernambuco – BDE, Fernando de Noronha teve em 2018 um consumo total de energia elétrica de 18.590 MWh, sendo de uso:

- Residencial: 6.202 MWh;
- Industrial: 238 MWh;
- Comercial: 8.461 MWh;
- Rural: 184 MWh;
- Poderes públicos: 1.407 MWh;
- Iluminação pública: 133 MWh;
- Outros (composto pelas classes serviço público e consumo próprio): 1.965 MWh.

4.4.1 Usina Termoeletrica Tubarão

A principal alimentação da rede se dá pela Usina Termoeletrica Tubarão, localizada no centro do bairro Boldró. (SILVEIRA, 2013).

Segundo Napoleão e Neto (2016) a usina é composta por cinco geradores a óleo, destes, quatro permanecem em operação e um em reserva fria, com capacidade instalada de 4,372 MW + 1,12 MW. (Figura 20).

Figura 20: Infraestrutura presente na Usina Termoeletrica Tubarão em Fernando de Noronha.



Fonte: NEOENERGIA, 2018.

Devido a conjuntura da UTE Tubarão gerar energia através da queima de combustível fóssil e por estar inserida em um sistema isolado, a mesma deve atender a resolução normativa nº427 de 2011, regida pela Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, que estabelece os limites de consumo dos combustíveis. (NAPOLEÃO; NETO, 2016).

“Com essas restrições e a preocupação ambiental da Ilha de Fernando de Noronha, a Usina Tubarão já operava no limite de suas condições de otimização do sistema”. (NAPOLEÃO; NETO, 2016, pg. 8). Nos anos de 2013 e 2014, o consumo superou os 4,5 milhões de litros, com redução apenas em 2015 após a operação das duas usinas fotovoltaicas na ilha.

As duas usinas fotovoltaicas em funcionamento, tendem a proporcionar à UTE Tubarão, uma redução de aproximadamente 200 mil litros de óleo diesel por ano. (NAPOLEÃO; NETO, 2016).

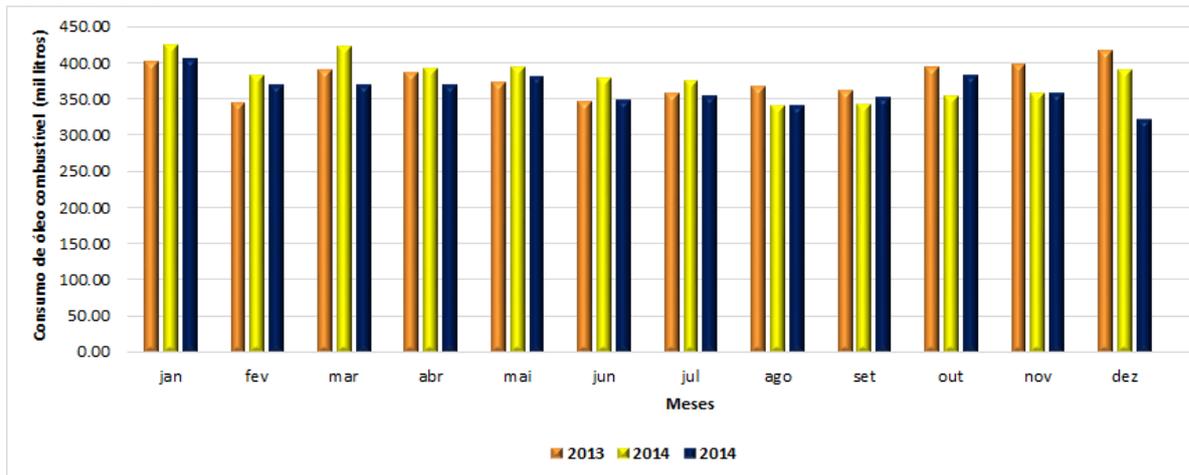
Tabela 3: Consumo de óleo diesel na UTE Tubarão no período de 2013 a 2015.

	Consumo (mil litros)		
	2013	2014	2015
Janeiro	403,28	425,32	405,74
Fevereiro	345,41	383,10	370,36
Março	391,48	423,91	370,44
Mai	388,35	393,26	370,44
Junho	347,67	379,74	349,39
Julho	358,98	377,02	354,30
Agosto	369,04	341,31	342,15
Setembro	362,53	343,97	353,48
Outubro	395,14	354,48	382,89

Novembro	399,99	359,53	358,73
Dezembro	418,68	392,17	323,45
Total	4554,71	4569,96	4363,16

Fonte: NAPOLEÃO; NETO, 2016

Gráfico 5: Consumo de óleo diesel na Usina Tubarão em Fernando de Noronha no período de 2013 a 2015.



Fonte: Adaptado de Napoleão; Neto, 2016.

Além disso, dados fornecidos pela Neoenergia (2018) mostram que em 2016, a UTE Tubarão consumiu 4.761.000 litros de óleo diesel para gerar 16,83 GWh, com uma demanda máxima de 3,10 MW. Já em 2017, esse aumento foi para 5.340.340 litros consumidos para a geração elétrica de 18,18 GWh e demanda máxima de 3,30 MW.

4.4.2 Usina Solar Noronha I

Para complementar o sistema, em 2014, foi instalada próxima ao aeroporto, em uma área de 5.000 m², a primeira usina solar fotovoltaica, denominada Usina Solar Noronha I, com capacidade de geração de 402,78 kWp e 600 MWh/ano (4,2% do consumo total de energia), (GIZ, 2014, NAPOLEÃO; NETO, 2016).

Sua estrutura contempla 1.644 painéis de silício policristalino, com 245 Wp cada. A energia é convertida através de 13 inversores, cada um com potência de 30 kW. (GIZ, 2014).

4.4.3 Usina Solar Noronha II

Em junho de 2015, foi inaugurada a segunda usina fotovoltaica – Usina Solar Fotovoltaica Noronha II, com potência instalada de 550,8 kWp e geração com cerca de 800 MWh/ano (5,4% do consumo total de energia). (VELAME, [2018?], NAPOLEÃO; NETO, 2016).

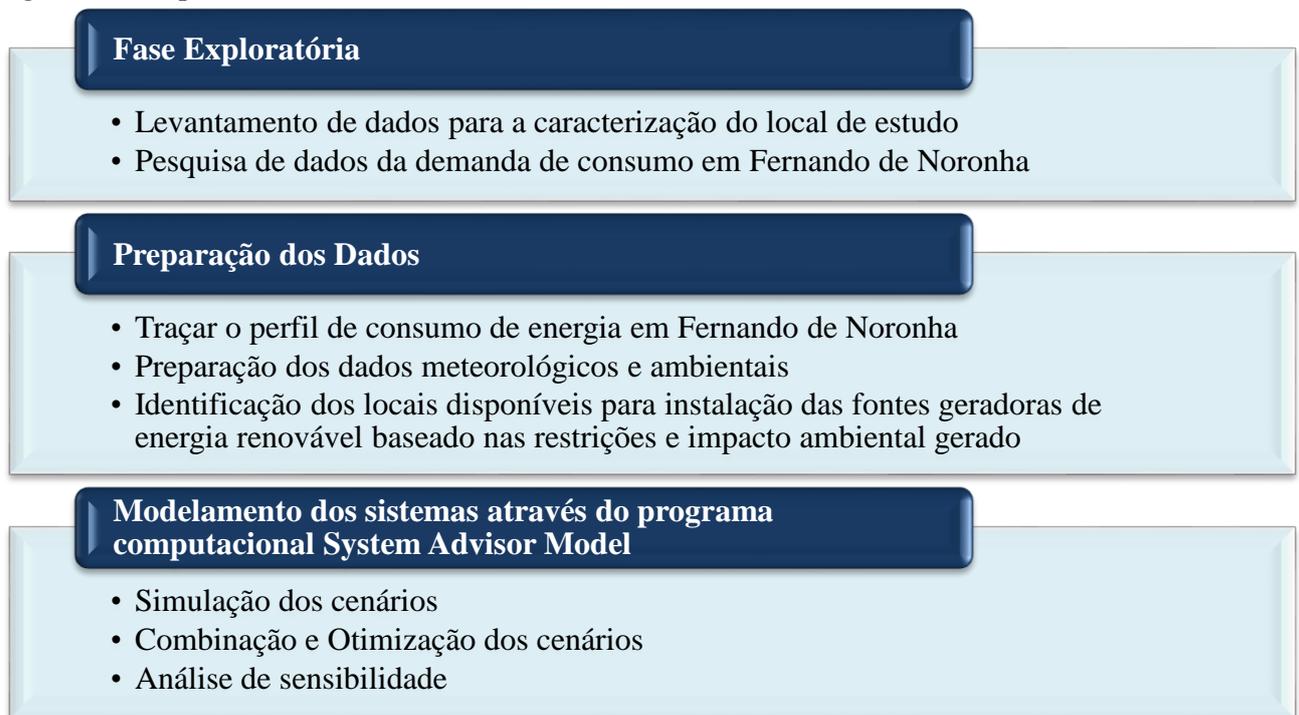
A usina contempla uma área de 8.000 m², com 1.836 módulos de silício policristalino de 300 Wp, 18 inversores fotovoltaicos e sistema supervisorio. (FREITAS; MASCARENHAS; ALMEIDA, 2016).

Também compete relatar que com o funcionamento da Noronha I, o carregamento dos grupos geradores a Diesel reduziu significativamente, permanecendo na faixa entre 60% e 80%. Contudo, posterior a operação conjunta da Noronha II, foi possível manter o carregamento da UTE Tubarão inferior a 60% por várias horas ao dia. (FREITAS; MASCARENHAS; ALMEIDA, 2016).

5 MATERIAIS E MÉTODOS

Para apresentar as hipóteses de autossuficiência em energia elétrica para Fernando de Noronha, este estudo foi realizado em três etapas, conforme exposto na Figura 21.

Figura 21: Etapas do desenvolvimento do trabalho



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

5.1 FASE EXPLORATÓRIA

Na primeira fase, o trabalho requisitou de uma pesquisa em fontes bibliográficas, no qual buscou-se conceitos relacionados a demanda de energia, caracterização do local, tipos e princípios de funcionamentos das fontes renováveis que poderiam ser aplicadas.

Esta pesquisa foi desenvolvida com base em material já elaborado, como por exemplo, monografias, teses, dissertações, legislações, artigos científicos, banco de dados e *websites*, consolidando desta forma as informações necessárias para determinar a solução do tema proposto

A Tabela 4 apresenta as principais fontes de onde foram obtidos os dados para a caracterização do de Fernando de Noronha.

Tabela 4: Material utilizado para traçar o perfil do local de estudo.

Documento	Autoria
Plano de Manejo da APA Fernando de Noronha – São Pedro e São Paulo. Resumo	Instituto Brasileiro Do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA
Plano de Manejo da APA Fernando de Noronha – São Pedro e São Paulo.	Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade – ICMBio
<i>Shapefile</i> do zoneamento de Fernando de Noronha	Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade – ICMBio
Ilhas Oceânicas Brasileiras: da Pesquisa ao Manejo. Volume II	Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade – ICMBio
Consumo de Energia Elétrica	Base de Dados do Estado de Pernambuco
Consolidação da Previsão da Carga de Plano Anual de Operação Energética dos Sistemas Isolados	Operador Nacional do Sistema Elétrico – ONS
Plano Decenal de Expansão de Energia	Empresa de Pesquisa Energética – EPE
Dados Ambientais da Estação Meteorológica	Sistema de Organização Nacional de Dados Ambientais – SONDA
Shapes de Fernando de Noronha	Serviço Geológico do Brasil – CPRM
Dados Meteorológicos	Climate.OneBuilding.Org
Dados Meteorológicos	Energy Plus
Atlas Solarimétrico do Brasil	Solar and Wind Energy Resource Assessment – SWERA
Gráfico de Velocidade e Direção do Vento	Comando da Aeronáutica
Gráfico de Máxima Velocidade do Vento	Comando da Aeronáutica

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

5.2 PREPARAÇÃO DOS DADOS

Posteriormente, na Preparação dos Dados, ocorreu a verificação e manipulação das informações levantadas para que pudesse ser retratado o local de estudo, compreendido o comportamento das fontes renováveis e identificado as restrições ambientais.

Cada atributo citado a seguir, influenciou na decisão do potencial de instalação das fontes geradoras de energia, cujo processamento dos dados meteorológicos e do consumo de eletricidade se deu através do programa computacional *System Advisor Model –SAM*.

O SAM exige os dados horários, portanto, os dados solarimétricos, anemométricos e de consumo de energia elétrica possuem discretização temporal de 1 hora para o período de 1 ano, totalizando 8760 séries de dados pós processados.

Tabela 5: Indicadores utilizados para determinar o perfil de geração, consumo e restrições ambientais em Fernando de Noronha

Consumo de Energia Elétrica	Solarimétricos	Anemométricos	Restrições Ambientais
<ul style="list-style-type: none"> - Consumo anual de energia; - Consumo médio mensal de energia; - Consumo máximo mensal de energia; -Variação da carga média mensal -Consumo máximo diário de energia; 	<ul style="list-style-type: none"> - Ângulo azimutal - Declividade solar - Altura solar - Ângulo de incidência do sol -Umidade relativa -Ponto de condensação da água - DNI (Irradiância Normal Direta); - DHI (Irradiância Horizontal Difusa); - GHI (Irradiância Horizontal Global) 	<ul style="list-style-type: none"> - Temperatura; - Pressão; - Velocidade do vento; - Direção do vento; - Rugosidade 	<ul style="list-style-type: none"> - Principais impactos provenientes da instalação dos empreendimentos; - Zoneamento; - Área de Proteção Ambiental; - Unidades de Conservação; - Locais onde há a presença de espécies ameaçadas de extinção da fauna e flora

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

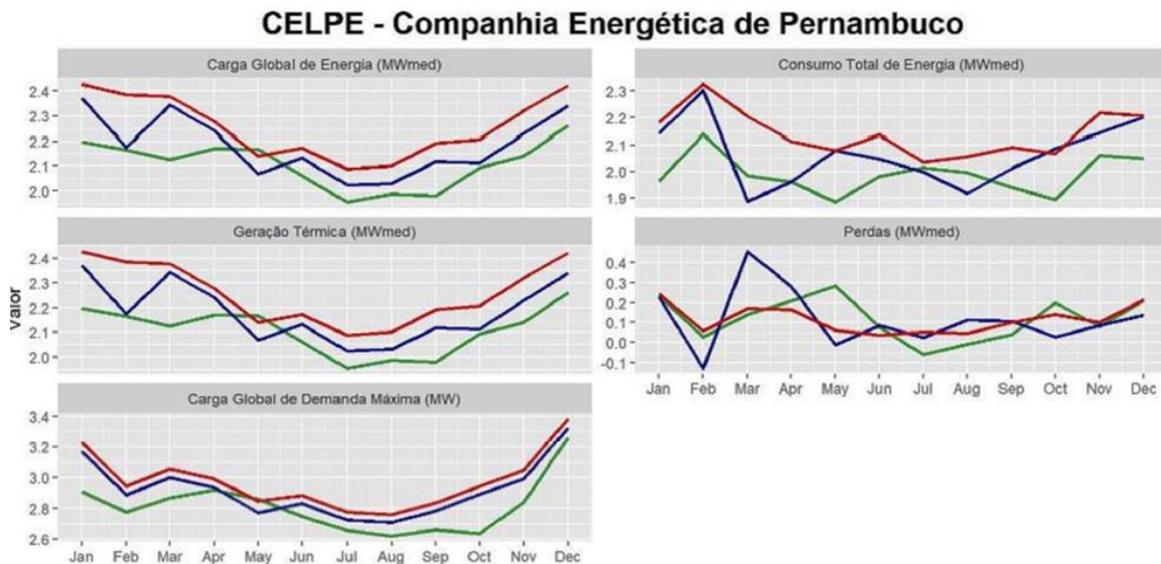
5.2.1 Perfil de Consumo de Energia em Fernando de Noronha

O primeiro indicador analisado, foi referente ao consumo de energia elétrica em Fernando de Noronha. A importância de conhecer o perfil de consumo e as características da demanda de potência e energia elétrica na ilha são fundamentais para que se possa estruturar o parque gerador. Torna-se ainda mais importante o detalhamento da demanda energética da ilha quando o projeto para atendimento ao consumo será a partir de fontes renováveis as quais não possibilitam o controle da quantidade de energia produzida.

Tendo em vista que a distribuidora de energia não disponibiliza a série de dados com a precisão temporal necessária, estes dados foram calculados a partir dos dados de Consumo Anual, fornecido pelo BDE (18.590 MWh/ano) e o gráfico da Carga Global disponibilizada

pela ONS no relatório de Consolidação da Previsão da Carga para o Plano Anual da Operação Energética dos Sistemas Isolados – PEN SISOL 2019 (Figura 22).

Figura 22: Gráficos de Carga de Global disponibilizada no relatório de Consolidação da Previsão da Carga para o Plano Anual da Operação Energética dos Sistemas Isolados – PEN SISOL 2019 da ONS.



Fonte: ONS, 2018.

As primeiras estimativas obtidas foram a Média do Consumo Mensal que se deu com o valor do Consumo Anual (MWh) fornecido pela BDE dividido por 12 meses (Equação 1) e da Média da Carga Global (MW) resultante do somatório das cargas globais advindas dos valores do gráfico da ONS, dividido também por 12 meses (Equação 2).

$$\text{Média do Consumo Mensal} = \frac{\text{Consumo Anual}}{12} \quad (1)$$

$$\text{Média da Carga Global} = \frac{\sum \text{Carga Global do mês}}{12} \quad (2)$$

Em seguida, pretendendo dimensionar um sistema que atenda o pico de demanda, foi calculado através da Equação (3) a Variação da Carga Média Mensal para suprir diversidade do consumo de energia durante o ano.

$$\text{Variação da carga média mensal} = \frac{\text{Carga Global do mês}}{\text{Média da Carga Global}} \quad (3)$$

Com base no Consumo Médio Mensal (Equação 1), conjuntamente ao valor obtido na Variação de Carga Média Mensal, pôde-se estimar o Consumo Máximo por Mês e o Consumo Máximo Diário, como mostra as Equações (4 e 5):

Consumo Máximo no Mês

$$= \text{Variação da Carga Média Mensal} \times \text{Média do Consumo Anual} \quad (4)$$

$$\text{Consumo Máximo Diário} = \frac{\text{Consumo Máximo no Mês}}{n^\circ \text{ de dias no mês}} \quad (5)$$

Por fim, objetivando determinar a quantidade de eletricidade consumida durante o dia e com isso compreender o comportamento do seu consumo, foi determinado uma porcentagem de consumo de energia para cada hora do dia através da Equação (6) Consumo Elétrico por Hora.

$$\text{Consumo Elétrico por Hora} = \text{Consumo Máximo Diário} \times \% \text{ de consumo} \quad (6)$$

A partir dos 8760 valores obtidos na Equação (6), criou-se um arquivo de texto para servir como base de dados do consumo elétrico para posterior simulação dos cenários (Figura 23).

Figura 23: Parte do documento de texto a ser inserido no SAM contendo a estimativa do consumo horário de energia em Fernando de Noronha.

HORAS DO ANO	CONSUMO (kW)
1	540.787
2	270.393
3	270.393
4	270.393
5	270.393
6	270.393
7	270.393
8	1081.573
9	1351.967
10	1622.360
11	1892.753
12	2163.147
13	2433.540
14	2703.933
15	2974.327
16	3515.113
17	3785.507
18	4055.900
19	4596.687
20	4596.687
21	4596.687
22	4055.900
23	3515.113

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

5.2.2 Preparação dos Dados Meteorológicos e Ambientais

Para determinar o potencial de geração dos recursos renováveis presentes em Fernando de Noronha e aferir se os mesmos seriam capazes de atender a demanda necessária de energia elétrica para o sistema, foi preciso qualificar, organizar e adaptar os documentos com os dados para posteriormente computá-los no SAM.

Levou-se em consideração que os recursos renováveis dependem sobretudo da sua localização, assim como da variação sazonal e horária, em virtude de o recurso solar provir da latitude e clima, enquanto o eólico dos padrões de movimentação do ar atmosférico e da influência geográfica.

5.2.2.1 Recurso Solar

Interessado em elaborar um sistema fotovoltaico com painéis solares, foi preciso estipular o recurso solar, ou seja, indicar a quantidade global de radiação solar por unidade de área que atinge em um ano típico a superfície do local objeto deste estudo.

As fontes para a obtenção desses dados foram do Atlas Solar Global disponibilizado no programa *on-line* SWERA – *Solar and Wind Energy Resource Assessment*, e do *Climate.OneBuilding* que possui um arquivo com informações que podem ser processados no SAM.

No SWERA foi verificado o GTI que representa a irradiação global para a superfície idealmente inclinada em kWh/m²dia e kWh/m²ano (Figura 24).

Figura 24: Imagem da quantidade de irradiação global para a superfície idealmente inclinada apresentada pelo SWERA.



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Já no documento do *website Climate.OneBuilding*, foi possível obter os arquivos do ano meteorológico típico, o TMY. Esse arquivo possui dados horários de um ano que melhor caracteriza as condições meteorológicas do local.

O *Climate.OneBuilding* dispõem de um conjunto de seis arquivos TMY que juntos foram processados para a simulação no SAM (EPW – *EnergyPlus* formato meteorológico, CLM – formato climático ESP-r, WEA – formato meteorológico de *Daysim*, DDY – condições de projeto no formato *EnergyPlus*), RAIN – precipitação horária em mm, STAT – estatísticas meteorológicas *EnergyPlus* expandidas).

Importante dizer que os dados dos arquivos que são utilizados pelo SAM são:

Tabela 6: Dados do arquivo meteorológico para a simulação do cenário fotovoltaico

Campo	Unidade
Ano	1950-2050
Mês	1-12
Horas	0-23
Minuto	0-59
GHI ⁽¹⁾ – irradiação horizontal global	W/m ²
DNI ⁽²⁾ – irradiação normal direta	W/m ²
DHI ⁽³⁾ – irradiação horizontal difusa	W/m ²
Temperatura ambiente do bulbo seco	°C
Termômetro de umidade	°C
Temperatura do ponto de orvalho	°C
Velocidade do vento	m/s
Direção do vento	Graus
Umidade relativa	%
Pressão atmosférica	Milibar
Cobertura da neve	Cm
Refletância do sol (albedo)	0..1
Profundidade óptica do aerossol	0..1

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Nota: ⁽¹⁾ “É a radiação solar total por unidade de área que atinge a horizontal da superfície”. (NREL, 2019, p. 127)

⁽²⁾ “É a quantidade de radiação solar por unidade de área que atinge uma superfície normal aos raios de radiação solar”. (NREL, 2019, p. 127)

⁽³⁾ “É a radiação solar por unidade de área que atinge uma superfície horizontal da cúpula do céu, mas não diretamente do sol. O DHI não inclui energia solar refletida na Terra. O SAM contabiliza isso separadamente, usando a entrada albedo”. (NREL, 2019, p. 127)

Os dados obtidos nesta fase serviram como embasamento para o modelamento do sistema fotovoltaico que estão apresentados no item 5.3.1 Simulação do Potencial Fotovoltaico deste estudo.

5.2.2.2 Recurso Eólico

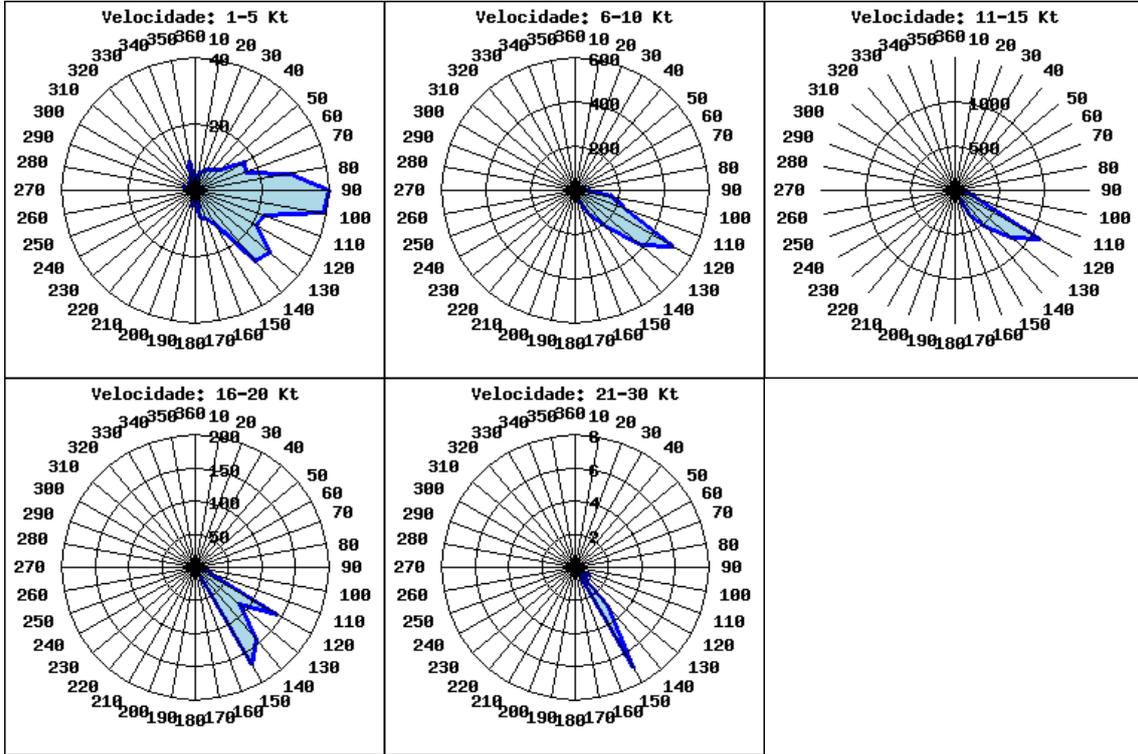
Para criar um sistema composto por turbinas eólicas, foi fundamental pesquisar dados de velocidade, direção do vento que foram indispensáveis para descrever o comportamento dessa fonte, além de compor o documento que auxiliou o modelamento no SAM.

Mediante aos gráficos de velocidade e direção do vento do Gráfico de Velocidade e Direção do Vento e Gráfico de Vento Máximo, oriundo do Banco de Dados Climatológicos do Comando da Aeronáutica (Figura 25 e Figura 26) conjuntamente ao mapa de localização, foi possível verificar o comportamento do vento durante o ano, sua velocidade máxima e média, bem como fatores que influenciavam sobre o recurso, por exemplo, se a influência do vento viria do mar ou da terra e definir o posicionamento para as turbinas (Figura 27).

Figura 25: Imagem dos gráficos de velocidade e direção do vento de Fernando de Noronha provenientes do Banco de Dados Climatológicos do Comando da Aeronáutica.

Gráfico de Velocidade e Direção do Vento

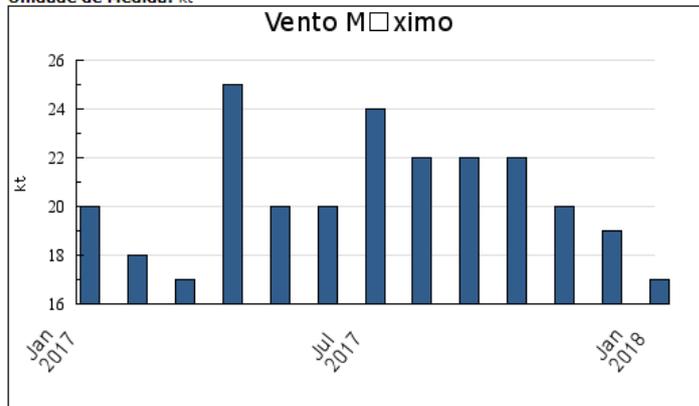
Nome da Estação: FERNANDO DE NORONHA
 Tipo da Pesquisa: Velocidade e Direção do Vento - Meses Seguidos
 Intervalo: Jan/2017 à Jan/2018
 Leitura dos Gráficos: Número de Medições por Direção por Velocidade



Fonte: COMANDO DA AERONÁUTICA DO BRASIL (2019).

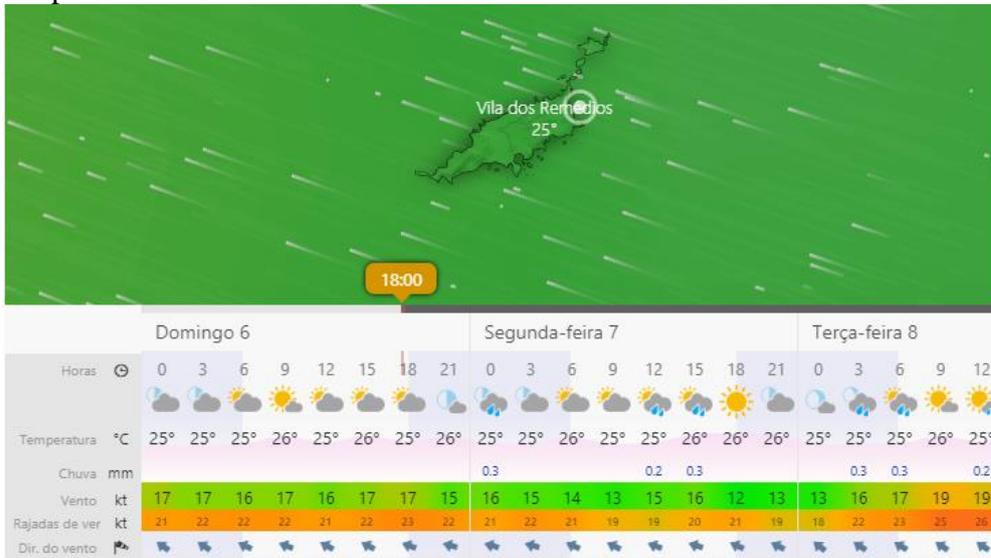
Figura 26: Imagem do gráfico de velocidade máxima provenientes do Banco de Dados Climatológicos do Comando da Aeronáutica.

Nome da Estação: FERNANDO DE NORONHA
 Tipo da Pesquisa: Vento Máximo - Valor Máximo Mensal em um Intervalo de Meses
 Média dos Valores Mensais: 20,46
 Unidade de Medida: kt



Fonte: COMANDO DA AERONÁUTICA DO BRASIL (2019)

Figura 27: Imagem da localização de Fernando de Noronha com a circulação dos ventos em tempo real.



Fonte: CLIMATOLOGIA GEOGRÁFICA (2019).

Além disso, foi necessário pesquisar e criar um documento no formato SRW com dados das 8760 horas de um ano para posterior simulação do cenário de geração de energia eólica contendo: a localização, ano de medição, elevação do anemômetro, intervalo de horas, número de linhas e o histórico horário da temperatura, pressão, velocidade e direção do vento.

A Tabela 7 e Figura 28 mostram como esse documento foi elaborado.

Tabela 7: Dados inseridos para compor o documento de Recurso Eólico

Linha	Dados
Linha 1	localização id, cidade, estado, país, ano, latitude, longitude, elevação, intervalo de tempo em horas e número de linhas
Linha 2	Fonte de dados – uma linha de texto descrito que o SAM exibe na página <i>Wind Resource</i>
Linha 3	No formato de texto são descritos os tipos de dados do recurso para cada coluna das linhas 6 a 8765: Temperatura, Pressão, Direção, Velocidade.
Linha 4	Em texto, descreve as unidades de medida para os dados do recurso. O SAM exibe esse texto nos gráficos e tabelas: atm, m/s, graus, etc.
Linha 5	Altura da medição acima do solo em metros para os dados de recursos para cada coluna
Linha 6 a 8766	A partir da linha 6 são inseridos os dados por hora dos recursos em números inteiros ou decimais

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Figura 28: Vista do formato do documento de Recurso Eólico para o formato SRW

```

SRWexemplocvcs.csv - Notepad
File Edit Format View Help
2014229,NORONHA,PE,BRA,year??,-3.87,-32.42,17,1,8760
TESTE
Temperature,Pressure,Direction,Speed,
C,atm,degrees,m/s
20,20,20,20
27,1.01,132.6,6.5
27,1.01,133,6.5
27,1.01,133.3,6.7
27,1.01,133,6.8
27,1.01,132.4,6.9
27,1.01,132.1,7
27,1.01,131.9,6.9
27,1.01,131.7,6.8
27,1.01,131.3,6.7
27,1.01,131.3,6.5
27,1.01,131.8,6.4
27,1.01,133,6.4
27,1.01,134.7,6.4
27,1.01,137.1,6.4
27,1.01,139.9,6.4
27,1.01,142.2,6.6
27,1.01,143.5,6.7
27,1.01,144,6.9
27,1.01,143.4,7

```

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

A base para esse documento foi adquirida do arquivo climático vindo do conjunto de dados do Modelo Solar Físico produzido pelo NSRBD – Banco Nacional de Radiação Solar, após a inserção da localização (latitude e longitude) no item *Download Weather Files* da página do sistema fotovoltaico (Figura 29)

Figura 29: Imagem da tabela fornecida pelo *Climate.OneBuilding* com os dados climáticos de Fernando de Noronha.

Source	Location ID	City	State	Country	Latitude	Longitude	Time Zone	Elevation	Local Time Zone	Clearsky DHI Units	Clearsky DNI Units	Clearsky GHI Units	Dew Point Units	DHI Units
NSRDB	2014229	-	-	-	-3.87	-32.42	-2	17	-2	w/m2	w/m2	w/m2	c	w/m2
Year	Month	Day	Hour	Minute	DNI	DHI	GHI	Dew Point	Temperature	Pressure	Relative Humidity	Wind Direction	Wind Speed	Surface Albedo
2017	1	1	0	30	0	0	0	24	27	1010	87.92	132.6	6.5	0.09
2017	1	1	1	30	0	0	0	24	27	1010	87.7	133	6.5	0.09
2017	1	1	2	30	0	0	0	24	27	1010	87.51	133.3	6.7	0.09
2017	1	1	3	30	0	0	0	24	27	1010	87.36	133	6.8	0.09
2017	1	1	4	30	0	0	0	24	27	1010	92.51	132.4	6.9	0.09
2017	1	1	5	30	0	0	0	24	27	1010	92.41	132.1	7	0.09
2017	1	1	6	30	181	35	52	24	27	1010	86.98	131.9	6.9	0.09
2017	1	1	7	30	564	86	271	24	27	1010	86.57	131.7	6.8	0.09
2017	1	1	8	30	731	112	509	24	27	1010	86.06	131.3	6.7	0.09
2017	1	1	9	30	821	128	720	24	27	1010	85.69	131.3	6.5	0.09
2017	1	1	10	30	123	439	544	24	27	1010	85.28	131.8	6.4	0.09
2017	1	1	11	30	325	469	772	24	27	1010	84.83	133	6.4	0.09
2017	1	1	12	30	878	155	983	24	27	1010	84.53	134.7	6.4	0.09
2017	1	1	13	30	471	384	806	24	27	1010	84.65	137.1	6.4	0.09
2017	1	1	14	30	382	361	662	24	27	1010	84.99	139.9	6.4	0.09
2017	1	1	15	30	766	125	606	24	27	1010	85.35	142.2	6.6	0.09
2017	1	1	16	30	640	103	377	24	27	1010	85.66	143.5	6.7	0.09
2017	1	1	17	30	376	65	140	24	27	1010	85.81	144	6.9	0.09
2017	1	1	18	30	0	0	0	24	27	1010	85.85	143.4	7	0.09
2017	1	1	19	30	0	0	0	24	27	1010	85.85	142.3	7	0.09
2017	1	1	20	30	0	0	0	24	27	1010	85.89	141.1	6.9	0.09
2017	1	1	21	30	0	0	0	24	27	1010	85.84	140.8	6.8	0.09
2017	1	1	22	30	0	0	0	24	27	1010	85.77	141.1	6.7	0.09
2017	1	1	23	30	0	0	0	24	27	1010	85.67	142.2	6.6	0.09
2017	1	2	0	30	0	0	0	24	27	1010	85.53	143.8	6.6	0.09
2017	1	2	1	30	0	0	0	24	27	1010	85.2	144.7	6.6	0.09
2017	1	2	2	30	0	0	0	24	27	1010	84.72	144.1	6.7	0.09
2017	1	2	3	30	0	0	0	24	27	1010	84.32	142.9	6.8	0.09

Fonte: Elaborada pelo autor (2019).

Como a elevação do anemômetro era inferior à da turbina eólica, foi preciso através da equação logarítmica (7) ajustar cada velocidade horária para que pudesse ser inserida no documento SRW do Recurso Eólico.

$$U_z = U_{zr} \frac{\ln(z/z_0)}{\ln(z_r/z_0)} \quad (7)$$

Onde, U_z é a velocidade do vento que se desejou obter em m/s, U_{zr} é a velocidade do vento fornecida em m/s, z é a altura da medição dos dados em metros, z_r é a altura em metros que pretende obter o novo valor de velocidade e z_0 é a rugosidade do solo transformada em metros.

Os dados de rugosidade foram obtidos da tabela que relaciona o tipo de solo com a rugosidade do mesmo. Para este estudo, foi utilizado o valor referente a descrição de terreno de cultivo igual a 50 mm devido a possibilidade de instalação em zona com atividade agropecuária (Figura 30).

Figura 30: Tabela com os dados de rugosidade.

Terrain description	z_0 (mm)
Very smooth, ice or mud	0.01
Calm open sea	0.20
Blown sea	0.50
Snow surface	3.00
Lawn grass	8.00
Rough pasture	10.00
Fallow field	30.00
Crops	50.00
Few trees	100.00
Many trees, hedges, few buildings	250.00
Forest and woodlands	500.00
Suburbs	1500.00
Centers of cities with tall buildings	3000.00

Fonte: MANWEL, 2006.

5.2.2.3 Identificação dos locais disponíveis para a instalação do sistema

A partir dos documentos pesquisados na Fase Exploratória, como por exemplo, Estudo de Impacto Ambiental e o Plano Decenal de Expansão de Energia 2027, foi possível identificar os principais impactos ambientais provenientes da instalação dos empreendimentos.

Sabendo os impactos que seriam causados no meio, realizou-se a identificação dos possíveis locais com base no zoneamento apresentado no Plano de Manejo da APA Fernando de Noronha– Rocas – São Pedro e São Paulo, onde foi verificado o uso permitido, as

características do meio físico e biótico, o grau de intervenção antrópica, as normas gerais de manejo.

Priorizou-se primeiro as áreas onde o grau de intervenção antrópico fosse considerado alto, e o meio físico e biótico não apresentasse uma relevância importante ao local, seguido do uso permitido e critérios de zoneamento.

Além disso, por meio do arquivo da delimitação dos zoneamentos em formato *shapefile*, fornecido pelo ICMBio de Fernando de Noronha, que foi manuseado no programa computacional *ArcMap* 10.3, foi possível delimitar os locais para a implantação do sistema, em consequência verificar o tamanho das áreas e definir a disposição dos aerogeradores.

5.3 MODELAMENTO DOS SISTEMAS PELO PROGRAMA COMPUTACIONAL *SYSTEM ADVISOR MODEL*

Para o modelamento dos sistemas foi utilizado o software SAM – *System Advisor Model*, desenvolvido pelo NREL – *National Renewable Energy Laboratories*, órgão vinculado ao Departamento de Energia dos Estados Unidos.

O programa está disponível gratuitamente no *website* da instituição e tem como propósito relacionar aspectos de engenharia e variáveis econômicas para criar cenários de um sistema de geração de energia elétrica combinado com fontes renováveis e conectado à rede de distribuição. Ou seja, é possível produzir um modelo de projeto de energia renovável com projeções de gastos e desempenho. A combinação dessas informações propicia apoiar o usuário na tomada de decisão, de modo que possa ser construído caminhos e cenários para implantação de projetos mais eficazes. (BLAIR *et al.* 2014).

Cada modelo de desempenho representa uma parte do sistema e cada modelo financeiro representa a estrutura financeira de um projeto.

O programa automaticamente insere dados de entrada¹³ vindo da biblioteca própria do SAM, no entanto, é possível modificar e especificar as particularidades, como por exemplo, localização do projeto, tipo de equipamento no sistema, custo de instalação e operação. (BLAIR *et al.* 2014).

¹³ As variáveis de entrada descrevem as características físicas de um sistema e os pressupostos de custos e financeiros de um projeto. As variáveis de entrada do SAM são preenchidas com valores padrão para auxiliar a iniciar a análise. (BLAIR *et al.* 2014).

A biblioteca do SAM contém arquivos climáticos para alguns locais nos Estados Unidos, por isso, para esse estudo, alguns dos materiais obtidos na pesquisa da Fase Exploratória e filtrados na fase de Preparação dos Dados, serviram para compor os arquivos para o processamento no programa. As informações são de um ano específico, dividido em horas, retratando o recurso solar, eólico e de consumo elétrico do local.

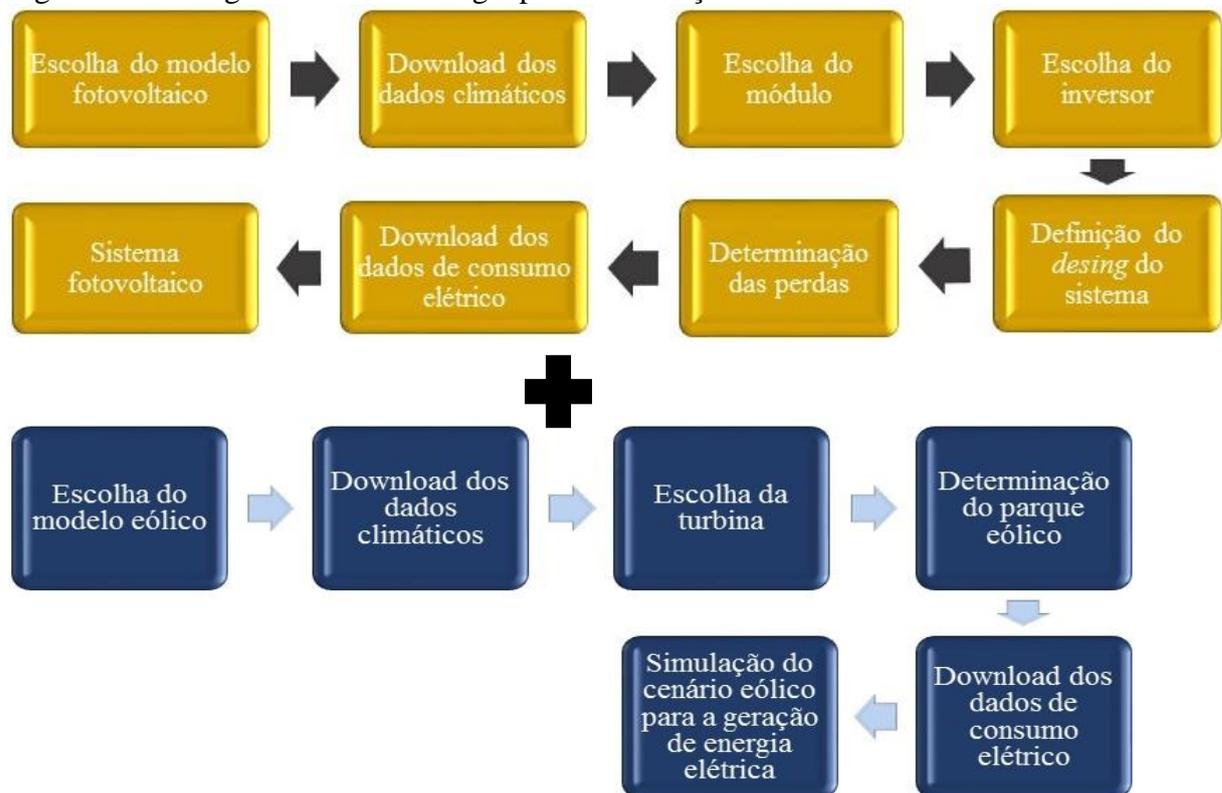
Por fim, após adicionar mais especificações que iriam compor o sistema, o programa executa as simulações e apresenta seu resultado em tabelas e gráficos, como por exemplo as do custo de energia, produção anual, fluxo de caixa e desempenho por hora que serão apresentados a seguir.

5.3.1 Simulação dos Cenários

Nesta etapa, objetivando verificar a viabilidade técnica de cada fonte de geração, foi realizado separadamente o modelamento dos sistemas fotovoltaico e eólico.

A processo ocorreu da seguinte maneira:

Figura 31: Fluxograma da metodologia para a simulação de cada cenário



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

5.3.1.1 Simulação do Potencial Fotovoltaico

O SAM dispõe de três modelos fotovoltaicos para simular o sistema: o Fotovoltaica Detalhada, *PVWatts* e o Concentração Fotovoltaica.

Para este estudo, foi utilizado o *PVWatts* que consiste em um modelo elaborado com base na calculadora fotovoltaica *on-line* da NREL. O *PVWatts* pode reproduzir vários tamanhos de matrizes, desde sistemas residenciais no telhado à grandes sistemas instalados no solo.

Mediante a inserção de dados de recursos solares e climáticos, como temperatura ambiente, DNI, DHI e GHI, o SAM simula um sistema conectado à rede, apresentando a capacidade da placa, orientação da matriz e o tipo de montagem e perdas do sistema. Importante dizer que o *PVWatts* realiza deduções internas sobre as características do módulo e do inversor para três tipos de módulos que serão mostrados adiante.

O programa permite três opções de inclusão dos dados que representa o recurso solar do local de estudo: arquivo da biblioteca própria do SAM, *download* de um arquivo do banco de dados TMY do NREL ou próprio do usuário.

Como já dito anteriormente, o SAM possui na sua biblioteca apenas dados provenientes de locais dos Estados Unidos, com isso, fez-se necessário o *download* do arquivo climático proveniente do *Climate.OneBuilding* que foi adquirido na fase Preparação dos Dados Meteorológicos e Ambientais.

Após seu processamento, foi especificado as características do sistema fotovoltaico, definindo o módulo, inversor, *design* do sistema, perdas e armazenamento de bateria.

Determinando estas particularidades realizou-se a simulação do cenário fotovoltaico.

5.3.1.1.1 Módulo

O SAM possui cinco tipos de modelos para representar o desempenho do módulo fotovoltaico. O escolhido foi o Modelo de Desempenho CEC¹⁴ com Banco de Dados de Módulos que contém uma biblioteca com diversos tipos de módulos disponíveis no mercado e, a partir dos dados técnicos, calcula automaticamente a eficiência de conversão de energia solar em eletricidade, dimensionando a matriz fotovoltaica.

¹⁴ CEC: California Energy Commission

Ainda, na sua interface, é apresentado ao usuário como alguns dos resultados, as características das condições de referência do módulo, como por exemplo eficiência nominal e potência máxima

5.3.1.1.1.1 Potência do Sistema

A partir dos parâmetros técnicos fornecidos pelo SAM sobre o módulo fotovoltaico, conjuntamente ao dado do recurso solar e do consumo de energia da ilha, foi determinado a potência a ser instalada que serviu para o posterior dimensionamento do sistema.

$$P_P = \frac{E}{G_P \times \mu \times PR} \times P_U \quad (8)$$

$$P_U = \frac{\text{Potência do módulo}}{\text{Área do módulo}} \quad (9)$$

Onde, P_P é a potência de pico (kW) equivalente a potência instalada, E é energia consumida em Fernando de Noronha (kWh), G_P é a irradiação no plano inclinado (kWh/ano), μ é a eficiência da célula, PR é razão de performance, P_U potência do módulo por m^2 (kW/m²).

5.3.1.1.2 Inversor

Assim como na escolha do módulo, foi optado pelo modelo de desempenho Banco de Dados do CEC, que possui uma biblioteca com uma listagem de modelos de inversores contendo o tipo e os parâmetros do fabricante.

Com isso, foi necessário apenas escolher um modelo de inversor e o número de entradas MPPT (*Maximum Power Point Tracking*) para que através de um conjunto de cálculos realizados pelo próprio SAM, embasado nos parâmetros técnicos, foi calculado a potência nominal de saída versus eficiência, potência máxima em corrente alternada (saída), potência máxima em corrente contínua (entrada).

O número de inversores é escolhido na página *Design* do Sistema.

5.3.1.1.3 *Design do Sistema*

Após escolher o módulo e inversor, na página *System Design* foi estabelecido a quantidade de inversores e módulos para o sistema, como também a orientação e rastreamento.

Ao assinalar a opção Estimar a Configuração da Sub-Matriz 1 no item Dimensionamento da Corrente Alternada, o SAM estipula automaticamente a quantidade de inversores, número total de placas e módulos, área total do módulo, quantidade de módulos em série, baseado nos dados inseridos do resultado do cálculo da Potência do Sistema necessária para suprir a demanda de energia em Fernando de Noronha.

Importante enunciar que o SAM presume que todos os inversores estejam conectados em paralelo, de forma que os limites de tensão nominal do banco de inversores sejam os mesmos de um único inversor.

No que diz respeito ao rastreamento e orientação, foi possível especificar como os módulos seguiriam o movimento do sol no céu. Para o rastreamento, pôde ser selecionado uma das quatro opções indicadas pelo programa: fixo (não segue o movimento do sol, a placa é fixa), um eixo (gira sobre o eixo inclinado de leste pela manhã para oeste à noite para rastrear o movimento diário do sol no céu), dois eixos (gira de leste e oeste como o um eixo, mas também de norte-sul para rastrear o movimento sazonal do sol ao longo do ano), eixo azimutal (O SAM ignora o valor do azimute e gira apenas em um plano horizontal) e inclinação sazonal.

Para a inclinação, foi adotado a opção $Tilt = Latitude$ onde o SAM atribui o valor de latitude conforme o arquivo climático. Além disso, foi possível determinar o azimute, sendo 0 inclinado para o norte, 90 para o leste, 180 para o sul e 270 graus para o oeste.

Por fim, a taxa de cobertura do solo, que serve também para estimar as perdas de auto sombreamento para a estrutura fixa foi 0,3, sendo este o sombreamento máximo da região devido à baixa cobertura do solo. Para valores mais próximo de 0 o arranjo seria dimensionado com maior afastamento e para valores mais próximos de 1, representa uma alta taxa de cobertura e um arranjo mais próximo.

5.3.1.1.4 *Perdas*

O programa também considera as perdas do sistema e para isso, na página *Losses* pôde ser inserido dados de entradas que representaram as perdas de sujeira e elétricas que os modelos de módulo e inversor não continham.

O SAM adapta o valor de irradiância solar do arquivo climático e ângulos de sol das submatrizes com a porcentagem definida para as perdas causadas pela poeira ou outra sujeira na superfície do módulo.

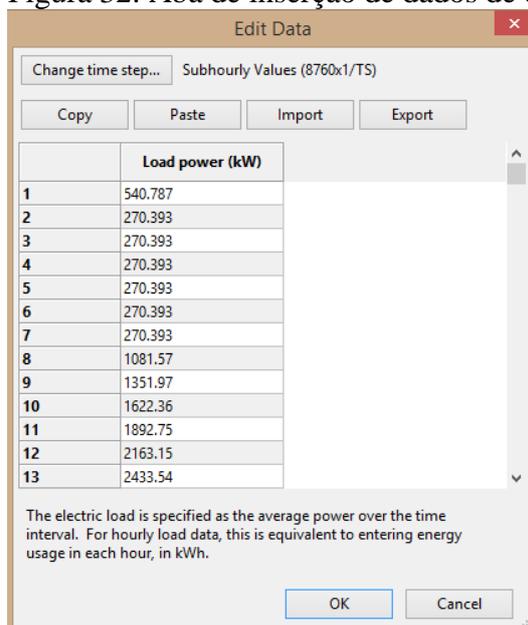
Assim como as perdas de corrente contínua, responsáveis pelas perdas elétricas (perdas resistivas os cabos elétricos CC que conecta os módulos na matriz), o SAM possibilitou inserir valores como por exemplo, a incompatibilidade do módulo que representou as diferenças no desempenho dos módulos individuais na matriz e perdas resistivas CC do sistema. Com isso, o programa expôs automaticamente, por meio de cálculos feitos pelo próprio SAM a porcentagem do total de perda de energia.

5.3.1.1.5 Consumo de Energia

A última definição do projeto foi o consumo de energia horária durante o ano.

Como na Fase Exploratória foi possível obter os dados mensais de consumo elétrico e em cima dessas informações estimar por métodos matemáticos o perfil de demanda de energia em Fernando de Noronha, foi preferível escolher a opção Carregar Dados de Séries e importar o documento de texto elaborado na Fase Preparação de Dados, apresentado no item 5.2.2 Preparação dos Dados Meteorológicos e Ambientais deste estudo para a aba *Electric Load* do SAM.

Figura 32: Aba de inserção de dados de consumo horário de energia – *Electric Load* do SAM.



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

5.3.1.1.6 Simulação do Cenário Fotovoltaico

Ao especificar todas as características do projeto, foi realizado pela Simulação, como produto final, a reprodução de um sistema de geração de energia elétrica.

O SAM exibe uma seleção de resultados do desempenho do sistema que podem ser vistos em forma de gráficos, tabelas, diagramas, entre outros. Para este estudo optou-se primeiramente pelos dados em tabela mediante a interface *Data tables* (Figura 33), onde foi possível criar uma tabela com resultados em séries temporais, isto é, dados anuais, mensais, horários e até mesmo sub-horários (a cada 1 minuto ou 15 minutos, por exemplo).

Figura 33: Interface da página *Date Tables* do SAM.

	System power generated (kW)	Electricity load (year 1) (kW)
Jan 1, 12:00 am	-1.5756	540.787
Jan 1, 01:00 am	-1.5756	270.393
Jan 1, 02:00 am	-1.5756	270.393
Jan 1, 03:00 am	-1.5756	270.393
Jan 1, 04:00 am	-1.5756	270.393
Jan 1, 05:00 am	-1.5756	270.393
Jan 1, 06:00 am	114.494	270.393
Jan 1, 07:00 am	1162.35	1081.57
Jan 1, 08:00 am	2363.81	1351.97
Jan 1, 09:00 am	3265.54	1622.36
Jan 1, 10:00 am	3792.43	1892.75
Jan 1, 11:00 am	3212.31	2163.15
Jan 1, 12:00 pm	3195.64	2433.54
Jan 1, 01:00 pm	3022.5	2703.93
Jan 1, 02:00 pm	3216.75	2974.33
Jan 1, 03:00 pm	2338.6	3515.11
Jan 1, 04:00 pm	1236.86	3785.51
Jan 1, 05:00 pm	237.915	4055.9
Jan 1, 06:00 pm	-1.5756	4596.69
Jan 1, 07:00 pm	-1.5756	4596.69
Jan 1, 08:00 pm	-1.5756	4596.69
Jan 1, 09:00 pm	-1.5756	4055.9
Jan 1, 10:00 pm	-1.5756	3515.11
Jan 1, 11:00 pm	-1.5756	2974.33
Jan 2, 12:00 am	-1.5756	540.787
Jan 2, 01:00 am	-1.5756	270.393
Jan 2, 02:00 am	-1.5756	270.393
Jan 2, 03:00 am	-1.5756	270.393

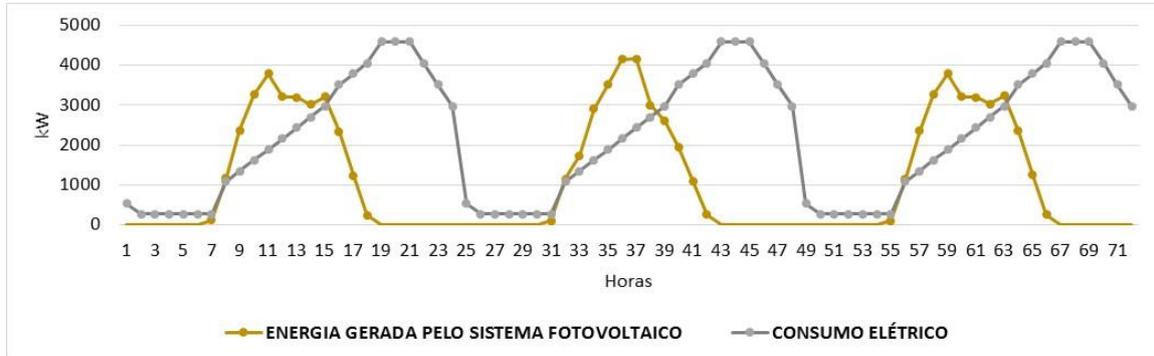
Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Com o propósito de analisar o desempenho do projeto e averiguar quanto a matriz fotovoltaica era capaz de suprir a demanda de energia elétrica em Fernando de Noronha, decidiu-se por escolher e relacionar as variáveis: energia gerada pelo sistema [*System power generated*] e carga de eletricidade [*Electricity load*].

Ainda, o SAM possibilitou exportar todos os dados para um arquivo no Excel, onde foi criado gráficos mensais para compreender em um aspecto mais amplo o comportamento do

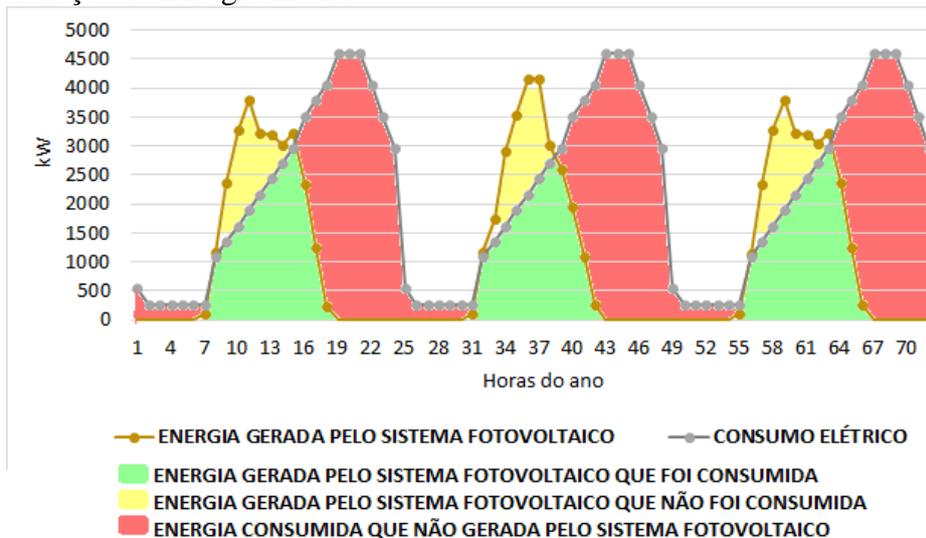
sistema fotovoltaico, analisar suas falhas e auxiliar na tomada de decisões (Gráfico 6 e Gráfico 7).

Gráfico 6: Resultado parcial do Cenário do Sistema Fotovoltaico para a Geração de Energia Elétrica.



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Gráfico 7: Interpretação do resultado parcial do Cenário do Sistema Fotovoltaico para a Geração de Energia Elétrica.



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

5.3.1.2 Simulação do Potencial Eólico

O modelo de projeto para sistema de energia eólica é direcionado para estudos que envolvem uma ou mais turbinas, tanto grandes, como pequenas, no qual é calculado a saída elétrica horária de uma única turbina eólica ou de um parque eólico.

Para isso, foi preciso informações sobre o recurso eólico, especificações das turbinas, potência instalada e layout do parque eólico.

5.3.1.2.1 *Download dos Dados Climáticos*

Devido ao fato da inexistência de informações meteorológicas de Fernando de Noronha na biblioteca do SAM, na página *Wind Resource* foi determinado o recurso eólico a partir do arquivo climático elaborado durante a etapa Preparação dos Dados e apresentado no item 5.2.2.2. Recurso Eólico

Como já dito anteriormente, o arquivo possui 8760 valores por hora para a velocidade do vento, direção, temperatura do ar, pressão atmosférica correspondente à altura do cubo da turbina.

Isto posto, na opção Use a Wind resource file stored on your computer, importou-se o arquivo climático para programa, que o inseriu na biblioteca.

5.3.1.2.2 *Escolha da Turbina*

Assim como na escolha do módulo fotovoltaico, a seleção do aerogerador procedeu pela opção a partir da listagem de turbinas disponíveis comercialmente apresentadas na biblioteca de turbinas eólicas do SAM.

Baseado nos parâmetros técnicos do equipamento, o programa preencheu automaticamente os valores da curva de potência, saída nominal e diâmetro do rotor, permitindo apenas inserir as informações da altura do cubo e coeficiente de cisalhamento¹⁵.

5.3.1.2.2.1 *Potência do Sistema*

Em seguida, objetivando dimensionar o parque eólico, foi estipulado através da Equação (8) a potência do aerogerador com base nos dados do recurso eólico e parâmetros técnicos da turbina. Onde, P é igual a potência da turbina em kW, ρ é a densidade do ar em kg/m^3 , v é a velocidade do vento em m/s, que foi ajustada à altura do cubo do aerogerador na Equação (7) e A é a área de varredura em m^2 .

$$P = \frac{1}{2} \times \rho \times v^3 \times A \quad (10)$$

¹⁵ Coeficiente de cisalhamento é uma medida da variação da velocidade do vento na altura acima do solo no local da instalação da turbina.

A partir do valor obtido nesta etapa, foi possível estimar a geração de energia pelo sistema e quantificar o número de turbinas que será apresentado a seguir.

5.3.1.2.3 *Determinação do Parque Eólico*

Devido ao fato de já ter sido obtido o valor da potência necessária para suprir a demanda de energia em Fernando de Noronha no item anterior, foi mais proficiente o dimensionamento através da opção *Specify desired farm size*, no qual a página Parque Eólico permite especificar potência necessária no projeto, apresentado a quantidade de turbinas necessárias e inclui uma representação simples do layout do parque eólico para estimar as perdas por efeito esteira resultantes quando turbinas a favor do vento interferem no fluxo de vento das turbinas posteriores.

Ainda, nesta interface, foi possível inserir o valor da porcentagem de perdas do sistema resultante das perdas resistivas e eletromagnéticas. Assim como também do coeficiente de turbulência que representou a variação na velocidade do vento ocasionada pelo terreno ou por efeitos térmicos conforme o movimento do ar pelo parque eólico.

Segundo o SAM, o valor indicado a ser utilizado para o coeficiente de turbulência em locais de planícies planas com pouca vegetação e um baixo coeficiente de turbulência, seria de 0,1.

5.3.1.2.4 *Consumo de Energia*

Os dados inseridos neste item foram replicados e importados da tabela produzida pelo SAM (Figura 32) a partir do arquivo em texto, inserido na aba *Electric Load* do sistema fotovoltaico.

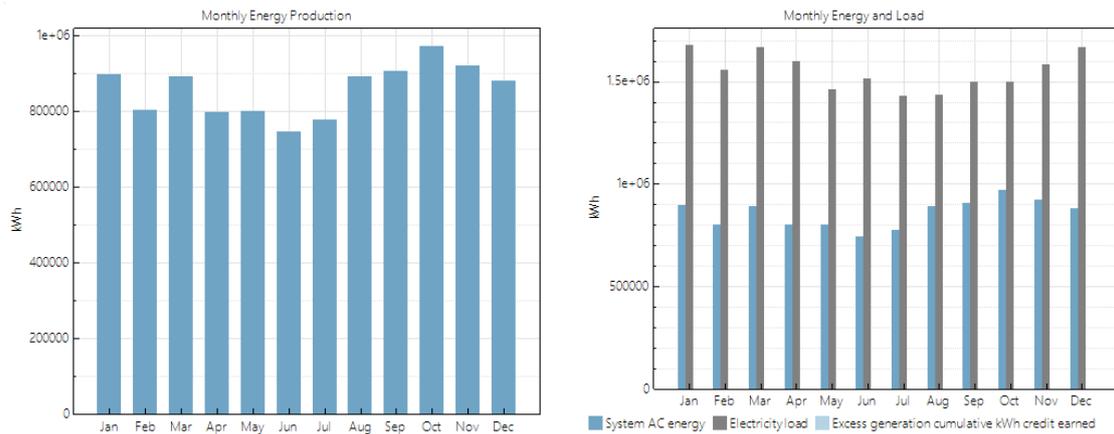
5.3.1.2.5 *Simulação do Cenário Eólico*

A simulação do projeto eólico ocorreu da mesma maneira como no projeto fotovoltaico, com interfaces expondo os resultados em gráficos, tabelas, diagramas (Figura 34), onde no

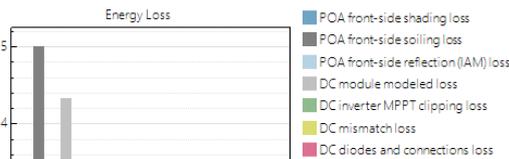
primeiro momento foi realizado por meio do *Data tables* a tabela com o fator de *System power generated* e *Electricity load* e em seguida exportados para o Excel onde foi produzido os gráficos mensais para a verificação do desempenho do sistema eólico (Gráfico 8 e Gráfico 9).

Figura 34: Interface com os resultados da simulação dos cenários pelo SAM.

[Summary](#) [Data tables](#) [Losses](#) [Graphs](#) [Cash flow](#) [Time series](#) [Profiles](#) [Statistics](#) [Heat map](#) [PDF / CDF](#) [Notices](#)

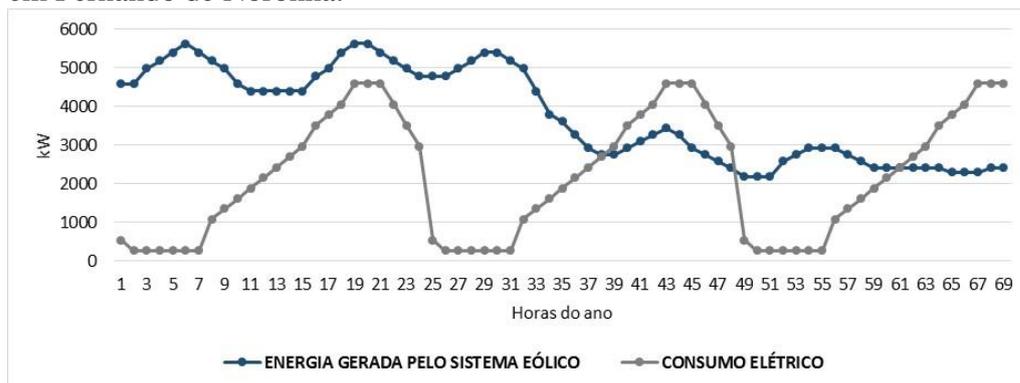


Metric	Value
Annual energy (year 1)	10,284,933 kWh
Capacity factor (year 1)	19.6%
Energy yield (year 1)	1,714 kWh/kW
Performance ratio (year 1)	0.81
Levelized COE (nominal)	7.58 ¢/kWh
Levelized COE (real)	6.01 ¢/kWh
Electricity bill without system (year 1)	\$2,891.102



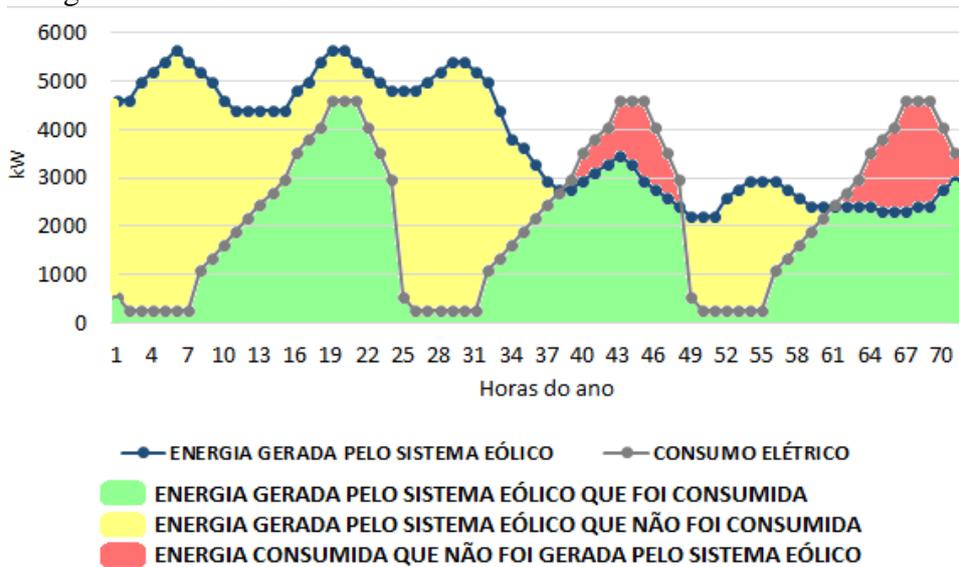
Fonte: SAM (2019).

Gráfico 8: Resultado parcial do Cenário do Sistema Eólico para a geração de energia elétrica em Fernando de Noronha.



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Gráfico 9: Interpretação do resultado parcial do Cenário do Sistema Eólico para a geração de energia elétrica em Fernando de Noronha.



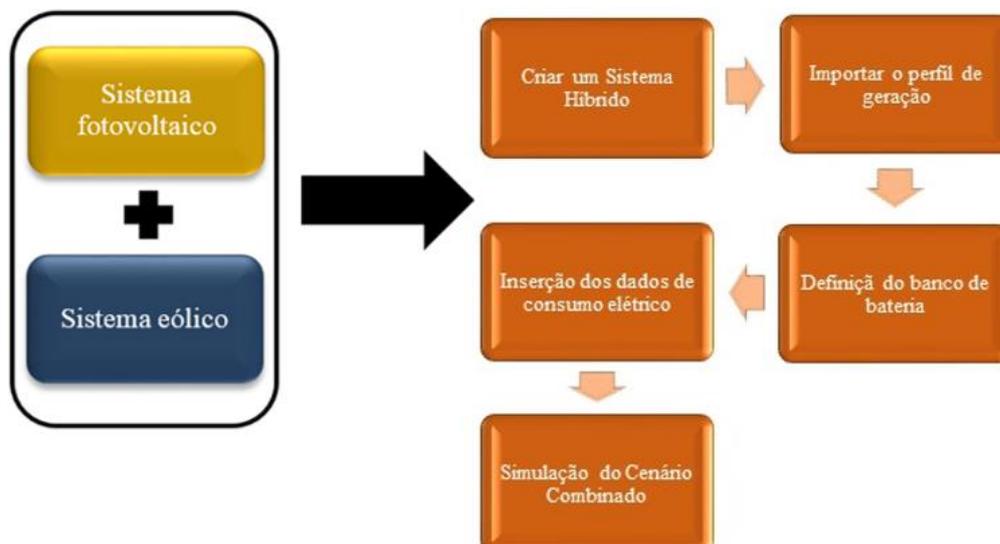
Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

5.3.2 Combinação e Otimização dos Cenários

Após analisar separadamente o comportamento de cada fonte de energia e verificar o desempenho das mesmas aplicado as condições de Fernando de Noronha, realizou-se várias combinações entre a matriz fotovoltaica e o parque eólico, conjuntamente a um sistema de *backup* e armazenamento de energia, visando encontrar a melhor configuração para o projeto.

O desenvolvimento desta etapa se deu conforme apresentado Figura 35.

Figura 35: Fluxograma da metodologia para a simulação de cada cenário

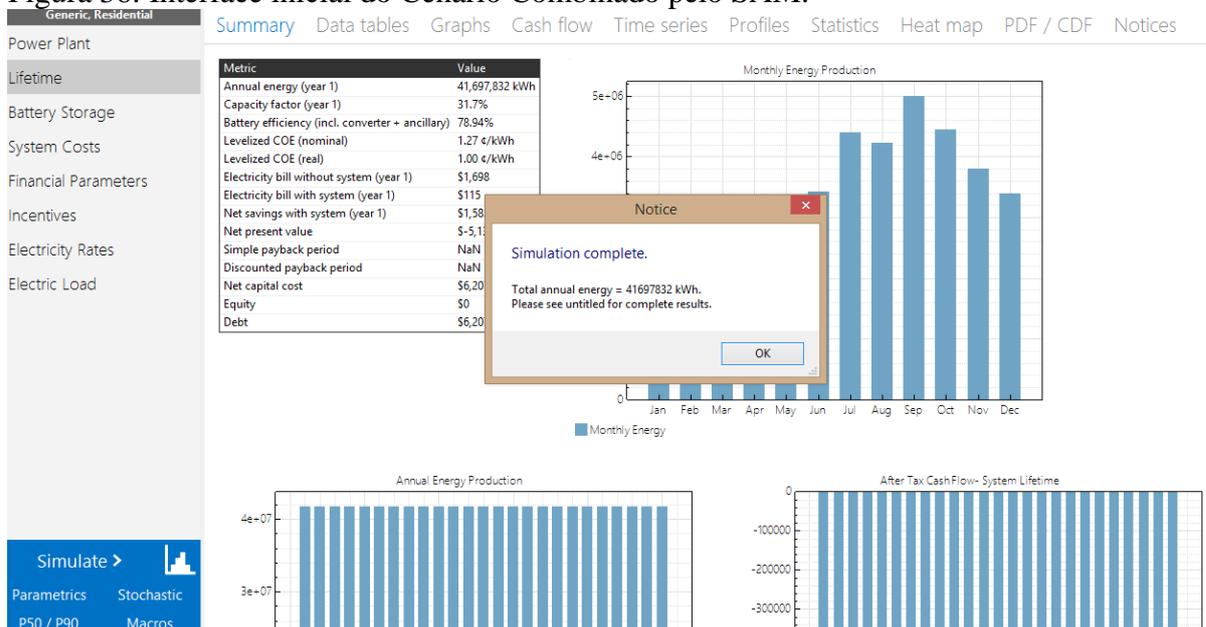


Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Para realizar a combinação dos sistemas (fotovoltaico e eólico), o SAM exigiu que fosse adicionado o modelo de desempenho *Generic system*, que representou o Sistema Híbrido. Isso se deu em razão de que ao final da última simulação, que neste estudo foi o cenário eólico, na página Macro, foi executado o *Combine cases* que reproduziu o sistema combinado na aba do *Generic system*.

Ao executar o Cenário Combinado, o SAM exibe primeiramente uma janela para o conhecimento do usuário com o resultado da produção total de energia (Figura 36).

Figura 36: Interface inicial do Cenário Combinado pelo SAM.



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

5.3.2.1 Power Plant

Em seguida, para personalizar o sistema conforme as particularidades desejadas para o projeto, na página *Power Plant*, foram somadas e importadas as potências do sistema fotovoltaico somado ao do sistema eólico.

O SAM permite também adicionar uma porcentagem de perdas do sistema que condiz as reduções de produção causadas por ineficiências no sistema, como perdas em cabos ou outros fatores.

Essa porcentagem de perda reduz a eficiência total do sistema por hora durante o ano, no entanto, como já haviam sido inseridos separadamente os valores de perdas respectivas a cada sistema (fotovoltaico e eólico), para o sistema híbrido, esse valor foi definido como zero.

5.3.2.2 Armazenamento da bateria

O sistema de backup do projeto se dará através do armazenamento em um banco de baterias. As baterias armazenam energia na forma de corrente contínua e podem descarregar de maneira uniforme no sistema.

O SAM dispõe de uma lista com os tipos de bateria conforme a química que a compõem, podendo ser bateria de íon de lítio, ácido de chumbo ou de fluxo. Ao definir o tipo, o programa calculou automaticamente a capacidade e adequa as variáveis de entrada para os valores padrão da bateria escolhida.

Em seguida, com base no tamanho desejado o programa imediatamente calculou e dimensionou o banco de baterias. Para isso, foi preciso inserir os valores da capacidade e potência desejada ao banco de baterias.

A determinação desses valores se deu baseado nos dados técnicos de referência da bateria *Power Store™ Station 20'* ABB de íon de lítio. Mais precisamente, foi empregado os valores de Potência Ativa Nominal em kW e Capacidade de Fornecimento em kWh que foram inseridos na Equação (11) e (12).

$$\text{Desired bank capacity} = \text{número de baterias} \times \text{Capacidade de Fornecimento} \quad (11)$$

$$\text{Desired bank power} = \text{número de baterias} \times \text{Potência Ativa Nominal} \quad (12)$$

Figura 37: Tabela com as características técnicas do *Power Store™ Station 20'* ABB

Características Técnicas	
Potência ativa nominal (kW)	180
Potência aparente nominal (kVA)	180
Capacidade de fornecimento (kWh)	730
Corrente nominal (Aca)	252
Tensão de acoplamento (Vca)	480
Sobretensão permitida (%)	110
Subtensão permitida (%)	90
Tensão CC mínima (Vcc)	844
Tensão CC nominal (Vcc)	982
Tensão CC máxima (Vcc)	1096
Tipo de bateria aplicada	Lítio-íon
Dimensões (L x W x H) (mm)	6058 x 2438 x 2896

Fonte: ABB.

Como critério para a quantidade de baterias necessárias para o sistema, foi determinado que poderia no máximo o mesmo valor da potência máxima que a Usina Termelétrica Tubarão fornece à rede.

Ao que tange a questão do controlador de expedição de armazenamento – Frente do medidor, que representa como se deseja que a bateria seja carregada e descarregada, foi escolhido a opção *Automated grid power target* que se baseia nos dados de entrada postos no *Minimum state of charge*, *Maximum state of charge* e *Minimum time at charge state*.

O *Minimum state of charge* definiu a porcentagem máxima que a bateria pode descarregar, enquanto o *Maximum state of charge* o limite máximo que a bateria pode armazenar. Para este estudo foi utilizado os valores de 15% para o *Minimum state of charge* e 95% para o *Maximum state of charge*.

Já o *Minimum time at charge state* serviu para especificar o tempo mínimo em minutos que a bateria manteria o seu estado, sem a mudança entre carregar e descarregar, como ocorre nos casos quando a saída fotovoltaica varia acima e abaixo da carga, causando um ciclo rápido na bateria e prejudicando o desempenho ao longo do tempo.

Por último também foi especificado a eficiência da conversão de CA para CC e CC para CA, ou seja, a eficiência em converter a energia CA da rede em energia CC da bateria e a eficiência de converter a energia CC da bateria em energia CA para a rede, respectivamente.

5.3.2.3 Consumo de Energia

Os dados do consumo de energia foram copiados e importados da mesma maneira do Sistema Eólico, descritos no item 5.3.1.2.4 Consumo de Energia deste estudo.

5.3.2.4 Simulação

Assim como nas demais simulações, para auxiliar na tomada de decisões, foi gerado um conjunto de 8.760 valores por hora para cada variável que representaram a produção de eletricidade do sistema em um único ano, a capacidade de armazenamento da bateria, relacionando-as ao consumo da ilha (Figura 38).

Figura 38: Data tables com o resultado final das variáveis a serem analisadas para o desempenho do sistema combinado.

Summary **Data tables** Graphs Cash flow Time series Profiles Statistics Heat map PDF / CDF Notices

Copy to clipboard Save as CSV... Send to Excel Clear all

Search

Hourly Data

	Electricity load (year 1) (kW)	System power generated (kW)	Battery state of charge (%)	Electricity to load from battery (kW)	Electricity to/from grid (year 1 hourly) (kWh)
Jan 1, 12:00 am	540.787	4593.4	65.0365	0	0.144287
Jan 1, 01:00 am	270.393	4593.4	78.8386	0	0.119354
Jan 1, 02:00 am	270.393	4987.77	93.8868	0	0.107208
Jan 1, 03:00 am	270.393	5184.95	95	0	4565.71
Jan 1, 04:00 am	270.393	5408.58	95	0	5138.19
Jan 1, 05:00 am	270.393	5635.1	95	0	5364.71
Jan 1, 06:00 am	270.393	5524.65	95	0	5254.26
Jan 1, 07:00 am	1081.57	6348.88	95	0	5267.3
Jan 1, 08:00 am	1351.97	7353.16	95	0	6001.19
Jan 1, 09:00 am	1622.36	7860.52	95	0	6238.16
Jan 1, 10:00 am	1892.75	8190.22	95	0	6297.46
Jan 1, 11:00 am	2163.15	7610.1	95	0	5446.96
Jan 1, 12:00 pm	2433.54	7593.44	95	0	5159.9
Jan 1, 01:00 pm	2703.93	7420.29	95	0	4716.36
Jan 1, 02:00 pm	2974.33	7614.54	95	0	4640.21
Jan 1, 03:00 pm	3515.11	7130.76	95	0	3615.65
Jan 1, 04:00 pm	3785.51	6226.21	95	0	2440.7
Jan 1, 05:00 pm	4055.9	5648.07	95	0	1592.17
Jan 1, 06:00 pm	4596.69	5635.1	95	0	1038.42
Jan 1, 07:00 pm	4596.69	5635.1	95	0	1038.42
Jan 1, 08:00 pm	4596.69	5408.58	95	0	811.894
Jan 1, 09:00 pm	4055.9	5184.95	95	0	1129.05
Jan 1, 10:00 pm	3515.11	4987.77	95	0	1472.66
Jan 1, 11:00 pm	2974.33	4790.58	95	0	1816.26
Jan 2, 12:00 am	540.787	4790.58	95	0	4249.8
Jan 2, 01:00 am	270.393	4790.58	95	0	4520.19
Jan 2, 02:00 am	270.393	4987.77	95	0	4717.38
Jan 2, 03:00 am	270.393	5184.95	95	0	4914.56

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

As variáveis analisadas foram: consumo anual [*Electricity load*], Geração de energia do sistema [*System power generated*], Estado da bateria [*Battery state of charge*], Eletricidade fornecida pela bateria [*Electricity to load from battery*] e Eletricidade para/da rede [*Electricity to/from grid*]. A interpretação para cada uma dessas variáveis podem ser vistos na Tabela 8.

Tabela 8: Interpretação dos valores das variáveis apresentados no Data tables.

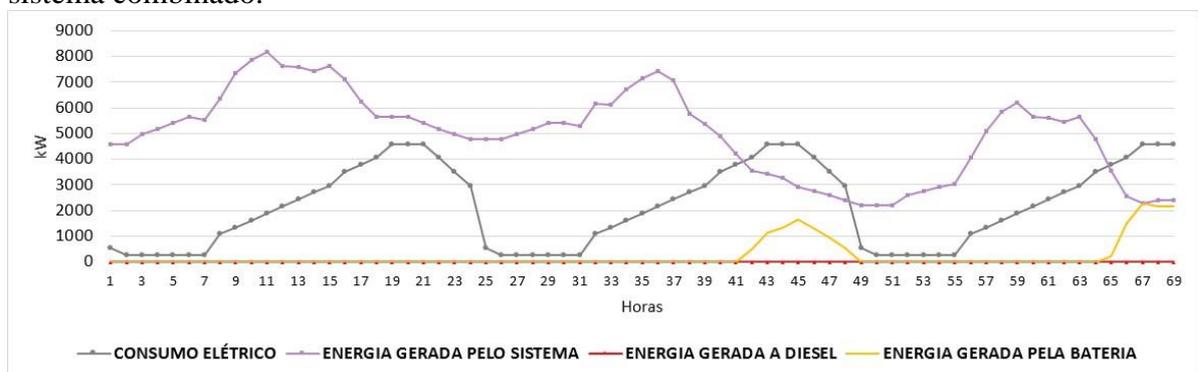
Variável	Interpretação dos Resultados
Estado da bateria	Foi visto quantas vezes a bateria chegou no seu limite máximo de descarga e máximo de armazenamento
Eletricidade fornecida pela bateria	Foi analisado que quando o sistema combinado (eólico e fotovoltaico) não estava suprindo a demanda de energia, fez-se necessário primeiramente o uso da bateria, sendo os valores acima de 0 a quantia de energia descarregada à rede
Eletricidade para/da rede	Representará o consumo do diesel para a geração de energia, sendo: Valores positivos: energia consumida pelo sistema eólico e fotovoltaico

Valores negativos: consumo de energia que não foi gerada pelo sistema combinado eólico e fotovoltaico e nem foi fornecido pelo *backup* da bateria, com isso, necessitou da aplicação do diesel na UTE Tubarão

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019

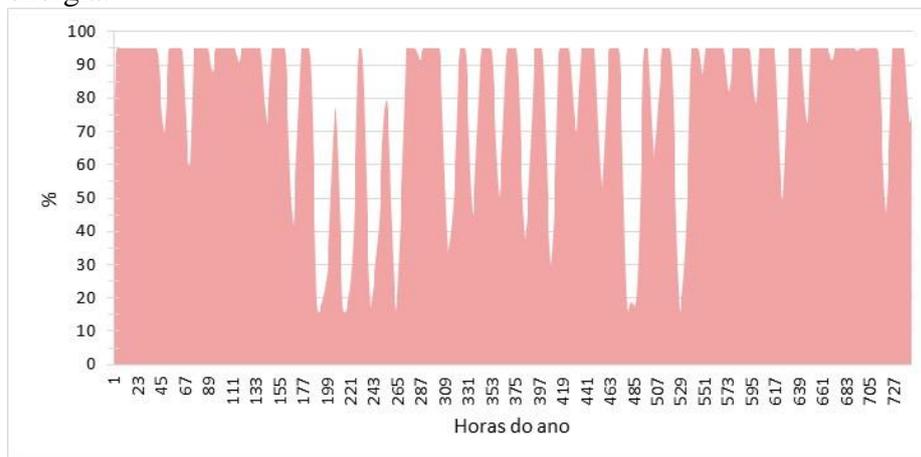
Além disso, com os resultados obtidos foram criados gráficos para uma melhor compreensão e comparação do desempenho do sistema (Gráfico 10 e Gráfico 11).

Gráfico 10: Gráfico do sistema combinado apresentado as variáveis para compreensão geral do sistema combinado.



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Gráfico 11: Gráfico para a interpretação do o uso do sistema de *backup* para a geração de energia.



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

5.3.2.4.1 Economia do Diesel

Por fim, mediante as Equações (13), (14) e (15), e fundamentado nos resultados alcançados pelo sistema combinado, verificou-se a eficiência do sistema e apurou-se se o mesmo atenderia o objetivo principal deste estudo, que é avaliar a possibilidade de

autossuficiência energética através do uso das fontes renováveis, eólica e fotovoltaica, minimizando ou até mesmo evitando o uso do combustível fóssil para a geração de eletricidade, conseqüentemente reduzindo a emissão de CO₂ para a atmosfera.

Foram estabelecidos como critérios para a eficiência do sistema: o percentual utilizado da UTE Tubarão para a geração de energia, quanto de óleo diesel que seria utilizado depois de implantado o sistema combinado e conseqüentemente a quantidade de CO₂ que seria emitida para a atmosfera.

$$\% \text{ Geração futura de energia pela UTE Tubarão} = \frac{\Sigma \text{ Energia gerada a diesel}}{\text{Consumo elétrico}} \quad (13)$$

$$\begin{aligned} & \text{Quantidade futura de diesel para geração de energia} \\ & = \frac{(\text{Quantidade de diesel usada hoje pela UTE}) \times (\Sigma \text{ Geração futura de energia a diesel})}{(\text{Geração atual de energia pela UTE})} \quad (14) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{Futura quantidade de emissão de CO}_2 \\ & = \frac{(\text{Quantidade atual de emissão de CO}_2) \times \text{Futura quantidade de consumo de diesel}}{(\text{Quantidade atual de consumo de diesel})} \quad (15) \end{aligned}$$

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 PERFIL DE CONSUMO ELÉTRICO DA ILHA DE FERNANDO DE NORONHA

Utilizando o consumo anual de 18.590 MWh em 2017 e o valor máximo para cada mês da Carga Global de Energia, foram estimados pelos cálculos matemáticos, expostos no item 5.2.1 Perfil de Consumo de Energia em Fernando de Noronha, a carga média global, a variação do consumo mensal, assim como o consumo máximo mensal, diário e horário, que se encontram eludidos na Tabela 9.

A carga média global, foi de 2,1808 MW/mês e com isso, ao multiplicar pelo valor máximo de pico da carga global de energia do respectivo mês, constatou-se que as maiores variações do consumo foram em janeiro, março e dezembro, enquanto as menores variações foram julho, agosto e maio.

Consequentemente, os meses com maiores consumos foram janeiro, março e dezembro, assim como os com menores consumos foram julho, agosto e maio.

Já o consumo máximo diário e horário foram vistos nos meses de fevereiro, seguido de janeiro, março e dezembro, em contrapartida os com menos consumo foram julho, agosto e maio, consecutivamente.

Em seguida, com a definição da porcentagem horária do consumo (apresentado na Tabela 10) multiplicado pelo valor máximo horário do próprio mês, obteve-se os 8760 dados de consumo que caracterizaram o perfil da Ilha e serviram de atributos para o *Electricity Load* do SAM.

Ainda com a porcentagem horária do consumo, pôde-se retratar o perfil de consumo na Ilha, supondo que este teria um maior consumo de energia à noite (Gráfico 12).

Tabela 9: Estimativa de perfil de consumo em Fernando de Noronha

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Carga Global no mês (MWmês)	2,36	2,19	2,35	2,25	2,06	2,13	2,01	2,02	2,11	2,11	2,23	2,35
Varição do consumo mensal	1,0822	1,004	1,0776	1,0317	0,9446	0,9767	0,9217	0,923	0,9675	0,9675	1,0225	1,0776
Consumo máximo mensal (MWmês)	1676,43	1555,67	1669,33	1598,29	1463,66	1513,05	1427,81	1434,91	1498,84	1498,84	1584,09	1669,33
Consumo máximo diário (MWdia)	54,0787	55,5599	53,8495	53,2767	47,2043	50,4352	46,0585	46,2878	49,9617	48,3500	52,8031	53,8495
Consumo máximo horário (MWhora)	2,2533	2,3151	2,2437	2,2199	1,9668	2,1015	1,9191	1,9287	2,0817	2,0146	2,2001	2,2437

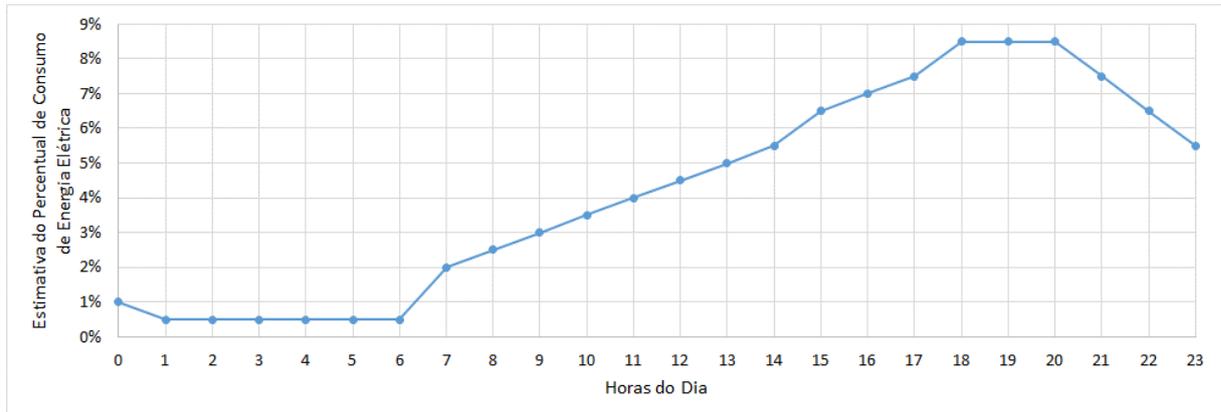
Fonte Elaborado pelo autor (2019).

Tabela 10: Porcentagem horária de consumo de eletricidade

Hora do dia	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Consumo horário (%)	1	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6,5	7	7,5	8,5	8,5	8,5	7,5	6,5	5,5

Fonte Elaborado pelo autor (2019).

Gráfico 12: Estimativa do Percentual de consumo de energia elétrica por dia em Fernando de Noronha



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

6.2 LOCAIS DISPONÍVEIS PARA A INSTALAÇÃO DAS FONTES GERADORES DE ENERGIA

Segundo estudos, alguns dos principais impactos ambientais gerados advindos da instalação dos empreendimentos, foram:

Tabela 11: Impactos ambientais relacionados a instalação dos sistemas de geração de energia fotovoltaico e eólico

Impactos relacionados ao sistema fotovoltaico	Impactos relacionados ao sistema eólico
- Alteração do padrão paisagístico e/ou cênico local;	- Alteração do padrão paisagístico e/ou cênico local;
- Supressão da vegetação;	- Poluição sonora;
-Alteração da infiltração de água no solo;	- Perturbação à fauna;
-Alteração da estrutura do solo	- Supressão da vegetação

Fonte: Elaborado pelo autor

De acordo com o capítulo 4.3.2 Biomas e Ecossistema, referente a caracterização de Fernando de Noronha, foi descartada a sugestão da instalação de sistema *offshore* nas delimitações do PANAMAR devido à presença de espécies em extinções, como a Mata Atlântica Insular e manguezal oceânico do Atlântico Sul, além de servir de local para reprodução e berçário de espécies marinhas, resultando em um ambiente com alto grau de importância ambiental.

Com isso, baseado nas informações presentes no Plano de Manejo da APA Fernando de Noronha e associado as restrições ambientais limitantes (apresentadas no capítulo 5.2.2.3 Identificação dos locais disponíveis para a instalação do sistema), a seleção das áreas para instalação do projeto foram em terra, nas zonas Agropecuária, Restrição Aeronáutica, Urbana e Portuária (Tabela 12).

A locação, delimitação e dimensão dessas áreas estão apontadas na 39, com suas respectivas delimitações e tamanhos.

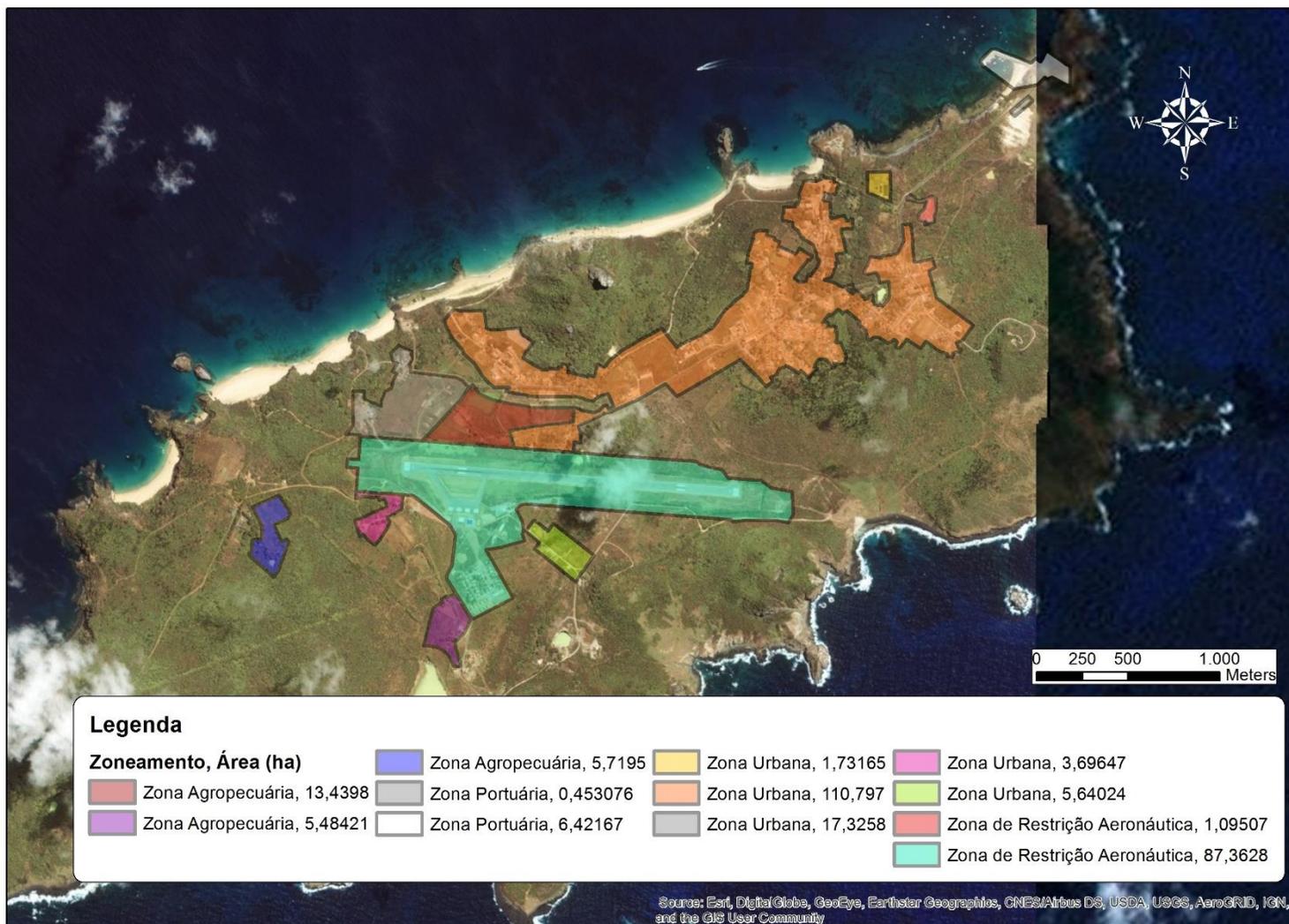
Tabela 12: Síntese dos zoneamentos escolhidos

Zoneamento	Área	Crítérios de Zoneamento	Grau de Intervenção Antrópica	Meio Físico	Meio Biótico	Uso Permitido
Agropecuária	24,64 terrestre	Áreas aptas à ocupação de baixa densidade e que apresentam um histórico de uso voltado às atividades agropecuárias. Zona constituída por áreas onde atualmente são desenvolvidas atividades agrícolas e/ou pecuárias e por áreas onde essas atividades possam vir a ser desenvolvidas de forma sustentável.	Alto	Áreas com baixo grau de fragilidade do meio físico, situadas nos planaltos da APA.	Cobertura vegetal esparsa ou nula, caracterizando-se por áreas de pastagem e de produção agrícola.	Produção agrícola, pecuária, ocupação residencial, monitoramento, fiscalização, pesquisa, visitação e educação ambiental.
Restrição Aeronáutica	88,46 terrestre	Áreas onde se localizam os serviços e a infraestrutura aeroportuária na ilha, que demandam medidas especiais de manutenção, controle, monitoramento e fiscalização, além das áreas destinadas ao uso da Aeronáutica.	Alto	Áreas com baixo grau de fragilidade do meio físico	Cobertura vegetal nula, esparsa ou caracterizada por vegetação herbáceo/arbustiva aberta.	Instalações e equipamentos institucionais e de infraestrutura; dependências habitacionais e de lazer (Vila do DESTAE-FN); serviços militares (escritórios e equipamentos anexos ao aeroporto); pesquisa; fiscalização; monitoramento; educação ambiental; prestação de serviços; e, trânsito de pessoas e de veículos.
Urbana	139,19 Terrestre	Presença de infraestrutura consolidada, voltada às	Alto	Ocupa principalmente os planaltos da	Cobertura vegetal nula, esparsa ou caracterizada por	Ocupação residencial, comercial, de serviços privados e de natureza pública, de recreação e lazer,

		atividades urbanas (uso residencial, institucional, serviço, comércio, lazer, dentre outros) e considerada apta para a ocupação humana atual e futura de Fernando de Noronha.		Quixaba e dos Remédios, áreas com baixo grau de fragilidade do meio físico.	vegetação herbácea/arbustiva aberta. Áreas urbanas pouco arborizadas.	institucional e mista (hospedarias domiciliares, produção e venda de artesanato caseiro, consultórios e escritórios domiciliares); além de atividades de pesquisa, educação ambiental, visitação, monitoramento e fiscalização.
Portuária	6,87 terrestre	Áreas onde se localizam a infraestrutura portuária e os serviços associados, que demandam medidas especiais de manutenção, controle, monitoramento e fiscalização.	Alto	Área de alta fragilidade do meio físico, sendo verificado, atualmente, assoreamento do fundo da Baía de Santo Antônio.	Cobertura vegetal nula, esparsa ou caracterizada por vegetação herbácea/arbustiva aberta.	Instalações e equipamentos institucionais, de infraestrutura e serviços e atividades associados ao Porto; pesquisa; fiscalização; monitoramento; educação ambiental; prestação de serviços; e, trânsito de pessoas e de veículos; surf; mergulho livre e autônomo em áreas demarcadas; pesca de arremesso e tarrafa; comércio; ocupação residencial; embarque e desembarque de pessoas, material e equipamentos; tráfego de embarcações.

Fonte: Adaptado de BRASIL; ICMBIO 2017.

Figura 39: Vista parcial de Fernando de Noronha com as áreas escolhidas para a implantação do novo sistema de geração de energia elétrica em evidência.



Fonte: Elaborada pelo autor (2019).

Sugere-se para a instalação dos sistemas fotovoltaicos as Zonas Restrição Aeronáutica por já haver instalado a matriz da Usina Fotovoltaica Noronha I e a Zona Urbana por levar em consideração a possibilidade de instalar as placas em cima dos telhados, caso haja a necessidade.

Para o parque eólico, recomenda-se a instalação preferencialmente na Zona Agropecuária por não interferir no uso e manter a atividade e Zona Portuária, caso Zona Agropecuária não atenda o porte do parque eólico.

6.3 SISTEMA DE GERAÇÃO DE ENERGIA POR FONTES RENOVÁVEIS

Estudar os recursos solar e eólico são de suma importância para a melhor concepção dos projetos, devendo ser analisados antes de definir as características e instalação do sistema.

Para tanto, foram estudados os recursos e com base nesses dados foram simulados os sistemas de geração através das fontes renováveis de modo a aferir sua viabilidade técnica e ambiental que serão apresentados neste capítulo.

6.3.1 Sistema Fotovoltaico

De acordo com os dados solarimétricos, Fernando de Noronha apresenta um elevado potencial para o uso da fonte fotovoltaica. O GTI apresentado pelo *SWERA* foi de 2.188 kWh/m² ano.

Esse valor aplicado nas equações (8) e (9) para o cálculo da potência do sistema fotovoltaico, associado aos dados técnicos da placa *BYD Company Limited* – BYD340P6K-36, resultou em uma Potência de Pico equivalente a 12.137 kWp.

A partir dessa potência de pico, inserida no item *Desired array size*, mais os dados técnicos do módulo e do inversor utilizado (America: SC 2750-EV-US [600V]), seleção do rastreamento como fixo, o SAM apresentou um sistema composto da seguinte forma:

Tabela 13: *Design* do sistema fotovoltaico para Fernando de Noronha

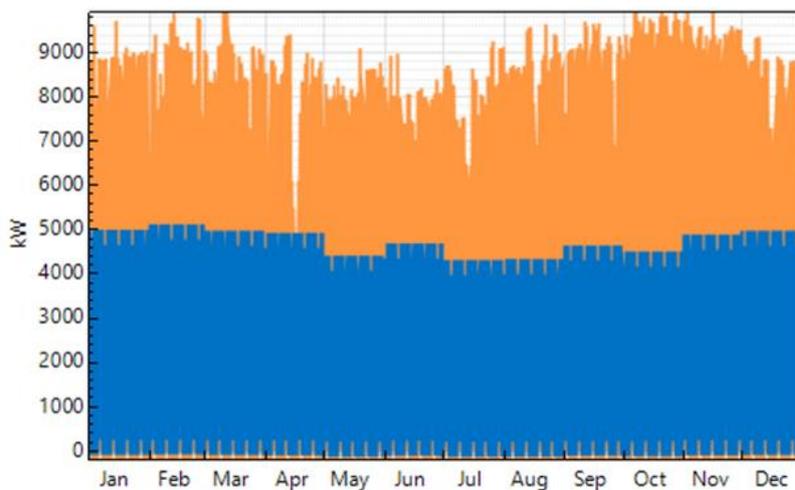
	Resultado
Número de inversores	4
Total de módulos	35.700

Sequência em paralelo da sub-matriz	1.428
Área total do arranjo fotovoltaico (m ²)	69.258,00

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Com isso, junto ao consumo horário de eletricidade e dados climáticos advindos do *Climate.OneBuilding*, processados no SAM, foi elaborado um sistema com geração de 20.802.038 kWh ao ano e fator de capacidade de 19,6%.

Figura 40: Gráfico geral da geração de energia pelo sistema fotovoltaico em kWh relacionado ao consumo em Fernando de Noronha.



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Nota: cor azul representa o consumo elétrico e a cor laranja a geração de energia pelo sistema fotovoltaico.

Vemos que o sistema fotovoltaico, dimensionado para suprir sozinho a demanda energética de Fernando de Noronha, produz em alguns momentos quase o dobro do que é consumido, isso quer dizer que há uma quantidade significativa de energia que não é utilizada.

Apesar disso, o sistema projetado sem baterias necessitou do fornecimento de 10.814 MWh da UTE Tubarão, ou seja, 51,99% da energia para suprir os 18.590 MWh seria gerada pela termelétrica.

Se dimensionado um sistema de *backup* para armazenar toda a energia que foi preciso utilizar da termelétrica, seria algo inconcebível, mas se estimado para a potência instalada (12.137 kWp), seria preciso um sistema composto por 68 baterias com capacidade de 49.640 kWh, ainda sendo fundamental o fornecimento de 198.314 kWh pela UTE Tubarão.

6.3.2 Sistema Eólico

Os ventos em Fernando de Noronha possuem direção predominantemente de Sudeste com influência terral, boa intensidade praticamente o ano todo, conforme expõem os gráficos no capítulo 5.2.2.2 Recurso Eólico.

Também, deste mesmo capítulo, segundo gráfico do Comando da Aeronáutica, a velocidade máxima mensal do vento variou de janeiro de 2017 a janeiro de 2018, aproximadamente 12,86 m/s a 7,2 m/s, com maiores incidências em abril e julho e menores em fevereiro e março. Os dados fornecidos pela NSRBD apontaram que a velocidade média em 17 metros de altura em 2017 foi de 5,78 m/s, enquanto a máxima foi de 9,1 m/s.

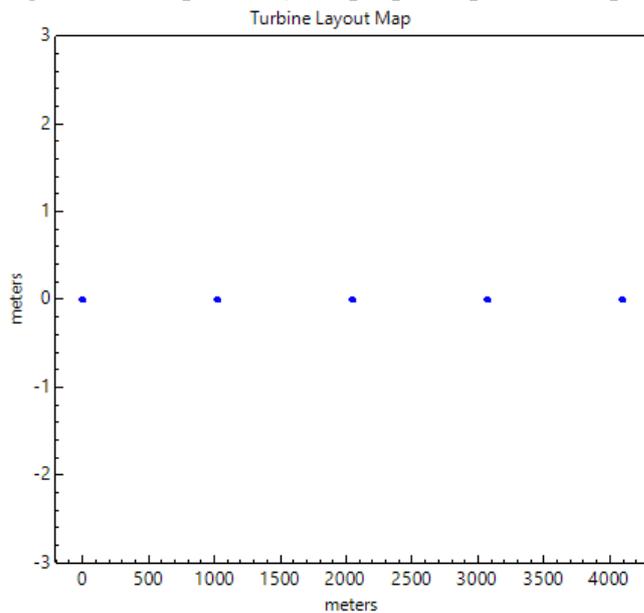
Como o local escolhido para a instalação das torres compreende em atividade agropecuária e o aerogerador escolhido (Gamesa G128 4.5MW) possui uma altura superior ao anemômetro, que era de 17m, utilizou-se a Equação (7) para o ajuste das velocidades que continham no documento de dados do NSRBN e seriam executados no SAM. O fator de rugosidade utilizado foi de 0,05m e altura de medição do vento de 120m.

Buscando verificar a dimensão necessária do parque eólico para atender a demanda de energia em Fernando de Noronha, foi aplicado na Equação (7) a velocidade média de 5,78 m/s no item U_{ZR} , 120m no z , 17 m no z_r e 0,05m em z_0 , resultando em uma velocidade de 7,72 m/s.

Com isso, aplicou-se essa velocidade na Equação (10), junto aos dados da área de varredura da turbina de 12.868 m², período temporal de 8.760 horas e densidade do ar de 1,225 kg/m³, dispondo no fim, para uma única turbina a potência de 3.623.341 W, ou seja, 3.623,34 kW.

Utilizando como referência os 18.590 MWh de consumo elétrico em FN e relacionando-o com a potência da turbina, o SAM pressupôs que o sistema seria composto por 5 aerogeradores e com o *layout* ilustrado conforme a Figura 41.

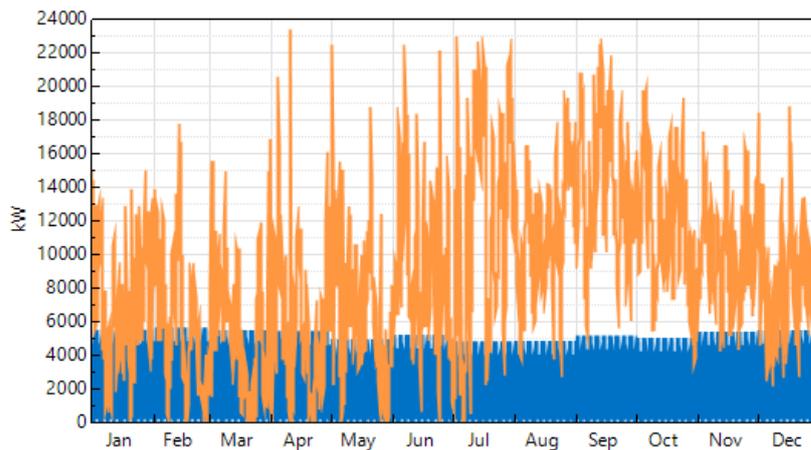
Figura 41: Mapa do *layout* proposto pelo SAM para o sistema eólico em Fernando de Noronha



FONTE: SAM (2019).

Com isso, junto ao consumo horário de eletricidade e de velocidade, direção, temperatura e pressão atmosférica, processados no SAM, criou-se um sistema com geração de 78.318.368 kWh ao ano e fator de capacidade de 39,7%.

Figura 42: Gráfico geral da geração de energia pelo sistema eólico em kWh relacionado ao consumo em Fernando de Noronha.



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Nota: cor azul representa o consumo elétrico e a cor laranja a geração de energia pelo sistema eólico.

Do mesmo modo que a fotovoltaica, o sistema eólico projetado para suprir sozinho a demanda total de energia resulta em um superdimensionamento. Apesar de ser evidente a quantidade de energia excedente, ainda foi necessário o fornecimento de 1.321.730 kWh da UTE Tubarão, correspondendo a 7,11% da geração.

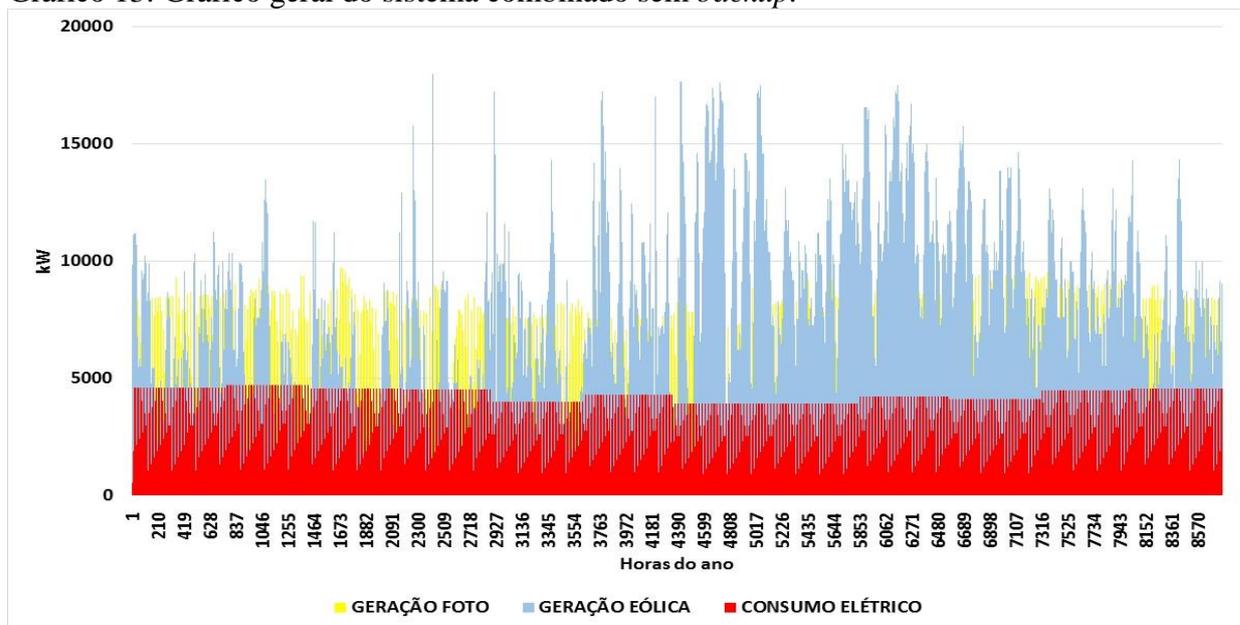
6.3.3 Sistema Combinado com Fonte Fotovoltaica e Eólica

Até então, os sistemas foram simulados com apenas um tipo de fonte por vez. Almejando a possibilidade de uma maior participação das fontes renováveis para a geração de energia e encontrar um modelo ideal para Fernando de Noronha, nesta etapa é apresentada a combinação dessas fontes junto a um sistema de *backup*.

Visto que de acordo com as Figura 40 e Figura 42, onde foi retratado o comportamento individual das fontes a respeito de como seria a sua atuação, pôde-se verificar uma significativa quantidade excedente de eletricidade gerada.

Dessa forma, para o primeiro instante, foi executada a simulação conjunta dos dois sistemas, servindo de base para as definições da otimização.

Gráfico 13: Gráfico geral do sistema combinado sem *backup*.



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Analisando o gráfico acima, torna-se possível fazer uma melhor comparação das duas fontes no mesmo instante de geração. É evidente que os projetos eólico e fotovoltaico foram superestimados e não necessitam serem planejados para que a potência de cada fonte contemple o consumo total de Fernando de Noronha.

Levando em consideração que o sistema eólico demanda menor área e gera mais energia, optou-se para a primeira otimização, diminuir a quantidade de módulos fotovoltaicos.

Além disso, em virtude do excesso de energia, cita-se duas possibilidades para a solução desta questão: retirar uma das fontes ou adotar um sistema de *backup*.

Retirando uma das fontes, seria necessário simular o sistema alterando a quantidade de módulos e aerogeradores até encontrar um cenário que possibilitasse não haver mais momentos com quantidade expressiva de energia excedente.

Já, adotar um sistema de *backup*, configura-se em elaborar um sistema composto por um banco de baterias capaz de armazenar a energia de sobra do momento e utilizá-la para um eventual pico de energia ou quando o sistema não pudesse gerar a quantidade suficiente para suprir a demanda em uma determinada ocasião.

Além do mais, a preferência pelas baterias também se dá ao fato destas possibilitarem ao sistema a minimização das variações resultante da descontinuidade, sazonalidade e oscilação das energias renováveis.

Com isso, foi projetado no SAM o sistema de *backup* por baterias *Power Store™ Station* 20' ABB de íon lítio, conforme apresenta a Tabela 14.

Tabela 14: *Design* do sistema de *backup* por baterias para Fernando de Noronha

	Resultado
Número de baterias	40
Capacidade de fornecimento	29.200 kWh
Potência nominal ativa	7.200 kW
Porcentagem máxima de descarregamento	15%
Porcentagem máxima de armazenamento	95%
Tempo mínimo de permanência do estado da bateria	10 minutos
Eficiência da conversão CA para CC	96%
Eficiência da conversão CC para CA	96%

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Dessa forma, simulou-se o sistema combinado e foi verificado que apesar das baterias apresentarem um bom comportamento, atendendo satisfatoriamente o projeto, ainda era constatado uma grande quantidade de energia que era gerada, não era consumida pois não havia demanda necessária e também não era armazenada nas baterias em virtude que estas já estavam totalmente carregadas.

Embora fosse possível aumentar a quantidade de baterias, foi mais prudente diminuir o número de aerogeradores, tendo em consideração que o projeto se tornaria inviável pela quantidade que seria necessária para armazenar toda a energia excedente.

Assim sendo, foram testados vários cenários até que se encontrou o sistema combinado que melhor atendeu aos critérios que satisfazem a quantidade de energia gerada para suprir Fernando de Noronha junto a quantidade de energia que não foi descartada, percentual da utilização das baterias e do total de energia gerado pela UTE Tubarão.

O sistema combinado final ficou constituído da seguinte forma:

Tabela 15: Configuração final do sistema combinado

Matriz Fotovoltaica	Parque Eólico	Banco de Baterias
-Número de módulos: 17.650	-Número de turbinas: 2	-Número de baterias: 40
- Número de inversores: 2	-Potência do parque:	-Número de células em série:3
-Área total dos módulos: 34.241 m ²	9.000kW	-Número de fileiras em paralelo: 1
- Número de módulos por strings: 25		
- Número strings em paralelo: 706		
-Potência da usina: 6.000kW		
-Relação DC/AC: 1.2		

Fonte: Elabora pelo autor (2019).

O sistema combinado resultou em uma geração anual de 41.580.264 kWh de energia e um fator total de capacidade de 31,6%. Os APÊNDICE A – Gráfico da geração de energia da matriz fotovoltaica para o cenário combinado e APÊNDICE B – Gráfico da geração de energia pelo parque eólico para o cenário combinado, evidenciam a atuação de cada fonte no projeto final no período de um ano, onde em amarelo representa a participação da matriz fotovoltaica, em azul o funcionamento do parque eólico e em cinza o consumo de energia pelos consumidores em Fernando de Noronha.

Assim como no APÊNDICE C– Gráfico total de geração de energia do cenário combinado entre fotovoltaico e eólico está representado na cor lilás o desempenho do cenário combinado, em cinza o consumo de energia em Fernando de Noronha, em rosa a quantidade de energia fornecida pela bateria e em vermelho a participação do diesel quando foi necessário.

O APÊNDICE D– Gráfico do desempenho do sistema de *backup* das baterias retrata a porcentagem da utilização das baterias durante a operação do sistema.

Vemos que a matriz fotovoltaica apresentou o comportamento da geração de energia quase que idêntico ao do consumo, no entanto, a energia gerada foi em momentos em que não havia o consumo, assim como não gerou quando havia, resultando em vários períodos com energia excedente e fazendo a utilização de outro sistema para suprir a demanda.

Os gráficos do parque eólico, mostraram uma maior variação. Os meses de setembro, outubro e novembro quase que contemplaram em todos os instantes a demanda de energia. Em contrapartida, os meses de fevereiro, março e abril tiveram um maior déficit.

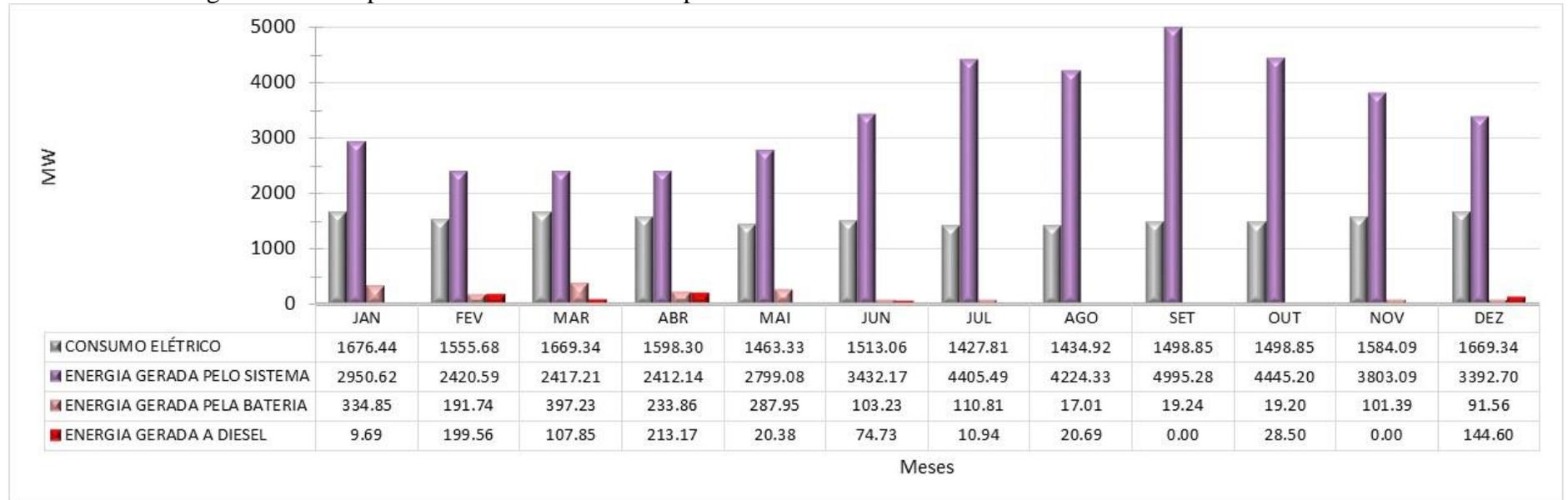
O uso do diesel para a geração de energia foi inexistente nos meses de agosto e novembro, enquanto a sua maior participação foi de fevereiro a abril. Fundamental relatar que das 8760 horas do ano, apenas 970 horas foi necessário a utilização do diesel e dessas 970 horas, somente em 4 horas a UTE operou na sua capacidade máxima.

No que tange a utilização das baterias, observamos que em agosto, setembro e outubro o sistema esteve na maior parte do tempo totalmente carregado e em poucos momentos foi preciso usufruir desta energia para suprir o sistema. Já em janeiro, abril, maio e principalmente março, foram os meses onde mais houve o máximo aproveitamento das baterias, no qual em muitos instantes estas foram usadas na sua totalidade.

Ainda, para uma compreensão mais sucinta o Gráfico 14 elucidada em um todo o funcionamento do sistema em cada mês. Assim como o Gráfico 15 apresenta a participação de cada fonte geradora e o Gráfico 16 a porcentagem total de cada fonte.

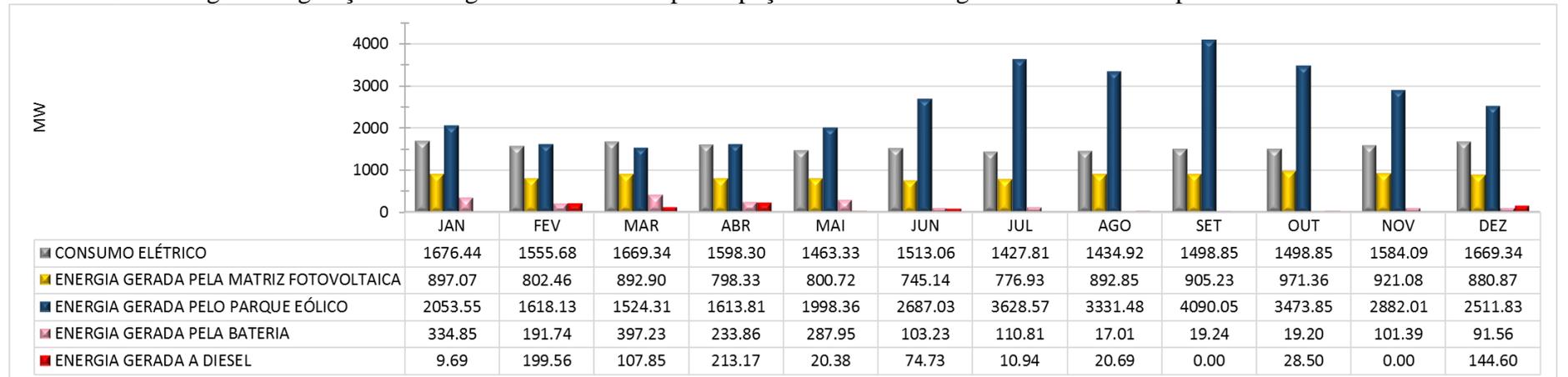
Importante destacar que nem toda a energia gerada pelo sistema combinado foi consumida, como nos casos em que a energia foi armazenada pelas baterias e quando estas estavam totalmente carregadas, a energia foi descartada. Ao contrário da geração a diesel que quando foi necessário à sua geração, foi fornecido apenas a quantia exata para o fornecimento.

Gráfico 14: Visão geral do desempenho do sistema combinado para Fernando de Noronha



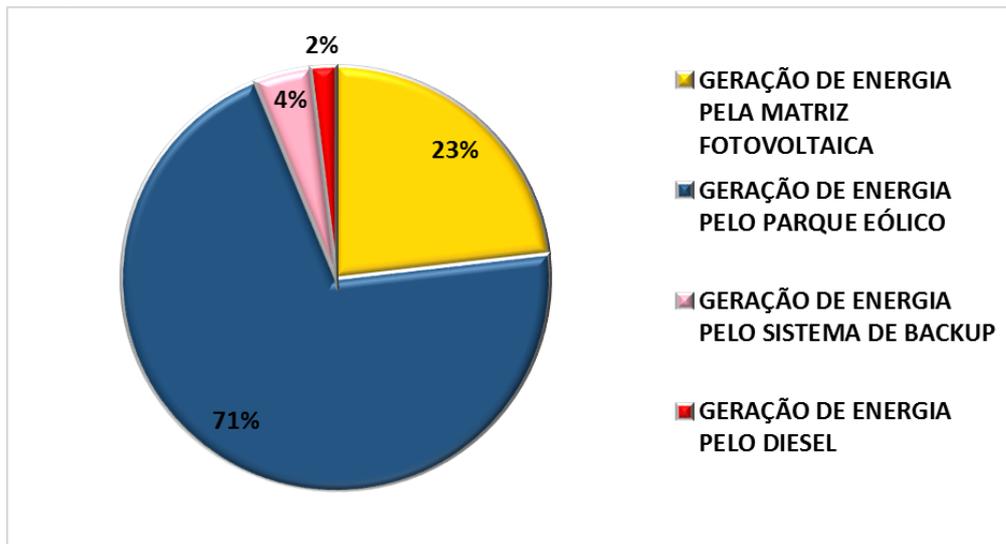
Fonte: Elaborado pelo autor (2019)

Gráfico 15: Visão geral da geração de energia evidenciando a participação de cada fonte geradora do sistema para Fernando de Noronha



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Gráfico 16: Percentual da participação de cada fonte geradora no sistema para Fernando de Noronha



Fonte: Elaborado pelo autor (2019)

6.3.3.1 Eficiência do Sistema

Após a simulação do cenário combinado, foi constatado que a geração de energia a diesel será de 830,10 MWh. Esse valor, aplicado na Equação 13, junto aos 18.590 MWh do consumo elétrico, vemos que apenas 4% da futura geração de energia será proveniente da UTE Tubarão.

Ainda, mediante aos dados mostrados no capítulo 4.4.1, da geração de energia pela usina termelétrica de Fernando de Noronha (18.180 MWh) e o seu respectivo consumo de diesel no ano de 2017 (5.340.340 litros), aplicados na Equação 14, verificou-se que a quantidade futura de diesel a ser utilizada no sistema, será de 243.840 litros para a geração de eletricidade, resultando na economia de cerca de 5.096.499 litros/ano.

Por último, quanto a emissão de CO₂, foram utilizados para a comparação, os dados no qual segundo enunciado por Velame (2018), dos 400 mil litros economizados pela UTE Tubarão, deixou-se de lançar para a atmosfera aproximadamente 200 toneladas de CO₂. Dessa forma, aplicando esses valores para o consumo de 2017, observou que dos 5.340.340 litros de diesel utilizados, foram emitidas 2.670,17 ton/ano de CO₂.

Com isso, através da Equação 15, pôde-se constatar que a futura quantidade de CO₂ que poderá ser lançada para a atmosfera é de aproximadamente 121,9 ton/ano, ou seja, uma economia de 2.548,8 ton/ano de CO₂.

Resumidamente, a Tabela 16 compara os dados de 2017 com os valores obtidos nesta etapa após a simulação do cenário combinado.

Tabela 16: Comparação dos sistemas antes e depois do cenário combinado.

	Dados de Fernando de Noronha em 2017	Resultados para Fernando de Noronha com o sistema combinado
Energia gerada pela UTE Tubarão	18.180 MWh/ano	830,10 MWh/ano
Quantidade usada de diesel para a geração de energia	5.340.340 litros/ano	243.840,27 litros/ano
Emissão de CO ₂	2.670,17 ton/ano	121,9 ton/ano

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

7 CONCLUSÃO

Como no caso do Arquipélago Fernando de Noronha, o suprimento de energia elétrica para regiões isoladas no país, não atendidas pelo Sistema Interligado de Energia, é realizado, na maior parte, através da geração à diesel.

Além de ser uma fonte finita e altamente emissora de CO₂, o transporte desse combustível expõe o arquipélago a frequentes riscos de acidentes, tornando o ambiente suscetível a desastres ambientais irreversíveis.

Esses riscos se potencializam devido à extrema importância ambiental que Fernando de Noronha possui. Isso porque o arquipélago é considerado o principal parque marinho do país, contendo o único local com o manguezal oceânico do Atlântico Sul, além de integrar a principal região para a reprodução de aves marinhas dos dois hemisférios do Atlântico e servir como berçário para diversos grupos ameaçados de extinção.

Diante disso, este trabalho propôs, como objetivo geral, verificar a possibilidade de autossuficiência energética, através da geração de energia por fontes renováveis, eólica e fotovoltaica.

Neste âmbito, foi desenvolvida uma metodologia na qual a busca pela caracterização da região possibilitou avaliar diversos atributos que, segundo a literatura, são importantes para a tomada de decisão na instalação dos sistemas eólicos e fotovoltaicos. Compilar os dados de consumo e geração de energia permitiu compreender o cenário atual e traçar um perfil de Fernando de Noronha, servindo como embasamento para dimensionar um sistema que consiga atender a demanda com êxito.

Observamos que Fernando de Noronha dispõe de elevado potencial dos recursos solar e eólico, com representativo índice de radiação solar e boa intensidade para a velocidade do vento.

Fundamentado nas restrições ambientais existentes e nos impactos advindos da instalação dessas fontes, verificou-se que os locais mais aptos para a locação da matriz fotovoltaica seriam a Zona Restrição Aeronáutica e Zona Urbana, e para o parque eólico a Zona Agropecuária e Zona Portuária.

Através do processamento dos dados climáticos e do consumo elétrico no programa computacional *System Advisor Model*, desenvolvido pela *National Renewable Energy Laboratories* – NREL, foi possível simular cenários de sistemas de geração de energia.

Os primeiros modelamentos no qual foram empregados uma fonte renovável por vez, comprovaram que apesar de muitos instantes os sistemas produzirem mais eletricidade do que

a quantidade imposta pelo consumo, não foi possível abandonar totalmente o uso do diesel para a geração de energia. Mais precisamente, a termelétrica precisou fornecer 10.814,85 MWh para o sistema fotovoltaico sem bateria; 198,31 MWh para o sistema fotovoltaico com bateria e 1.321,73 MWh para o sistema eólico.

Presume-se que esse contexto ocorreu porque foi estimado que o maior consumo elétrico acontecia a noite em razão do local ser um ambiente praiano e com isso a utilização de eletrodomésticos e eletroeletrônicos se daria mais no período noturno, quando turistas e moradores estivessem em suas dependências. Esse fato se tornou um pouco desfavorável para as fotovoltaicas que poderiam ter tido um melhor aproveitamento se o perfil de consumo fosse maior durante o dia, quando ocorria a sua geração de energia.

Já no modelamento do sistema combinado foi permitido reduzir a 96% o uso da termelétrica, correspondendo o seu funcionamento em 970 horas do ano, sendo deste total, apenas 4 horas foram operadas na potência máxima. Consequentemente, foi minimizado em 95,43% a emissão de CO₂, o que representou uma redução de 2.548,27 ton/ano de CO₂.

Não podemos deixar de mencionar que a ilha nunca será totalmente sustentável se não houver um sistema de *backup* e armazenamento de energia elétrica que garanta o atendimento da carga. Diante disso, propusemos um sistema composto por um banco de baterias de lítio, que para o primeiro momento, apesar do modelamento combinado entre as fontes (fotovoltaica e eólica) terem necessitado da contribuição do diesel, o resultado obtido foi muito satisfatório, com 1.908,06 MWh/ano da energia ter sido proveniente desse sistema.

Espera-se que este trabalho incentive a realização de novos estudos na área de energias renováveis para que Fernando de Noronha consiga extinguir o uso de combustíveis fósseis para a geração de eletricidade, evidenciando a possibilidade instalar um modelo sustentável de suprimento energético atrelado a preservação do meio ambiente.

Sugere-se para trabalhos futuros a simulação com diferentes cenários e estudos específicos para o melhor detalhamento do consumo final da energia elétrica que poderia inclusive auxiliar na busca por soluções integradas. A definição do consumo de energia elétrica para aquecimento e climatização abre a possibilidade para determinar soluções alternativas como o uso de coletores solares para aquecimento de água e o emprego de sistemas de climatização com o uso de *chillers* de adsorção integrados a coletores solares evacuados.

REFERÊNCIAS

AES ENERGY. **Sistema Fotovoltaico híbrido (misto)**. Disponível em: http://www.awsenergiasolar.com.br/sistema_misto.html . Acesso em 20 mai. 2019.

AGAN, Nelson; OLIVEIRA, Carlos César Barioni de; ROBBA, Ernesto João. **Introdução aos sistemas de distribuição de energia elétrica**. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2010.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. **Resolução normativa nº 414, de 9 de setembro de 2010**. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2010414.pdf>. Acesso em 26 mai. 2019.

ANDRADE, Liza Maria Souza de; GOMES, Viridiana Gabriel; DIAS, Marcos Borges. **Desafios para o futuro sustentável da ilha de Fernando de Noronha: a visão ecossistêmica da ocupação urbana**. Oculum Ensaios, Campinas, v.9, n. 10, p.86-105, jan./dez. 2009. Disponível em: <http://periodicos.puc-campinas.edu.br/seer/index.php/oculum/article/view/353/333>. Acesso em 01 mai. 2019.

ANDREA VELAME (Org.). **Eficiência Energética e P&D Neoenergia**. 4. ed. Pernambuco: Superintendência de Comunicação Corporativa e Sustentabilidade e Gerência de Eficiência Energética do Grupo Neoenergia, [2018]. 27 p.

ANJOS, Priscilla Sales dos. **Correlações de longo alcance em séries temporais da velocidade do vento e radiação solar em Fernando de Noronha, Brasil**. 2013. 61 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Biometria e Estatística Aplicada, Biometria e Estatística Aplicada, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2013.

AULAS DE ENERGIA. **Usina Solar Noronha II**. Disponível em: <http://aulasdeenergianeoe.com.br/parques-usinas/usina-solar-noronha-ii/>. Acesso em 08 set. 2019.

BANCO DE DADOS DO ESTADO DE PERNAMBUCO. **Consumo de Energia Elétrica**. Disponível em: http://www.bde.pe.gov.br/visualizacao/Visualizacao_formato2.aspx?CodInformacao=416&Cod=3. Acesso em 25 abr. 2019.

BANCO DE DADOS NACIONAL DE RADIAÇÃO SOLAR - NSRBD (Estados Unidos). **TMY**. Disponível em: <https://nsrdb.nrel.gov/tmy>. Acesso em: 29 set. 2019.

BARDELIN, Cesar Endrigo Alves. **Os efeitos do racionamento de energia elétrica ocorrido no Brasil em 2001 e 2002 com ênfase no consumo de energia elétrica**. 2004. 113 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Sistemas de Potência, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

BARSANO, Paulo Roberto; BARBOSA, Rildo Pereira; VIANA, Viviane Japiassú. **Biologia ambiental**. São Paulo: Saraiva, 2014.

BEDINELLI, Talita. **Fernando de Noronha, a praia mais bonita do Brasil, quer deixar de impactar o clima do planeta**. 2018. Disponível em: https://brasil.elpais.com/brasil/2018/03/08/politica/1520467179_394600.html. Acesso em: 26 set. 2019.

BLAIR, Nate et al. **System Advisor Model, SAM 2014.1.14: General Description**. United States: U.s. Department Of Energy, 2014.

BRASIL INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE :: ICMBIO. **Plano de Manejo da Área de Proteção Ambiental de Fernando de Noronha - Rocas - São Pedro e São Paulo**. Brasília, 2017. 156 p.

BRASIL, Ministério de Minas e Energia, Empresa de Pesquisa Energética. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2027** / Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa. Energética. Brasília: MME/EPE, 2018. 2v.: il.

BRASIL. AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Atlas de Energia Elétrica do Brasil**. Brasília: Aneel, 2002. 199 p.

BRASIL. COMANDO DA AERONÁUTICA. **Gráfico de Velocidade e Direção do Vento**. 2017. Disponível em: <http://clima.icea.gov.br/clima/RelVelDirVento_MesesSeguidos-Grafico.php>. Acesso em: 15 jun. 2019.

BRASIL. COMANDO DA AERONÁUTICA. **Gráfico de Vento Máximo**. 2017. Disponível em: <http://clima.icea.gov.br/clima/RelVentoMaximo_MesesSeguidos-Grafico.php>. Acesso em: 15 jun. 2019.

BRASIL. **Decreto nº 96.693, de 14 de setembro de 1988**. Brasília, Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1980-1989/D96693.htm. Acesso em 12 mai. 2019.

BRASIL. Decreto nº 92755, de 05 de junho de 1986. **Decreto Nº 92.755, de 5 de Junho de 1986.** Brasília, Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1980-1989/1985-1987/D92755.htm>. Acesso em: 01 mai. 2019.

BRASIL. INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO - PNUD. **Plano de Manejo da APA Fernando de Noronha – Rocas – São Pedro e São Paulo**. Brasília, [2005]. 224 p.

BRASIL. INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS :: IBAMA. PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO – PNUD. **Plano de Manejo da Área de Proteção Ambiental de Fernando de Noronha - Rocas - São Pedro e São Paulo**. Brasília.

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE; SECRETARIA DA BIODIVERSIDADE E FLORESTA. **Biodiversidade Brasileira**. Avaliação e identificação de áreas e ações prioritárias para conservação, utilização sustentável e repartição dos benefícios da biodiversidade nos biomas brasileiros. Brasília, 2002.

BRASIL. **Resolução CONAMA nº 001, de 23 de janeiro de 1986**. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/res/res86/res0186.html>. Acesso em 26 mai. 2019.

BRASIL. SECRETARIA DE BIODIVERSIDADE E FLORESTAS. **Biodiversidade Brasileira: Avaliação e identificação de áreas e ações prioritárias para conservação,**

utilização sustentável e repartição dos benefícios da biodiversidade nos biomas brasileiros. Brasília: Mma/sbf, 2002. 91 p.

BYD COMPANY LIMITED. **P6K-36-SÉRIE-5BB.** Disponível em: http://www.byd.ind.br/wp-content/uploads/2018/11/0618bc_02ce1626e80f425da28874e67afa5ff9.pdf. Acesso em 19 set. 2019.

CALIJURI M. & CUNHA D. **Engenharia Ambiental: conceitos, tecnologia e gestão.** Rio de Janeiro: Elsevier, 2013.

CALIJURI, Maria do Carmo; CUNHA, Davi Gasparini Fernandes (Org.). **Engenharia Ambiental: Conceitos, Tecnologia E Gestão.** 3. ed. Rio de Janeiro: Elsevier Editora Ltda, 2013. 789 p.

CÂMARA DE COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA (Brasil) (Ed.). **Fontes.** Disponível em: https://www.ccee.org.br/portal/faces/pages_publico/onde-atuamos/fontes?_afzLoop=516490759740532&_adf.ctrl-state=137bmy0pk_1#!%40%40%3F_afzLoop%3D516490759740532%26_adf.ctrl-state%3D137bmy0pk_5. Acesso em: 29 ago. 2019.

CENTRAIS ELÉTRICAS BRASILEIRAS S.A. – ELETROBRAS. **Plano Anual de Operação dos Sistemas Isolados para 2016.** Rio de Janeiro: Secretaria Executiva do Gton - Sgton, 2015.

CHRISTÓFARO, Bruno Ramos. **Estudo do potencial eólico em offshore para a geração de energia elétrica no litoral do paranÁ.** 2010. 99 f. TCC (Graduação) - Curso de Oceanografia, Universidade Federal do ParanÁ, ParanÁ, 2010.

CLIMATE. **Fernando de Noronha.** Disponível em: http://climate.onebuilding.org/WMO_Region_3_South_America/BRA_Brazil/index.html. Acesso em: 15 abr. 2019.

COMPANHIA DE ELETRICIDADE DE PERNAMBUCO – CELPE. **Ilha Inteligente.** Disponível em: <https://neoenegiasustentavel.com.br/ilha-inteligente/>. Acesso 16 mai. 2019.

COPEL. **Demanda.** Disponível em: <https://www.copel.com/hpcopel/root/nivel2.jsp?endereco=%2Fhpcopel%2Faltatensao%2Fpagcopel2.nsf%2Fdocs%2FF5EAD992942579F903257EBB0042F764>. Acesso em: 20 ago. 2019.

COSTA, Ricardo Cunha da; PRATES, ClÁudia Pimentel T. **O papel das fontes renovÁveis de energia no desenvolvimento do setor energÉtico e barreiras à sua penetração no mercado.** 21. ed. Rio de Janeiro: Bndes, 2005. 27 p.

CPT/CEPEL. **Energia eólica para geração de eletricidade e bombeamento de Água.** 2001.

DETALHES E PORMENORES. **Breve Glossário das Alterações Climáticas.** Disponível em: <https://detalhesepormenores.wordpress.com/2009/12/12/breve-glossario-das-alteracoes-climaticas/>. Acesso em 26 mai. 2019.

DUPONT, Fabrício Hoff; GRASSI, Fernando; ROMITTI, Leonardo. **Energias RenovÁveis: buscando por uma matriz energÉtica sustentável.** Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental, Santa Maria, v. 19, n. 1, p.70-81, ago. 2015.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE. **Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2012**. Rio de Janeiro, 2012.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE. **Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2014**. Rio de Janeiro, 2014

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE. **Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2015**. Rio de Janeiro, 2015

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE. **Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2017**. Rio de Janeiro, 2017

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE. **Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2018**. Rio de Janeiro, 2018

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE. **Balanco energético nacional 2018**: Rio de Janeiro: Slide, 2018. 62 slides, color.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. **Expansão da Geração**. Disponível em: <http://epe.gov.br/pt/areas-de-atuacao/energia-eletrica/expansao-da-geracao>. Acesso em 26 mai. 2019.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. **Fontes**. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/pt/areas-de-atuacao/energia-eletrica/expansao-da-geracao/fontes>. Acesso em 07 set. 2019.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. **Matriz Energética e Elétrica**. Disponível em: <http://epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>. Acesso 16 mai. 2019.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA –EPE. **Anuário Estatístico de Energia Elétrica Interativo**. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/anuario-estatistico-de-energia-eletrica-interativo>. Acesso em 27 mai. 2019.

FADIGAS, Eliane A. Faria Amaral. **Energia Eólica**. Barueri: Manole, 2011. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788520446539/pageid/0>. Acesso em: 18 mai. 2019

FREITAS, Daniel Sarmiento de; MASCARENHAS, Ana Christina Romano; ALMEIDA, Marcelo Pinho. **Análise de Impactos na Integração de Usinas Fotovoltaicas ao Sistema Elétrico Isolado da Ilha de Fernando de Noronha**. Xxii Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica, Curitiba, p.1-11, nov. 2016. Disponível em: <http://www.sendi.org.br/sendi2016/wp-content/uploads/2016/12/4374.pdf>. Acesso em: 08 set. 2019.

GALINDO, Joaci. **Uma abordagem sobre a implantação de sistemas energéticos solares e eólicos em Pernambuco**. 2007. 144 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geografia, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2007.

GALVÃO, Ivana Ferreira. **Estudo de Potencial de Instalação de Usinas Fotovoltaicas no Estado de Goiás Utilizando SIG**. 2017. 44 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade Federal de Goiás, Goiás, 2017.

GAZETA DO POVO. **Nova geração de turbinas eólicas gigantes chega ao Brasil.** Disponível em: <https://www.gazetadopovo.com.br/economia/energia-e-sustentabilidade/busca-por-energia-limpa-leva-parques-eolicos-para-o-alto-mar-9etfm6bu0cuy5kaz393gm6h3d/>. Acesso em 19 mai. 2019.

GENERAL CABLE. Cabos para instalações de energia solar fotovoltaica: Para uma energia limpa. São Paulo, 2016.

GEOGRÁFICA, Climatologia. **Circulação dos Ventos em Tempo Real.** 2019. Disponível em: <<https://climatologiageografica.com/previsao-atmosferica-em-tempo-real/>>. Acesso em: 06 out. 2019.

GEOSGB. Serviços Geológicos do Brasil. **Plataforma Insular do Arquipélago Fernando de Noronha.** Disponível em: <http://geosgb.cprm.gov.br/downloads/>. Acesso em: 15 abr. 2019.

GIL, Antônio Carlos. **Métodos e Técnicas de Pesquisa Social.** 6. ed. São Paulo: Editora Atlas, 2008.

GIZ. INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT. **Energias Renováveis e Eficiência Energética - Energia Solar para Fernando de Noronha.** 2014. Disponível em: https://energypedia.info/images/a/a0/Infosheet_-_Energia_Solar_para_Fernando_de_Noronha.pdf. Acesso 25 abr. 2019

GOLDEMBERG, José; LUCON, Oswaldo. **Energia e meio ambiente no Brasil.** São Paulo, 2007.

GOVERNO DO ESTADO DE PERNAMBUCO. **Fernando de Noronha.** Disponível em: http://www.noronha.pe.gov.br/instHistoria_02.php. Acesso em 01 mai. 2019.

HELIUS ENERGY. **Como fazer o cabeamento elétrico dos módulos fotovoltaicos.** Disponível em: https://www.heliusenergy.com.br/helius_uni/. Acesso em 27 mai. 2019.

HINRICHS, Roger; KLEINBACH, Merilin H.; REIS, Lineu Belico dos. **Energia e meio ambiente.** São Paulo: Cengage Learning, 2011.

IBA, Chigueru; FRAIDENRAICH, Naum (Org.). Atlas Solarimétrico do Brasil: Banco de Dados Terrestres. 2. ed. Recife: Ed. Universitária da Ufpe, 2000. 116 p.

IBGE. **Fernando de Noronha.** Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pe/fernando-de-noronha/panorama> Acesso em 25 abr. 2019.

IEA. **Statistics Global energy data at your fingertips.** Disponível em: <https://www.iea.org/statistics/?country=WORLD&year=2016&category=Electricity&indicator=RenewGenBySource&mode=chart&dataTable=RENEWABLES>. Acesso 16 mai. 2019.

KAGAN, Nelson; OLIVEIRA, Carlos César Barioni de; ROBBA, Ernesto João. **Introdução aos sistemas de distribuição de energia elétrica.** 2. ed. São Paulo: Blucher, 2010.

LAGE, Elisa Salomão; PROCESSI, Lucas Duarte. **Panorama do setor de energia eólica.** [São Paulo]: BNDES, 2013. 24 p.

- MANWELL, James F.; MCGOWAN, Jon G.; ROGERS, Anthony L. **Wind Energy Explained: Theory, design and application**. 2. ed. Massachusetts: John Wiley Sons Ltda, 2006.
- MARA, Carlos Fernando. **Sistemas Fotovoltaicos Conectados À Rede Elétrica**. 2011. 68 f. Monografia (Especialização) - Curso de Formas Alternativas de Energia, Universidade Federal de Lavras,, Lavras, 2011.
- MARCONI, M. de A.; LAKATOS, E. M. **Metodologia do Trabalho Científico: procedimentos básicos, pesquisa bibliográfica, projeto e relatório, publicações e trabalhos científicos**. 1. ed. 21 reimp. São Paulo: Atlas, 2012.
- Ministério de Minas e Energia – MME. **Série Energias Renováveis: Eólica**. Itajubá: Fapepe, 2007. 48 p.
- MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. (Brasil). Empresa de Pesquisa Energética - Epe. **Plano Nacional de Energia 2030**. Brasília: -, 2007.
- MOHR, Leonardo Vianna et al (Org.). **Ilhas Oceânicas Brasileiras: da Pesquisa ao Manejo**. 2. ed. Brasília: MMA/secretaria de Biodiversidade e Florestas, 2009. 503 p.
- MONTEIRO, Andressa Lorayne; NETTO, Ulisses Chemin; SOUZA, Muryllo Amalio de. **Utilização do software Homer para análise da viabilidade econômica de um sistema híbrido de geração na ilha do mel**. Revista Brasileira de Energia, Paraná, v. 24, n. 4, p.58-70, 2018.
- NAPOLEÃO, Guilherme Bruno; NETO, Alcides Codeceira. Análise de Fluxo de Carga e Energia Gerada no Sistema Isolado da Ilha de Fernando de Noronha. Revista de Engenharia e Pesquisa Aplicada, Recife, v. 3, n. 1, p.3-10, 2016.
- NEOENERGIA. **Integração de Usinas Fotovoltaicas ao Sistema Elétrico Isolado da Ilha de Fernando de Noronha**. [Fernando de Noronha]: Slide, 2018. Color. Elaborado por Daniel Sarmento de Freitas.
- NEOERGIA. **Ilha Inteligente**. Disponível em: <https://neoenergiasustentavel.com.br/ilha-inteligente/>. Acesso em 25 abr. 2019.
- OLIVEIRA, Adriana de Souza. **Avaliação de impactos ambientais do módulo fotovoltaico: produção e uso como fonte de energia elétrica**. 2017. 77 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências Mecânicas, Departamento de Engenharia Mecânica, Faculdade de Tecnologia Universidade de Brasília, Brasília, 2017.
- ONS. OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO. **Consolidação da previsão da carga para o plano anual da operação energética dos sistemas isolados -PEN SISOL 2019**. Rio de Janeiro: ONS, 2018.
- ONS. OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO. **Resultados da Operação**. Disponível em: <http://ons.org.br/paginas/resultados-da-operacao/historico-da-operacao>. Acesso em 01 mai. 2019.
- PACHECO, Fabiana. **Energias Renováveis: breves conceitos**. Conjuntura e Planejamento, Salvador, v. 4, n. 149, p.4-11, out. 2006.

PALHANO, Felipe Molinari. **Estudo de viabilidade econômica para implantação de usinas termossolares com armazenamento térmico utilizando simulador digital**. 2018. 74 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018.

PINTO, Milton de Oliveira. **Energia elétrica: Geração, transmissão e sistemas interligados**. Rio de Janeiro: Ltc — Livros Técnicos e Científicos Editora Ltda, 2018. Disponível em: <[https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/978-85-216-2526-1/epubcfi/6/36\[vnd.vst.idref=chapter03\]!/4/2/4@0:0](https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/978-85-216-2526-1/epubcfi/6/36[vnd.vst.idref=chapter03]!/4/2/4@0:0)>. Acesso em: 18 abr. 2019.

PINTO, Milton. **Fundamentos de energia eólica**. Rio de Janeiro: Ltc __ Livros Técnicos e Científicos Editora Ltda., 2013. Disponível em: <<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/978-85-216-2193-5/pageid/0>>. Acesso em: 18 mai. 2019.

REDIMAX. **Sistemas isolados – Off Grid**. Disponível em: <https://redimax.com.br/noticias/sistemas-isolado-off-gird/> . Acesso em 20 mai. 2019.

REIS, André Luiz dos. **Influência da rugosidade do terreno para o perfil vertical do vento**. 2016. 77 f. TCC (Graduação) - Curso de Ciências Atmosféricas, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2016.

REIS, Lineu Belico dos. **Geração de energia elétrica**. 3. ed. [São Paulo]: Manoele, 2017.

Relatório da situação das energias renováveis e eficiência energética na SADC. França: Ren21, 2018.

REN21. Renewables 2018 Global Status Report. França: Ren21, 2018.

ROSAS, Pedro et al. **Developing a Supervisory Controller for Hybrid Power System: Fernando de Noronha Island Case**. Renewable Energy And Power Quality Journal, [s.l.], p.1147-1151, mar. 2013. AEDERMACP (European Association for the Development of Renewable Energies and Power Quality). <http://dx.doi.org/10.24084/repqj11.558>.

SALLES, Ana Cláudia Nioac de. **Metodologias de Análise de Risco para Avaliação Financeira de Projetos de Geração Eólica**. 2004. 93 f. Tese (Doutorado) - Curso de Planejamento Energético, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004.

SANTOS, Marco Aurélio dos (Org.). **Fontes de energia nova e renovável**. Rio de Janeiro: Editora Eletrônica: Get Designed, 2013. Disponível em: <[https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/978-85-216-2474-5/epubcfi/6/32\[vnd.vst.idref=cap_5.xhtml\]!/4/2/2@0:0](https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/978-85-216-2474-5/epubcfi/6/32[vnd.vst.idref=cap_5.xhtml]!/4/2/2@0:0)>. Acesso em: 15 mai. 2019.

SCHMIDT, Cristiane Alkmin Junqueira; LIMA, Marcos A. M.. **A Demanda por Energia Elétrica no Brasil**. Rio de Janeiro: Rbe, 2004. 32 p.

SILVA, Neilton Fidelis da. **Fontes de energia renováveis complementares na expansão do setor brasileiro: o caso da energia eólica**. 2006. 267 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciências em Planejamento Energético, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

SILVEIRA, E. F. (2013). **Cenários de geração renovável em Fernando de Noronha**. Dissertação de Mestrado em Ciências Mecânicas, Publicação ENM.DM – 204A/2013, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 93p.

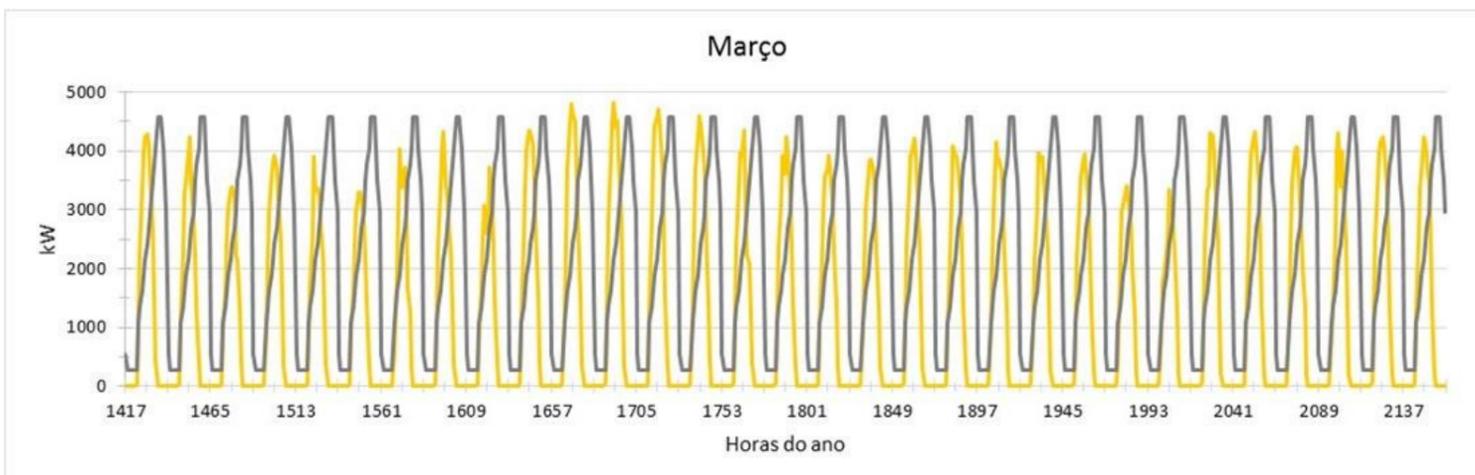
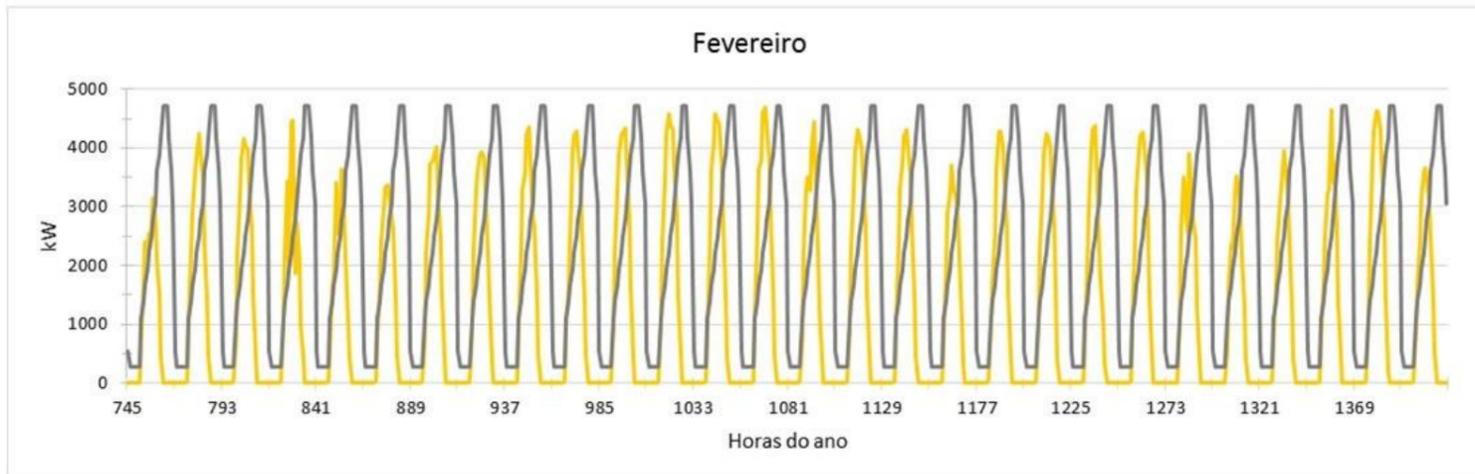
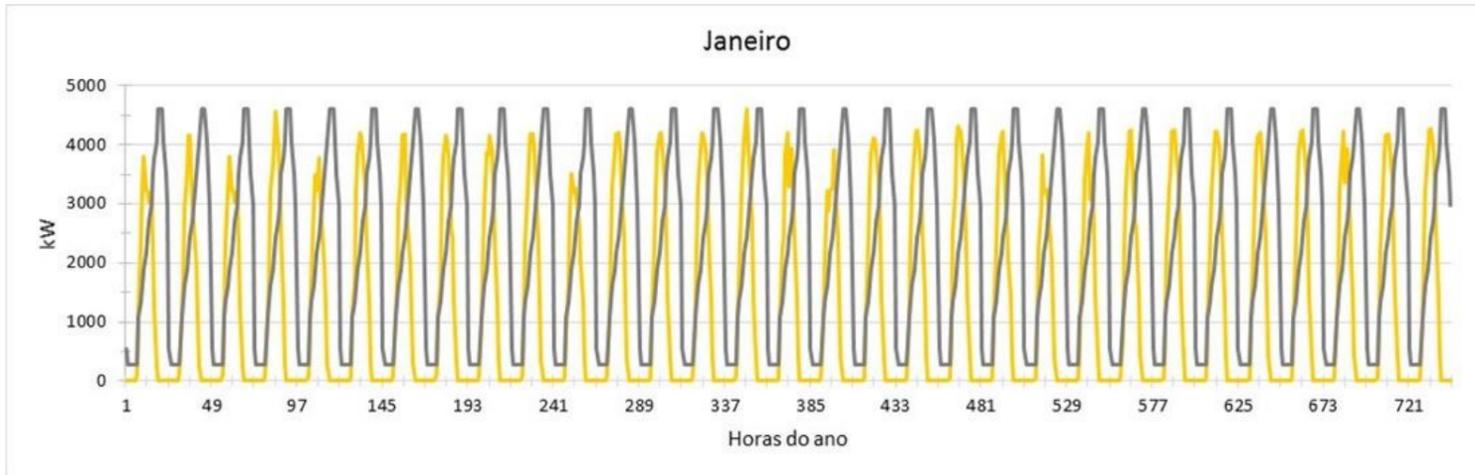
SONDA. Sistema de Organização Nacional de Dados Ambientais. **Vento em aeroportos**. Disponível em http://sonda.ccst.inpe.br/basedados/vento_aeroportos.html#2400sz02. Acesso em 20 mai. 2019.

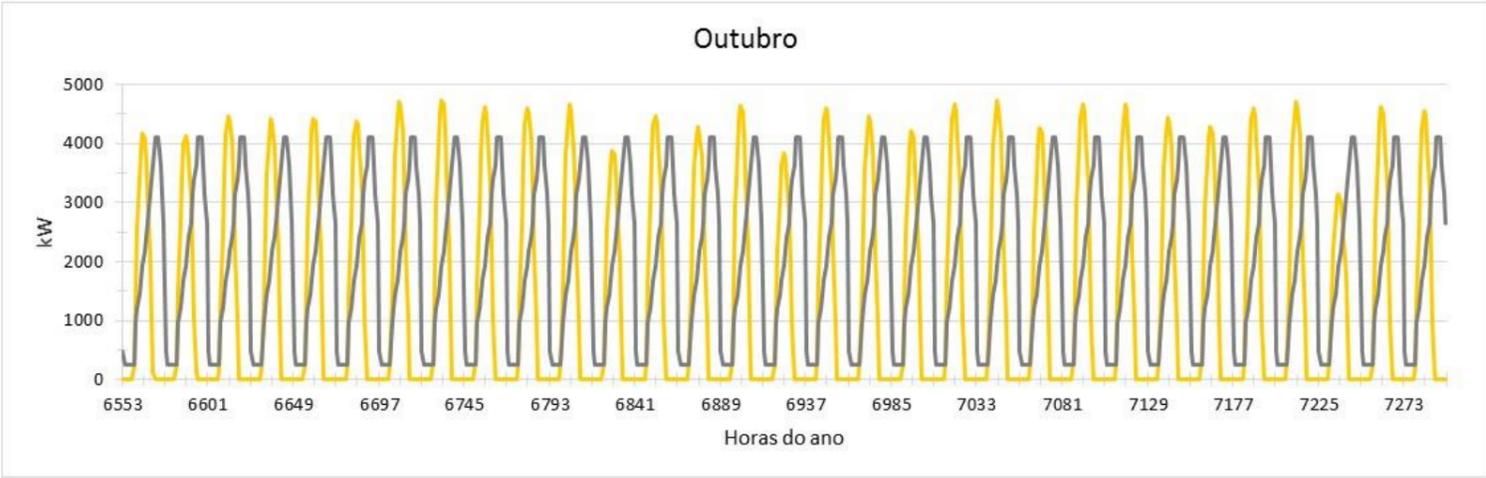
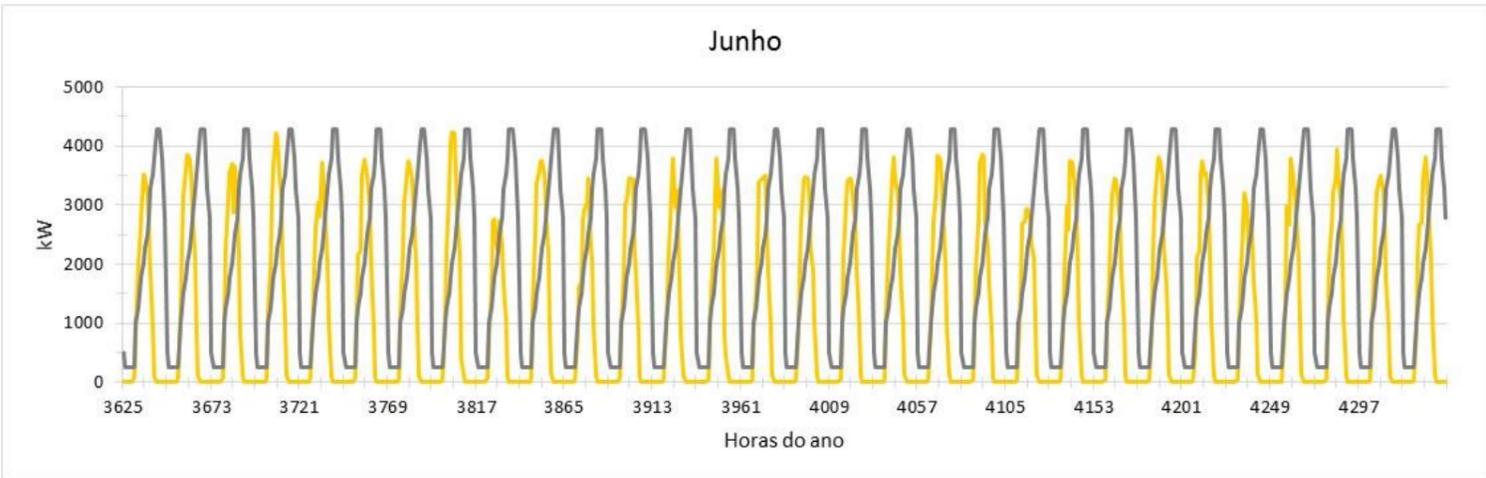
SWERA Solar and Wind Energy Resource Assessment. **Global Solar Atlas**. Disponível em: <<https://globalsolaratlas.info/>>. Acesso em: 15 set. 2019.

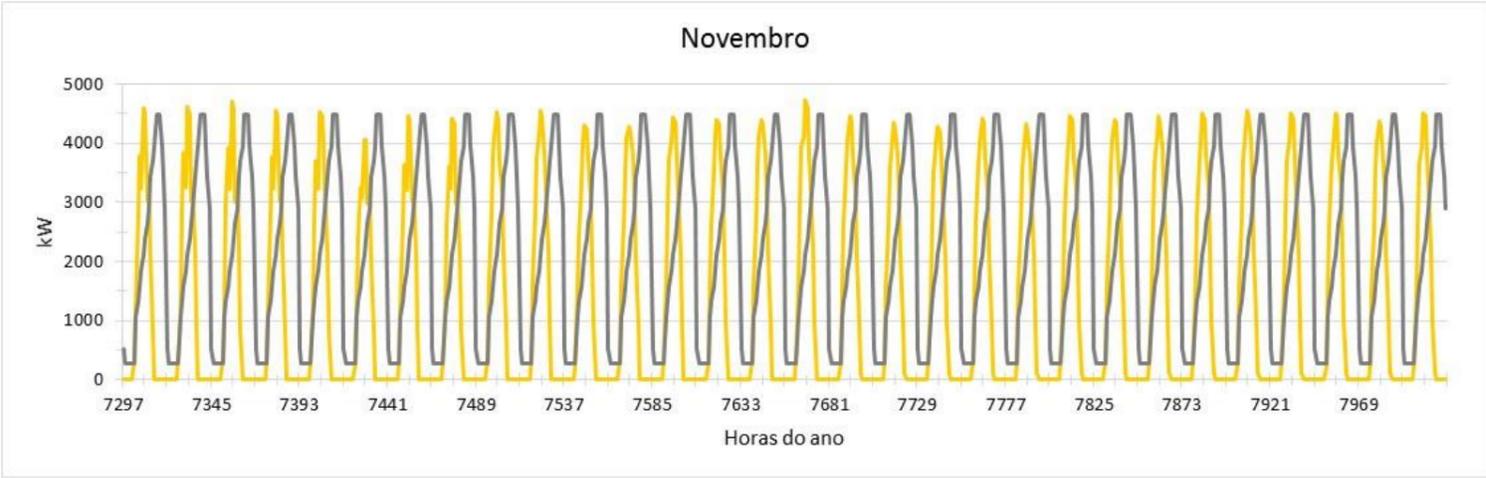
VILLALVA, Marcelo Gradella. **Energia solar fotovoltaica: conceitos e aplicações: Sistemas Isolados e Conectados à Rede**. 2. ed. São Paulo: Saraiva, 2015. Disponível em: <<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788536518541/pageid/0>>. Acesso em: 18 mai. 2019.

APÊNDICES

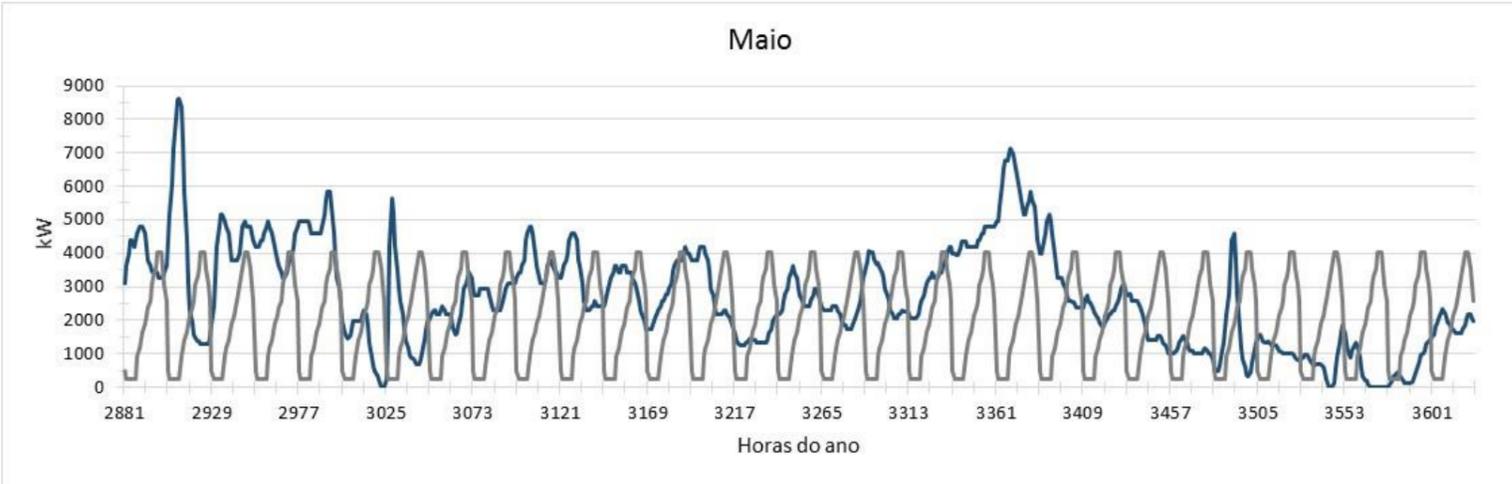
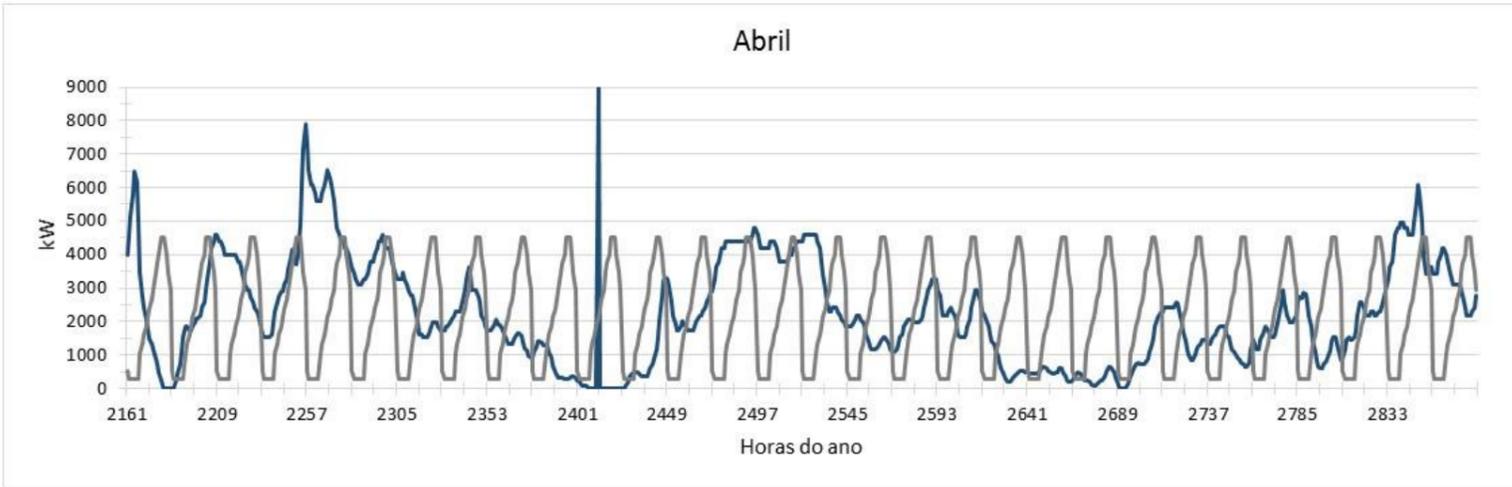
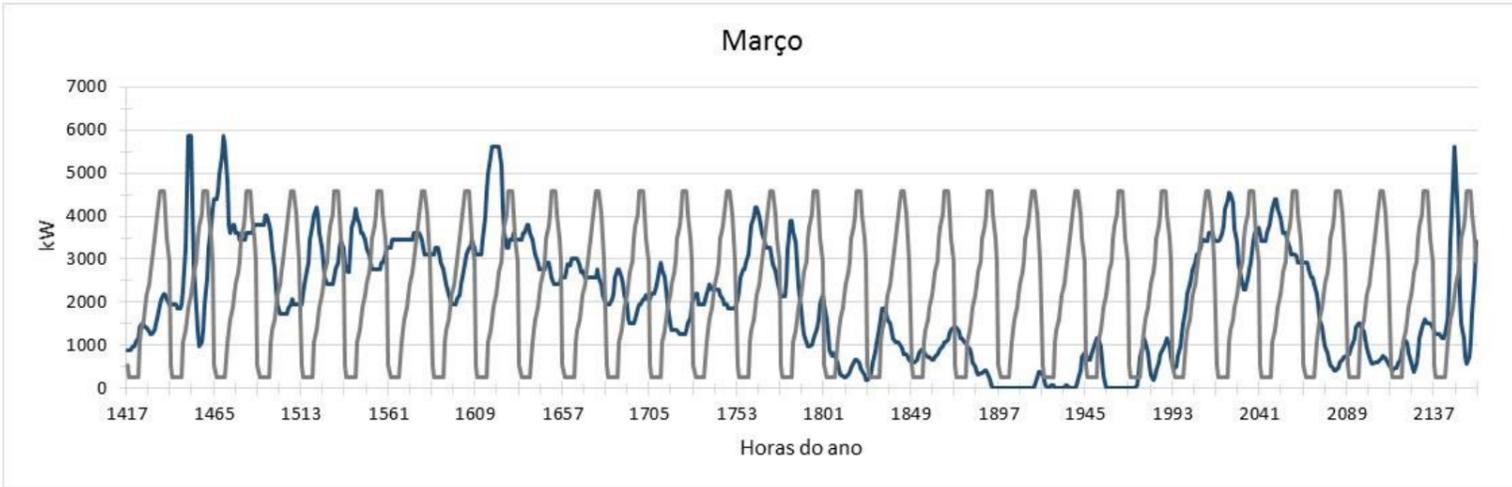
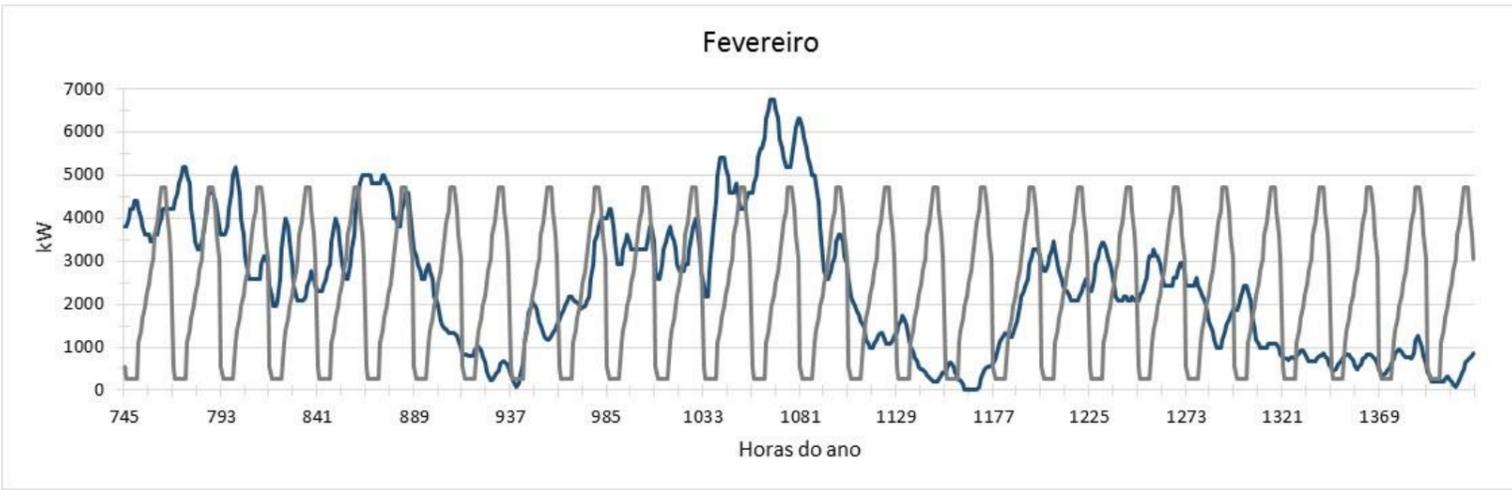
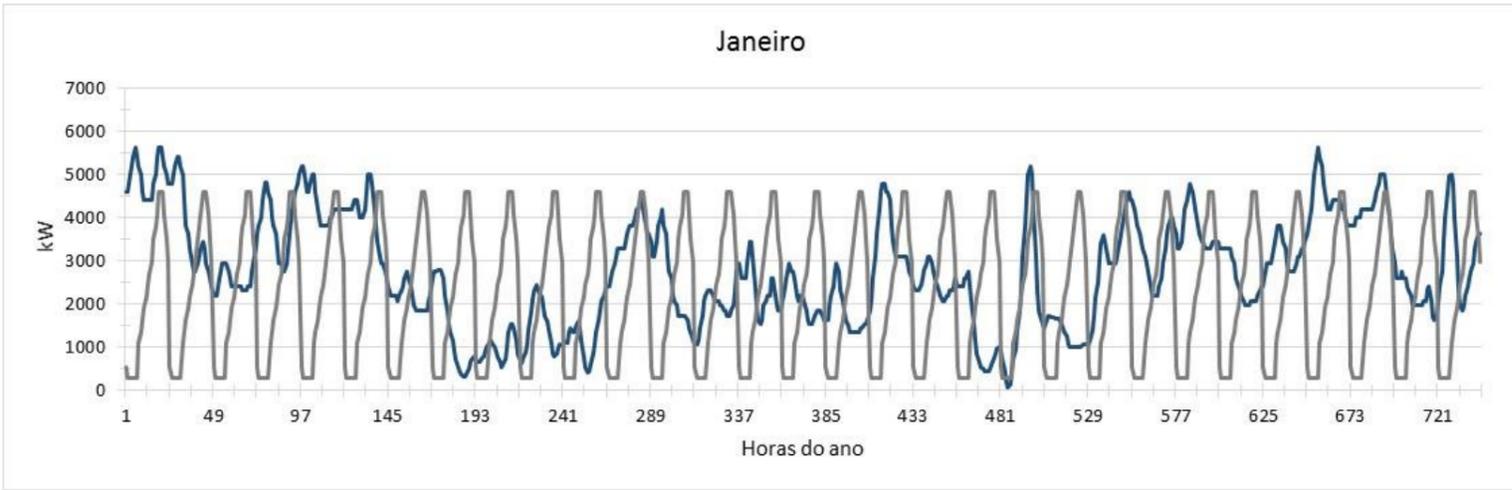
APÊNDICE A – Gráfico da geração de energia da matriz fotovoltaica para o cenário combinado

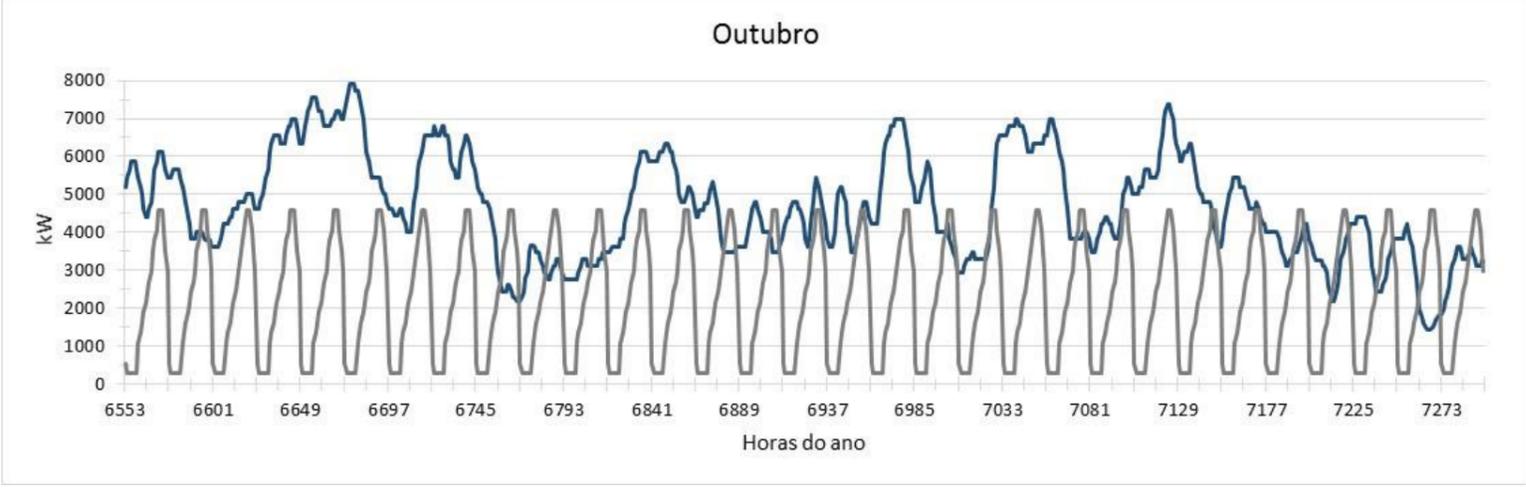
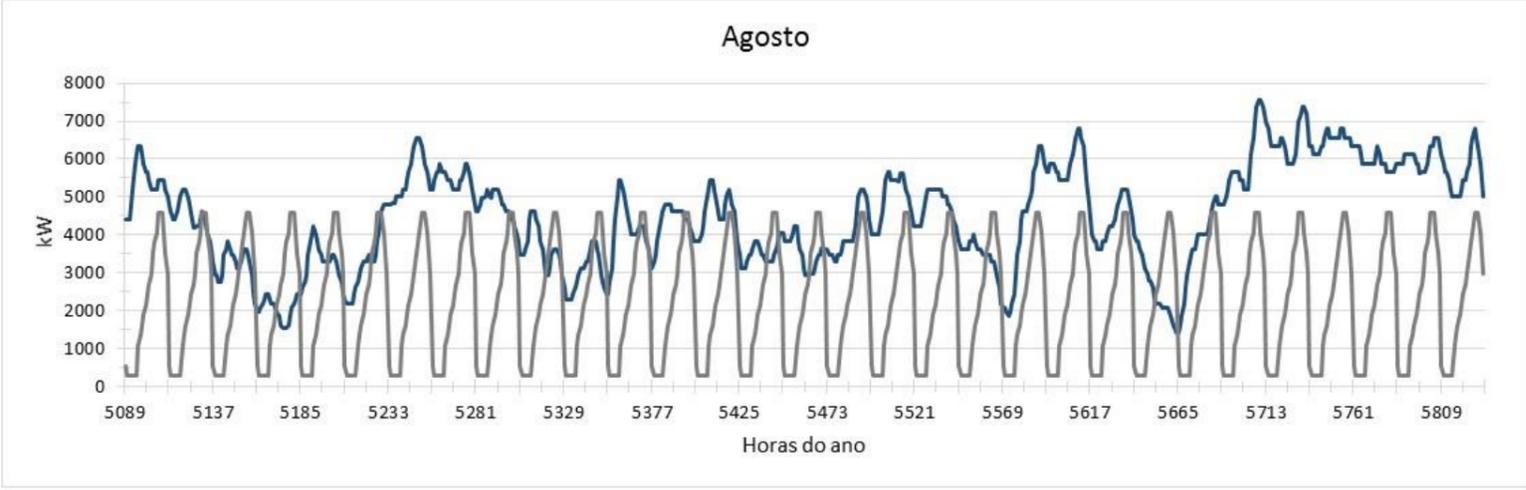
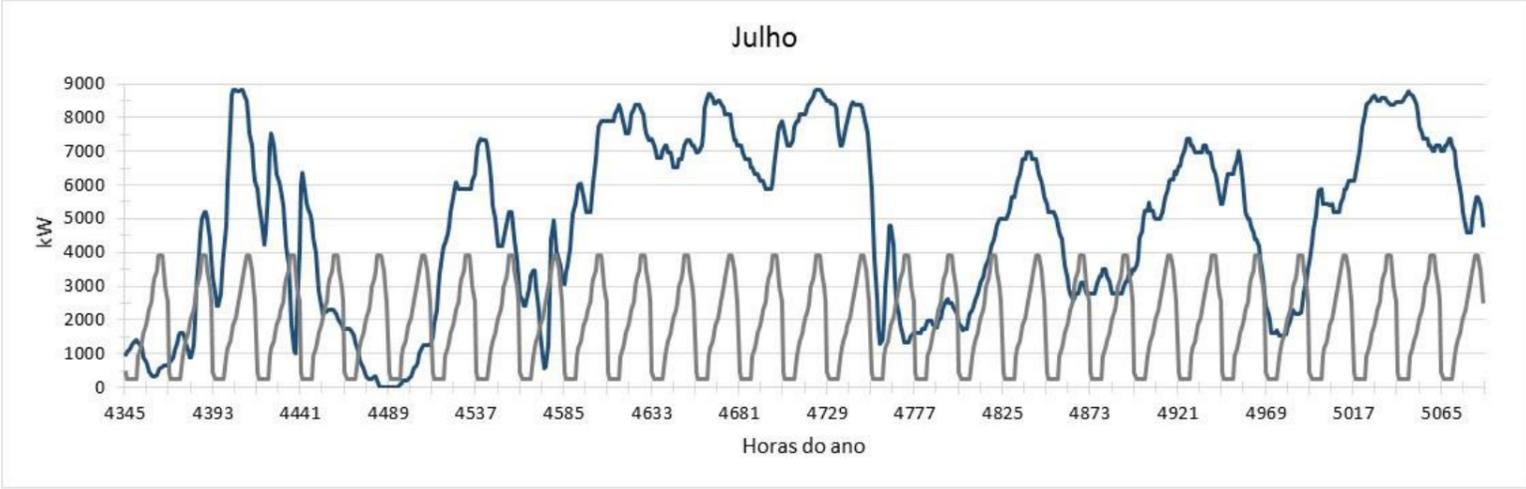
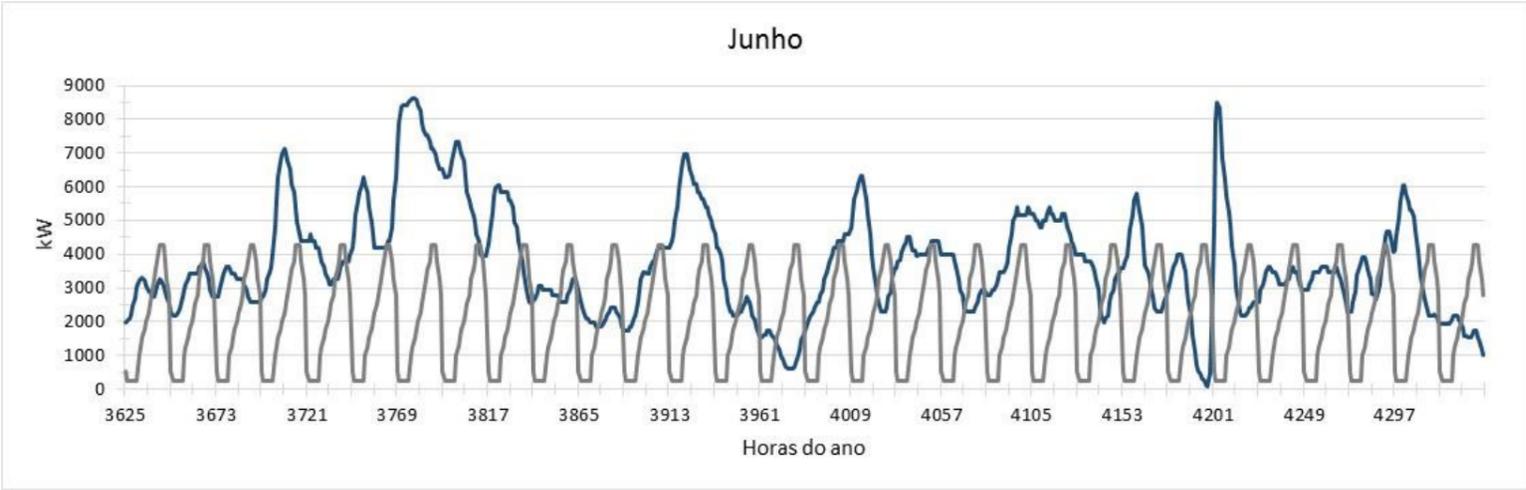






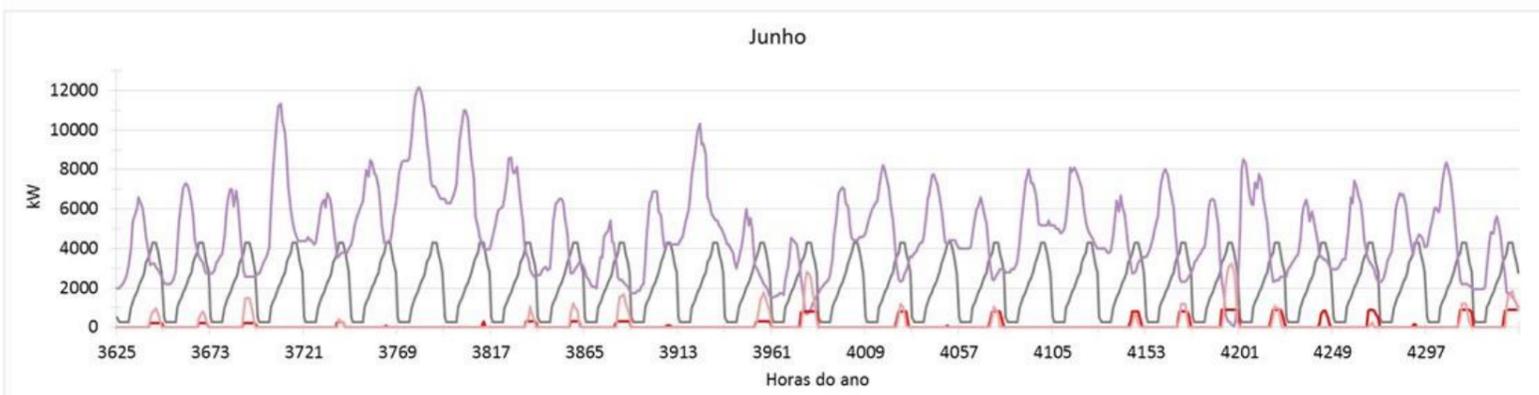
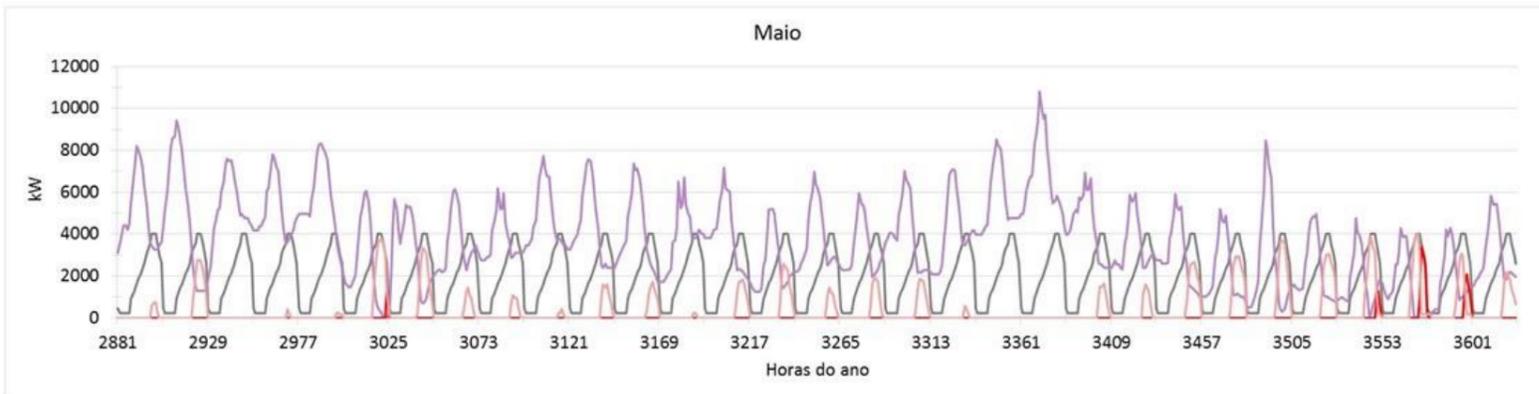
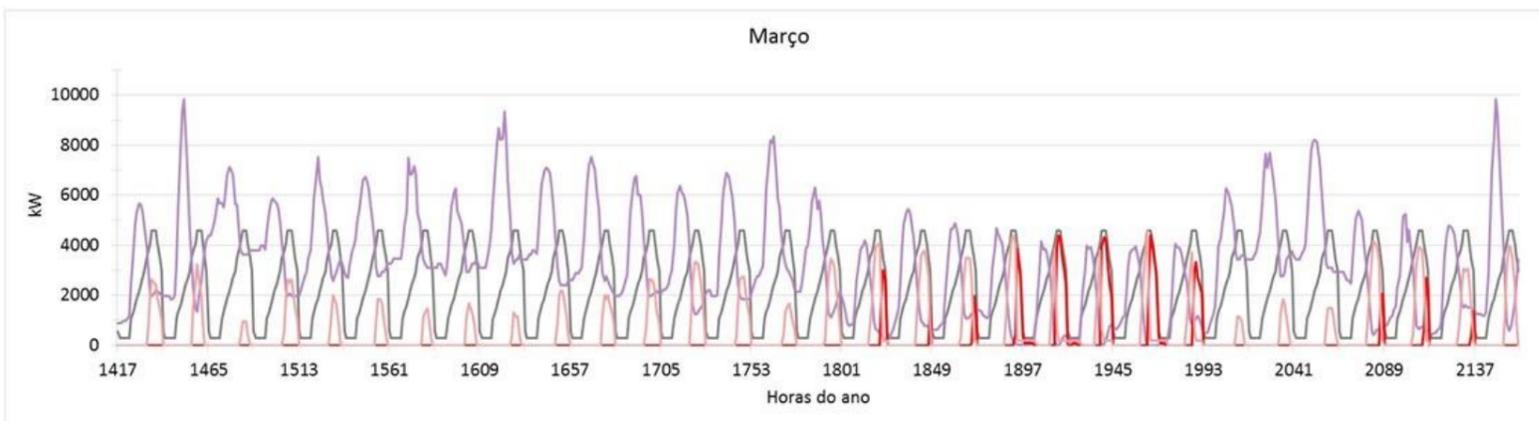
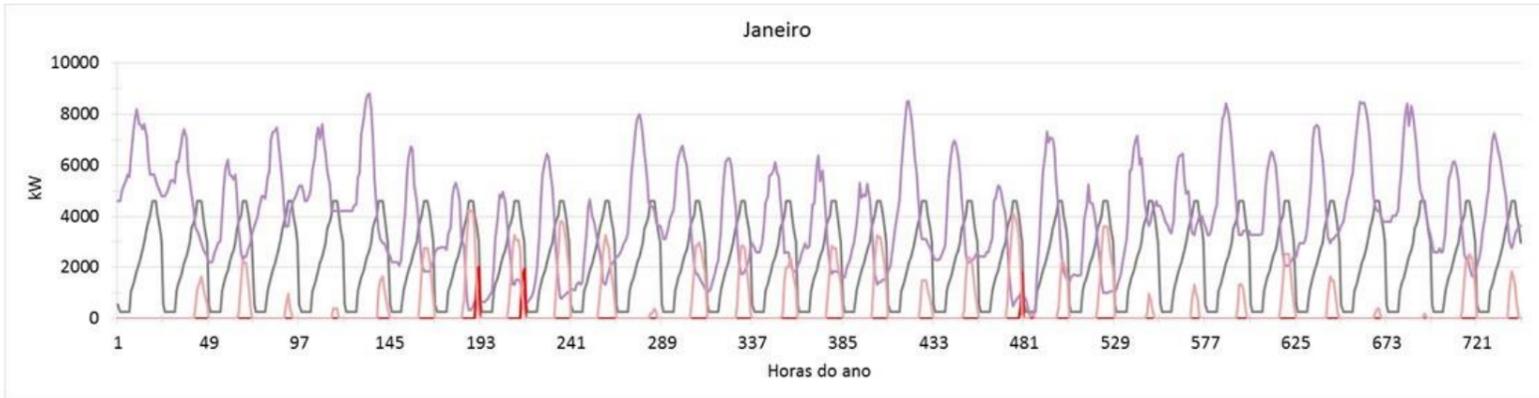
APÊNDICE B – Gráfico da geração de energia pelo parque eólico para o cenário combinado

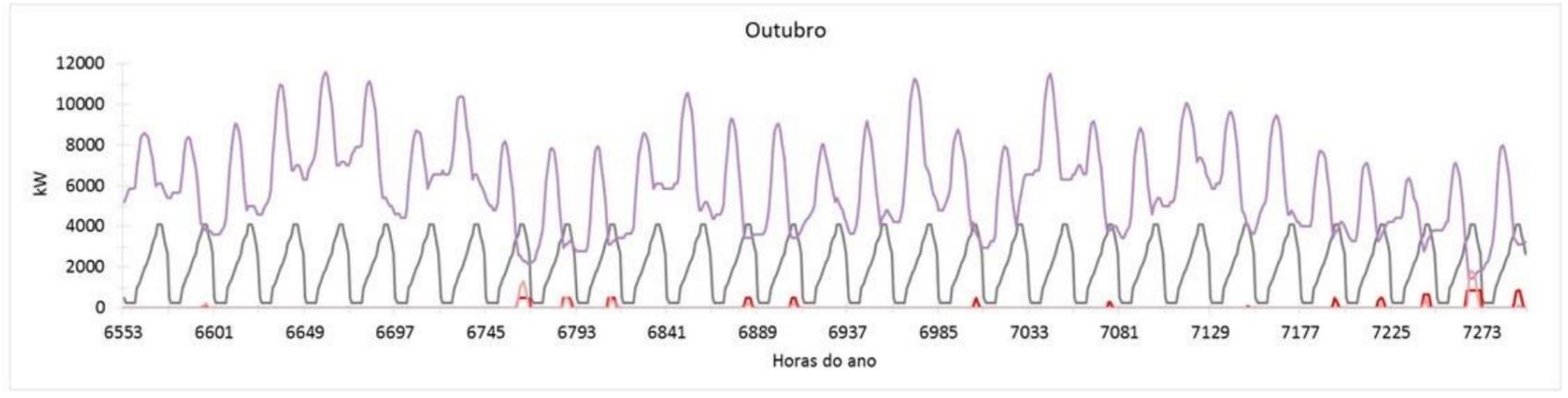
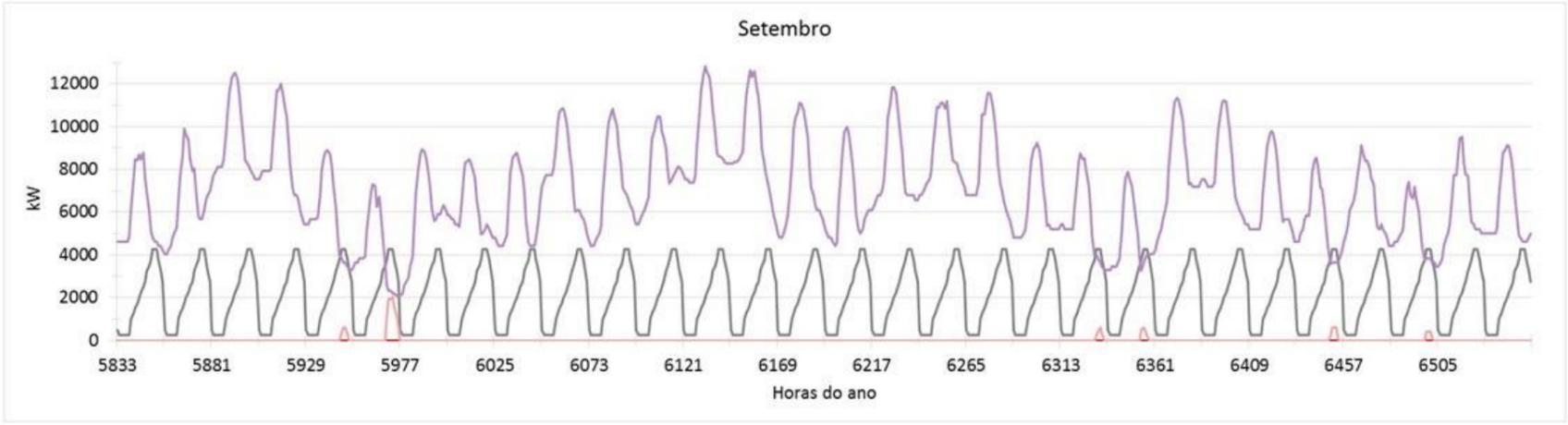






APÊNDICE C– Gráfico total de geração de energia do cenário combinado





APÊNDICE D- Gráfico do desempenho do sistema de backup das baterias

