



**ALECTOR EMANUEL MONTEIRO SANTOS**

**ENERGIA EÓLICA NA ILHA DO MAIO EM CABO VERDE**

**LAVRAS-MG  
2021**

**ALECTOR EMANUEL MONTEIRO SANTOS**

**ENERGIA EÓLICA NA ILHA DO MAIO EM CABO VERDE**

Trabalho de Conclusão do Curso apresentado a Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Engenharia de Controle e Automação, para a obtenção do título de Bacharel.

Prof. Dr. Joaquim Paulo da Silva  
Orientador

**LAVRAS-MG  
2021**

**Ficha catalográfica elaborada pela Coordenadoria de Processos Técnicos da Biblioteca Universitária da UFLA**

Alector Emanuel Monteiro Santos.

Energia Eólica na Ilha do Maio em Cabo Verde / Alector Emanuel Monteiro Santos. – Lavras: UFLA, 2021.

TCC(graduação) - Universidade Federal de Lavras, 2021.

Orientador: Prof. Dr. Joaquim Paulo da Silva

Bibliografia.

1. TCC. 2. Monografia. 3. Dissertação. 4. Tese. 5. Trabalho Científico – Normas. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD-808.066

**ALECTOR EMANUEL MONTEIRO SANTOS**

**ENERGIA EÓLICA NA ILHA DO MAIO EM CABO VERDE**

Trabalho de Conclusão do Curso apresentado a Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Engenharia de Controle e Automação, para a obtenção do título de Bacharel.

APROVADO em 26 de Novembro de 2021.

Prof. Dr. Joaquim Paulo da Silva  
Prof. Dra. Silvia Costa Ferreira  
Prof. Dr. Robson André Armindo

**LAVRAS-MG**  
**2021**

*A Deus e à minha família.  
Dedico*

## **AGRADECIMENTOS**

Meu principal agradecimento à Deus, pelo dom da vida e a paz concedida nos momentos em que encontrei sem forças para prosseguir, pela sua Real presença ao meu lado ao longo desta jornada.

Minha gratidão à minha família, pelo carinho e cuidado em todos os momentos, pelo suporte inigualável dos meus pais Alecto Emanuel Santos Semedo e Maria de Fátima Gomes Monteiro e de todos os meus irmãos. Tenho a consciência de que sem o vosso incentivo, apoio e compreensão nada disso seria possível.

Ao meu orientador Professor Doutor Joaquim Paulo da Silva, agradeço por toda dedicação, disponibilidade para elaboração deste trabalho. Por todo conhecimento transmitido.

À FICASE pela concessão da bolsa de estudos.

À Universidade Federal de Lavras pelas oportunidades proporcionadas durante a graduação.

Obrigado também a todos os meus amigos e colegas pelo apoio, companheirismo e amizade durante esta etapa de vida, pelos momentos fantásticos proporcionados.

Agradeço ainda a todos os que de uma forma ou de outra tiveram relevância durante alguma fase do meu percurso acadêmico, permitindo/ajudando que eu alcançasse este sonho.

A todos, o meu muito obrigado!

*“O vento assopra onde quer. Tu o ouves, mas não sabes de onde vem, nem para onde vai.”* **João 3:8**

## RESUMO

No derradeiro século que vivemos, cada vez mais vem crescendo o interesse na exploração de energia renovável como fonte de produção de energia, principalmente a elétrica. Tal interesse não passa desguarnecido pelas ilhas de Cabo Verde, país identificado pela escassez de recursos naturais como petróleo, o que o deixa a ser dependente das importações dos combustíveis fósseis para a produção de energia elétrica. Por outro lado, o país possui ótimas condições de aproveitamento de recursos renováveis principalmente eólica e solar. Atualmente os maiores desafios da sociedade estão relacionados, por um lado com questões ambientais e por outro lado a instabilidade no preço de combustíveis fósseis. Neste âmbito, surgem as energias renováveis como resposta às preocupações mencionadas. Reconhecendo Cabo Verde por seus excelentes indicadores relacionados a recursos renováveis, torna-se propício fazer o máximo de aproveitamento desses recursos de forma a diminuir a dependência do petróleo na produção de eletricidade e devidas as questões ambientais. Visando permitir uma descarbonização da matriz energética local, torna-se inevitável a integração de fontes renováveis como alternativa de produção de energia. Hoje mais do que nunca, há um incentivo e uma necessidade maior de diminuir as emissões de carbono na atmosfera em qualquer área de produção. O propósito deste trabalho foi estudar a energia eólica na ilha do Maio em Cabo Verde, analisando os impactos socioeconômicos e ambientais que teriam sucedido na ilha. A escolha e pertinência do tema advém da percepção de que em algumas ilhas de Cabo Verde ainda não há exploração da energia proveniente do vento, que é o caso da ilha do Maio. Com a dependência total das centrais térmicas, alimentadas por combustíveis fósseis para a produção de energia elétrica que abastece a ilha, seria de muita valia outra alternativa de produção de eletricidade. O estudo realizado permitiu também identificar o potencial eólico existente na ilha e o local adequado à instalação de parques, analisar algumas tecnologias de armazenamento de energia e apresentar um breve orçamento de custo.

**Palavras chaves:** Energia Eólica, Descarbonização, Transição Energética, Cabo Verde, Recursos Renováveis, Ilha do Maio.

## **ABSTRACT**

In the last century in which we live, interest in the exploration of renewable energy (clean energy) as a source of energy production, mainly electricity, has been growing. Such interest does not go unchecked by the islands of Cape Verde, a country identified by the scarcity of natural resources such as petroleum, which makes it dependent on the import of fossil fuels for electricity production. On the other hand, the country has excellent conditions for taking advantage of renewable resources, especially wind and solar energy. Currently, society's greatest challenges are related both to environmental issues and instability of the price of fossil fuels, in this context, renewable energy emerges as a response to the concerns. Recognizing Cape Verde as an excellent indicator regarding renewable resources, it is appropriate to make the most of these resources to reduce dependence on oil in electricity production and due to environmental issues. To allow a decarbonization of the local energy matrix, the integration of renewable sources as an alternative for energy production becomes inevitable. Today more than ever, there is an incentive and a greater need to reduce carbon emissions into the atmosphere in any production area. The purpose of this work was to study wind energy in the Cape Verde Islands, especially for Maio Island, analyzing the socioeconomic and environmental impacts that would have occurred on the island. The choice and relevance of the theme comes from the perception that in some islands of Cape Verde there is still no exploitation of energy from wind, which is the case of Maio island. Total dependence on thermal power stations, powered by fossil fuels, to produce electricity that supplies the island makes it necessary to search for alternatives for energy production. The study carried out allowed to identify the existing wind potential on the island and the appropriate location for the installation of parks, potential technologies to energy storage and a brief cost budget.

**Keywords:** Wind Energy, Decarbonization, Energetic Transition, Cape Verde, Renewable Resources, Maio Island.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Representação geográfica do arquipélago de Cabo Verde. ....	17
Figura 2 - Produção de eletricidade por fonte. ....	19
Figura 3 - Velocidade média anual do vento nas ilhas. ....	20
Figura 4 - Radiação média anual global nas ilhas. ....	21
Figura 5 - Localização no arquipélago de Cabo Verde. ....	24
Figura 6 - Mapa do Maio. ....	25
Figura 7 - Diagrama mensal de produção de energia elétrica por fontes em 2020 (MWh). ....	26
Figura 8 - Turbina eólica <i>onshore</i> . 1- Pás, 2- Nacele, 3-torre. ....	28
Figura 9 - Turbina eólica <i>offshore</i> . ....	29
Figura 10 - Estrutura Principal de um sistema fotovoltaico ligado à rede. ....	31
Figura 11 - Sistema de Energia Híbrida: Solar e Eólica. ....	32
Figura 12 - Sistema hídrico reversível. ....	41
Figura 13 - Bateria chumbo ácido. ....	43
Figura 14 - Bateria chumbo ácido. ....	43
Figura 15 - Estrutura de uma bateria de íons-lítio. ....	44
Figura 16 - Bateria de sódio- enxofre. ....	46
Figura 17 - Velocidade média anual do vento a 50 m e suas respectivas potências (MW) das ilhas de Cabo Verde. ....	49
Figura 18 - Mapa de velocidade média anual da Ilha do Maio. ....	50
Figura 19 - Mapa de ZDER eólica do Maio. ....	51

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 - Centrais de energia por ilhas de Cabo Verde. ....	18
Tabela 2 - Parques Eólicos em Cabo Verde. ....	22
Tabela 3 - Classificação dos empregos na energia eólica e suas características. ....	34
Tabela 4 - Faixas de Desenvolvimento Humano Municipal. ....	36
Tabela 5 - Tipos de armazenamento de energias e respectivas tecnologias. ....	39
Tabela 6 - Comparação entre as tecnologias de armazenamento. ....	52
Tabela 7 - Preço de custo da energia elétrica por fonte eólica. ....	55

## ABREVIATURAS E SIGLAS

AEB	Águas e Energia de Boavista
AFC	África Finance Corporation
atm	Atmosfera
CO	Monóxido de carbono
CO <sub>2</sub>	Dióxido de Carbono
EH	Energia Híbrida
ER	Energias Renováveis
GE.	Gesto Energia (empresa)
GEE	Gases de Efeito Estufa
GW	Gigawatt
GWh	Gigawatt-hora
IDHM	Índice de Desenvolvimento Humano Municipal
km	Quilômetro
m	Metro
MW	Megawatt
MWh	Megawatt-hora
NaS	Sódio-enxofre
NE	Nordeste
NO <sub>2</sub> .	Dióxido de nitrogênio
O&M	Operação e manutenção
PEID	Pequenos Estados Insulares em desenvolvimento
PERCV	Plano Energético Renovável de Cabo Verde
PPP	Parceria Público Privada
P&D	Pesquisa e Desenvolvimento
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
SEE	Sistema de Energia Elétrico
SO <sub>2</sub>	Dióxido de enxofre
V	Volt
ZDER	Zonas de Desenvolvimento das Energias Renováveis
ZDTI	Zonas de Desenvolvimento Turístico Integral
ZRPT	Zonas de Reserva e Proteção Turística

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>14</b>
<b>1.1</b>	<b>Objetivos.....</b>	<b>16</b>
<b>1.2</b>	<b>Enquadramento geográfico de Cabo Verde.....</b>	<b>16</b>
<b>1.3</b>	<b>Setor energético atual de Cabo Verde .....</b>	<b>17</b>
<b>1.4</b>	<b>Energias Renováveis em Cabo Verde.....</b>	<b>19</b>
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>23</b>
<b>2.1</b>	<b>Ilha do Maio .....</b>	<b>23</b>
<b>2.2</b>	<b>Sistema elétrico da ilha do Maio .....</b>	<b>25</b>
<b>2.3</b>	<b>Energia Eólica.....</b>	<b>27</b>
<b>2.4</b>	<b>Energia Solar .....</b>	<b>30</b>
<b>2.5</b>	<b>Energia Híbrida.....</b>	<b>31</b>
<b>2.6</b>	<b>Análise dos impactos gerados pela produção da energia eólica.....</b>	<b>32</b>
<b>2.6.1</b>	<b>Impactos Socioeconômicos.....</b>	<b>33</b>
<b>2.6.2</b>	<b>Impactos Socioambientais .....</b>	<b>35</b>
<b>2.6.3</b>	<b>Impactos Turísticos .....</b>	<b>37</b>
<b>2.7</b>	<b>Tecnologias de Armazenamento .....</b>	<b>38</b>
<b>2.7.1</b>	<b>Hídrica reversível .....</b>	<b>40</b>
<b>2.7.2</b>	<b>Baterias.....</b>	<b>41</b>
<b>2.7.2.1</b>	<b>Baterias Chumbo Ácido.....</b>	<b>42</b>
<b>2.7.2.2</b>	<b>Baterias Íons-Lítio.....</b>	<b>44</b>
<b>2.7.2.3</b>	<b>Baterias de Sódio-Enxofre .....</b>	<b>45</b>
<b>2.7.3</b>	<b>Armazenamento de Hidrogênio .....</b>	<b>46</b>
<b>3</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>48</b>
<b>3.1</b>	<b>Caracterização das localidades para a instalação de Parque Eólico .....</b>	<b>48</b>
<b>3.2</b>	<b>Análise e aplicações das tecnologias de armazenamento de energia. ....</b>	<b>51</b>
<b>4</b>	<b>ORÇAMENTO .....</b>	<b>54</b>
<b>4.1</b>	<b>Fonte Financiadora .....</b>	<b>55</b>
<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>57</b>
<b>6</b>	<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>60</b>

<b>7</b>	<b>ANEXO.....</b>	<b>63</b>
<b>7.1</b>	<b>Figura 20: Pás .....</b>	<b>63</b>
<b>7.2</b>	<b>Figura 21: Nacele.....</b>	<b>64</b>
<b>7.3</b>	<b>Figura 22: Torre .....</b>	<b>65</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A energia consumida em Cabo Verde é majoritariamente constituída por derivados do petróleo, um dos principais contribuintes para a emissão de carbono e aquecimento global do planeta (CEDEAO, 2014). A elevada dependência em relação aos combustíveis fósseis que segue um complexo sistema de importação é uma das principais dificuldades sentidas no setor elétrico de Cabo Verde (SOLUTIONS, 2011). Perante a tais desafios presenciados no país, surgem assim, as energias renováveis (ER) como forma de mitigar às preocupações já antes referidas.

Estudos indicam que o arquipélago de Cabo Verde é um dos melhores lugares do mundo para exploração de recurso renovável principalmente a eólica. Tendo um dos recursos naturais mais abundantes, o vento, a exploração desta como forma de obtenção energética torna uma opção viável para o desenvolvimento sustentável de Cabo Verde, podendo, em combinação com outras fontes renováveis, reduzir substancialmente a dependência e o uso de combustíveis fósseis no setor energético ao longo prazo (AGENCY, 2016).

Durante muito tempo, os combustíveis fósseis constituíram a principal fonte de energia utilizada pelas sociedades em todo o mundo. No entanto, as reservas de combustíveis fósseis estão diminuindo ao longo do tempo e sua utilização leva a poluição que prejudica o ecossistema, a saúde humana e as emissões de gases de efeito estufa (GEE) que estão ligadas ao aquecimento global. Portanto, acredita-se que há uma necessidade de criação, desenvolvimento e implantação de planos para produção de energia em larga escala e neutra em carbono que atenda às necessidades atuais e futuras de energia. Certamente, isto envolve a substituição de combustíveis fósseis por fontes de energia alternativas. As energias renováveis e a energia nuclear são promissores substitutos dos combustíveis fósseis que poderiam satisfazer as necessidades energéticas da humanidade de forma sustentável e, em particular, sem causar danos consideráveis ao ambiente (KOOHI-FAYEGH; ROSEN, 2020).

A energia eólica como fonte alternativa de energia tem mostrado a sua importância no mercado energético mundial ao longo do século XXI. No final do ano 2000, a potência de energia eólica instalada no mundo foi de 17,7 GW. Até o final de 2010, a capacidade era de 191 GW, esse número cresceu muito rápido até o ano 2018 onde a capacidade total instalada foi cerca de 561 GW. Isso representa um crescimento anual de cerca de 21%, o que demonstra que, a aposta nessa fonte de energia mostra-se viável e eficiente para fins energéticos comerciais e ambientais (FRIEDBERG, 2006). O mercado eólico mundial experimentou profundas transformações principalmente após a crise energética da década de 70, subsídios e leis, que

garantiam a compra da energia elétrica proveniente de fontes renováveis a preços fixos, ampliaram o uso da energia eólica no portfólio da geração de energia elétrica em diversos países por todo o mundo (RENEWABLE; AGENCY, 2014).

Atualmente a energia eólica compõe matrizes energéticas de muitos países e, uma vez que o seu recurso primário (vento) oferece uma opção para solucionar os problemas energéticos. Em conjunto com outras fontes renováveis, poderão conciliar as necessidades de uma sociedade industrial moderna, com os requisitos necessários para preservar o ambiente. As questões ambientais, hoje mais do que nunca, impulsionam a comunidade mundial na busca de soluções eficientes e ecologicamente limpas para suprir as necessidades energéticas. O crescimento de mercado e o desenvolvimento tecnológico nas áreas das turbinas eólicas, permitiu que a energia eólica se tornasse uma fonte de energia competitiva e viável no mercado de eletricidade. Apresentando assim uma opção imprescindível para o fornecimento de energia limpa (RENEWABLE; AGENCY, 2014).

O aproveitamento do vento como recurso primário para a geração de energia elétrica apresenta, como toda tecnologia energética, algumas características ambientais desfavoráveis. Dentre essas as mais conhecidas são: impacto visual, geração de ruído e interferência com trajetórias de voo dos pássaros. Embora o último tenha sido um problema com alguns dos primeiros parques eólicos, atualmente os fabricantes vêm sendo mais cuidadosos para pesquisar e mitigar impactos ambientais, reduzindo problemas deste tipo. Um dos aspectos positivos do uso de energia eólica está no fato de 92% da área usada para um parque eólico pode ser utilizada para outros fins, como a pecuária e atividades agrícolas (FRIEDBERG, 2006).

O sistema de geração eólica tem sido centro de atenção ao longo de décadas passadas e vem crescendo rapidamente em diferentes países ao redor do mundo. É um caminho para a produção de energia limpa com menos danos ao meio ambiente somando a contribuição positiva na economia (AL-ADSANI; IEEE, 2020).

Para maximizar a eficiência e a viabilidade do aproveitamento eólico, em qualquer parte do mundo, torna-se inerente o estudo da velocidade do vento nas regiões de interesse para a implantação da tecnologia. Neste sentido o presente trabalho visa estudar a Energia Eólica na Ilha do Maio em Cabo Verde, disponibilizando toda a informação relativa às características do vento na ilha. Além disso, são apresentados os impactos socioeconômicos, ambientais e turísticos, de forma que, a integração da energia eólica na matriz elétrica da Ilha do Maio tenha uma visão realizável.

## 1.1 Objetivos

Avaliar os impactos da implementação da energia eólica na ilha do Maio, em Cabo Verde.

Para atingir esse objetivo foram traçados alguns objetivos específicos tais como:

- Caracterizar o setor elétrico de Cabo Verde;
- Caracterizar o recurso eólico da ilha do Maio;
- Conhecer as formas de armazenamento e utilização de energia através do recurso eólico;
- Avaliar os impactos socioeconômicos e ambientais trazidos pela implementação da energia eólica.

## 1.2 Enquadramento geográfico de Cabo Verde

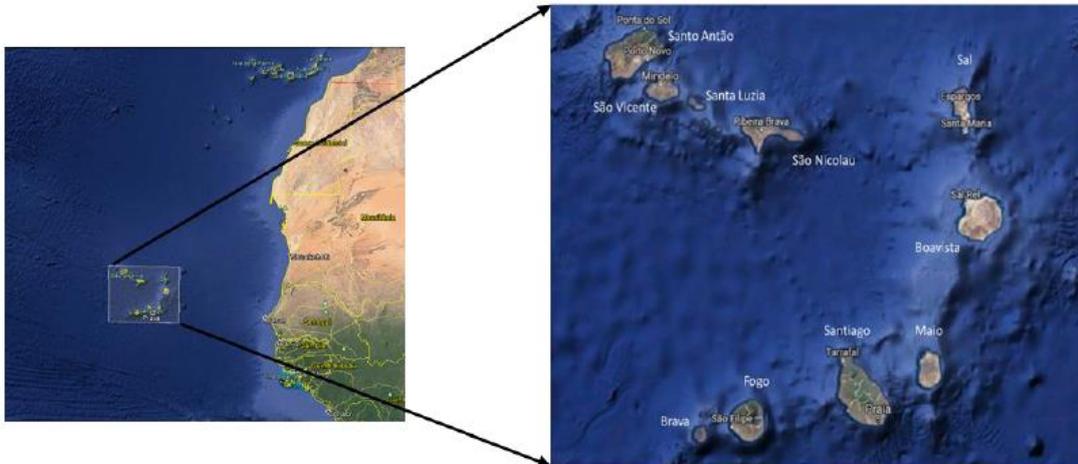
Cabo Verde é um arquipélago composto por dez ilhas e vários ilhéus de origem vulcânica, localizada a 455 km da costa ocidental da África (FIGURA 1). Consoante a posição face ao vento alísio do Nordeste as ilhas encontram-se divididas em dois grupos: o grupo de Barlavento, do lado onde sopra o vento, que integra as ilhas de Santo Antão, São Vicente, Santa Luzia, São Nicolau, Sal e Boavista e o grupo de Sotavento, do lado oposto ao vento, que integra as ilhas do Maio, Santiago, Fogo e Brava. A ilha de Santa Luzia é a única ilha desabitada do arquipélago (MONTEIRO ALVES; LOPES COSTA; DA GRAÇA CARVALHO, 2000).

As dez ilhas e oito ilhéus que compõem o arquipélago tem um total de área de 4.033 km<sup>2</sup> e uma população residente de 550.000 habitantes. Os pontos mais altos do país encontram-se na ilha do Fogo, um vulcão ativo (com última erupção ocorrido no ano de 2015), com um pico de cerca de 2800 m, na ilha de Santo Antão, o topo de coroa atingindo 1979 m e por fim, o pico de Antônia e a Serra Malagueta com 1280 m e 1373 m respectivamente na Ilha de Santiago (REPÚBLICA DE CAVO VERDE CONSULADO GERAL NA HOLANDA., 2021).

O país é reconhecido por falta de recursos naturais tais como petróleo, ferro, aço, entre outros, em contrapartida é visto como potencial em recursos renováveis principalmente o recurso solar e eólico. Por falta de água potável nas ilhas há uma forte prática de dessalinização, centrais que consomem bastante energia na produção de água potável.

A economia sofre uma carência de alternativa sendo as principais fontes econômicas a agricultura, riqueza marinha, prestação de serviço e o turismo que tem se tornado o setor promissor para o desenvolvimento futuro das ilhas, nas últimas décadas (MONTEIRO ALVES; LOPES COSTA; DA GRAÇA CARVALHO, 2000).

Figura 1 - Representação geográfica do arquipélago de Cabo Verde.



Fonte: Monteiro (2018).

### 1.3 Setor energético atual de Cabo Verde

O setor elétrico em Cabo Verde é caracterizado pela insularidade e pela dependência generalizada aos derivados do petróleo. De modo efetivo, as nove ilhas habitadas constituem sistemas energéticos isolados com características próprias de oferta e procura de energia. A principal empresa a operar no Sistema de Energia Elétrica (SEE) em Cabo Verde é a empresa pública de eletricidade e água – Electra SARL, que tem desde 2000 a concessão de produção e distribuição da energia elétrica, operando as maiores centrais de produção do país. As exceções são, a ilha da Boavista onde opera a empresa público-privada Águas e Energia de Boavista (AEB) e a ilha do Sal onde opera a empresa Águas de Ponte Preta (APP), empresa de tratamento de água e energia do Sal desde 2005 (CEDEAO, 2014).

Atualmente a produção de eletricidade em Cabo Verde reparte-se em três diferentes grupos de tecnologias:

- Térmica;
- Eólica;
- Solar fotovoltaico.

Na produção térmica utiliza-se combustíveis de origem fóssil, fuelóleo e gasóleo. Em 2019, a Electra detinha um conjunto de 14 centrais térmicas, de dimensões variadas, um parque eólico e 2 parques solares, conforme ilustrado na Tabela 1 (ELECTRA, 2019).

Tabela 1 - Centrais de energia por ilhas de Cabo Verde.

Ilha	Concelho	Electra			Produtores Independentes	
		Diesel	Eólica	Solar	Cabeólica	Electric
Santo Antão		2				1
	Porto Novo	1				1
	Ribeira Grande	1				
S. Vicente		2	1		1	
S. Nicolau		2				
Sal		1		1	1	
Maio		1				
Santiago		3	0	1	1	0
	Praia	2		1	1	
	Sta Catarina	1				
Fogo		2	0	0	0	0
Brava		1				
<b>Total Electra</b>		<b>14</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>1</b>

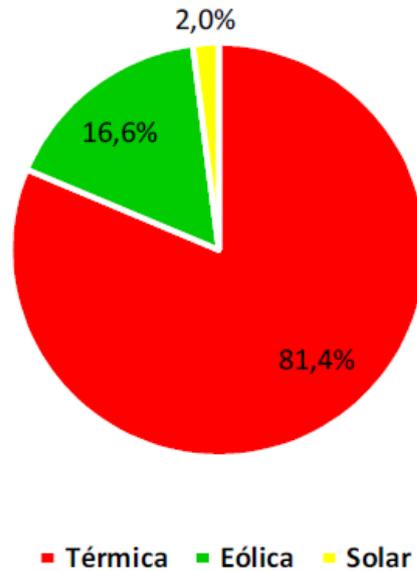
Fonte: Electra (2019).

A ELECTRA é a principal empresa de fornecimento de energia nas ilhas de Cabo Verde, e possui apenas um parque eólico até o momento, que opera na ilha de São Vicente. Nos restantes das ilhas, nomeadamente Santiago, Sal, Boavista e Santo Antão, os parques eólicos existentes são operados por produtores independentes. São eles Cabeólica e Electric Wind, empresas pioneiras na produção de energia eólica em Cabo Verde. Consta-se então que há uma necessidade grande de maior integração de fontes renováveis no setor elétrico cabo-verdiano, e também uma aposta maior da empresa ELECTRA nas fontes eólicas como uma alternativa de produção de eletricidade.

A produção de energia elétrica em 2019 atingiu um referencial de 443,6 GWh, sendo 81,4% de origem térmica, 16,6% eólica e 2,0% solar. A Figura 2 ilustra a produção de eletricidade por fonte, onde é possível observar que a maior parte da eletricidade é proveniente de fonte térmicas alimentadas por combustíveis fósseis, principalmente diesel (ELECTRA, 2019).

Ao longo dos anos tem se verificado a diminuição da dependência por combustíveis fósseis na produção de energia elétrica, devido ao aumento da integração de recursos renováveis nas ilhas. O governo de Cabo Verde pretende alcançar um objetivo de gerar 50% de eletricidade por meio de energias renováveis e ter pelo menos uma ilha com 100% de energia renovável nos próximos anos (AGENCY, 2016).

Figura 2 - Produção de eletricidade por fonte.



Fonte: Electra (2019).

#### 1.4 Energias Renováveis em Cabo Verde

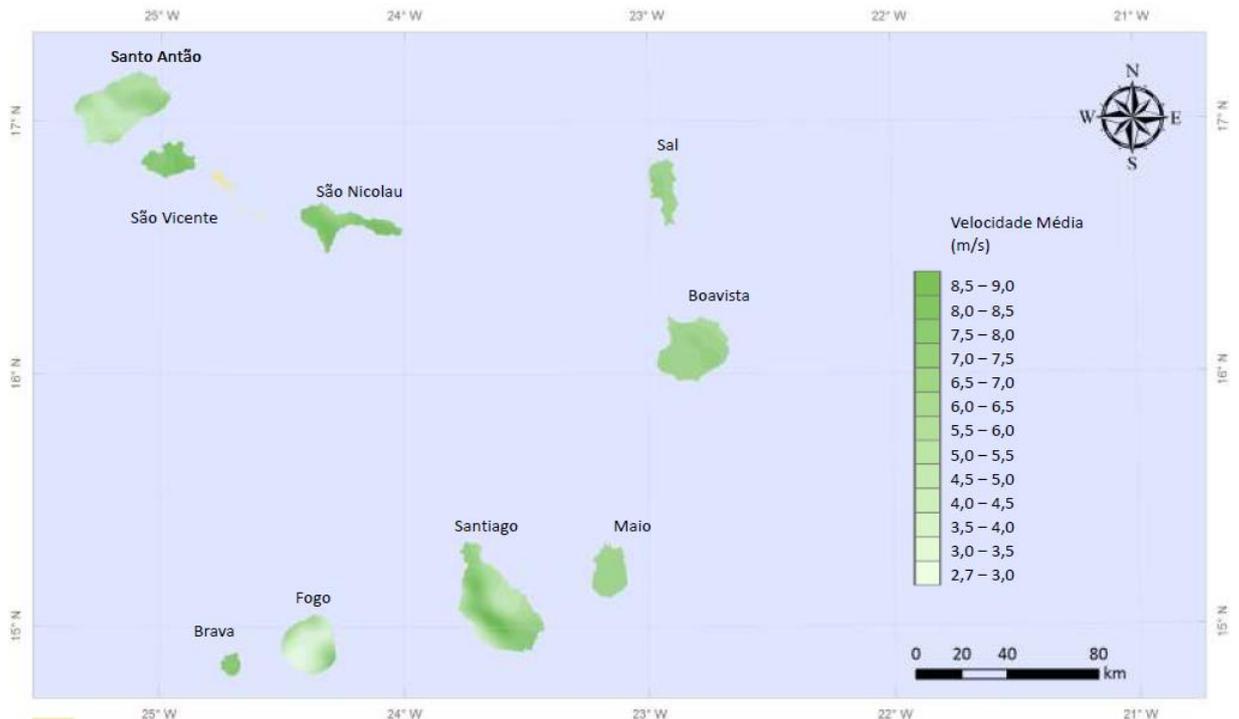
O setor de energias renováveis vem avançado em Cabo Verde. E para obter mais artifícios para o desenvolvimento sustentável do país existe o Plano Energético Renovável de Cabo Verde (PERCV) cujo foco é identificar e reservar as áreas com potencial para o desenvolvimento de projetos de energias renováveis. Incorporado às políticas do setor energético, foram identificadas as Zonas de Desenvolvimento das Energias Renováveis (ZDER), zonas reservadas à implementação de projetos de aproveitamento das energias renováveis nas áreas eólica, solar, hídrica, geotérmica, resíduos sólidos urbanos e marítima (CEDEAO, 2014).

Os recursos renováveis de maior predominância em Cabo Verde são, eólico e solar fotovoltaico, e, atualmente, representam a totalidade do aproveitamento renovável para a produção de eletricidade. Com a sua maior faixa, a eólica representa 90% e o solar fotovoltaico com 10% restante. Devido a localização privilegiada do arquipélago uma vez que as ilhas se encontram nas faixas dos ventos alísios, ventos constantes provenientes de uma direção, Nordeste (NE), tal característica se torna fundamental do recurso eólico desta região fazendo de forma mais benéfica o aproveitamento de abastecimento elétrico do país (AGENCY, 2016).

É crucial o conhecimento das características do recurso para a realização dos estudos de viabilidade econômica de qualquer projeto de fontes renováveis, principalmente no que tange

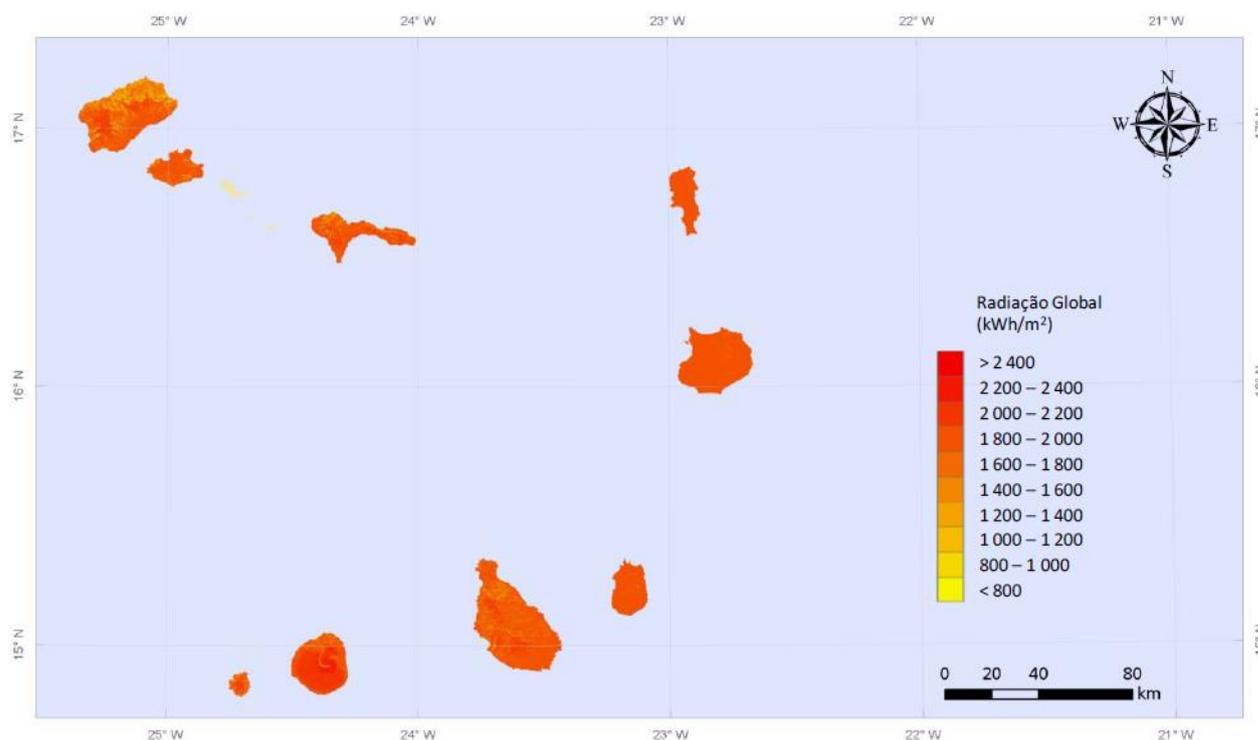
projetos eólicos e solares. Deste modo é necessário uma série de registos de medições da velocidade do vento para uma melhor caracterização do potencial eólico, de forma que se torne viável investimentos financeiros de projetos desta natureza. Nas Figuras 3 e 4 é apresentado o mapeamento a meso escala do recurso eólico e solar respectivamente, realizado pelo Riso National Laboratory. Esses mapas de dados médios (velocidade do vento e radiação) são provenientes da média anual climatológicas de Cabo Verde, onde é possível observar (Figura 3) que na ilha do Maio, foco deste trabalho, a velocidade média do vento não é a melhor das ilhas de Cabo Verde, porém é relativamente boa. Já na Figura 4 observa-se o mapeamento do recurso solar, pode se afirmar que Cabo Verde tem um recurso solar abundante. Em termos de média anual, grande parte do território apresenta uma radiação global entre 1800 e 2000 kWh/m<sup>2</sup>/ano, para a inclinação e exposição natural de terreno. A ilha do Maio tem o maior potencial solar de Cabo Verde juntamente com a ilha do Sal.

Figura 3 - Velocidade média anual do vento nas ilhas.



Fonte: Gesto (2011).

Figura 4 - Radiação média anual global nas ilhas.



Fonte: Gesto (2011).

Cabo Verde tem apostado cada vez mais na integração de energias renováveis (ER) para o sistema eletro produtor. Segundo os projetos resultados de uma Parceria Público Privada (PPP) entre três instituições (ELECTRA, InfraCo e Governo de Cabo Verde) atualmente, Cabo Verde conta com uma capacidade instalada de eólicas de 27 MW, especialmente distribuída por cinco ilhas do país, Tabela 2. Um parque na ilha de Santiago com onze turbinas eólicas com uma potência de 9,35 MW, um parque na ilha de São Vicente com sete turbinas eólicas operando com uma potência de 5,95 MW, um parque na ilha do Sal com 7,65 MW e um parque na ilha de Boavista com uma potência de 2,55 MW, todos esses parques pertencem a empresa operadora Cabeólica (exceto o parque de São Vicente) com turbinas da marca Vestas. A ilha de Santo Antão contém um parque com duas turbinas eólicas, operando com uma potência de 1,5 MW, cuja empresa operadora, Eletric Wind e a marca das turbinas Micon. O resultado desses projetos trouxe alguns impactos marcantes para o país, uma poupança anual de 20 mil toneladas de combustíveis fósseis importadas, representando assim, uma diminuição de aproximadamente, 12 milhões de euros anuais na balança comercial. Para colmatar, o impacto ainda mais relevante se deu na redução de mais de 20 mil toneladas de CO<sub>2</sub> (Dióxido de Carbono) por ano (SOLUTIONS, 2011).

Tabela 2 - Parques Eólicos em Cabo Verde.

<b>Ilha</b>	<b>Potência (MW)</b>	<b>Tipo de turbina</b>	<b>Nº de turbina</b>	<b>Localização</b>
Santiago	9,35	Vestas -V-52	11	Monte São Filipe (8 km a norte da cidade da Praia)
São Vicente	5,95	Vestas -V-52	7	Monte Flamengo (6 km sudoeste de Mindelo)
Sal	7,65	Vestas -V-52	9	Lagedo (6 km de Espargos)
Boavista	2,55	Vestas -V-52	3	Extremo Nordeste da ilha (5 km de vila Sal-Rei)
Santo Antão	1,5	Micon - M530	2	Porto Novo (7 km Pontinha da Janela)
Total				27 MW

Fonte: Do Autor (2021).

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

As ilhas ao redor do mundo são ricas em fontes renováveis. Pequenos Estados Insulares em Desenvolvimento (PEID) podem atender a maioria, de suas necessidades de energia através de uma combinação de tecnologias de ER. Com a redução dos custos ao longo do tempo de tais tecnologias, oferece uma oportunidade única para acelerar a transição de combustíveis fósseis para renováveis, que irão diminuir o custo de eletricidade, melhorar acesso à energia, criar empregos e aumentar a segurança energética nas ilhas (AGENCY, 2016).

O vigoroso desenvolvimento de novas energias tornou-se a única maneira de garantir a segurança energética, resolver problemas ambientais e cumprir seus compromissos de redução de emissões dos Gases de efeito de estufa (GEE) no planeta. De forma a diminuir a importação de combustíveis fósseis e gerar energia elétrica limpa (eletricidade proveniente de ER) as novas energias apresentam uma razão importante no seu investimento (SHI et al., 2020).

### 2.1 Ilha do Maio

A ilha do Maio é uma das dez ilhas do arquipélago de Cabo Verde (FIGURAS 5 e 6), constituído por uma área de 269 km<sup>2</sup>, com um comprimento máximo de 24 km e uma largura de 16 km, albergando uma população de cerca de 7500 habitantes. Localiza-se a Sul da ilha de Boavista e a Este de Santiago. Trata-se de uma ilha de origem vulcânica, porém, mesmo assim, de características planas e de envolventes dunas de areias, sua maior elevação é o Monte Penoso, com 437 metros de altura (NINLA ELMAWATI FALABIBA, 2019).

Apesar de ser considerada uma das ilhas mais áridas tem o maior perímetro florestal do país, uma mancha de 3500 hectares, composta essencialmente por acácias. A seguir à ilha da Boavista, o Maio possui a maior concentração de espécies marinhas de Cabo Verde (DIREÇÃO GERAL DO TURISMO, 2019).

A ilha é dotada de extensas e belas praias, sobretudo nas costas Oeste e Sul/Sudoeste. Este fato, associado às águas cristalinas, são um dos potenciais a explorar no desenvolvimento turístico previsível para a ilha. Juntamente com as ilhas de Santiago, Fogo e Brava, integra o grupo Sotavento do arquipélago de Cabo Verde, sendo que se identifica muito com as ilhas do Sal e Boavista pelas suas características físicas de vastas áreas planas e belas praias de areia branca (DIREÇÃO GERAL DO TURISMO, 2019).

Figura 5 - Localização no arquipélago de Cabo Verde.



Fonte: Adaptado de Instituto Nacional de Saúde Pública de Cabo Verde (2017).

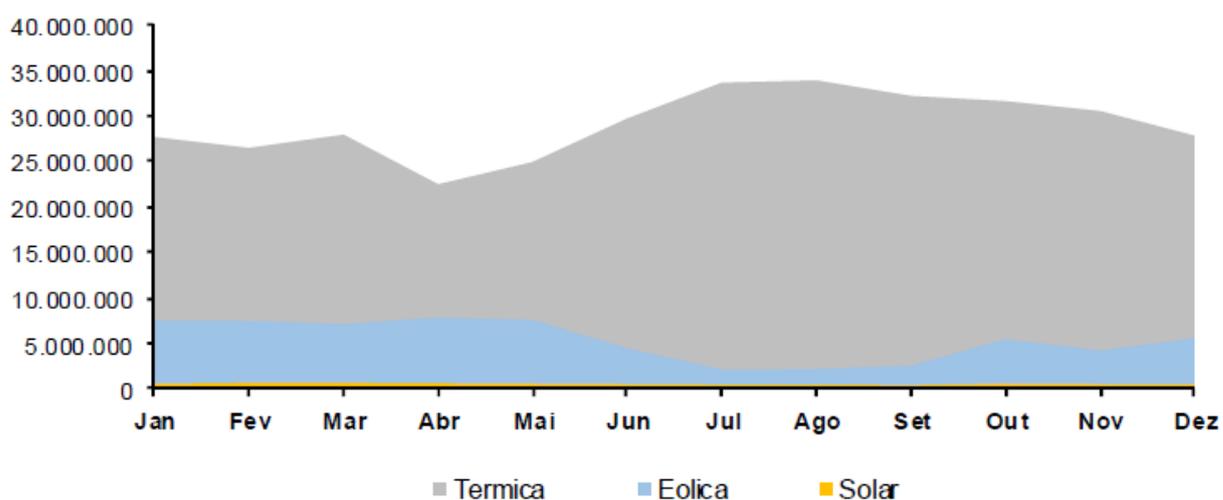


administrada pela empresa ELECTRA é completamente isolada e tem uma produção média de 3,7 MWh de energia elétrica, que satisfaz a demanda da ilha. Toda energia elétrica da ilha do Maio é oriunda da central térmica, que é alimentada completamente por combustível fóssil (Diesel) (ELECTRA, 2019).

Mesmo sendo uma das menores ilhas do país, a demanda por eletricidade vem crescendo com os anos devido ao forte desenvolvimento econômico que o turismo proporciona na ilha (SOLUTIONS, 2011). Sem nenhuma outra alternativa de produção de eletricidade a não ser das térmicas, a produção de energia elétrica por meio de fontes renováveis torna-se bastante interessante para a ilha do Maio de forma a mitigar a dependência total de combustível fóssil e tornar o sistema eletro produtor menos poluente.

A participação de qualquer fonte de ER no setor de eletricidade de um país ou de uma determinada localidade é muito importante. Na Figura 7 é possível observar um impacto muito positivo da produção da energia eólica. Esta figura mostra o diagrama mensal de produção de energia elétrica por fontes em Cabo Verde. Quando tem maior participação de energia por fonte eólica no mix de produção de eletricidade, depara-se que menor é o pico de participação por fonte térmica. Deixando de forma bem explícita de como a aposta na maior integração em ER diminuiria o pico de carga por combustíveis fósseis, reduzindo assim as emissões atmosféricas.

Figura 7 - Diagrama mensal de produção de energia elétrica por fontes em 2020 (MWh).



Fonte: Electra (2020).

### 2.3 Energia Eólica

Denomina-se energia eólica a transformação da energia cinética das correntes atmosféricas (vento) em energia útil. Seu aproveitamento ocorre por meio de várias finalidades, a saber: utilização de turbinas eólicas, também denominadas de aerogeradores, para produção de eletricidade, moinhos de ventos para produzir energia mecânica ou velas para impulsionar veleiros. A energia eólica é uma fonte limpa por ser proveniente da natureza (naturalmente reabastecido), conhecido também como energia verde por não emitir GEE em seu processo de produção (CARVALHO; PINTO, 2021).

É uma atividade produtiva complementar às demais atividades econômicas, pois ocupa menos de 10% da área dedicada à instalação das máquinas, permitindo a prática de outras atividades como agrícolas e pecuárias na mesma área de instalação de máquinas (GO ASSOCIADOS, 2020). A comercialização da produção usando energia eólica ligada à rede elétrica iniciou-se na Dinamarca no ano de 1976. Anos mais tarde países com condições geográficas semelhantes e favoráveis em termos de velocidade de vento adotaram o método de produção, como a Bélgica, Holanda, Inglaterra e Norte da Alemanha. O interesse na produção de eletricidade utilizando a fonte eólica, mostrou-se notório nas décadas de 1970 com a crise internacional de petróleo, para contenção de custos e garantias da segurança energética às nações (CARVALHO; PINTO, 2021).

A conversão da energia eólica em energia elétrica se dá por meio de aerogeradores, também chamados de turbinas eólicas, que basicamente são formados por três estruturas: pás (ou lâminas), naceles (ou naves) e torres, como apresentado na Figura 8. Hoje em dia, a grande maioria das turbinas eólicas comerciais tem um conjunto de três lâminas que formam um ângulo de 120°, com formato aerodinâmico propício para o giro dentro do intervalo de velocidade para qual foi designada (FRIEDBERG, 2006). Geralmente, as turbinas eólicas começam a produzir energia em ventos com velocidades a partir de 5 m/s e um alcance a potência máxima de saída em cerca de 12 - 13 m/s. Para velocidades de vento mais altas, a potência da turbina é limitada a nível avaliado lançando as pás para traz. A turbina irá totalmente embandeirar as lâminas de forma automático na presença de velocidades de vento em cerca de 22 - 25 m/s, evitando assim sobrecarga ou queima de componentes estruturais da mesma (LYONS et al., 2008). Naceles ou naves é o compartimento instalado no alto da torre, situado junto ao eixo da hélice formada pelas pás, no qual a energia mecânica da rotação é convertida em energia elétrica. Esta abriga os principais componentes eletromecânicos, os quais pode incluir: gerador, caixa multiplicadora, freios, controle eletrônico, rotor, transformador, entre outros (GO

ASSOCIADOS, 2020). As Torres são estrutura que dão suporte às pás e naceles, variando de uma altura de 10 m a 250 m dependendo das características do vento do local da instalação. A maioria das turbinas eólicas usa as torres constituídas de aço e/ou concreto, bastando que, em qualquer das composições das torres seja suficiente para suportar toda a estrutura da turbina e as condições meteorológicas (FRIEDBERG, 2006). No anexo 7 encontram-se as Figuras 20, 21 e 22 representativas dos três segmentos de uma turbina eólica separadamente.

Figura 8 - Turbina eólica *onshore*. 1- Pás, 2- Nacele, 3-torre.



Fonte: Adaptado de Friedberg (2006).

Embora a maioria das turbinas eólicas atuais estejam instalados em terra firme (*onshore*), também elas podem ser em corpos d'água, principalmente no mar (*offshore*). As turbinas eólicas *offshore* também denominados de turbinas marítimas, ilustrado na Figura 9, estão localizadas no mar a partir de 10 km de distância da costa, são alcançadas por maiores velocidades do vento e menos turbulento (ventos mais constantes), devido a inexistência de barreiras. Considerando a sua maior eficiência, elas geram cerca de 60% mais de energia do que uma turbina terrestre. No entanto, esta tecnologia acarreta custos muito alto de

implementação, manutenção longe da costa, cabeamentos para transmissão de energia entre outros (LYONS et al., 2008).

Levando em consideração os aspectos mencionados das duas tecnologias de aerogeradores, muitas vezes torna-se inviável a escolha de instalação de um parque eólico *offshore*, como primeira escolha. Ainda que este produza mais energia, a sua implementação demora muito mais tempo para ser finalizada e encarece mais verba para sua realização, comparado com a *onshore*.

Figura 9 - Turbina eólica *offshore*.



Fonte: Jornal da USP (2021).

A tecnologia *offshore* é uma tecnologia promissora e muito recente, ainda com bastante estudos e projetos de pesquisas em andamento para maior viabilizar a sua integração de forma a tornar mais frequente a sua implementação. Países como Inglaterra, Dinamarca, Holanda e Bélgica são exemplos de alguns dos países que atualmente possuem a tecnologia *offshore* em seus parques eólicos (LYONS et al., 2008). A implementação de parques *offshore* está a cair

gradualmente de preço, o que se espera de esta tecnologia tornar mais acessível para a sua integração com o passar do tempo.

## **2.4 Energia Solar**

A energia solar consiste no aproveitamento dos raios e calor provenientes do sol em outras formas de energia (térmica ou fotovoltaica), gerando energia térmica e elétrica, respectivamente. De modo análogo a energia eólica, a energia solar é considerada uma fonte limpa, renovável e sustentável, sendo uma das fontes alternativas mais promissoras para obtenção de eletricidade.

Os módulos fotovoltaicos consistem na transformação direta da luz solar em energia elétrica, recorrendo-se a células solares, comumente conhecidos por painéis fotovoltaicas. Essa energia é transformada em corrente contínua que pode ser armazenada em baterias, consumida de imediato ou ainda vendida à rede pública de energia (GREENPRO, 2004).

Um sistema fotovoltaico com ligação à rede é composto normalmente pelos seguintes componentes (FIGURA 10) (GREENPRO, 2004):

1. Gerador fotovoltaico (vários módulos fotovoltaicos dispostos em série e em paralelo, com estruturas de suporte e de montagem);
2. Inversores;
3. Transformadores;
4. Medidor de energia;
5. Sistema de transmissão ou distribuição de energia.

Figura 10 - Estrutura Principal de um sistema fotovoltaico ligado à rede.



Fonte: Greenpro (2004).

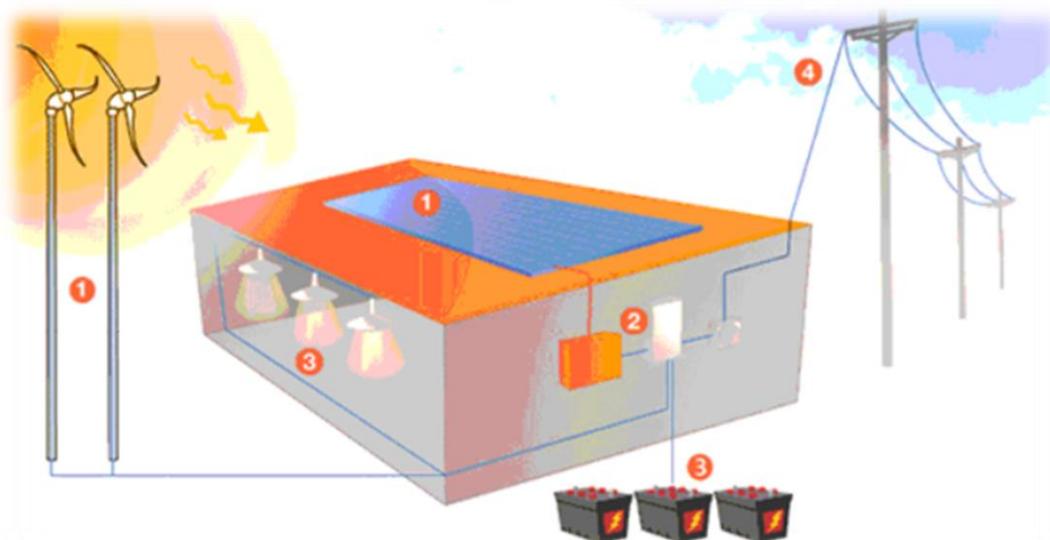
## 2.5 Energia Híbrida

Um sistema de Energia Híbrida (EH) consiste na junção de duas ou mais fontes de ER, como por exemplo, a energia eólica e a solar fotovoltaica. Muitas vezes, a utilização de uma única fonte de ER dificulta o fornecimento contínuo de energia, e como forma de mitigar tal acontecimento, se recorre a utilização do sistema de energia híbrida, com intuito de fornecer uma maior eficiência no sistema, bem como uma confiabilidade maior no fornecimento de energia.

Para um sistema de energia híbrida com abastecimento por energia solar fotovoltaica e energia eólica, a Figura 11 ilustra basicamente o funcionamento e a composição de tal sistema (PORTAL SOLAR., 2016):

1. Aerogeradores e Painéis fotovoltaicos, convertem a energia do sol e do vento, respectivamente, em eletricidade;
2. Inversores que controlam toda a operação do sistema, convertendo a energia em baixa tensão (110V ou 220V);
3. A energia dos aerogeradores e painéis solares é armazenada nas Baterias (armazenam a energia para os períodos de baixa geração de energia);
4. Sistema de transmissão ou distribuição de energia.

Figura 11 - Sistema de Energia Híbrida: Solar e Eólica.



Fonte: Portal Solar (2016).

As ilhas são bastante conhecidas pela sua inerente sazonalidade, variabilidade, periodicidade dentre outras características. Para a maioria das ilhas, no verão a luz solar é suficiente para produzir a energia elétrica em abundância através de painéis solares e ainda ser armazenada. Por outro lado, a luz solar se torna muito fraca no inverno enquanto a força do vento é maior nessa época, contribuindo assim com maior fornecimento de eletricidade pelos aerogeradores (KUANG et al., 2016).

Segundo Kuang et al. (2016) o sistema de EH é muito eficiente e interessante para as ilhas, bem como vilas/regiões remotas, nas quais a geração de eletricidade proveniente de ER pode exceder a 50% das gerações totais utilizadas. A combinação se torna bastante eficiente gerando mais energia durante o dia com os painéis fotovoltaicas, e com turbinas eólicas gerando mais energia no período da noite.

## 2.6 Análise dos impactos gerados pela produção da energia eólica

A energia renovável é o elemento condutor de desenvolvimento econômico do mundo, e tem uma tendência de crescimento ao decorrer do tempo. Atualmente, ER como um novo sistema de abastecimento de energia tem capturado uma grande fatia do mercado de energia, com uma posição bastante forte ao crescimento. Em todas as fontes de ER, a energia eólica revela o crescimento mais rápido, com uma taxa de crescimento anual de 20% - 30% ao ano, ficando assim como uma das indústrias com maior crescimento do mundo (MAEGAARD, 2009).

Os impactos das fontes alternativas já foram revistos e notificados em vários momentos no mundo. A geração de energia eólica contribui de maneira indispensável para o caminho de sustentabilidade energética, onde fatores como eficiência energética, redução de impacto ambiental (GEE) e incremento econômico resultam da consequência da sua implementação em qualquer sociedade (KOOHI-FAYEGH; ROSEN, 2020).

### **2.6.1 Impactos Socioeconômicos**

A geração de empregos é um aspecto chave para a avaliação do desenvolvimento econômico em uma região. Um conceito que vem ganhando espaço nas discussões de benefícios sociais e econômicos em uma economia de baixo carbono é o de empregos verdes, ou *Green Jobs*. Empregos verdes são aqueles que contribuem substancialmente para preservar ou recuperar a qualidade ambiental. Esses empregos estão localizados em diversos setores da economia, e incluem empregos em eficiência energética, tecnologias limpas, eficiência na utilização de recursos naturais, e em atividades de baixa emissão de carbono (SIMAS; PACCA, 2013).

A economia constitui um sistema integrado de diversos setores interdependentes. Assim, os impactos sofridos por um setor influenciam os demais segmentos em maior ou menor grau, dependendo da importância relativa de suas relações na economia (GO ASSOCIADOS, 2020). O setor de energias renováveis tem grande potencial gerador de empregos, direta e indiretamente. Alguns estudos, porém, focam apenas no número de empregos gerados pelas energias renováveis, sem considerar a sua qualidade, como é citado por Llera Sastresa et al. (2010). Empregos diretos é definido por correspondente mão-de-obra adicional requerida pelo setor em que se observa o aumento de produção. Por exemplo, a expansão (ou realização) de investimentos no setor eólico, aumenta a demanda nos setores de máquinas e equipamentos, inclusive manutenção e reparos, e da construção, o que aumenta a produção de outros segmentos para fazer frente à expansão inicial gerada pelos recursos alocados. De outro lado, setores que fornecem insumos a estes setores diretamente afetados vão produzir mais para atender a esta nova realidade, de modo que um choque positivo gera efeito em cadeia, criando assim, empregos indiretos (GO ASSOCIADOS, 2020).

Em síntese, o efeito direto nos empregos ocorre nos setores ligados aos investimentos previstos, os setores de máquinas e equipamentos, inclusive manutenção e reparos, e da construção. Já o efeito indireto ocorre pelo aumento do consumo dos insumos necessários para atender à maior demanda destes setores diretamente afetados. O aumento na demanda do setor

automobilístico, por exemplo, gera uma expansão na demanda por insumos para esse setor, como pneus, peças, amortecedores e assim por diante.

Os empregos gerados pela energia eólica e outras energias renováveis pode ser agrupado em três categorias, de acordo com características de volume de empregos gerados, sua localização, natureza temporal e nível de especialização. A primeira categoria se refere a empregos gerados em desenvolvimento tecnológico, e incluem Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) e fabricação de equipamentos. A segunda categoria se refere a empregos na instalação e descomissionamento de usinas, e incluem planejamento, gestão de projetos, transporte e construção de usinas. Por último, porém não menos importante, a terceira categoria é a de operação e manutenção (O&M), e inclui, além dos próprios serviços de O&M da usina, a geração e distribuição de energia. Na Tabela 3 encontram-se resumidamente estas características (SIMAS; PACCA, 2013).

Tabela 3 - Classificação dos empregos na energia eólica e suas características.

<b>Categoria</b>	<b>Volume de empregos</b>	<b>Localização dos empregos (1)</b>	<b>Natureza Temporal</b>	<b>Nível de especialização</b>
Desenvolvimento Tecnológico	Médio	De não local para local	Estável	Muito alta
Instalação e descomissionamento	Alto	De local para não local	Temporário	Alta
Operação e manutenção	Baixo	Local	Estável	Média

(1) De maior para menor probabilidade.

Fonte: Llera Sastresa et al. (2010).

Segundo Simas e Pacca (2013), a contribuição mais significativa, tanto em termos quantitativos como em termos qualitativos, no sentido de contribuir para o desenvolvimento sustentável, é a geração de empregos nos setores de construção e de O&M. Ressalta-se que os empregos em O&M geram postos de trabalho permanentes, os quais estarão presentes durante toda a vida útil do projeto. Ambas as atividades, construção e O&M, têm um potencial elevado para a geração de empregos no nível local, fornecendo oportunidades de geração de renda, muitas vezes em localidades rurais com baixas oportunidades de crescimento e desenvolvimento econômico.

No que tange ao aumento de geração de empregos locais, geralmente são abordados dois aspectos. O primeiro aspecto é a busca por inovação, que ao trazer o desenvolvimento tecnológico para o nível regional cria empregos estáveis e de alta qualificação. O segundo

aspecto abordado é o investimento em capacitação para aumentar o número de trabalhadores locais em instalação e descomissionamento, com o fim de diminuir a quantidade de trabalhadores trazidos de outros locais. O treinamento dos trabalhadores é um ponto-chave para o desenvolvimento das energias renováveis: além de aumentar o volume de mão de obra local, a qualificação se torna um ativo adicional para as empresas, aumentando sua competitividade e favorecendo novas oportunidades de investimento e negócios (LLERA SASTRESA et al., 2010). Portanto, a energia eólica tem um potencial para contribuir para o desenvolvimento econômico sustentável e, em razão a grande parte dos empregos gerados pela energia eólica ser de caráter temporário, isto é, no momento inicial do projeto, deve haver políticas para aumentar ou pelo menos manter o volume de projetos instalados à fonte eólica.

### **2.6.2 Impactos Socioambientais**

A energia proveniente das turbinas eólicas não produz poluentes como outras fontes convencionais, por ser uma energia limpa e renovável ela não produz resíduos atmosféricos ou nos corpos d'água em seu processo de produção (geração de energia). A eólica em sua etapa de operação também evita a emissão de qualquer tipo de gás que seja nocivo à saúde pública como dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>), dióxido de nitrogênio (NO<sub>2</sub>), monóxido de carbono (CO) e materiais particulados (MP10 e MP2,5) entre outros (GO ASSOCIADOS, 2020; SAIDUR et al., 2011).

Estudos internacionais de várias literaturas como de Agency (2016); Friedberg (2016); Namahoro, Nzabanita e Wu (2021); Nazir et al. (2019) e Saidur et al. (2011) confirmam que a produção de eletricidade a partir do vento reduz significativamente o consumo de combustíveis fósseis e portanto, leva a redução de emissões de gases principalmente GEE, responsáveis pelo aquecimento global. Estima-se que a cada MWh de energia produzida por recursos naturais, contribuiu para uma redução de 0,33 a 0,59 toneladas de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) para a atmosfera.

No que concerne ao cumprimento dos protocolos internacionais, como o Protocolo de Quito em 1997, ESG (*Environmental, Social and Corporate Governance*) em 2005 e Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS-ONU) em 2016, a energia eólica se torna indispensável na busca de alternativas que possam cumprir com tais objetivos. Enfatizando que esta fonte não deixa rastros de poluição atmosféricas na sua produção e gera menos impacto ao meio ambiente. Além da emissão zero de CO<sub>2</sub> os parques eólicos não exigem a constante circulação por meios rodoviários ou ferroviários para o transporte de matéria-prima, diminuindo ainda mais as

emissões de GEE na produção de energia elétrica o que a deixa muito atraente a sua integração para o cumprimento dos protocolos internacionais.

A fonte eólica tem um importante impacto positivo nas comunidades onde chega devido, pois grande parte dos parques eólicos utilizam o modelo de arrendamento de pequenas propriedades para instalação e não as compram, o que permite uma geração de renda aos pequenos proprietários, geralmente pequenos produtores rurais e agricultores de subsistências. As empresas que pagam pelo arrendamento assumem o compromisso com a regularização fundiária das propriedades que vão fazer parte do parque eólico, uma vez que várias dessas propriedades são herdadas por herança familiar e muitas vezes sem documentos legais fundiárias (GO ASSOCIADOS, 2020).

As comunidades próximas aos parques eólicos também se beneficiam dos investimentos realizados na infraestrutura local, em que ocorrem melhoramentos nas estradas e acessos que serão utilizados para transporte de equipamentos e movimentação de cargas durante a construção dos parques, mas que permanecem como herança para os municípios. Ressalta-se que além dos proprietários rurais receberem remuneração pelo arrendamento e utilização de suas propriedades, os parques eólicos são compatíveis com outros usos de terreno, por exemplo, o proprietário da terra pode continuar realizando a criação de gado e atividades agrícolas. Destaca também um fortalecimento e ampliação das cadeias produtivas locais, como de queijo, coco, mandioca, milho, mel, feijão, entre outros, devido ao aumento de consumo (trabalhadores, famílias) local (GO ASSOCIADOS, 2020; SIMAS; PACCA, 2013).

A implementação de parques causa uma melhoria nos municípios em termos de aumento do Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM), diminuição de índice de Gini e melhoria das condições hídricas.

O IDHM é um número que varia entre 0 e 1, que classifica a qualidade da educação, renda populacional e longevidade de vida. Portanto, quanto mais próximo de 1, maior o desenvolvimento humano de um município. Na Tabela 4 encontram-se as classificações das faixas do desenvolvimento humano municipal.

Tabela 4 - Faixas de Desenvolvimento Humano Municipal.

<b>Muito Baixo</b>	<b>Baixo</b>	<b>Médio</b>	<b>Alto</b>	<b>Muito Alto</b>
0 - 0,499	0,5 - 0,599	0,6 - 0,699	0,7 - 0,799	0,8 - 1

Fonte: Adaptado de Go Associados (2020).

O Índice de Gini é um valor que varia de 0 a 1, que indica a desigualdade da renda de um município, região ou mesmo país. Quanto menor a desigualdade nas distribuições de renda de um município, mais próximo de zero este número é. Nos municípios em que os parques foram instalados observa-se uma redução da desigualdade quando comparado com os municípios do mesmo estado que não sofreram este evento (GO ASSOCIADOS, 2020). Estudos da Abeeólica (2020) e Go Associados (2020) mostram que a instalação de parques eólicos aumenta, em média, o IDHM em 20,19% e uma diminuição de índice de Gini em 0,02% em comparação aos municípios em que não houve o acontecimento da instalação da eólica.

É possível observar também uma melhoria no atendimento de água, como um dos impactos observados pela energia eólica, mudando a qualidade hídrica da população local. Uma vez que, com a chegada da tecnologia eólica no local há maior circulação de pessoas e trabalhadores nas regiões, portanto costuma-se fazer um melhoramento da qualidade e distribuição da água para melhor atender o aumento de circulações de pessoas. Consuma-se então que, a eólica tem uma contribuição direto no desenvolvimento urbano e sustentável de um país.

### **2.6.3 Impactos Turísticos**

É geralmente reconhecido que a energia proveniente da fonte eólica é um importante fator para a redução das emissões de GEE e mitigação das mudanças climáticas. Mas quando se aborda aos impactos turísticos ainda estão crescendo os estudos na análise do aspecto visual que é uma das principais barreiras na aceitação da energia eólica e um dos principais aspectos atrativos ao turismo (SÆPÓRSDÓTTIR; ÓLAFSDÓTTIR, 2020). A paisagem natural é um dos aspectos proeminente de qualquer atração turística, deste modo o estudo de Saepórsdóttir e Ólafsdóttir (2020) e Teisl et al. (2018) aponta que um parque eólico com mais de 100 aerogeradores se torna menos atrativo do que um com 10 aerogeradores.

Uma maneira de trazer mais atração turística em relação aos parques eólicos é criação de pequenos parques em vez de grandes parques. Para ilhas isto é bastante interessante pois as ilhas normalmente são lugares pequenos e não há necessidade de criação de grandes usinas eólicas, por exemplo usinas com mais de 60 aerogeradores. Claro que existe ilhas que tem a capacidade de haver um parque com mais de 100 aerogeradores, porém em relação a atração turística é menos impactante.

A fonte eólica é um fomento ao turismo, arte e culturas regionais por meio de festividades. Nas comunidades onde chega a energia eólica verifica-se um grande aumento de

curso, treinamentos e concursos para capacitar pessoas a ingressar no ramo do setor eólico (GO ASSOCIADOS, 2020).

## 2.7 Tecnologias de Armazenamento

Os sistemas de ER geralmente se beneficiam ou requerem acoplamento com o armazenamento de energia, devido à intermitência da ER. Essa abordagem é intrínseca quando se refere a integração de ER na rede elétrica, devido à natureza intermitente, a energia eólica traz variabilidade e incerteza como qualquer outra fonte de energia.

O armazenamento de energia nos sistemas de geração de energia elétrica, utilizando fontes renováveis, permite o ajuste entre a produção e a procura de energia elétrica. A energia produzida em alturas de baixa procura, baixo custo de produção, ou a partir de fontes renováveis intermitentes, pode ser transferida no tempo para ser libertada em alturas de elevada procura, de elevado custo de geração, ou quando não está outra forma de geração disponível (MOURA, 2014). Essa característica tem uma relevância muito grande no setor elétrico, pois a procura de energia está sempre sofrendo alterações horárias, diárias e sazonais. Aditivamente, a geração proveniente de fontes renováveis está sujeita a variações significativas. Por esses motivos, torna conveniente aderir as tecnologias de armazenamento de energia com as fontes limpas.

A tecnologia de armazenamento de energia é por vezes categorizada com base na sua utilização em aplicações de grande ou pequena escala. Várias tecnologias de armazenamento são utilizadas com diferentes fontes de energia renováveis intermitentes e as discussões da escolha são muitas vezes entre a adequação técnica e /ou econômica de uma tecnologia de armazenamento em relação a outra, para uma determinada aplicação. Segundo Koohi-Fayegh e Rosen (2020) encontrar uma configuração de armazenamento de energia técnica e economicamente viável em sistemas autônomos (ilhas e regiões urbanas) torna sempre um desafio para o estudo. A instalação de tecnologias de armazenamento não necessariamente precisa estar localizada junto às fontes renováveis, podendo ser instaladas em qualquer ponto da rede.

A energia elétrica pode ser armazenada em diferentes formas. A classificação das tecnologias de armazenamento de energia usadas nos sistemas elétricos é feita de acordo com a forma de como o armazenamento ocorre (MOURA, 2014; ZHAO et al., 2015). Na Tabela 5 é ilustrada algumas das formas de armazenamento e respectivas tecnologias utilizadas.

Tabela 5 - Tipos de armazenamento de energias e respectivas tecnologias.

Tipos de armazenamento	Tecnologias
Armazenamento de energia elétrica	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Supercondutores;</li> <li>• Supercondensadores;</li> </ul>
Armazenamento de energia eletroquímica	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Baterias (ex: as ácidas de chumbo, de níquel, de íões de lítio etc.);</li> <li>• Baterias de células de fluxo (ex: as de brometo de zinco e brometo de vanádio);</li> </ul>
Armazenamento de energia cinética	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Flywheels;</li> </ul>
Armazenamento de energia potencial	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aproveitamento hidrelétricos reversíveis;</li> <li>• Armazenamento de ar comprimido;</li> </ul>
Armazenamento de energia química	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hidrogénio;</li> <li>• Recombinação/dissociação de amônia;</li> </ul>
Armazenamento de energia térmica	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sistemas sensíveis ao calor (ex: acumuladores de vapor ou água quente, grafite, rochas quentes ou concreto etc.);</li> <li>• Sistemas de calor latente.</li> </ul>

Fonte: Zhao et al. (2015).

Equilibrar a oferta e a procura de energia é sempre um processo complexo, quando se utiliza os recursos renováveis como fonte de energia elétrica, em grande escala, este processo torna-se ainda mais difícil devido a intermitência das fontes renováveis (POULLIKKAS, 2013). O uso de tecnologias de armazenamento permite um contínuo fornecimento de energia ao consumidor, de forma segura e estável. Os sistemas que são adequadas para complementar a intermitência de fontes renováveis são sistemas de armazenamento com autonomia muito longa, preferencialmente com autonomia de várias horas, podendo o valor atingir vários dias.

Há uma vasta gama de tecnologias de armazenamento no mercado, cada uma com os seus próprios méritos baseando nas aplicações específicas requeridas ao sistema. Torna-se

necessário analisar as diferentes tecnologias e adequá-las às aplicações, ressaltando que algumas dessas tecnologias exigem características geográficas específicas e consideráveis à local de implantação (BRITO, 2014).

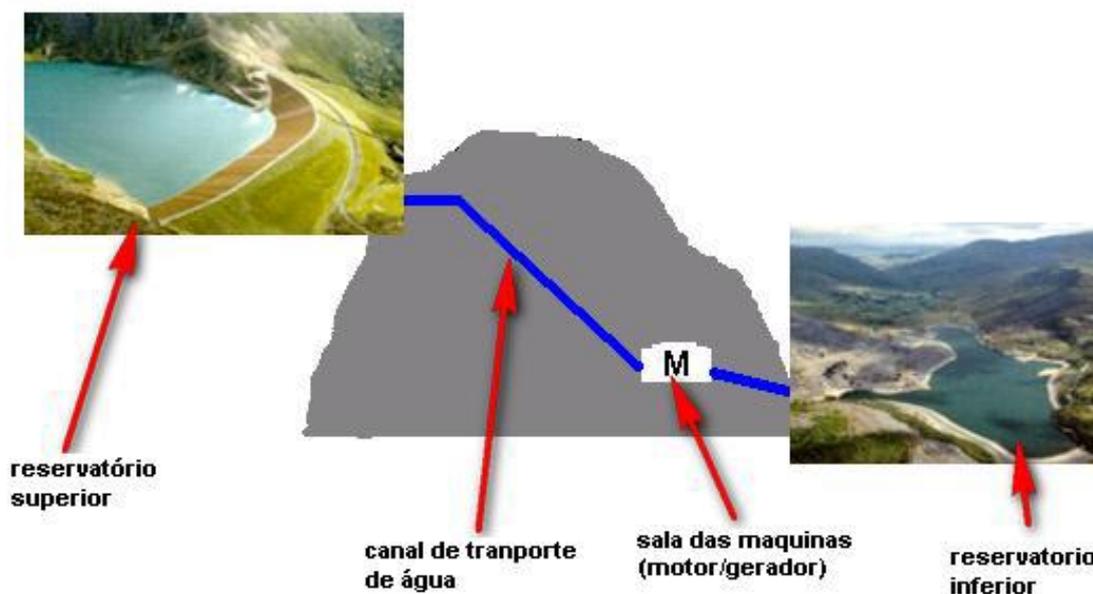
Para a integração na rede de fontes renováveis, nesta seção serão caracterizadas algumas tecnologias de armazenamento de energia que poderiam ser adequadas à ilha do Maio, tais como, hídrica reversível, baterias e hidrogênio. Será feita também uma breve avaliação da aplicação destas tecnologias na seção Material e Métodos.

### **2.7.1 Hídrica reversível**

A energia hidráulica reversível foi o primeiro método eficaz de armazenamento de energia elétrica, e é a maior e mais madura tecnologia de armazenamento de energia disponível. Esta fonte é utilizada, majoritariamente, para sistema de armazenamento de energia em larga escala (DÍAZ-GONZÁLEZ et al., 2012; ZHAO et al., 2015). Este método de armazenamento utiliza dois reservatórios de água em alturas diferentes, sendo que quanto maior for o desnível entre os dois reservatórios, maior será o potencial energético.

O princípio de funcionamento de hídrica reversível baseia-se no gerenciamento da energia potencial gravitacional da água (FIGURA12), bombeando-a de um reservatório inferior para um reservatório superior durante os períodos de baixa demanda de energia, conhecido como modo de carga. No modo de descarga comumente conhecido por períodos de alta demanda (ou horário picos) de energia, a água flui do reservatório superior para o reservatório inferior, ativando as turbinas reversíveis que estão conectadas aos geradores que produzem energia elétrica (DÍAZ-GONZÁLEZ et al., 2012).

Figura 12 - Sistema hídrico reversível.



Fonte: Moura (2014).

Este sistema de armazenamento é o mais comum no setor elétrico no geral, tradicionalmente depende das condições geográficas do lugar. A sua aplicação fornece alguns serviços no sistema, tal como a regulação da frequência em modo de geração e gestão de energia através de mudança de tempo.

Este tipo de tecnologia de armazenamento já é tecnicamente evoluído, não havendo grande margem de evolução técnica. A evolução desta tecnologia ainda pode melhorar atuando no rendimento do ciclo de armazenamento. Tem um baixo custo, elevada densidade de potência e de energia e boa velocidade de resposta. Porém, apresenta como desvantagem a necessidade de um local apropriado e com grande disponibilidade tanto de recursos hídricos como de espaço, uma vez que para um armazenamento considerável de água é necessário alargar grandes áreas de terreno (MOURA, 2014). É uma das tecnologias de armazenamento que gera menos impacto ambiental em relação as outras tecnologias de armazenamento.

### 2.7.2 Baterias

As baterias são umas das tecnologias de armazenamento de energia mais utilizadas disponíveis no mercado. É a forma mais antiga e estável de armazenar energia elétrica. A energia é armazenada sob a forma de energia eletroquímica, num conjunto de células, ligada

em série ou em paralelo ou ambos, a fim de obter a tensão e a capacidade desejada (ALBRIGHT; EDIE; AL-HALLAJ, 2012).

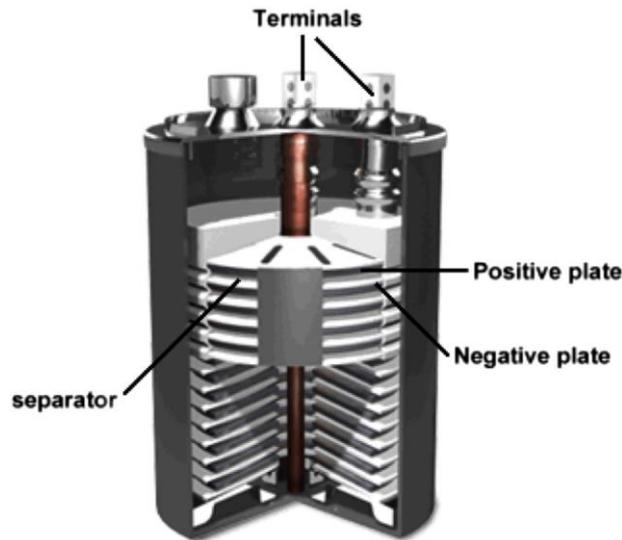
Vários tipos de baterias foram desenvolvidos para o uso de armazenamento de energia, tais como, as baterias de chumbo ácido, de níquel de cádmio, de íons-lítio, de metal-ar, de hidretos metálico de níquel etc. Cada uma se difere pelo tipo de material utilizado e capacidade de armazenamento. Atualmente as baterias eletroquímicas são as mais utilizadas para o armazenamento de energia elétrica (POULLIKKAS, 2013).

A tecnologia de baterias eletroquímicas possuiu um tempo de resposta muito rápido, aliado a uma densidade de armazenagem de energia considerável. A construção de baterias eletroquímicas é facilitada pelo curto prazo de execução, porém ela é uma tecnologia um pouco mais cara. Entre os principais inconvenientes encontram-se o reduzido tempo de vida útil (número de ciclos/descarga) e grande impacto ambiental. A maioria das baterias contém materiais tóxicos de metal que levam problemas sérios ecológicos para o descarte (POULLIKKAS, 2013; ZHAO et al., 2015).

### **2.7.2.1 Baterias Chumbo Ácido**

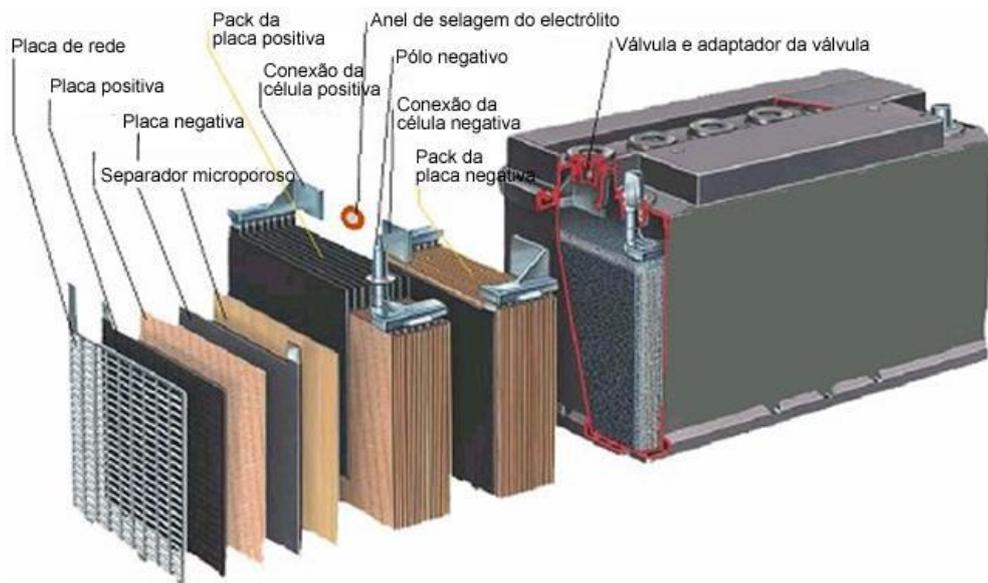
As baterias de chumbo ácido (FIGURAS 13 e 14) é o tipo de bateria mais desenvolvido existente, foram inventadas em 1859, são tipo de baterias recarregáveis mais antigas e mais usadas. Consistem em placas de chumbo imersas numa solução de ácido sulfúrico. Quando bem projetados são robustas, seguras e com tempos de vida útil aceitáveis, além de apresentarem baixos custos de produção. Os baixos custos devem-se à utilização de materiais comuns, o que favorece a produção em massa (POULLIKKAS, 2013). Essas baterias são lentas para carregar, não podem ser totalmente descarregadas e têm um número limitado de ciclos de carga/descarga, têm fraco desempenho à baixa temperatura e baixa durabilidade. O chumbo e o ácido sulfúrico usados são altamente tóxicos e criam riscos ambientais, o que pode ser particularmente irônico quando utilizados para acompanhar fontes limpas de energia, por exemplo em sistemas fotovoltaicos (DÍAZ-GONZÁLEZ et al., 2012; POULLIKKAS, 2013).

Figura 13 - Bateria chumbo ácido.



Fonte: Poullikkas (2013).

Figura 14 - Bateria chumbo ácido.



Fonte: Moura (2014).

Em aplicações na rede elétrica são usadas como *backup* para emergências. Todavia devido ao número de ciclos limitado a sua aplicação foi considerada economicamente inaceitável. A quantidade de energia que a bateria pode entregar não é fixa e depende da sua taxa de descarga. Houve uma evolução recente neste tipo de bateria, são as chamadas baterias chumbo ácido de espuma e carbono (ou grafite). É composta por um coletor de corrente elétrica construído de espuma de carbono ou grafite, o que conduz a um razoável incremento da área

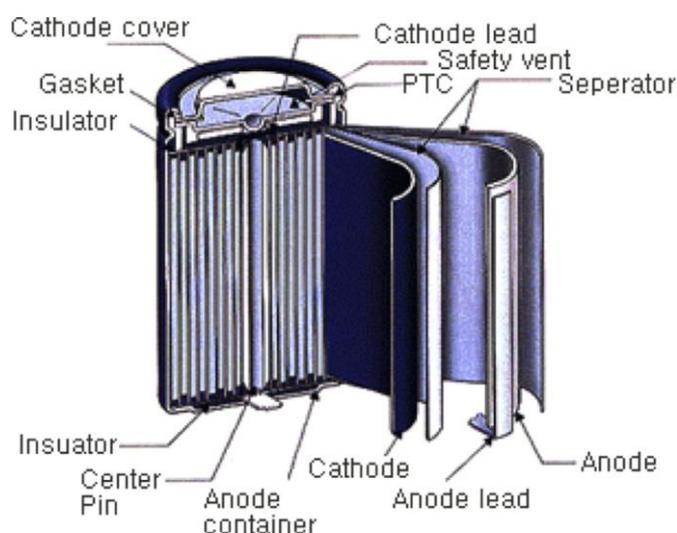
de reações químicas e elimina a necessidade de placas de ligação (DÍAZ-GONZÁLEZ et al., 2012).

Para ultrapassar alguns dos problemas deste tipo de baterias foram desenvolvidas novas tecnologias (*Advanced lead-acid*). Estas tecnologias possibilitam uma taxa maior de recarga e uma diminuição do peso e do tamanho da mesma, eliminando desta forma materiais cujo uso não é útil, otimizando os materiais ativos e a mistura do eletrólito (MOURA, 2014).

### 2.7.2.2 Baterias Íons-Lítio

As baterias íons-lítio, ilustrada na Figura 15, têm conseguido uma penetração significativa no mercado dos consumidores de eletrônicos portáteis e refaz a transição para aplicações em veículos híbridos e elétricos, também com oportunidades em armazenamento de energia elétrica. Apresentam como principais vantagens a sua elevada densidade de energia, elevado rendimento e um ciclo de vida longo. Assim, para a mesma energia armazenada, necessitam apenas de um quinto do peso e um terço do volume que seriam necessários no caso de uma bateria de chumbo-ácido (POULLIKKAS, 2013). Entre os maiores desafios estão os elevados custos, devido a necessidade de encapsulamento especial e de proteção de sobrecarga dos circuitos internos e os efeitos nocivos que a descarga profunda tem em seu tempo de vida (MOURA, 2014).

Figura 15 - Estrutura de uma bateria de íons-lítio.



Fonte: Poullikkas (2013).

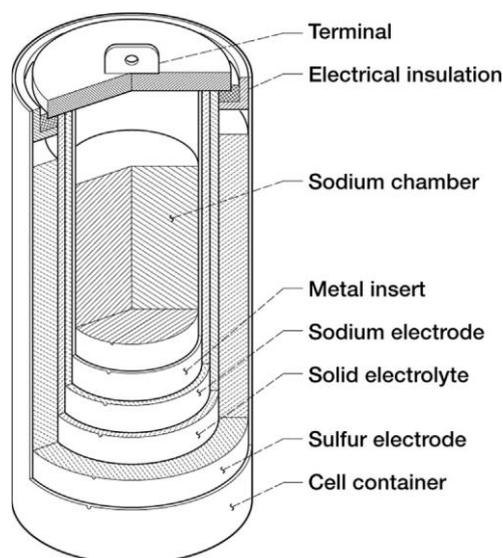
Duas importantes inovações são as baterias de lítio de célula de ar e as baterias de lítio sulfúrico. As baterias de lítio de célula de ar consistem em anodos e catodos de lítio acoplados eletroquimicamente a oxigênio, através de um catodo de ar, que têm uma elevada densidade de energia, reduzida tensão de descarga e uma vida útil longa. Este tipo de bateria é a que tem mais larga gama de aplicações, devido a sua flexibilidade de tamanho e formato e ao seu reduzido peso. A sua aplicação em veículos elétricos resultou no desenvolvimento de novos sistemas de células, com maior rendimento e segurança (MOURA, 2014).

Em aplicações na rede de elétrica começam a ser usadas as baterias de lítio titânio e de lítio fosfato de ferro. As baterias de lítio titânico têm capacidade de carga rápida, bom funcionamento à baixas temperaturas e boa vida útil. As de lítio fosfato de ferro são resistentes a sobrecargas e seguras. Estes dois tipos de baterias são atualmente usados em sistemas de regulação de frequência (MOURA, 2014). As baterias de íons-lítio são muito viáveis para utilização em sistemas elétricos de potência, por causa de sua boa resposta e segurança, tornando bem atrativa para integração de armazenamento por fontes renováveis. Hoje é uma tecnologia muito cara, porém ela apresenta uma forte tendência de redução de custos nos próximos anos.

### **2.7.2.3 Baterias de Sódio-Enxofre**

As baterias de sódio-enxofre (NaS), representada na Figura 16, possuem 3 a 5 vezes a densidade de energia e potência das melhores baterias ácidas (MOURA, 2014). São baterias recarregáveis que operam a altas temperaturas (250 a 400 °C), utilizam sódio metálico e oferecem soluções atraentes para muitas aplicações de armazenamento de energia elétrica em larga escala. As aplicações incluem o nivelamento de carga, qualidade de energia e corte de picos, bem como nas energias renováveis para o gerenciamento e integração (DÍAZ-GONZÁLEZ et al., 2012; POULLIKKAS, 2013).

Figura 16 - Bateria de sódio- enxofre.



Fonte: Poullikkas (2013).

Uma bateria de sódio-enxofre é um tipo de bateria de metal fundido construído a partir de sódio e enxofre. Usam materiais baratos e abundantes, e têm um período de vida útil longa. No entanto, o sódio é muito corrosivo e reativo, e o seu custo é elevado. Outra variante destas baterias é a bateria sódio-sal, que é obtida, substituindo o enxofre por um sal, como por exemplo o cloreto de níquel. A principal vantagem de utilização de cloreto de níquel é tornar a pilha menos tóxica, contudo a densidade de energia diminuiu cerca de 30% e o tempo de vida útil reduz para 20% (MOURA, 2014).

### 2.7.3 Armazenamento de Hidrogênio

O hidrogênio pode ser obtido de várias maneiras: por meio de eletrólise a partir de energias renováveis, tais como instalações solares ou eólicas, gaseificação de biomassa, carvão ou combustíveis (que é o mais comum das opções). Embora seja o elemento mais abundante na natureza, o hidrogênio não existe no seu estado elementar, sendo apenas um portador de energia sintético, gerado por outros processos. Quando produzido a partir de fontes renováveis, nomeadamente eólica, pode ser armazenado para ser usado diretamente em células de combustível, ou transportados aos utilizadores através de condutas para produção de eletricidade (DÍAZ-GONZÁLEZ et al., 2012).

A combustão de hidrogênio com níveis adequados de oxigênio em motores de combustão interna resulta em emissões atmosféricas muito baixas, podendo ser desprezíveis. Mas, para converter a energia contida no hidrogênio em energia elétrica, o processo mais aconselhável é a utilização de células de combustível, quando combinado com oxigênio, resulta apenas na liberação de energia elétrica e de água. Sendo inexistentes quaisquer emissões poluentes para o ambiente (MOURA, 2014).

Armazenamento de hidrogênio apresenta um alto custo, é uma tecnologia que ainda tem bastante estudo para o seu amadurecimento e aplicação em grande escala e para diferentes aplicações (KOOHI-FAYEGH; ROSEN, 2020). Possui uma vida útil longa e um dos problemas encontrados está associado ao seu armazenamento. Uma vez que possui uma densidade energética bastante baixa, quando à pressão atmosférica, torna-se necessário comprimi-lo a pressões muito elevadas ou então armazená-la sob a forma líquida. Este processo implica elevados consumos de energia, que varia entre 10 (para compressão até 200 atm) e 35% (para liquidificar o hidrogênio) da energia total contida no hidrogênio.

### **3 MATERIAL E MÉTODOS**

Para realização deste trabalho foi desenvolvida uma pesquisa exploratória, explicativa e descritiva através de levantamentos bibliográficos como livros, artigos e revistas científicas, análise e interpretação de dados do setor elétrico de Cabo Verde, bem como da GESTO ENERGIA (empresa especialista em consultoria energética e estudos de avaliação de Potencial de energias renováveis, para Direção Geral de Energia de Cabo Verde).

Foram realizadas leituras e análises de toda a documentação recolhida de interesse e que se relaciona com o tema. Ao longo do trabalho foi feita uma análise crítica e sugestiva de diferentes tópicos.

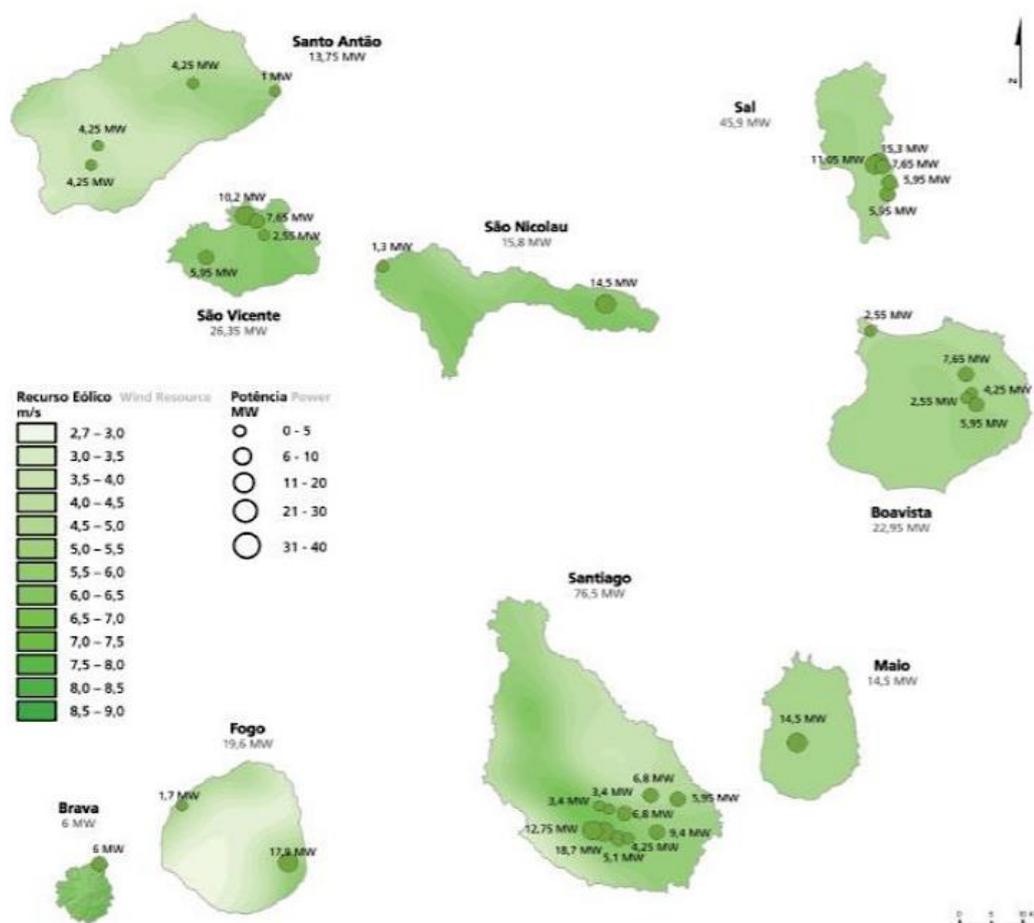
#### **3.1 Caracterização das localidades para a instalação de Parque Eólico**

A GESTO ENERGIA (GE) desenvolveu um estudo complexo de identificação de ZDER para as ilhas de Cabo Verde, zonas estas vocacionadas para acolher projetos solares, eólicos, hídricos, geotérmicos, de resíduos sólidos urbanos (RSU) e marítimos. Juntamente com a definição das ZDER estimou-se também respectivas potências (MW) para cada ilha, obedecendo um conjunto de requisitos técnicos, legais, logísticos e ambientais.

O conhecimento das características do recurso é a base para realização dos estudos de viabilidade econômica de qualquer projeto de fontes renováveis, onde se incluem os projetos eólicos. Assim, para uma boa caracterização do potencial eólico, de uma determinada área, é necessária a obtenção de uma série temporal de registos de medições da velocidade do vento, assim como, reunir um conjunto relevante de informação que depois de compilado, tratada e validada, permita a tomada de decisão sobre a viabilidade técnica e financeira de um projeto desta natureza (SOLUTIONS, 2011).

Segundo os estudos da GE junto com a Riso National Laboratory, o potencial eólico do arquipélago de Cabo Verde apresenta as características mostradas na Figura 17, com as respectivas potências estimadas de produção. O mapa resultante da velocidade média anual do vento resultou do processamento dos dados obtidos de potência a 50 metros, para condições de vento.

Figura 17 - Velocidade média anual do vento a 50 m e suas respectivas potências (MW) das ilhas de Cabo Verde.

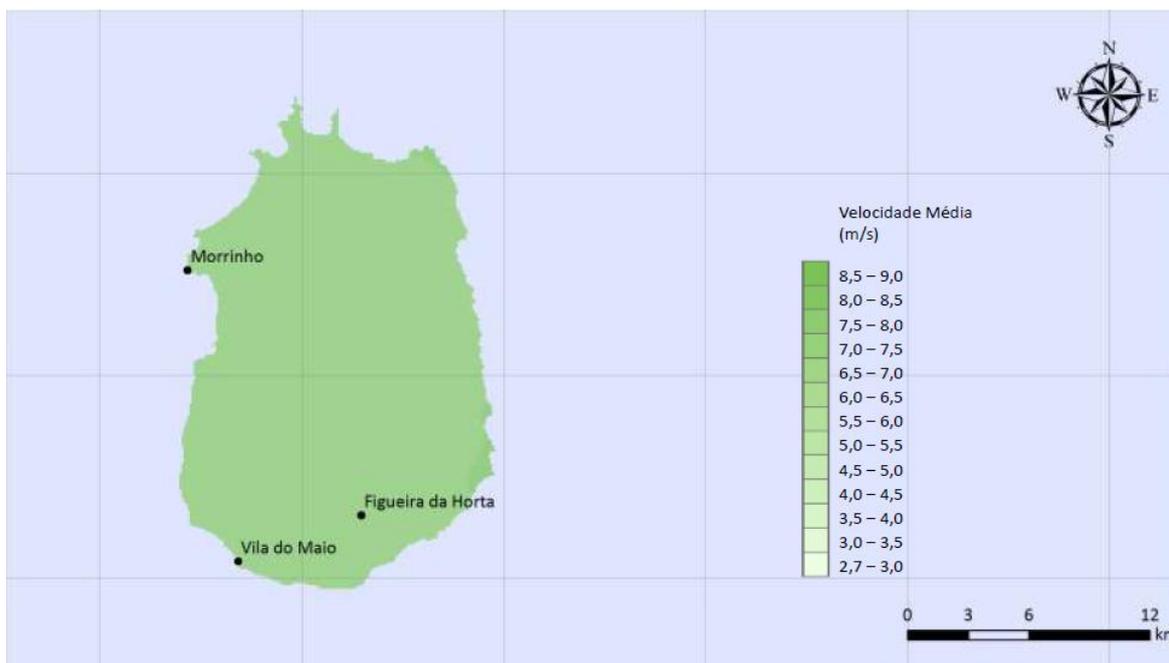


Fonte: Gestó (2011).

Para a ilha do Maio estimou-se uma potência de 14,5 MW para a instalação de parque eólico. Esta ilha apresenta uma morfologia pouco acidentada sendo que a cota mais alta e pontual encontra nos 437 m no Monte Penoso, o que contribui para poucas variações nas velocidades dos ventos. De acordo com a análise de estudo à meso escala realizada sobre o assentamento da ilha, o recurso eólico apresenta um comportamento homogêneo em toda ilha, da ordem de 6,5 m/s (SOLUTIONS, 2011).

Por ser uma ilha sem muito relevo, a ilha do Maio, juntamente com a ilha do Sal e Boavista, representam maior homogeneidade do vento, o que condiciona a favor de um bom aproveitamento eólico (GESTO, 2011). A Figura 18 mostra a velocidade média anual do vento na ilha do Maio, no qual se observa pouca variação de velocidade do vento sobre a ilha.

Figura 18 - Mapa de velocidade média anual da Ilha do Maio.

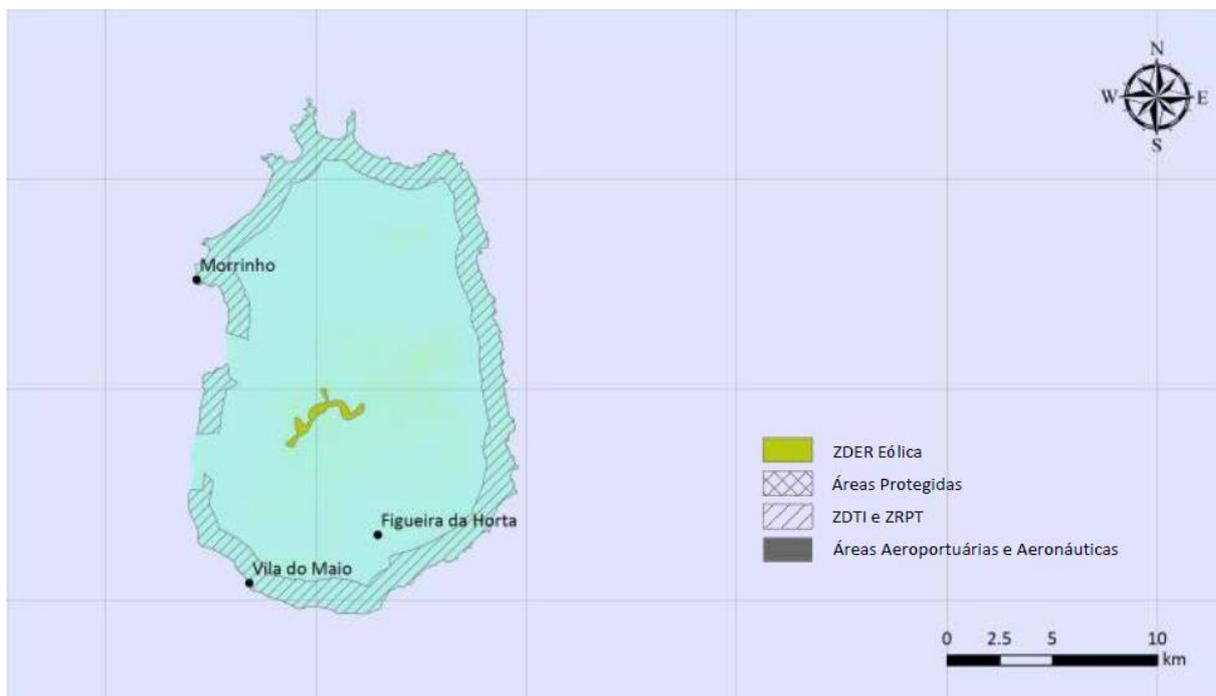


Fonte: Gesto (2011).

De acordo com os estudos realizado pela GE a ilha do Maio apresenta apenas uma zona para instalação de parque eólico, com uma área total de 1,71 km<sup>2</sup> (área verde da Figura 19) localizada em Monte Batalha da referida ilha, com um suporte para conter até no máximo 17 aerogeradores (GESTO, 2011).

A definição das ZDER para projetos de aproveitamento de recurso eólico resultou, do cruzamento de toda a informação recolhida em termos de ambiente, ordenamento do território, orografia do terreno e informação sobre o potencial eólico. A análise ambiental consistiu na principal preocupação em evitar zonas classificadas como áreas naturais, reservas e/ou parques naturais e áreas urbanas, uma vez que os impactos sobre a população devido ao ruído produzido pelos aerogeradores constituem um dos principais focos de perturbação dos projetos eólicos. No que concerne ao ordenamento de território (gestão da interação Homem/espaco natural), a preocupação principal foi não afetar áreas de interesses e dinâmicas de desenvolvimento do Arquipélago e áreas classificadas como urbanas ou de desenvolvimento turístico (GESTO, 2011).

Figura 19 - Mapa de ZDER eólica do Maio.



Fonte: Gesto (2011).

### 3.2 Análise e aplicações das tecnologias de armazenamento de energia.

Cada tecnologia tem inerentes limitações e desvantagens, que as tornam apenas utilizáveis ou economicamente rentáveis para uma gama limitada de aplicações. A Tabela 6 faz uma comparação das características fundamentais das tecnologias de armazenamento referidas neste estudo.

Tabela 6 - Comparação entre as tecnologias de armazenamento.

<b>Tecnologia</b>	<b>Vantagem</b>	<b>Desvantagem</b>	<b>Rendimento (%)</b>	<b>Duração de descarga</b>	<b>Tempo de vida</b>
Hídrica reversível	Elevada potência e baixo custo	Requisitos especiais para o local	70-85	4-12 h	30-50 anos
Baterias ácidas de chumbo	Baixo investimento	Ciclo de vida limitado, quando descarregada intensamente	85	1min-8 h	3-12 anos
Baterias íões de lítio	Elevada densidade de energia e potência e elevado rendimento	Custo de produção elevado e requisitos especiais de circuito de carga	60-70	1min-8 h	15-20 anos
Baterias de sódio-enxofre	Pouca manutenção e 99% reciclável	Custo elevado	75-85	1min-7 h	
Armazenamento de hidrogênio	Baixo impacto ambiental	Alto custo	60-70	1-4 h	15-20 anos

Fonte: (KOOHI-FAYEGH; ROSEN, 2020; POULLIKKAS, 2013).

Em termos gerais as aplicações em sistemas elétricos de potência o armazenamento de energia é dimensionado para uma hora ou menos e as aplicações em sistemas elétricos de consumo para períodos mais longos. O tamanho e o peso dos dispositivos de armazenamento são fatores importantes para determinadas aplicações. O rendimento e o ciclo de vida também têm uma elevada importância, pois ambos influenciam o custo.

Entre as tecnologias de armazenamento de energia, apenas as hídras reversíveis e baterias de chumbo-ácido são utilizadas há bastante anos e se encontra bem estabelecidas no mercado. Porém as baterias de chumbo ácido apresentam uma desvantagem em relação a hídrica reversível por gerar um alto impacto ambiental. As outras tecnologias, desconsiderando as baterias ácidas de chumbo, apresentam custos elevados (mas estão a diminuir ao longo dos anos) e reduzida disponibilidade comercial.

As hídras reversíveis têm tido uma função no desempenho de serviço de equilíbrio do sistema elétrico. Os grandes aproveitamentos hídricos reversíveis podem alternar entre o modo de geração e de bombagem em poucos segundos, armazenando a energia produzida em excesso pelas fontes renováveis intermitentes e libertando-o quando a produção decresce. Tal forma de armazenamento tem potencial para armazenamento em larga escala, com rápidos tempos de respostas e baixos custos. Num futuro próximo as baterias quânticas e o armazenamento térmico com turbina podem ser outras alternativas com elevado potencial, mais ainda com elevada incerteza em termos de custos e desempenho (MOURA, 2014).

Para ilha do Maio as tecnologias que apresentam maior viabilidade no armazenamento de energia são hídrica reversível e baterias de chumbo ácido. As duas tecnologias já se encontram bem consolidadas no mercado e têm bastante uso na aplicação de rede elétrica. As principais diferenças destas duas tecnologias é que as baterias de chumbo ácido causam mais impacto ambiental e tem o tempo de vida útil é menor em relação a hídrica reversível. Na escolha entre essas duas tecnologias de armazenamento depende dos investidores ou responsáveis de implementação da tecnologia, de se optar por um sistema mais sustentável ou não. A ilha do Maio tem uma montanha com uma elevação com cerca de 437 metros, podendo ser uma opção adequada à uso de bombeamento hídrico como técnica de armazenamento. O tempo de vida útil também pode influenciar na escolha entre estas tecnologias.

## 4 ORÇAMENTO

Projetos de instalação de turbinas eólicas continuam a evoluir no mercado econômico para reduzir custos de operação e manutenção e aumentar rendimento (desenvolvimentos de máquinas maiores), erguendo a melhora da economia de energia eólica em uma ampla gama de operações e condições de vento. Instalação de parques eólicos em terra (onshore) ou no mar (offshore) não é barato em comparação com outras fontes renováveis, sendo seu investimento girar em torno de milhões de dólares, porém a escala do tempo de retorno do seu investimento é muito mais rápido (FRIEDBERG, 2006).

Para um parque eólico com duas turbinas da marca Vestas, com capacidade de produção de 2 MW, os custos são estimados em torno de 20 milhões de dólares. Esse valor incluiu as despesas desde o início da instalação até o fim do projeto. A Vestas é uma fabricante dinamarquesa, vendedora, instaladora e prestadora de serviços de turbinas eólicas. Como a melhor empresa fabricante de aerogeradores, as turbinas feitas pela empresa são consideradas as melhores do mundo (REICHE, 2012; VESTAS, 2021).

A segunda empresa pioneira no ramo de turbinas eólicas é a Nordex. A Nordex é uma empresa alemã que projeta, fabrica e vende turbinas eólicas. As estimativas de cálculo de seu custo apresentam um valor um pouco menor em comparação com a marca Vestas. Estimou-se um valor em cerca de 19,4 milhões de dólares para implementação de um parque eólico com duas turbinas com mesma capacidade de produção (2 MW) (NORDEX, 2021; REICHE, 2012).

Hoje o custo de produção de um megawatt-hora (MWh) de energia eólica é um quinto menor do que era 20 anos atrás. No entanto, a faixa de preço varia com o tamanho de turbinas e produtores e automaticamente com a quantidade de turbinas desejadas para a instalação de um parque eólico (SAHIN, 2004).

Na Tabela 7 é mostrado o preço de custo (em dólar) ao longo dos anos da energia elétrica por fonte eólica. Verifica-se que há uma queda de preço considerável com o passar dos anos. Estudos confirmam (BROWER et al., 2014; FRIEDBERG, 2006) que o preço da energia eólica baixará drasticamente até 2050, tornando muito viável a preferência pelo consumo desta, em relação a outras fontes. Entre 2015 e 2019, a fonte eólica foi beneficiada pelos preços mais baixos praticados nos leilões de contratação. E nos últimos cinco anos a energia elétrica produzida pelo recurso eólico foi o mais baixo entre as fontes renováveis.

Tabela 7 - Preço de custo da energia elétrica por fonte eólica.

Ano	Preço (\$/MWh)
2000	105
2005	85
2010	60
2015	50
2020	35

Fonte: Friedberg (2006); Brower et al. (2014) e Sahin (2004).

Na última década deparou-se um aumento acelerado no setor de energia eólica, que mudou a diversificação de eletricidade em muitos países e trouxe benefícios ambientais significativos (FRIEDBERG, 2006). Ao mesmo tempo, a indústria de energia eólica é uma excelente oportunidade de criação de empregos e promove um importante desenvolvimento econômico, o que demonstra que mesmo sendo um investimento caro, não deixa de ser interessante a implementação de um parque eólico.

#### 4.1 Fonte Financiadora

No âmbito de auxílio para desenvolvimento sustentável de países em desenvolvimento, várias instituições se interessam pelo financiamento de projetos que impactam significativamente a economia e promove desenvolvimento a nível geral do país. Muitas dessas instituições recebem doações de empresas privadas, governos ou mesmo de pessoas.

A África Finance Corporation (AFC) é uma instituição financeira multilateral africana independente, criada em 2007 para catalisar o investimento em infraestrutura liderado pelo setor privado em toda África. A abordagem da AFC combina conhecimento especializado da indústria com foco em consultoria financeira e técnica, estruturação de projetos, desenvolvimento de projetos e capital de risco para atender às necessidades de desenvolvimento de infraestrutura da África. A Corporação financia e desenvolve principalmente projetos nos setores de energia, transporte e logística, indústrias pesadas, recursos naturais e telecomunicações. Desde a sua fundação, até o presente momento, a AFC já investiu mais de 8,7 bilhões de dólares em projetos em 35 países africanos (AFRICA FINANCE CORPORATION., 2019).

A InfraCo África é uma empresa de desenvolvimento de infraestruturas, fundada em 2004, que desenvolve e financia projetos que prometem desenvolvimento dos países da África-subsaariana (países africanos situados ao sul do deserto do Saara). A empresa com gestão privada recebe financiamento público dos governos do Reino Unido, Holanda e Suíça. O propósito destes financiamentos governamentais é de que a InfraCo “abraçe” e financie projetos para desenvolvimento dos países subsaariana. Da sua criação até então, já financiou 1 bilhão de dólares em 18 projetos e com ambição de fazer mais pelo crescimento e desenvolvimento dos países africanos (INFRACO ÁFRICA., 2021).

Além dessas instituições e empresas citadas que financiam projetos de infraestrutura, também há bastante empresas privadas que apoiam e investem financiamento de projetos do mesmo caráter. Isto acontece muitas vezes, devido ao reconhecimento destas empresas pela ONU, na contribuição aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS-ONU).

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A energia consumida em Cabo Verde é majoritariamente proveniente das fontes térmicas convencionais. O país apresenta uma escassez de recursos energéticos e é fortemente dependente da importação de combustíveis fósseis, na produção de eletricidade. Este cenário faz com que o preço da produção de energia seja mais caro, devido ao elevado custo do valor do petróleo.

Sendo um país altamente rico em recursos naturais e com um excelente potencial eólico, o aproveitamento destes recursos para a produção de eletricidade, traz uma diminuição significativa à dependência térmica e redução nos gastos em combustíveis fósseis.

Analisou-se apenas a ilha do Maio neste trabalho. Fez-se as características das condições do vento e análise no setor elétrico do mesmo. Depara-se que, a ilha é dependente das térmicas tradicionais e não há exploração de nenhum outro meio para a produção de energia elétrica. Uma outra alternativa é apresentada neste trabalho como a solução desta realidade, a exploração da energia eólica, de forma a aliviar o setor energético (à dependência térmica) da ilha e beneficiar dos impactos trazidos pelo evento.

A produção da energia eólica depende primariamente da velocidade dos ventos onde as turbinas eólicas são instaladas. Por ser altamente dependente de condições geográficas e climáticas, especialmente anemométricas (relacionados às velocidades dos ventos), a localização dos parques eólicos prioriza áreas com velocidades dos ventos elevados, para viabilizar os investimentos. Porém a partir de 5 m/s já é considerado adequado e viável a instalação do parque eólico no local. No estudo para a ilha do Maio constou-se que a velocidade média do vento é cerca de 6,5 m/s, com poucas variações durante o ano, podendo concluir que é viável a implantação de energia eólica na ilha. Também há possibilidade de integrar a exploração da energia solar junto com a eólica, o que torna o sistema, um sistema híbrido.

A energia eólica vem experimentando um crescimento rápido. Sendo considerada uma alternativa energética limpa e competitiva, inclusive com tecnologias tradicionais. No cenário internacional, depara-se que a tecnologia vem decrementando de preço para sua instalação, o que pode trazer esperança para um futuro com mais parques eólicos no setor elétrico.

Os investimentos no setor eólico, além de ser uma fonte renovável, contribuiu para completar e diversificar a matriz energética de Cabo Verde. Com um grande potencial de gerar empregos e contribuir para o desenvolvimento sustentável, torna um forte instrumento para aquecer a economia. A geração de empregos não deve, no entanto, ser o único parâmetro a

decidir a adoção da energia eólica. Além de geração de empregos, a energia eólica traz benefícios sociais e ambientais, podendo aumentar a renda total das comunidades atingidas pelos parques e oferecer oportunidades de empregos temporários.

Antes da instalação dos parques, as empresas eólicas fazem a regularização fundiária das propriedades (se esta não estiver feita) dos donos, de modo a viabilizá-las juridicamente como objeto dos contratos de arrendamento. A maneira como os empreendedores e os proprietários de terra se relaciona é inovadora, diferentemente de outras fontes de energia. Em parques eólicos, que ocupam menos de 10% da área total da propriedade, podem coexistir diversas atividades econômicas, geralmente agricultura, pecuária e também industrial. Os proprietários das terras não são desalojados, mas pelo contrário, as terras são arrendadas por uma quantia mensal ou anual, constituindo a diversificação da renda do proprietário e um meio para melhorar a produtividade das atividades econômicas locais em áreas rurais.

A instalação de parque eólicos nos municípios tem uma relação positiva e significativa com o IDHM e índice de Gini. Resultados dos estudos mostram que os municípios em que foram instalados parques eólicos teve um aumento no IDHM em relação aos municípios que não sofreram o evento. A diminuição no índice de Gini, isto é, diminuição da desigualdade de renda, também mostrou um resultado significativo comparado com os municípios que não ocorreu a instalação dos parques eólicos. Portanto, para a ilha do Maio, se ocorrer a instalação de um parque eólico, estima-se que de alguma maneira esses índices aumentará em alguma percentagem.

A produção de energia elétrica nos parques eólicos emite quantidade neutra de CO<sub>2</sub> e de outros gases de efeito de estufa, contribuindo assim por não agravar a qualidade do ar e questões climáticas e de saúde pública. No que abrange ao cumprimento dos protocolos internacionais quanto à diminuição dos impactos ambientais, a energia eólica torna evidente que é indispensável a sua integração no setor elétrico. Por não gerar emissões atmosféricas e devido ao impacto no uso e na ocupação do solo ser de baixa magnitude, a energia eólica contribui para a preservação da flora e fauna.

No que diz respeito aos impactos negativos trazidos pela eólica, destaca a geração de ruído, impacto estético visual e colisão com os pássaros ou morcegos. Alguns estudos apontam também a interferência eletromagnética. Porém, como qualquer tecnologia energética, a eólica também apresenta seus impactos desfavoráveis. Vale realçar que alguns desses impactos negativos (principalmente a colisão dos pássaros e geração de ruído) estão sendo atenuados por meio da inovação tecnológica das turbinas.

As tecnologias de armazenamento de energia são um fator importante quando se refere a produção de energia por fontes renováveis em larga escala, visto que estes têm um comportamento intermitente. Foram caracterizadas algumas tecnologias de armazenamento de energia, nomeadamente hídras reversíveis, baterias e hidrogênio. Nos serviços de regulação de controlo e de frequência, as hídras reversíveis são tradicionalmente utilizadas. Contudo, existem outras alternativas, embora técnica e economicamente menos vantajosas, nomeadamente alguns tipos de baterias. A tecnologia de armazenamento utilizando baterias no geral apresenta um custo elevado, mas é uma tecnologia que apresenta uma redução de preço considerável a cada ano.

Os orçamentos para implantação de um parque eólico são elevados, girando em torno de milhões de dólares. O seu preço de instalação tem diminuído nas últimas décadas, dando mais possibilidade de agregação para países com menos recursos e aumentando a integração desta nos países em geral. Hoje várias instituições e empresas privadas financiam projetos ligados a setores de energia, principalmente quando se refere a energia verde.

A energia eólica é uma fonte limpa, renovável e abundante em Cabo Verde. A exploração desta na ilha do Maio ou em qualquer ilha do arquipélago, seria uma maneira inteligente de mitigar alguns dos problemas apresentados no setor elétrico do país e contribuir na descarbonização mundial.

## 6 BIBLIOGRAFIA

- AFRICA FINANCE CORPORATION. **INTRODUCTION FROM OUR PRESIDENT & CEO**. Disponível em: <<https://www.africafc.org/about-us/introduction-from-our-president-ceo/>>. Acesso em: 31 out. 2021.
- AGENCY, I. I. R. E. *A Path to Prosperity : Renewable energy for islands Third Edition*. n. November, p. 7–18, 2016.
- AL-ADSANI, A.; IEEE, M. *Wind Turbine Productivity and Wind Energy Assessment : An Ontario Case Study*. v. 3, p. 0–4, 2020.
- ALBRIGHT, G.; EDIE, J.; AL-HALLAJ, S. *A Comparison of Lead Acid to Lithium-ion in Stationary Storage Applications Contributors : AllCell Technologies LLC*, n. March, p. 14, 2012.
- BRITO, V. P. DA G. *Integração de Produção Renovável nas ilhas de Cabo Verde - São Vicente. Dissertação de Mestrado*, 2014.
- BROWER, M. et al. **Renewables 2014: Global Status Report**. [s.l: s.n.].
- CARVALHO, D. P.; PINTO, F. R. *Energia Eólica. Compêndio Amazônico: Noções sobre Meio Ambiente*, p. 72–76, 2021.
- CEDEAO. **Relatório de Base para CABO VERDE**. [s.l: s.n.].
- DÍAZ-GONZÁLEZ, F. et al. *A review of energy storage technologies for wind power applications. Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 16, n. 4, p. 2154–2171, 2012.
- DIREÇÃO GERAL DO TURISMO. *Inventário dos Recursos Turísticos - ILHA do MAIO*. 2019.
- ELECTRA. *Relatório e Contas 2019 - Luz Saúde*, S. A. 2019.
- FRIEDBERG, A. **The Age of Wind Energy**. [s.l: s.n.].
- GESTO, E. *Atlas e projectos de energias renováveis de Cabo Verde. Governo de Cabo Verde*, p. 448, 2011.
- GO ASSOCIADOS. **IMPACTOS SOCIOECONÔMICOS E AMBIENTAIS DA GERAÇÃO DE ENERGIA EÓLICA NO BRASIL**. p. 1–84, 2020.
- GREENPRO. **Energia Fotovoltaico manual sobre tecnologias, projeto e instalação**. [s.l: s.n.].
- HINE. **Industries**. Disponível em: <<https://www.hinegroup.com/hydraulic-systems-wind-power/>>. Acesso em: 2 nov. 2021.
- INFRACO ÁFRICA. **Introducing InfraCo Africa**. Disponível em: <<https://infracoafrica.com>>. Acesso em: 31 out. 2021.

- KOOHI-FAYEGH, S.; ROSEN, M. A. A Review of Renewable Energy Options, Applications, Facilitating Technologies and Recent Developments. **European Journal of Sustainable Development Research**, v. 4, n. 4, p. em0138, 2020.
- KUANG, Y. et al. A review of renewable energy utilization in islands. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 59, p. 504–513, 2016.
- LLERA SASTRESA, E. et al. Local impact of renewables on employment: Assessment methodology and case study. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 14, n. 2, p. 679–690, 2010.
- LYONS, J. P. et al. Wind turbine technology - the path to 20% US electrical energy. **IEEE Power and Energy Society 2008 General Meeting: Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Century, PES**, p. 23–26, 2008.
- MAEGAARD, P. Wind energy development and application prospects of non-grid-connected wind power. **WNWEC 2009 - 2009 World Non-Grid-Connected Wind Power and Energy Conference**, p. 1–3, 2009.
- MONTEIRO ALVES, L. M.; LOPES COSTA, A.; DA GRAÇA CARVALHO, M. Analysis of potential for market penetration of renewable energy technologies in peripheral islands. **Renewable Energy**, v. 19, n. 1–2, p. 311–317, 2000.
- MOURA, P. S. Metodologias e Tecnologias para a Integração em Larga Escala de Fontes Renováveis Intermitentes. **Tese de Doutorado**, n. January, 2014.
- NINLA ELMAWATI FALABIBA. Ilha do Maio Cabo Verde. 2019.
- NORDEX. **THE N117/3600**. Disponível em: <<https://www.nordex-online.com/en/company/>>. Acesso em: 3 nov. 2021.
- PORTAL SOLAR. **Mini guia: o que você precisa saber sobre energia híbrida**. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/blog-solar/energia-solar/mini-guia-o-que-voce-precisa-saber-sobre-energia-hibrida.html>>. Acesso em: 20 ago. 2021.
- POULLIKKAS, A. A comparative overview of large-scale battery systems for electricity storage. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 27, p. 778–788, 2013.
- REICHE, K. G. H. Estudo de Caso PROJETO EÓLICO DA CABEÓLICA Cabo Verde. 2012.
- RENEWABLE, I.; AGENCY, E. The Socio-economic Benefits of Solar and Wind Energy. n. May, 2014.
- REPÚBLICA DE CAVO VERDE CONSULADO GERAL NA HOLANDA. **Cabo Verde- Informações gerais**. Disponível em: <<https://www.conscv.nl/pt/cabo-verde/informacoes-gerais-sobre-cabo-verde>>. Acesso em: 2 ago. 2021.
- SÆPÓRSDÓTTIR, A. D.; ÓLAFSDÓTTIR, R. Energy for Sustainable Development Not in

- my back yard or not on my playground : Residents and tourists ' attitudes towards wind turbines in Icelandic landscapes. **Energy for Sustainable Development**, v. 54, p. 127–138, 2020.
- SAHIN, A. D. Progress and recent trends in wind energy. **Progress in Energy and Combustion Science**, v. 30, n. 5, p. 501–543, 2004.
- SAIDUR, R. et al. Environmental impact of wind energy. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 15, n. 5, p. 2423–2430, 2011.
- SHI, X. et al. Research on Energy Storage Configuration Method Based on Wind and Solar Volatility. **2020 10th International Conference on Power and Energy Systems, ICPES 2020**, p. 464–468, 2020.
- SIMAS, M.; PACCA, S. Energia eólica, geração de empregos e desenvolvimento sustentável. **Estudos Avançados**, v. 27, n. 77, p. 97–116, 2013.
- SOLUTIONS, G. E. **Plano Enegetico Renovável CABO VERDE**. [s.l: s.n.].
- VESTAS. **Options available for the V100-2.0 MW**. Disponível em: <<https://www.vestas.com/en/products/2-mw-platform/V100-2-0-MW>>. Acesso em: 3 nov. 2021.
- WINDPOWER. **Keystone Tower Systems installs world's first tapered spiral welded tower**. Disponível em: <<https://www.windpowerengineering.com/keystone-tower-systems-installs-worlds-first-tapered-spiral-welded-tower/>>. Acesso em: 2 nov. 2021.
- ZHAO, H. et al. Review of energy storage system for wind power integration support. **Applied Energy**, v. 137, p. 545–553, 2015.

## 7 ANEXO

### 7.1 Figura 20: Pás



Fonte: (HINE, 2020).

## 7.2 Figura 21: Nacele



Fonte: (HINE, 2020).

### 7.3 Figura 22: Torre



Fonte: (WINDPOWER, 2015).