



**UNILAB**

Universidade da Integração Internacional  
da Lusofonia Afro-Brasileira

**INSTITUTO DE ENGENHARIAS E DESENVOLVIMENTO  
SUSTENTÁVEL  
CURSO DE ENGENHARIA DE ENERGIAS**

**LEILA ARIANA GOMES DELGADO**

**ESTUDO PRELIMINAR DE VIABILIDADE TÉCNICA PARA  
IMPLANTAÇÃO DE UM PARQUE EÓLICO NA ILHA DE SÃO  
VICENTE, EM CABO VERDE, BASEADO NO SOFTWARE  
RETSCREEN**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**ACARAPE  
2018**

LEILA ARIANA GOMES DELGADO

**ESTUDO PRELIMINAR DE VIABILIDADE TÉCNICA PARA  
IMPLANTAÇÃO DE UM PARQUE EÓLICO NA ILHA DE SÃO  
VICENTE, EM CABO VERDE, BASEADO NO SOFTWARE  
RETSCREEN**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado ao curso de engenharia de Energias, da Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira – UNILAB, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel.

Orientador: Me. Humberto Ícaro Pinto Fontinele

ACARAPE  
2018

# FICHA CATALOGRÁFICA

Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira  
Sistema de Bibliotecas da UNILAB  
Catalogação de Publicação na Fonte.

---

Delgado, Leila Ariana Gomes.

D392e

Estudo preliminar de viabilidade técnica para implantação de um parque eólico na ilha de São Vicente, em Cabo Verde baseado no software Retscreen / Leila Ariana Gomes Delgado. - Redenção, 2018. 86 f: il.

Monografia - Curso de Engenharia de Energias, Instituto de Engenharias e Desenvolvimento Sustentável, Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, Redenção, 2018.

Orientador: Prof. Me. Humberto Ícaro Pinto Fontinele.

1. Energia eólica - Cabo Verde. 2. Planejamento estratégico.  
3. Geração de energia eólica. I. Título

CE/UF/BSP

CDD 621.45

---

**LEILA ARIANA GOMES DELGADO**

**ESTUDO PRELIMINAR DE VIABILIDADE TÉCNICA PARA IMPLANTAÇÃO DE  
UM PARQUE EÓLICO NA ILHA DE SÃO VICENTE, EM CABO VERDE,  
BASEADO NO SOFTWARE RETSCREEN**

Trabalho de conclusão de curso desenvolvido na Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira do Instituto de Engenharias e Desenvolvimento sustentável como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Energias.

**Área de concentração:**  
Engenharia de Energias.

Aprovado em 01/11/2018.

BANCA EXAMINADORA



Prof. MSc. Humberto Ícaro Pinto Fontinele  
Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB)



Prof. Dr. Herminio Miguel de Oliveira Filho  
Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB)



Prof. MSc. Francisco Olímpio Moura Carneiro  
Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB)

*Dedico este trabalho aos meus estimados pais, Tomás e Maria de Lourdes, meus irmãos Júlio e Monica ao meu adorado Filho Rayan e a todos os familiares e amigos que me acompanham e torcem por mim.*

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, por me dar saúde e perseverança durante todo o período da graduação. Aos meus pais, irmãos e filho, Tomás Delgado, Maria de Lourdes, Monica, Júlio e Rayan Delgado, pelo exemplo de vida e sabedoria, que me acompanham o tempo todo. Aos meus grandes amigos Riko de Pina e Mustafa Bari que nos momentos de estresse, quando eu mais precisava estavam sempre presentes me dando forças. Ao meu querido Orientador Ícaro Fontinele pela paciência, por todos os ensinamentos, as palavras e sabedoria por ele transmitida, pois sem ele a caminhada seria mais difícil. E, também, a querida Coordenadora do curso Silvia Helena pela paciência e pela disponibilidade de ajudar a todo o momento. Assim como, todos os professores e amigos que fiz ao longo do curso. A todos vocês, meu muito obrigado.

“Na natureza nada se cria, nada se  
perde, tudo se transforma.”

**(Antoine Lavoisier)**

## RESUMO

Este trabalho apresenta um estudo preliminar de viabilidade técnica e financeira para implantação de um parque eólico na ilha de São Vicente, em Cabo Verde. O intuito principal é identificar um local na ilha que melhor atenda aos critérios de viabilidade técnica e financeira exigidos para um empreendimento deste porte. Esta pesquisa se inicia com uma apresentação do cenário energético de Cabo Verde, com a descrição da matriz energética e da infraestrutura do sistema elétrico de potência do país. Este arquipélago tem um grande potencial eólico, portanto, torna-se vantajoso fazer um máximo proveito deste recurso de modo a diminuir a dependência do país dos combustíveis fósseis e também devido às questões ambientais. A pesquisa segue com um estudo de viabilidade, com uma estimativa de vida útil do parque eólico proposto e com o levantamento dos principais indicadores financeiros que permitem concluir sobre a viabilidade do investimento necessário para implantação do empreendimento.

**Palavras – chaves:** Cabo Verde, São Vicente, parque eólico, combustíveis fósseis, viabilidade financeira, viabilidade técnica.

## **ABSTRACT**

This research presents a preliminary technical and financial feasibility study for the implementation of a wind farm on the island of São Vicente in Cabo Verde. The main purpose is to identify a place on the island that best satisfies the criteria of technical and financial viability required for an enterprise of this size. This research begins with a presentation of the Cabo Verde energy overview, with a description of the energy matrix and the infrastructure of the country's power system. This archipelago has a great wind potential, so it is advantageous to make the most of this resource in order to reduce the country's dependence on fossil fuels and also due to environmental issues. The research follows with a feasibility study, with an estimated useful life of the proposed wind farm and the survey of the main financial indicators that allow to conclude on the viability of the investment needed for implementation.

**Keywords:** Cabo Verde, São Vicente, wind farm, fossil fuels, renewable sources, financial viability, technical feasibility.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Mapa do arquipélago de Cabo Verde.....	16
Figura 2 – Localização das Centrais Produtoras de Eletricidade.....	19
Figura 3- Arquitetura elétrica do Sistema Elétrico de Cabo Verde.....	20
Figura 4 - Representação da energia cinética absorvida por uma aerogerador.....	23
Figura 5 - Parque eólico localizado na parte oeste da ilha de São Vicente em Cabo Verde (capacidade de produção diária de 142,8MWh).....	24
Figura 6 - (a) Aerogerador de eixo horizontal, (b) aerogerador de eixo vertical, (c) aerogerador de eixo horizontal multipás e (d) aerogerador de eixo horizontal de duas pás.....	25
Figura 7 - Principais componentes de um aerogerador.....	27
Figura 8 - Topologia do barramento simples.....	31
Figura 9 - Topologia de Barra Simples Seccionada.....	32
Figura 10 -Topologia Barra Principal e Transferência.....	33
Figura 11 - Topologia que mescla as topologias barra “Simple Seccionada” e “Principal e Transferência”.....	34
Figura 12 - Etapas de desenvolvimento desse projeto eólico.....	35
Figura 13- Mapa da ilha de São Vicente, imagem de Satélite.....	36
Figura 14- Anemômetro de copos.....	38
Figura 15 - Torre Anemométrica.....	38
Figura 16 - Velocidade média dos ventos em Cabo Verde.....	39
Figura 17 - Ilha de São Vicente, Velocidade média do vento.....	40
Figura 18 - Locais escolhidos .....	41
Figura 19 - Evolução anual da produção de eletricidades das ilhas da região norte de Cabo Verde.....	42
Figura 20 - Diagrama Unifilar Simplificado do Sistema Elétrico de Cabo Verde.....	44
Figura 21 - Evolução da produção de Eletricidade com Energia eólica (MWh).....	45
Figura 22 - Diagrama do Fluxo de Caixa.....	51
Figura 23- Base de dado do Aerogerador .....	56
Figura 24 – Curva de potência.....	57
Figura 25 – Especificação do Aerogerador V52.....	57

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Repartição da potência região norte de cabo verde.....	41
Tabela 2 – Produção versus venda da energia elétrica em Cabo Verde.....	42
Tabela 3 – Energia produzida por tipo de tecnologia (KWh).....	45
Tabela 4 – Nome dos projetos e especificações .....	58
Tabela 5 – Estrutura de custos para uma típica aerogerador .....	58
Tabela 6 – Depreciação dos componentes de uma turbina eólica.....	59
Tabela 7 – Investimentos e custos O&M dos projetos eólicos.....	60
Tabela 8 – Principais indicadores calculados para diferentes projetos, cenário I.....	61
Tabela 9 – Indicador de VAL, cenário I.....	61
Tabela 10 - Principais indicadores calculados para diferentes projetos, cenário II.....	62
Tabela 11 – Indicador de VAL, cenário II.....	62

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

<b>AEB</b>	Água e Energia de Boa Vista
<b>AIA</b>	Avaliação de Impactos Ambientais
<b>APP</b>	Água de Ponta Preta
<b>ARE</b>	Agência de Regulação Económica
<b>CEDEAO</b>	Comunidade Económica dos Estados da África do Oeste
<b>DGE</b>	Direção Geral de Energia
<b>DGASP</b>	Direção Geral de Agricultura, Silvicultura e Pecuária
<b>ECV</b>	Escudo Cabo-verdiano
<b>ELECTRA</b>	Eletricidade e Água (companhia Pública de Cabo Verde)
<b>EREP</b>	Política de Energias Renováveis da CEDEAO
<b>GPL</b>	Gás de Petróleo Liquefeito
<b>INE</b>	Instituto Nacional de Estatística
<b>INMG</b>	Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica
<b>IUR</b>	Imposto Único sobre Rendimentos
<b>IVA</b>	Imposto sobre o Valor acrescentado
<b>KAMM</b>	Karlsruhe Atmospheric Mesascale Model
<b>MDR</b>	Ministério de Desenvolvimento Rural
<b>MTIE</b>	Ministério do Turismo, Indústria e Energia
<b>PNAER</b>	Plano Nacional para as Energias Renováveis
<b>PESER</b>	Plano Estratégico Setorial das Energias Renováveis
<b>PIB</b>	Produto Interno Bruto
<b>SEBRAE</b>	Serviço Brasileiro de apoio a Micro e Pequenas Empresas
<b>TIR</b>	Taxa Interna de Retorno
<b>VAL</b>	Valor atualizado Líquido
<b>VPL</b>	Valor Presente Líquido
<b>WASP</b>	Wind Atlas Analysis and Application Program
<b>ZDER</b>	Zonas de Desenvolvimento de Energias Renováveis

# SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>14</b>
1.2 CONTEXTUALIZAÇÃO.....	14
1.2.1 GEOGRAFIA E CLIMA DE CABO VERDE .....	16
1.2.2 SETOR ENERGÉTICO .....	16
1.3 OBJETIVO GERAL E ESPECÍFICOS.....	21
1.4 MOTIVAÇÃO.....	21
1.5 METODOLOGIA.....	21
1.6 ORGANIZAÇÃO DESTE TRABALHO.....	22
<b>2 USINAS EÓLICAS.....</b>	<b>22</b>
2.1 AEROGERADOR.....	24
2.1.1 CLASSIFICAÇÃO DOS AEROGERADORES.....	24
2.1.2 COMPONENTES DE UM AEROGERADOR.....	26
2.2 CABEAMENTO.....	27
2.3 SUBESTAÇÃO.....	29
2.3.1. TOPOLOGIA DAS SUBESTAÇÕES.....	30
2.3.1.1 BARRA SIMPLES.....	30
2.3.1.2 BARRA SIMPLES SECCIONADA.....	31
2.3.1.3 BARRA PRINCIPAL E TRANSFERÊNCIA.....	32
<b>3 ETAPAS DE ESTUDO DE VIABILIDADE DE IMPLANTAÇÃO DE UM PARQUE EÓLICO.....</b>	<b>35</b>
3.1 ESTUDOS PRÉVIOS.....	35
3.1.1 CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL DE INSTALAÇÃO.....	36
3.1.2 CONDIÇÕES DE VENTO.....	37
3.2 LEGISLAÇÕES PERTINENTES.....	46
3.2.1 INCENTIVOS ÀS ENERGIAS RENOVÁVEIS EM CABO VERDE.....	31
3.3 AVALIAÇÃO SÓCIOAMBIENTAL.....	50
3.4 AVALIAÇÃO ECONÔMICO FINANCEIRA.....	50
3.5 SOFTWARE RETSCREEN.....	52
3.6 COMISSONAMENTO.....	53
3.6.1 ETAPAS.....	53
3.7 DESCOMISSONAMENTO.....	54
3.7.1 ETAPAS.....	55
<b>4 RESULTADOS.....</b>	<b>56</b>
4.1 ESPECIFICAÇÃO DO TIPO E QUANTIDADE DE AEROGERADORES.....	56
4.2 VIABILIDADE FINANCEIRA.....	58
4.2.1 ANÁLISE FINANCEIRA .....	59
4.2.2 ANÁLISE DE RENTABILIDADE ECONÔMICA – FINANCEIRA.....	60
<b>5 CONCLUSÃO.....</b>	<b>62</b>
5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	63
<b>6 REFERÊNCIAS.....</b>	<b>65</b>

# 1 INTRODUÇÃO

A energia desempenha um papel fundamental na vida humana. Ao lado de transporte, telecomunicação, água e saneamento, compõe a infraestrutura necessária para incorporar o ser humano ao denominado modelo de desenvolvimento vigente. Para isso, o tratamento dos temas energéticos dentro dessa infraestrutura será da maior importância para que se caminhe na busca de um desenvolvimento sustentável (LOPEZ, 2012).

A eletricidade é um dos principais fatores responsável pelo conforto atribuído à vida moderna, pelo desenvolvimento de indústrias e pela evolução dos processos de produção, o que resulta em uma crescente demanda por energia elétrica. Logo, faz-se necessário encontrar soluções que viabilizam o aumento da produção de energia elétrica, aliada a minimização de impactos com o meio ambiente, obtendo assim energia limpa de fontes renováveis.

Em Cabo Verde, a demanda energética elétrica é suprida majoritariamente por centrais termoelétricas alimentadas por combustíveis fósseis. Esta situação que faz com que a economia energética do país esteja fortemente dependente dos instáveis mercados petrolíferos, ficando, deste modo, sujeita as constantes oscilações do preço dos combustíveis nos mercados internacionais (PERCV, 2011).

O problema torna-se mais grave pelo fato das ilhas de Cabo Verde serem dependentes de água desaminizada, tanto para o consumo como para o uso nas próprias termoelétricas, e sabe-se que a dessalinização exige um processo de tratamento com alto consumo energético.

Deste modo, é fundamental que Cabo Verde invista em fontes de energia renováveis, como forma de diminuir a dependência dos avultados custos de importação de combustíveis fósseis.

## 1.2 CONTEXTUALIZAÇÃO

### 1.2.1 Geografia e Clima de Cabo Verde

Cabo Verde é um arquipélago de origem vulcânica, constituído por dez ilhas, localizado a 455 km da costa ocidental africana.

Na figura 1, pode-se identificar no mapa as ilhas de Cabo Verde e como são divididas em dois grupos, consoante a posição face ao vento alísio do Nordeste. O grupo de *Barlavento* que integra as ilhas de Santo Antão, São Vicente, Santa Luzia, São

Nicolau, Sal e Boavista e o grupo de *Sotavento* que integra as ilhas de Maio, Santiago, Fogo e Brava.

“Tem uma área total de 4.033 km<sup>2</sup> e uma população total de 536.513 habitantes, com uma taxa de crescimento médio anual da população em 2016 de cerca de 1,4%” (Instituto Nacional de Estatística de Cabo Verde, 2016).

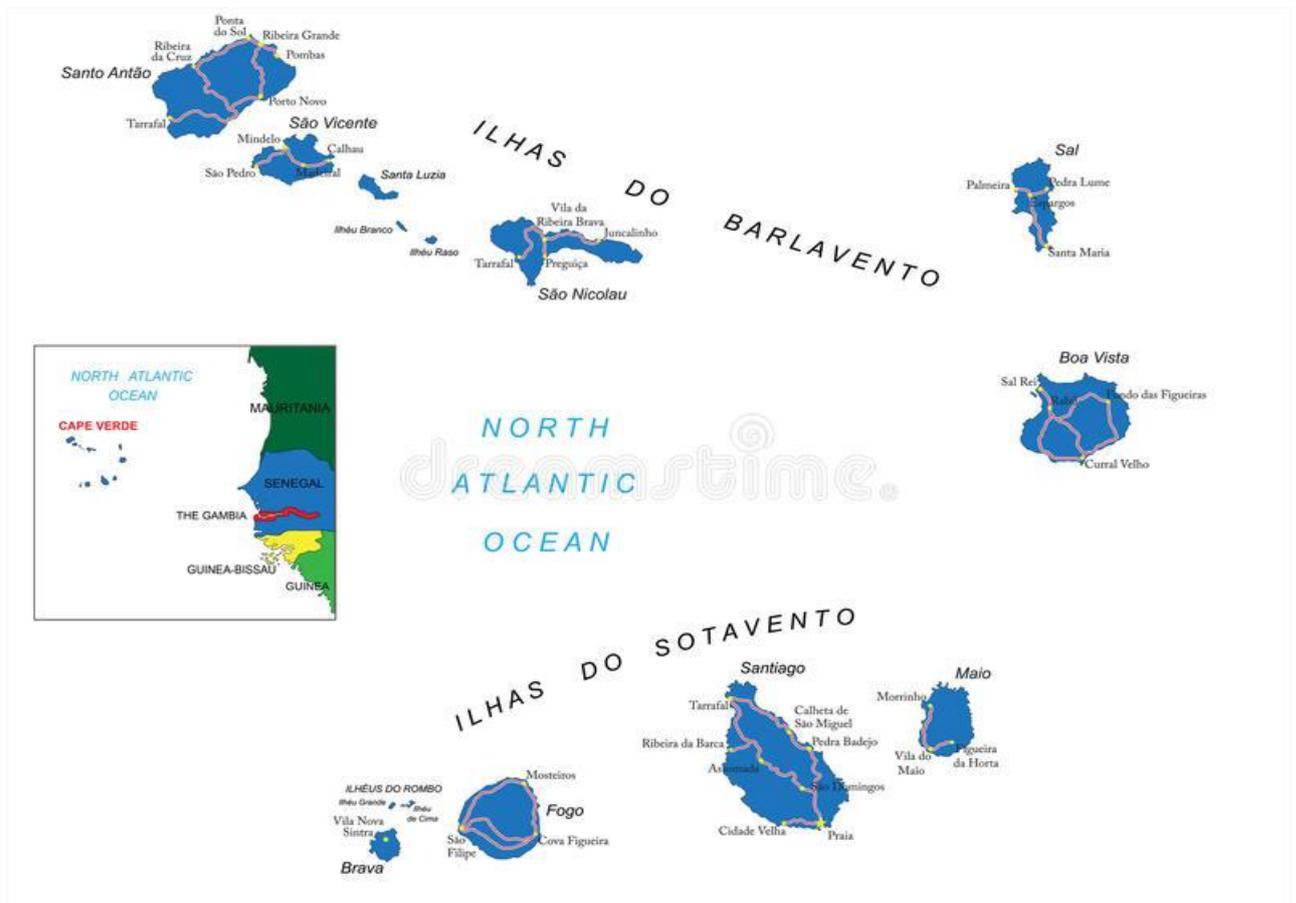
Mais de metade da população vive na ilha de **Santiago**, onde se localiza a capital do país, Praia. O ponto mais alto do país está situado na ilha do **Fogo**, um vulcão ativo, que chega a cerca de 2.800 metros e que teve sua última erupção em 2014. **Santo Antão** é a segunda maior ilha, é caracterizada por uma paisagem montanhosa, com os montes atingindo 1.979 metros, na localidade Topo da Coroa. **Boa Vista** tem as mais extensas praias de Cabo Verde e tem sido recentemente alvo dos investidores turísticos, que construíram vários hotéis e infraestruturas turísticas. A ilha de **São Nicolau** é uma ilha montanhosa, com uma economia fundamentalmente agrícola, mas está sujeita a secas. **Brava** é a menor das ilhas habitadas de Cabo Verde. **Maio** é uma das ilhas mais planas de Cabo Verde. **Santa Luzia** é atualmente desabitada, administrativamente pertence a ilha de São Vicente, junto com os ilhéus adjacentes (Branco e Raso) constituem uma reserva natural. **São Vicente** é a segunda ilha mais populosa de Cabo Verde.

Os recursos naturais de Cabo Verde são limitados e o clima é caracterizado predominantemente pela falta de chuvas. A escassez de água potável leva ao uso de centrais de dessalinização, que são fortes consumidores da energia elétrica do país.

Segundo Freitas (2005), apenas quatro das dez principais ilhas (Santiago, Santo Antão, Fogo e Brava) têm um bom suporte para a prática da agricultura, porém mais de 90% de todo o alimento consumido é importado.

Os recursos minerais incluem predominantemente o sal e a pozolana, que é uma rocha vulcânica usada na produção de cimento e o calcário.

**Figura 1** – Mapa do arquipélago de Cabo Verde.



Fonte: Dreamstime ,2018.

## 1.2.2 Setor Energético

O setor energético em Cabo Verde é caracterizado pela insularidade e pelo uso generalizado aos derivados do petróleo. A energia consumida em Cabo Verde é maioritariamente constituída por derivados do petróleo, como o gás liquefeito de petróleo (GPL) a gasolina, gasóleo, *fuel* óleo e todos os produtos refinados. Só a biomassa, a energia solar e a energia eólica, com um peso em torno dos 15% do consumo bruto do país, podem ser consideradas energia primária. (RELATÓRIO DE BASE PARA CABO VERDE, 2014).

O Setor Energético em Cabo Verde é tutelado pelo Ministério do Turismo, Investimentos e Desenvolvimento Empresarial (MTIDE). A Direção Geral de Energia (DGE) é o órgão executivo competente para a concessão e proposta de estratégias, regulamentação e coordenação da execução das políticas e diretivas do governo na área da energia. O mercado elétrico e o de combustíveis são regulados, desde 2004, pela Agência de Regulação Económica (ARE). No mercado de combustíveis operam duas companhias, a ENACOL, empresa local, com participação acionista da empresa

angolana Sonangol e da companhia portuguesa GALP, e a VIVO Energy, que comercializa produtos da Shell Internacional.

A principal empresa a operar no setor elétrico em Cabo Verde é a empresa pública de eletricidade e água, ELECTRA S.A.R.L., empresa pública que tem desde 2000 a concessão da rede de distribuição e opera as maiores centrais de produção. A exceção é a ilha da Boavista, onde opera a empresa público-privada Águas e Energia de Boavista (AEB), que atua como sub concessionária do serviço público. Na ilha do Sal opera ainda a empresa Águas de Ponta Preta (APP), empresa de tratamento de água e energia do Sal desde 2005.

Na área das energias renováveis, o maior produtor de energia elétrica de origem eólica é da empresa CABEÓLICA S.A., uma parceria público-privada que iniciou a sua atividade em Cabo Verde em 2009 com a instalação de 4 parques eólicos, num total de 25,5 MW, nas ilhas de São Vicente, Sal, Boavista e Santiago. Com apenas 30 turbinas e CABEÓLICA já reduziram o volume de combustível importado em 20% e os custos da sua compra em três milhões de euros (EMBCV, 2014).

Cabo verde é um país insular com desafios próprios de um mercado disperso e de dimensão reduzida, cujas consequências são, por um lado, dificuldades de acesso ao financiamento em condições satisfatórias e, por outro, custos de produção sempre elevados. A dimensão do mercado não é atraente para grandes investidores, o que impede que haja concorrência suficiente para gerar ganhos para o consumidor. Não existe ainda um quadro geral tão completo para a eficiência energética quanto para as energias renováveis.

Apesar de todos os progressos visíveis no setor, Cabo Verde está ainda na fase de infra estruturação. Assim, o acesso à energia ainda é tratado apenas na sua vertente de disponibilidade do serviço. Ainda persiste alguns desafios tais como, criar um mercado de produção suficientemente transparente e flexível, com garantias para os investidores. Isto passa pela melhoria do enquadramento institucional, legal e regulatório, assim como, por um maior conhecimento do potencial energético renovável e domínio das tecnologias de conversão.

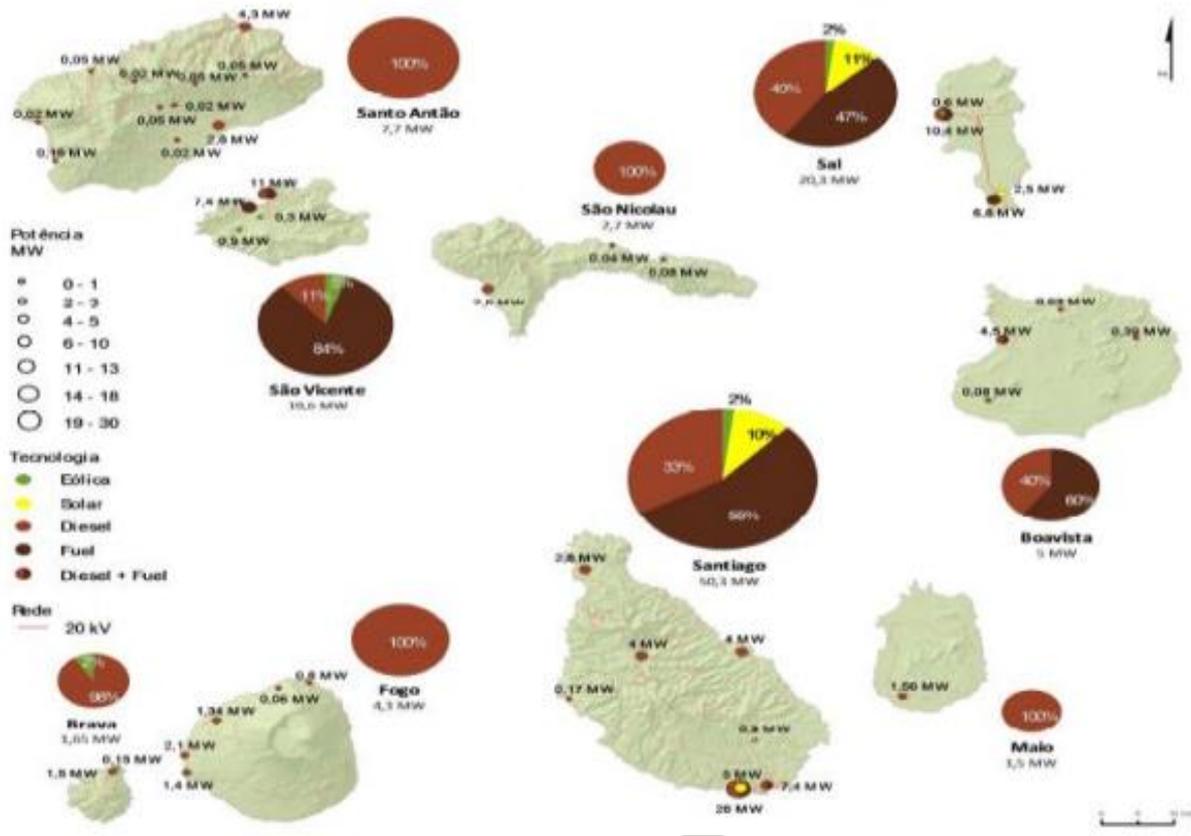
No setor financeiro, o banco Caixa Económica de Cabo Verde tem em preparação um programa de empréstimos para aquisição de equipamentos de energias renováveis. Escolas e universidades estão também apostando na formação de quadros de profissionais, desde técnicos profissionais a licenciados e engenheiros.

Existem ainda alguns projetos de eletrificação rural com renováveis, como o SESAM-ER - Serviço Energético Sustentável para Povoações Rurais Isoladas, mediante

micro redes com energias renováveis, na ilha de Santo Antão, e a eletrificação 100% renovável do vale da Custa, na ilha de Santiago.

Esquemáticamente, a distribuição das centrais de produção de energia, por ilha, é apresentada na Figura 2. No esquema encontram-se incluídos os sistemas eólicos e solares, recentemente instalados.

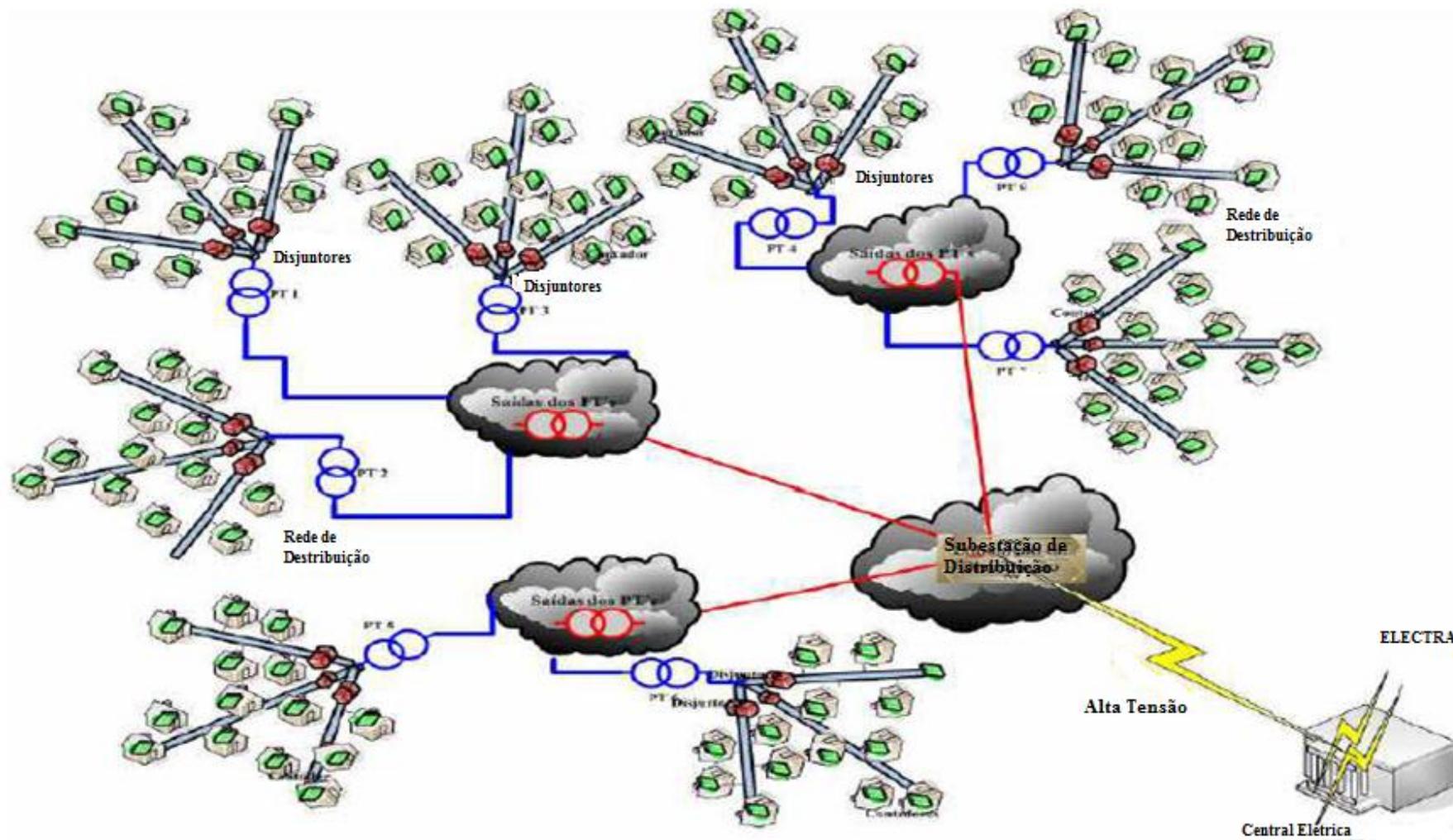
**Figura 2:** Localização das Centrais Produtoras de Eletricidade.



Fonte: ELECTRA, 2011.

Com base na figura 3 pode-se verificar que, a energia produzida pelas usinas passa pelas subestações de distribuição da empresa (Electra). A partir das usinas, a energia é transportada por um conjunto de cabos de média tensão (MT) e condicionada por outros equipamentos acessórios, como reguladores de tensão e de corrente. Das subestações, a energia é distribuída para todos os postos de transformação e anéis das cidades, e estes, por sua vez, são distribuídos para os transformadores das diferentes regiões. Essa energia, depois de transformada em baixa tensão (BT), é distribuída para cada consumidor.

Figura 3: Arquitetura elétrica do sistema elétrico de Cabo Verde.



Fonte: Adaptado, ELECTRA, 2015.

### **1.3 Objetivos Geral e Específicos**

Este trabalho possui como objetivo realizar um estudo preliminar de viabilidade técnica e financeira para a implantação de um parque eólico de médio porte na ilha de São Vicente, em Cabo Verde, utilizando o software RETSCREEN.

Para compor este estudo são realizadas as seguintes etapas:

- Definição de um local apropriado para implantação do parque, apresentando os principais fatores que são levados em conta para a escolha deste local.
- Seleção de um aerogerador comercial compatível com as condições de ventos da região, com descrição das principais partes deste aerogerador.
- Estudo da viabilidade financeira do projeto.

### **1.4 Motivação**

O atual cenário energético de Cabo Verde, devido aos problemas dos combustíveis derivados do petróleo e da crescente demanda por energia elétrica, como foi apresentado anteriormente, estimula estudos voltados à exploração de energias renováveis, especialmente a energia eólica.

Perante este cenário, Cabo Verde possui elevadas tarifas de energia elétrica, o que dificulta o desenvolvimento socioeconômico do país, e, portanto, é de suma importância soluções estratégicas para reduzir os custos de geração de energia no país.

A Ilha de São Vicente foi escolhida para o estudo deste trabalho porque, entre as nove ilhas do arquipélago, é a que dispõe de maior potencial eólico. Não obstante, o seu relevo acidentado apresenta estruturas de cumeadas bem definida com declives acentuados, mas não abruptos (escarpados), característica favorável a uma aceleração do recurso eólico, aumentando conseqüentemente as velocidades médias nas cotas mais elevadas.

### **1.5 Metodologia**

O presente trabalho foi realizado de modo a contemplar as etapas fundamentais para um estudo de viabilidade de um empreendimento eólico. Tais etapas compreendem a análise de disponibilidade do recurso eólico da ilha de São Vicente, em Cabo Verde, e

o estudo de viabilidade financeira de um empreendimento a ser implantado na região mais favorável da ilha.

Para o desenvolvimento inicial deste trabalho foram levantadas e analisadas informações sobre as condições de vento na região. Os dados obtidos foram tratados através do software RETScreen, que permitiu uma análise mais precisa destes, assim como permitiu realizar comparações e cruzamento das informações.

Para o estudo de viabilidade de implantação do parque eólico, fez-se estudos prévios da caracterização do local de instalação, condições dos ventos, legislações e avaliação financeira, para obtenção dos parâmetros econômicos necessários para o estudo de viabilidade financeira do projeto. Foram analisadas também as legislações vigentes do setor energético e ambiental de Cabo Verde.

## **1.6 Organização Deste Trabalho**

Para melhor descrever as etapas acima citadas, este trabalho de conclusão de curso está organizado como segue:

**Capítulo I** – Apresentou-se uma introdução sobre o cenário energético de Cabo Verde, uma contextualização, as justificativas para a escolha desse tema, e os objetivos do trabalho.

**Capítulo II** - Neste capítulo é apresentada uma visão geral de parques eólicos, com seus diversos elementos essenciais, assim como o cenário da produção de energia eólica, em um contexto global e no contexto de Cabo Verde.

**Capítulo III** – São abordadas as principais etapas de um estudo de viabilidade de implantação de um parque eólico.

**Capítulo IV** - Neste capítulo são discutidos alguns pontos relevantes que norteiam a implantação de um parque de geração eólica, assim como os principais fatores decisivos para escolha do melhor local de implantação do parque.

**Capítulo V** – Apresenta-se a conclusão sobre a viabilidade ou não da implantação do parque eólico proposto, no local escolhido.

## 2 USINAS EÓLICAS

Conceitualmente, energia eólica é a energia contida na massa de ar em movimento (vento). (MACHADO, 2008).

O aproveitamento desta energia renovável vem do princípio básico da conservação de energia, especificamente a conversão energia cinética de translação dos ventos em energia cinética de rotação, usando turbinas eólicas ou aerogeradores.

Segundo um grupo de investigadores da Universidade de Stanford, num trabalho publicado no Journal of Geophysical Research, o vento tem potencial para produzir cinco vezes a energia necessária na Terra e, portanto, é susceptível de satisfazer todas as necessidades energéticas a nível mundial (PINHO, 2008).

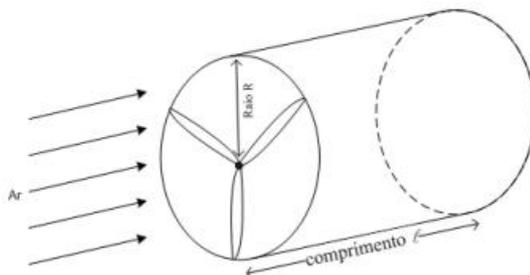
Desde a antiguidade essa energia foi usada para mover barcos, engrenar moinhos, e bombear água. As primeiras tentativas para produzir eletricidade foram feitas no fim do século XIX, mas só com a crise do petróleo, que sucedeu a segunda guerra mundial, nos anos 40, houve interesse e investimentos de grande gabarito. (MACHADO, 2008)

A energia eólica é proveniente do deslocamento das massas de ar. Estas, por sua vez, são causadas pela diferença de temperatura na atmosfera terrestre, a qual se deve, entre outros fatores, ao movimento da terra e à orientação dos raios solares. Desta forma, pode-se dizer que a energia eólica é uma forma de energia solar. (REIS, 2008).

A energia cinética  $E_C$  de uma massa de ar  $m$  em deslocamento, a uma velocidade cinética  $v$ , é determinada por:

$$E_C = \frac{mv^2}{2} \quad (1)$$

A massa de ar  $m$  pode ser representada pelo produto do seu volume pela sua densidade ( $\rho$ ). Considerando uma massa de ar com velocidade constante e uma superfície ( $A$ ) varrida pelas pás do aerogerador de forma circular, com raio igual a ( $R$ ), o volume do ar é dado pela área ( $A$ ) multiplicada pelo comprimento do deslocamento ( $l$ ) da massa de ar, conforme ilustra a Figura4.



**Figura 4:** Representação da Energia Cinética Absorvida por um Aerogerador.

**Fonte:** Custódio.

Assim, pode-se escrever a energia cinética substituindo a varável:

$$E_C = \frac{1}{2} A \rho V^2 \quad (2)$$

Uma vez que a potência é dada pela derivada da energia com relação ao tempo e sendo, obtém-se a potência disponível do vento ( $P_{disp}$ ) como:

$$P_{disp} = \frac{dE}{dt} = \frac{1}{2} A \rho V^3 \quad (3)$$

Um aerogerador, por mais eficiente que seja, não é capaz de converter toda a energia disponível no vento em energia rotacional. Portanto, o cálculo da energia recuperável do vento deve levar em conta o Coeficiente de Potência ( $C_p$ ) da turbina, sendo dado por:

$$P_{disp} = \frac{dE}{dt} = \frac{1}{2} A \rho V^3 C_p \quad (4)$$

As usinas eólicas ou parque eólico é um espaço que pode estar em terra (*Onshore*), como ilustrado na figura 5, ou no mar (*Offshore*). O tipo de usina eólica influencia diretamente no estudo de viabilidade e nos projetos do parque, especialmente no que diz respeito a impacto no ecossistema marinho e cabeamento, respectivamente.

**Figura 5:** Parque eólico localizado na parte oeste da ilha de São Vicente em Cabo Verde (capacidade de produção diária de 142,8 MWh).



**Fonte:** CABEÓLICA.

Os principais equipamentos de um parque eólico são apresentados neste capítulo. Inicialmente são descritas as principais características de cada equipamento, seguindo com as especificações gerais do projeto.

## 2.1 AEROGERADORES

Um tipo de máquina que extrai energia cinética dos ventos é o aerogerador, que é um equipamento que converte a energia cinética dos ventos em energia elétrica, sendo o principal equipamento de um parque eólico.

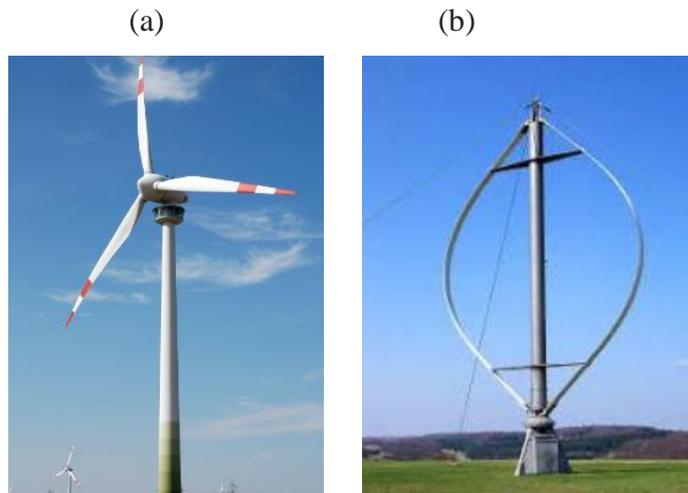
Segundo CUSTODIO (2009) a extração da energia cinética do vento é realizada por aerogeradores devidamente projetadas, que transformam a potência do vento em energia mecânica, e em seguida em energia elétrica por intermédio de geradores.

### 2.1.1 Classificação dos Aerogeradores

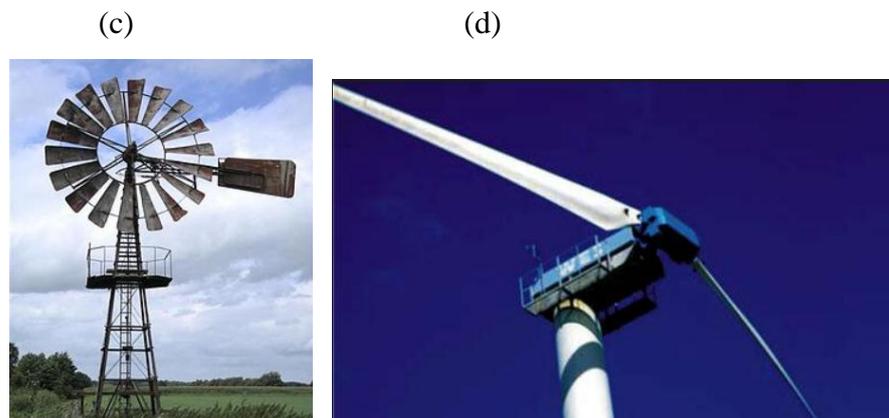
Existem dois tipos básicos de aerogeradores, quanto a posição das pás em relação ao eixo, os de **eixo vertical** e os de **eixo horizontal**. Geralmente as turbinas de eixo horizontal possuem duas ou três pás, porém também existem modelos com mais pás. As multipás normalmente são utilizadas na conversão de energia eólica em energia mecânica, usualmente aplicada em sistemas de bombeamento de água.

As turbinas de eixo vertical apresentam vantagens e desvantagens em relação ao eixo horizontal. Uma das vantagens deve-se ao fato de que, captam os ventos a quaisquer direções, sem que haja a necessidade de mecanismo para direcionar o rotor, conforme a mudança de direção do vento. Outra vantagem é a facilidade na manutenção, por não serem de grande porte. Por outro lado, eles não são tão eficientes como os aerogeradores de eixo horizontal, visto que o vento próximo ao solo é de fraca intensidade, o que implica um menor rendimento. Na figura 6, tem-se exemplos de aerogerador de eixo horizontal (a), aerogerador de eixo Vertical (b), as multipás usadas em bombeamento de água (c) e as de duas pás usado em parques *Offshore*.

**Figura 6:** (a) Aerogerador de eixo Horizontal, (b) Aerogerador de eixo Vertical, (c) Aerogerador de eixo horizontal Multipás e (d) Aerogerador de eixo horizontal de duas pás.



**Fonte:** Eventize (2012).



**Fonte:** wikiwand.

**Fonte:** VICOMETAL.

Os aerogeradores também podem ser classificados quanto a sua potência. Neste caso eles podem ser classificados em aerogeradores pequenos, médios e grandes (ANEEL, 2007).

- Pequeno porte ( <500 KW);
- Médio porte (entre 500 KW e 1000 KW);
- Grande porte ( >1000 KW).

### 2.1.2 Componentes de um Aerogerador

Os principais componentes de um aerogerador de eixo horizontal são:

- **Rotor:** É o principal componente de um aerogerador. Suporte onde ficam acoplado as pás, cubo e o mecanismo de controle de passo.
- **Sistema de transmissão mecânico:** É composto por todos os componentes de rotação da máquina, que ficam dentro da nacele (eixos, caixa multiplicadora de velocidade, acoplamentos, freio mecânico e gerador elétrico).
- **Caixa multiplicadora (de velocidades):** A potência captada da rotação do rotor de uma turbina eólica é transferida para o gerador através do eixo principal da caixa multiplicadora (velocidades) e pelo eixo de alta velocidade. Tem a função de compatibilizar a velocidade do eixo das pás com a velocidade nominal do eixo do gerador.
- **Freios mecânico:** Está acoplado ao eixo do gerador e é utilizado em caso de emergência ou manutenção e também controlar a potência mecânica que é entregue ao eixo do gerador.
- **Nacele:** Compartimento instalado no topo da torre do aerogerador, no qual estão alojados os vários componentes, exceto o rotor, base da nacele e sistema de orientação do rotor. Em aerogeradores de grande porte, a nacele contém acessórios de manutenção e permite acesso de técnicos no seu interior.
- **Pás do rotor:** Responsável por capturar a energia dos ventos e transmiti-la até ao cubo do rotor, onde está acoplado o eixo de baixa velocidade. A grande maioria das pás é fabricada com plásticos reforçados com fibra de vidro, ou seja, poliéster ou epóxi com fibra de vidro.
- **Cubo das pás:** é a ponta do eixo da turbina, tem a forma de um cubo, onde fica fixada as pás, é composto de aço ou liga metálica de alta resistência.
- **Torre ou suporte estrutural:** é o elemento que sustenta o rotor e a nacele na altura adequada ao funcionamento da turbina eólica. É um item estrutural de grande porte e de elevada contribuição no custo inicial do sistema. Regra geral, as torres são fabricadas em metal (treliçada ou tubular), dentro dela uma vasta quantidade de equipamentos essenciais ao funcionamento do aerogerador. Um dos aspectos mais importante no projeto das torres é a sua frequência natural, que deve ser desacoplada das excitações para evitar o fenómeno de ressonância, o qual aumenta a amplitude de vibrações e tensões resultantes reduzindo assim a vida dos componentes.

- **Sistema de controle:** onde se situam os inversores, conversores. Para que todos esses componentes funcionem de forma adequada, ou seja, que convertam a energia eólica em energia elétrica com segurança, confiabilidade e eficiência, e conseqüente com menor custo de geração, é necessário um sistema de controle que faça com que todos os subsistemas operem de forma conjunta, atendendo aos objetivos requeridos (FADIGAS.2011).
- **Fundações:** Estruturas de aço e concreto responsável pela sustentação da torre e do aerogerador.

**Figura 7:** Principais componentes de um aerogerador.



Fonte: MME (2014).

## 2.2 CABEAMENTO

Em projetos de usinas eólicas, normalmente a distribuição dos aerogeradores é realizada por áreas extensas, para respeitar os cones de ventos de cada aerogerador e assim a maximização do rendimento do parque. Uma atenção especial deve ser dada aos cabos condutores, devido à grande quantidade destes materiais necessários para empreendimentos desta natureza. Portanto, deve-se dar uma atenção especial à escolha destes, visto que impactam sensivelmente no custo total da parte elétrica do empreendimento.

### **2.2.1 Tipos de cabos elétricos para redes de energia eólica**

Dentro da nacela encontram-se os cabos destinados à sinais elétricos de alta e baixa potência. Os de baixa potência são destinados aos sistemas de controle, quanto os de alta potência são destinados ao fluxo de energia. Estes cabos estão sujeitos a constantes flexões e torções, e, portanto, devem possuir características de alta flexibilidade, assim como resistência térmica, resistência à abrasão, resistência a óleo e outros componentes químicos.

Para as partes móveis do gerador eólico, o cabo deverá ter boa flexibilidade de torção e flexão, com possibilidade de instalação em dutos com raio de curvatura pequeno, devido a limitações de espaço. De modo geral, instalações de energia eólica requerem simultaneamente alta flexibilidade e resistência à torção para os cabos utilizados.

### **2.2.2 Cabos para torres eólicos**

São utilizados cabos de baixa tensão (1 kV), com isolamento em borracha flexível, que transmitem a energia produzida no gerador para o transformador, geralmente localizado na base da torre. Os cabos são fabricados com compostos não halogêneos e também são resistentes ao óleo, abrasão e raios UV. Entre o transformador e a base da nacela são utilizados cabos de média tensão, que podem suportar até 35 kV, isolados em borracha flexível. Para aplicações fixas, são utilizados cabos de baixa tensão em cobre ou alumínio. ( RODRIGUES,2014)

### **2.2.3 Cabos para Nacela**

São cabos adequados para instalações dentro de nacela são cabos flexíveis, blindados, de baixa tensão e com capacidade para suportar até 120 °C. A blindagem do cabo atende às características de proteção eletromagnética contra ruídos. Os cabos são isolados com silicone para suportar o calor intenso (até 120 °C). Para grandes turbinas (2,5 MW a 6 MW), cabos flexíveis de média tensão podem suportar três voltas completas em qualquer direção.

Além da escolha adequada do condutor, a maneira como os cabos estão dispostos no parque têm que ser definidas.

A grande maioria dos empreendimentos de geração eólica adota a linha elétrica de instalação “Diretamente Enterrada”, que, se comparada às redes aéreas, possui maior confiabilidade, já que os condutores estão menos susceptíveis a fenômenos da natureza

(ventos, raios, entre outros) e a ação humana. No entanto, esse tipo de instalação apresenta uma maior dificuldade para detecção de falhas nos condutores.

O fato dos cabos ocuparem uma área muito grande no parque eólico inviabiliza economicamente a possibilidade destes serem instalados em canaletas ou bandejas. A profundidade pela qual estes condutores devem estar enterrados é indicada pela norma ABNT NBR 14039:2005 e o valor mínimo de profundidade é 0,90 metro. (RODRIGUES,2014)

Quando não se conhece a resistividade térmica do solo, normalmente adota-se o valor de 2,5 Km/W, no entanto, dependendo do caso, há fatores de correção tabelados para melhor adequação.

### 2.3 SUBESTAÇÃO

Subestação é um conjunto de equipamentos industriais interligados entre si com os objetivos de controlar o fluxo de potência, modificar tensões e alterar a natureza da corrente elétrica, assim como garantir a proteção do sistema elétrico. Funciona como ponto de controle e transferência em um sistema de transmissão elétrica, direcionando e controlando o fluxo energético, transformando os níveis de tensão e funcionando como pontos de entrega para consumidores industriais. (MUZY, 2012)

Abaixo são listados os principais elementos encontrados em subestações:

- Para-raios;
- Chaves Seccionadoras;
- Disjuntores;
- Fusíveis;
- Relés de Proteção;
- Transformadores de Potencial e de Corrente;
- Transformadores de Força;
- Barramento;
- Painéis;
- Instrumentação;
- Entre outros.

### 2.3.1 Topologias das Subestações

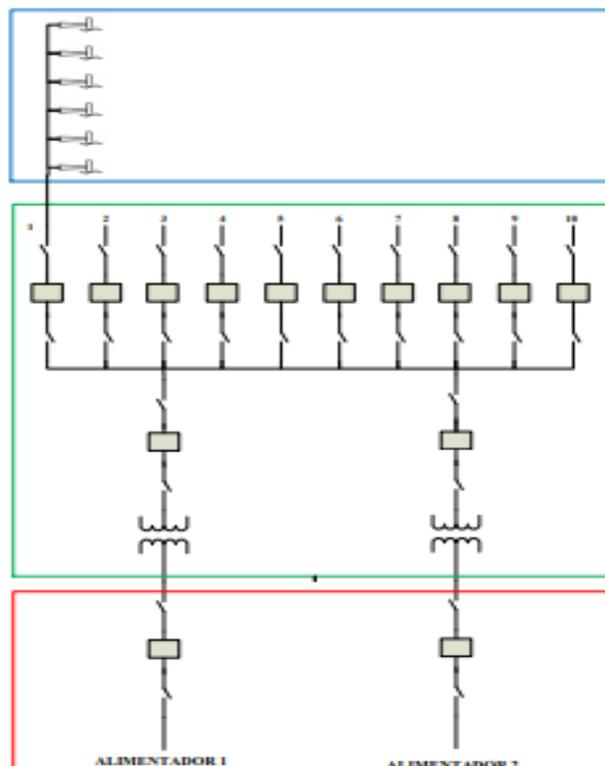
Nos subitens a seguir serão discutidas as principais características de três arranjos de subestações mais usados nesse tipo de projeto: Barra Simples, Barra Simples Seccionada e Principal.

#### 2.3.1.1. Barra Simples

Este é o arranjo de subestação mais simples, de menor custo e de mais fácil manobra. Como pode ser visualizado na Figura 8, nele todos os circuitos se conectam em uma única barra e, sendo assim, a ocorrência de algum defeito ou a necessidade de manutenção de qualquer dos disjuntores diretamente conectados à barra o que inevitavelmente provoca a interrupção do suprimento do alimentador em questão. Neste tipo de esquema não é possível fazer obras de ampliação sem deixar toda a subestação indisponível.

Devido à confiabilidade limitada e a baixa flexibilidade de manobras, este esquema é utilizado em subestações de pequeno porte, que atendem cargas de pequeno porte e baixa potência ou que tenham outra fonte de alimentação. (OLIVEIRA,2014)

**Figura 8:** Topologia do barramento simples.



Fonte: OLIVEIRA,2014.

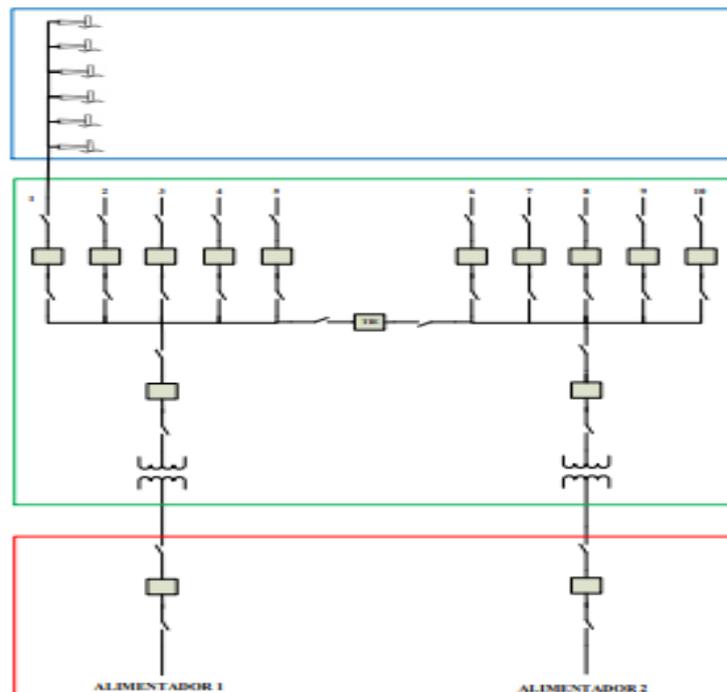
### ***2.3.1.2. Barra Simples Seccionada***

Segundo OLIVEIRA, 2014, o arranjo de Barramento Simples Seccionado, figura 9, consiste essencialmente em proporcionar o seccionamento da barra simples através de uma chave seccionadora ou de um disjuntor. A vantagem da colocação do disjuntor de seccionamento é que, se houver defeito em uma barra, a proteção de barra isola esta barra, sem perda da continuidade de serviço da barra sem defeito. Neste caso, a proteção de barra abre todos os disjuntores conectados à barra com defeito, incluindo o disjuntor de seccionamento. Portanto, este novo esquema confere maior confiabilidade e flexibilidade de manobra quando comparado ao esquema de Barra Simples. Subestações que adotam esse arranjo normalmente estão conectadas a cargas que possuem um maior grau de importância, mas que não exigem alta confiabilidade.

Algumas das principais características desse arranjo são apresentadas a seguir:

- Apresenta um baixo custo de implantação, no entanto maior que o do esquema de Barra Simples.
- Maior continuidade no fornecimento de energia e facilidade na execução de serviços de manutenção se comparado a Barra Simples.
- O sistema pode funcionar com duas fontes diferentes de suprimento.
- No caso de defeitos nas barras, somente ficarão desligadas as saídas de carga correspondentes à seção avariada.
- A ampliação do barramento é realizada desligando uma das barras enquanto a outra permanece ligada.
- A manutenção de um equipamento diretamente conectado à barra deixa indisponível a saída de carga correspondente.
- Os esquemas de proteção são mais complexos.

**Figura 9:** Topologia de Barra Simples Seccionada.



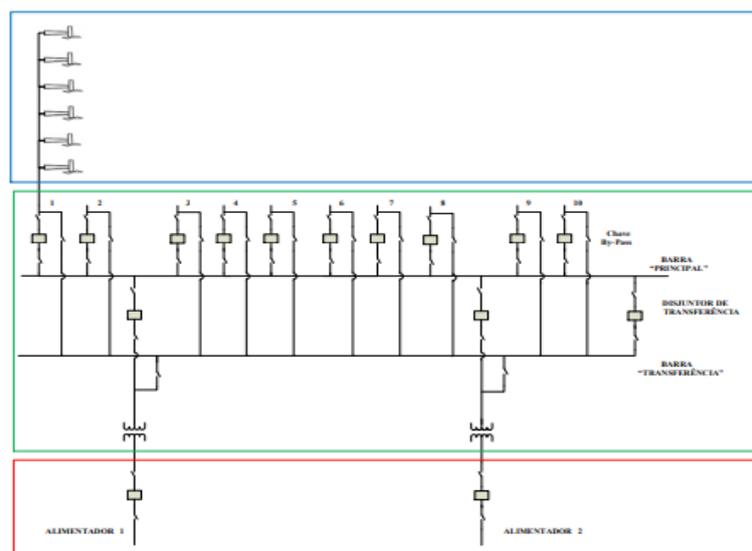
Fonte: OLIVEIRA,2014.

### 2.3.1.3 Barra Principal e Transferência

O arranjo Barra Principal e Transferência, figura 10, é o mais complexo e o que apresenta maior confiabilidade dos apresentados até então. Neste esquema, o barramento principal de subestação é conectado a um barramento auxiliar através de um disjuntor de transferência cuja finalidade principal é garantir a execução de trabalhos de manutenção corretiva, preventiva ou preditiva em qualquer disjuntor sem deixar fora de serviço qualquer linha ou alimentador. Em condições normais de funcionamento, o vão de entrada de linha supre a barra principal através do disjuntor principal e de suas respectivas chaves seccionadoras, que se encontram normalmente fechadas. Caso haja necessidade de retirada do disjuntor principal para manutenção a entrada de linha é conectada a barra de transferência através do fechamento da chave “*by-pass*” que se encontra normalmente aberta e do disjuntor de transferência. Tal procedimento é realizado seguindo a rigor uma determinada ordem de fechamento/abertura das chaves seccionadoras até que o disjuntor de transferência substitua o principal. Algumas das características mais destacadas desse tipo de arranjo são descritas a seguir:

- Possui um custo de implantação relativamente baixo, no entanto é o esquema mais oneroso dos três apresentados.
- Possibilita uma maior continuidade no suprimento de energia o que torna esse arranjo o mais confiável dos três. (OLIVEIRA,2014)
- A maior flexibilidade de manobras, no entanto, traz consigo uma maior dificuldade de operação (manobras relativamente complicada são necessárias quando se deseja colocar um disjuntor em manutenção).
- A expansão da subestação é realizada sem afetar a alimentação dos circuitos.
- Qualquer disjuntor pode ser retirado de serviço para manutenção.
- O esquema de proteção é bastante complexo.

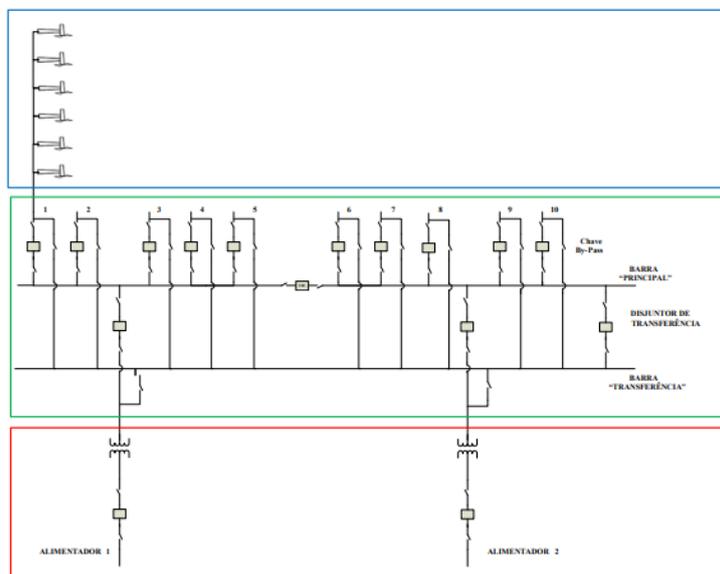
**Figura 10:** Topologia Barra Principal e Transferência



Fonte: OLIVEIRA,2014.

Devido ao fato de uma falha no barramento ou em algum dos disjuntores resultarem no desligamento da subestação, indica-se a utilização de um disjuntor de seccionamento (TIE) na barra principal onde, a princípio, os circuitos estão conectados. A inclusão desse equipamento aumenta o custo dessa alternativa, mas levando em consideração as vantagens operativas e a maior confiabilidade no fornecimento de energia, indica-se a utilização dessa configuração, que mescla as topologias de barra Simples Seccionada e Principal e Transferência, como pode ser observado na Figura 11.

**Figura 11:** Topologia que mescla as topologias barra “Simples Seccionada” e “Principal e Transferência”.



Fonte: OLIVEIRA,2014.

Como já foi mencionado, o arranjo Barra Simples não é o sistema mais adequado para o parque eólico. Analisando os dados presentes na tabela, conclui-se que a grande diferença em termos de quantidade de equipamentos entre os esquemas de Barra Simples Seccionada e Principal e Transferência é em relação ao número de chaves seccionadoras, já que ambos apresentam o mesmo número de disjuntores. O último arranjo proposto, que combina as características da barra Simples Seccionada e Principal e Transferência, apresenta-se como o mais oneroso, no entanto entende-se que tal fato é compensado pela maior confiabilidade, flexibilidade e continuidade de serviço oferecida.

## 2 ETAPAS DE ESTUDO DE VIABILIDADE DE IMPLANTAÇÃO DE UM PARQUE EÓLICO

Os estudos de viabilidade técnica e financeira para implantação de parques eólicos devem considerar duas características importantes para estes empreendimentos, as incertezas associadas a disponibilidade dos ventos e sua longa vida útil.

Pode-se dividir a vida útil de um parque eólico em 4 ciclos: desenvolvimento, implantação, operação e desativação, como ilustrados na Figura 12. Este trabalho prossegue explorando cada uma dessas etapas, ilustrando com um estudo preliminar de viabilidade para implantação de um parque eólico na ilha de São Vicente, em Cabo Verde.

**Figura 12:** - Etapas de desenvolvimento desse projeto eólico.



Fonte: TECHNICAL UNIVERSITY OF DENMARK, 2013.

### 3.1 ESTUDOS PRÉVIOS

A caracterização do local antes da implementação de um parque eólico industrial deve seguir uma ordem de caracterização objetiva. Neste contexto, apresenta-se neste capítulo as seguintes etapas do estudo: a escolha da localização do parque eólico; as condições de ventos; permissões e licenças exigidas e fontes de financiamento.

O desenvolvimento do projeto do parque eólico não faz parte do escopo desta pesquisa, porém as características gerais, como potência instalada, especificações gerais dos aerogeradores, fator de capacidade e depreciação do parque, são definidos para que

se possa desenvolver as etapas subsequentes de estudo de viabilidade do empreendimento.

### 3.1.1 Caracterização do Local de Instalação

Esta primeira etapa tem por objetivo identificar um terreno com características desejáveis para receber o parque eólico. A identificação passa por um reconhecimento do terreno, nomeadamente, se é um terreno útil para o parque eólico, saber a disposição do regime de ventos e avaliar a capacidade resistente do terreno. (GOUVEIA, 2013)

A identificação dos potenciais locais para instalação de parques eólicos depende da medição histórica dos ventos na região, pelo prazo mínimo de 1 ano. Usualmente se utiliza o atlas de ventos da região para se identificar esses locais.

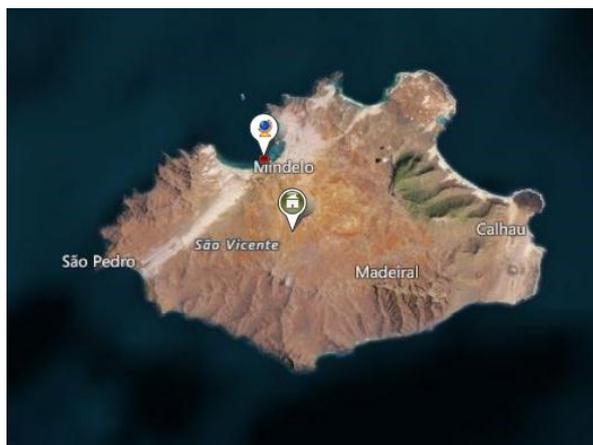
#### 3.1.1.1 Local da instalação

Como pode ver na figura 13, escolheu-se a ilha de São Vicente, por ser a ilha do arquipélago de Cabo Verde, com maior potencial eólico.

São Vicente tem apenas 227 km<sup>2</sup>, com um comprimento máximo de 24 km e uma largura de 16 km. A cidade da ilha é Mindelo. Apesar de ser uma das menores ilhas do arquipélago, é a segunda mais povoada, com cerca de 74.136 habitantes.

É considerada uma ilha semi-plana, com vários maciços montanhosos, atingindo a maior altitude no Monte Verde com 750 m do nível do mar. A nordeste e leste da ilha predomina um litoral baixo.

**Figura 13** – Mapa da ilha de São Vicente, imagem de satélite.



Fonte: RETSCREEN, 2018.

O clima é quente e regular, com uma temperatura média anual a volta de 24° C. O fato de ser uma ilha com ventos constantes torna os períodos de grande calor mais

suportáveis do que em regiões de outras ilhas. Os ventos dominantes são os de Nordeste, sobretudo nos meses de dezembro a março, época dos ventos secos do deserto do Saara. A pluviosidade é baixa comparada com a das outras ilhas do grupo Barlavento.

#### **3.1.1.2 Condições do solo**

No que diz respeito ao solo da ilha, De acordo com a carta de solos de Cabo Verde, os *Solos Holomórficos (Alcalinos e Alcalino-Salinos)* representam cerca de 23% da área da ilha, ocorrendo nomeadamente nas planuras litorais da parte norte da mesma; também *Solos Salinos* e *Solos Alcalizados Salinos*. Devido á áreas áridas e semiáridas e em correspondência com cones vulcânicos ou materiais de projeção deverão corresponder a *Andossolos vítricos*.

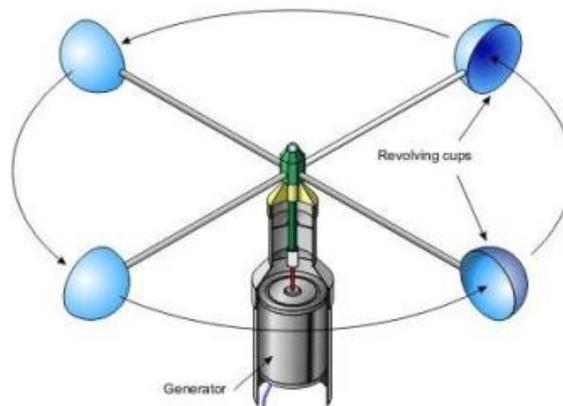
A morfologia geral da ilha caracteriza-se pela existência de superfícies de aplanção, relevos intermédios e cercadura montanhosa onde se insere Monte Verde, local mais beneficiados pela humidade transportada pelos ventos húmidos e queda de chuvas, sendo por isso o espaço onde se concentra a maior parte da vegetação natural da ilha.

#### **3.1.2 Condições de Vento**

Geralmente a avaliação do potencial eólico exige conhecimento detalhado do comportamento dos ventos. Os dados relativos a esse comportamento, que auxiliam na determinação do potencial eólico de uma região, são relativos à intensidade da velocidade e à direção do vento. Para obter esses dados é necessário também analisar os fatores que influenciam o regime dos ventos na localidade do empreendimento. Entre eles pode-se citar o relevo, a rugosidade do solo e outros obstáculos distribuídos ao longo da região.

Segundo MACHADO, 2008, as medições das velocidades do vento se realizam normalmente usando um anemômetro de copos, similar ao do desenho da figura 14. O anemômetro de copos tem um eixo vertical e três copos que capturam o vento. O número de revoluções por segundo é registrado eletronicamente. Normalmente o anemômetro possui uma biruta para detectar a direção do vento.

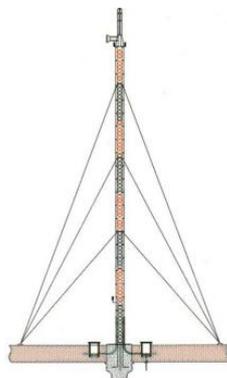
**Figura 14:** Anemômetro de copos.



Fonte: WindPower.org.

A melhor forma de medir a velocidade do vento, para determinar a localização de uma turbina eólica, é colocar um anemômetro no extremo superior de uma torre, figura 15, que tenha a mesma altura esperada para o cubo do aerogerador a ser instalado. Isto evita a incerteza causada pelo recálculo da velocidade do vento a uma altura diferente. Colocando o anemômetro na parte superior da torre se minimizam os efeitos das correntes de ar criadas pela própria torre. Se o anemômetro está situado na parte lateral da torre, é fundamental instalá-lo na direção do vento dominante para minimizar o abrigo do vento da torre.

**Figura 15:** Torre Anemométrica.



Fonte: WindPower.org.

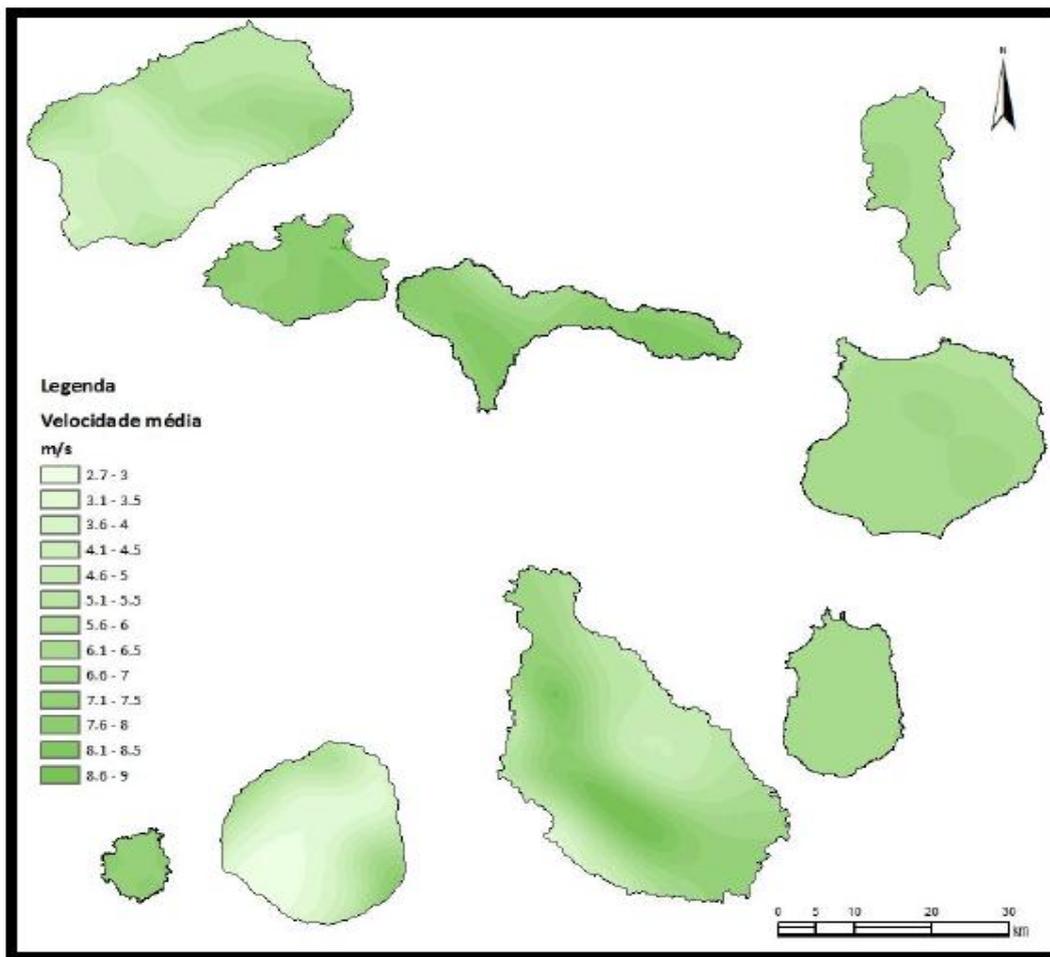
### 3.1.2.1 Potencial eólico do local

Na ilha de São Vicente a velocidade média dos ventos ultrapassa 8 m/s, caracterizando esta como a ilha que apresenta a maior velocidade média anual do vento, entre as ilhas do arquipélago. Analisando o mapa de ventos da ilha, é possível identificar várias regiões com boas condições para a instalação de parques eólicos. Dados obtidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica (INMG), permitiram analisar como varia as velocidades do vento ao longo dos anos, registados no Mindelo.

Os ventos são mais predominantes nos meses de fevereiro, abril, maio e junho. A figura 16 mostra a velocidade média dos ventos no arquipélago.

A RisØ recorreu ao método KAMM/WASP tendo considerado uma área de 400Km x 400 Km, cobrindo aproximadamente a região de 26°W–22°W e 14°N-18°N. Do processamento destes dados, resultam a elaboração de mapas de média velocidade do vento e densidade de potência a 50 metros do nível do mar, para as condições de vento simuladas e generalizadas nas figuras 16.

**Figura 16** – Velocidade média dos ventos em Cabo Verde.

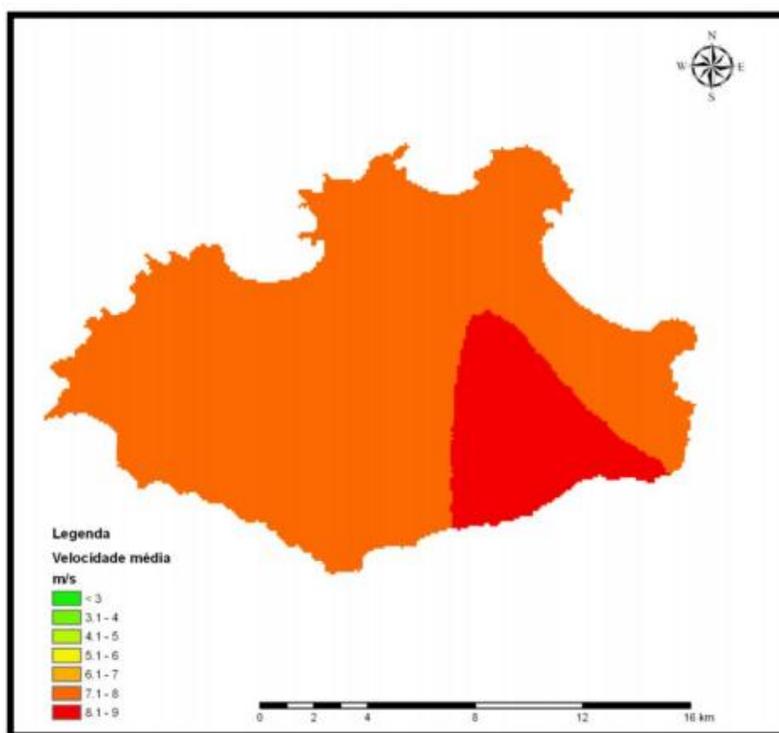


Fonte: RISØ NACIONAL LABORATORY, 2011.

A ilha de São Vicente, como pode ser observada no mapa, é a ilha que apresenta maior predominância da cor verde mais escura, permitindo concluir que é a ilha que apresenta maior potencial eólico do arquipélago, possuindo vários lugares onde a média do vento é superior a 8,5 m/s. E com base nisso, será escolhido o melhor local da ilha para a implantação desse empreendimento.

Na figura seguinte, o mapa apresenta a velocidade média do vento na ilha escolhida.

**Figura 17:** Ilha de São Vicente, Velocidade média do vento.



**Fonte:** RISØ NACIONAL LABORATORY, 2011.

Como pode ser visualizada no mapa da figura 17, a parte mais escura é a região da ilha com o melhor potencial com a média dos ventos superior a 8m/s. O local mais alto da ilha, mencionado no início deste trabalho, segundo os estudos da *RisØ Nacional laboratory* em 2011, Monte Verde, é o ponto da ilha com o melhor potencial, em relação a média dos ventos, porém essa região não foi escolhida para o projeto por fazer parte de umas das reservas naturais do país. Assim, escolheu-se outros três locais que pertencem à região mais escura do mapa da figura 17, denominados de: Madeiral, Ribeira Chão de Madeiral e Mato Inglês, cuja localizações são apresentadas na figura 18. Em uma análise preliminar, essas localidades são atrativas para o empreendimento

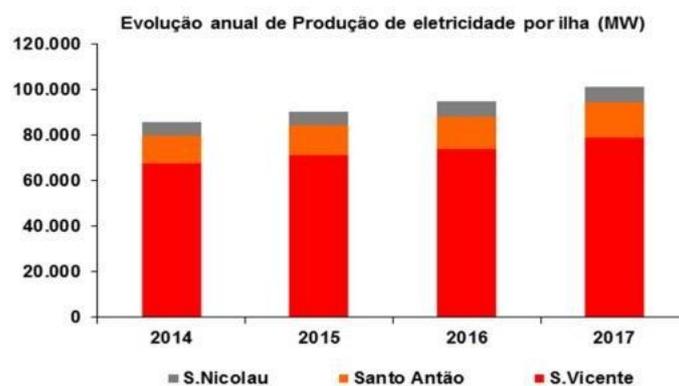


<b>São Vicente</b>	Matiota	13.636	10.909	5.600		
	Lazareto	22.618	18.094	13.200		
	Matiota/ Lazareto	36.254	29.003	18.800		
	Selada de Flamengo				600	19.400

Fonte – Adaptado, ELECTRA ,2017.

Na figura 19 pode-se observar melhor a evolução anual da produção de electricidades das ilhas da região norte de Cabo Verde. Em que, é visível que o crescimento da produção de electricidade na ilha de São Vicente é bem maior do que nas outras ilhas.

**Figura 19:** Evolução anual da produção de electricidades das ilhas da região norte de Cabo Verde.



Fonte – ELECTRA ,2017.

**Tabela 2:** Produção Versus Venda de Energia Elétrica em Cabo Verde.

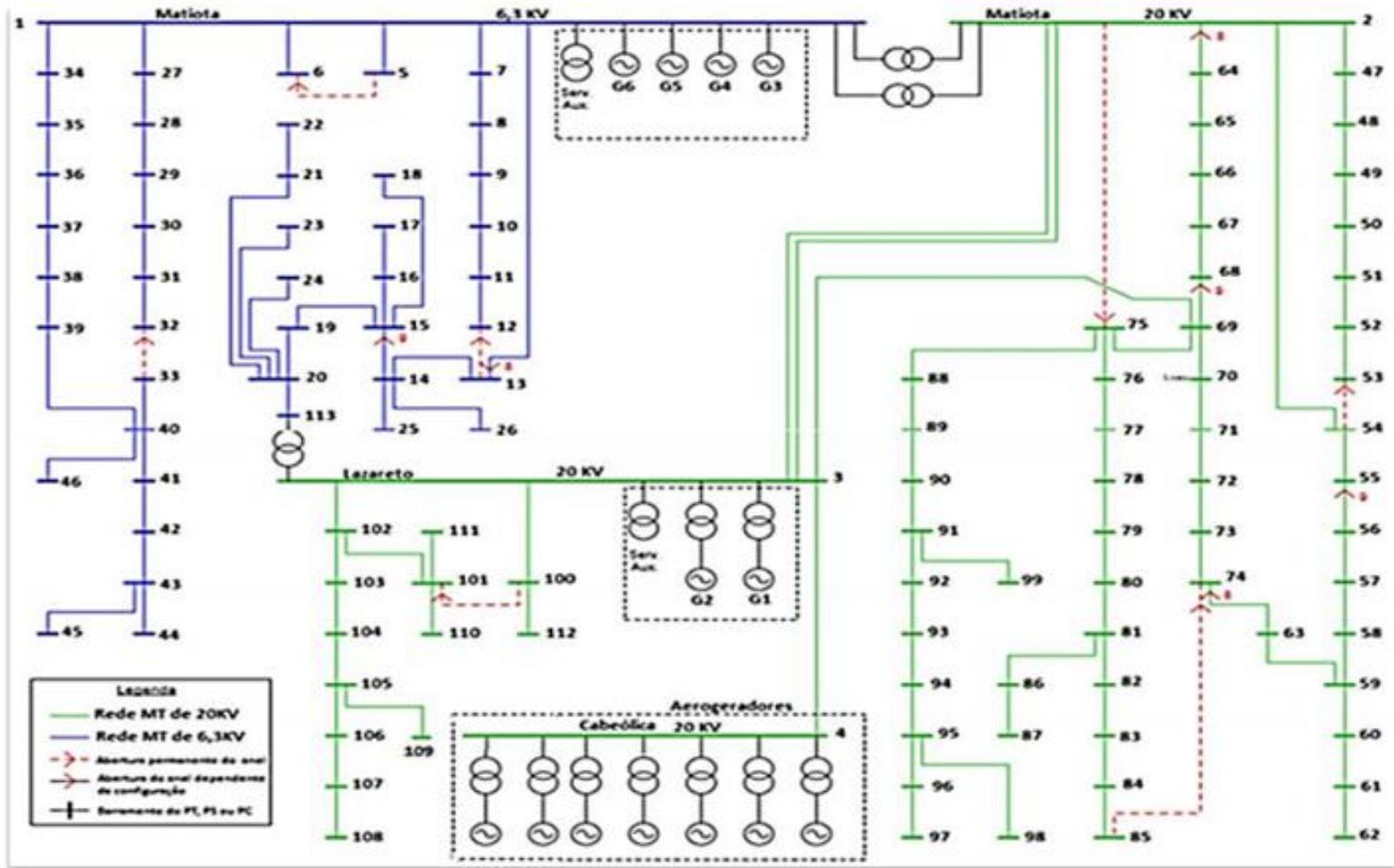
Ilha	Produção	Total dos consumos da produção	Vendas	Perdas		
				2017	2016	
<b>Santo Antão</b>	<b>15.371.260</b>	<b>315.816</b>	<b>12.043.678</b>	<b>3.011.766</b>	<b>19,6%</b>	<b>19,2%</b>
Porto Novo	14.604.222	315.816	4.990.765			
Ribeira Grande	767.038	0	7.052.913			
<b>S. Vicente</b>	<b>79.086.769</b>	<b>12.400.343</b>	<b>54.383.767</b>	<b>12.302.659</b>	<b>15,6%</b>	<b>18,3%</b>
Matiota	21.601.840	10.314.290				
Lazareto	57.484.929	2.086.053				
<b>S. Nicolau</b>	<b>6.775.332</b>	<b>121.806</b>	<b>5.542.697</b>	<b>1.110.829</b>	<b>16,4%</b>	<b>17,7%</b>
Sal	61.356.845	11.589.155	48.620.599	1.147.091	1,9%	1,8%
<b>Total Electra Norte</b>	<b>162.590.206</b>	<b>24.427.120</b>	<b>120.590.741</b>	<b>17.572.345</b>	<b>10,8%</b>	<b>12,2%</b>

Fonte – ELECTRA, 2017.

Segundo ELECTRA (2017) o sistema de energia elétrica da Ilha de São Vicente é constituído pelos seguintes ativos técnicos, ver figura 20:

- 25 km de linhas aéreas MT (Média Tensão);
- 92 km de cabos subterrâneos MT;
- 60 Postos (subestação) de Transformação de Distribuição com 14,2 MVA de potência instalada;
- 44 Postos de Transformação de Cliente com 14,9 MVA de potência instalada;
- 5 postos de corte (subestação seccionador);
- 2 subestações (uma com barramentos de 20 kV e 6,3 kV e a outra com barramento de 20 kV), estão localizadas em Matiota e Lazareto junto das centrais de produção de energia, na periferia de Mindelo;
- Parque eólico com 7 Aerogeradores com 5,95 MW de potência total instalada;
- 2 centrais de produção de energia elétrica, utilizando como combustível o gasóleo: a central de Matiota com 4 geradores e uma potência instalada de 13,64 MW; a central de Lazareto com 2 geradores e uma potência instalada de 9,30 MW;
- 3 transformadores integrados na rede de distribuição, que possibilita dois pontos de interligação entre os dois níveis de tensão existentes (20 kV e 6,3 kV);
- 7 transformadores associados a 9 grupos geradores (7 associados aos grupos eólicos e 2 aos grupos a Diesel);

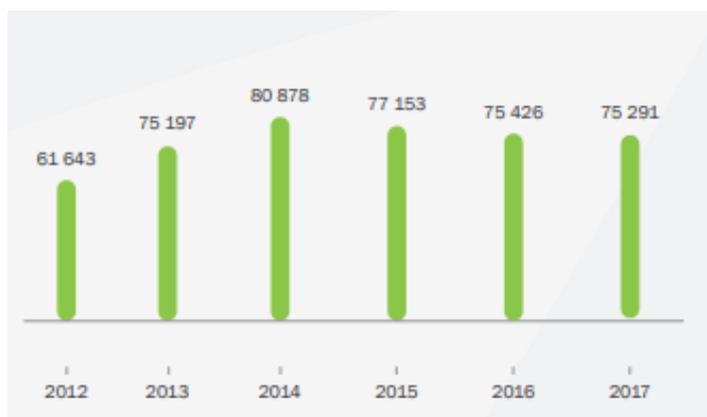
Figura20: Diagrama Unifilar simplificado do sistema de Energia Elétrica da Ilha de São Vicent



Fonte: adaptado de Torres (TORRES, 2010, p. 71).

Segundo a CABEÓLICA, em 2017 a energia produzida foi de 75,3 GWh, aproximadamente, distribuída da seguinte forma pelos quatros parques eólica: Santiago – 42%, São Vicente - 26%, Sal - 22% e Boa Vista - 11%, como pode ser observado na figura 21.

**Figura 21:** Evolução da produção de Eletricidade com Energia Eólica (MWh) em Cabo Verde.



Fonte: CABEÓLICA, 2017.

No global não houve evolução em relação ao ano anterior e isto se deve, essencialmente, às restrições técnicas impostas pelo *Off-taker* na produção da energia eólica. No entanto registou-se um crescimento a nível do consumo e uma diminuição da energia disponível, nomeadamente em abril e novembro.

**Tabela 3:** Energia produzida por tipo de tecnologia (Kwh).

Ilha	2017				2016				Variação 2017-2016
	Diesel	Éolica	Solar	Total	Diesel	Éolica	Solar	Total	
Santo Antão	14.604.222	767.038		15.371.260	12.857.146	1.445.761		14.302.907	1.068.353
Porto Novo	14.604.222			14.604.222	12.857.146			12.857.146	1.747.076
Ribeira Grande		767.038		767.038	0	1.445.761		1.445.761	-678.723
S. Vicente	59.427.929	19.658.840		79.086.769	55.740.313	18.261.840		74.002.153	5.084.616
Matiota	1.943.000	19.658.840		21.601.840	619.100	18.261.840		18.880.940	2.720.900
Lazareto	57.484.929			57.484.929	55.121.213			55.121.213	2.363.716
S. Nicolau	6.775.332			6.775.332	6.569.879			6.569.879	205.453
Sal	42.399.780	16.541.060	2.416.005	61.356.845	37.213.443	17.227.290	2.099.308	56.540.041	4.816.804
<b>Total Electra Norte</b>	<b>123.207.263</b>	<b>36.966.938</b>	<b>2.416.005</b>	<b>162.590.206</b>	<b>112.380.781</b>	<b>36.934.891</b>	<b>2.099.308</b>	<b>151.414.980</b>	<b>11.175.226</b>

Fonte – ELECTRA, 2017.

### 3.2 LEGISLAÇÕES PERTINENTES

A visão do governo de Cabo Verde para o setor energético, expressa no Documento de

Política Energética de Cabo Verde (MECC, 2008) é “Construir um setor energético seguro, eficiente, sustentável e sem dependência de combustível fóssil”.

- **DECRETO-LEI Nº 54/99**

O Decreto-Lei Nº 54/99, de 30 de agosto, estabeleceu as bases do sistema elétrico de Cabo Verde, registando-se na época, o arranque de uma profunda alteração do quadro institucional e legal e até empresarial, relativas ao exercício das atividades no setor, que se revestia de interesse para o serviço público (CABO VERDE, 1999).

A experiência colhida com a aplicação deste decreto-lei e a necessidade de dar um novo impulso ao setor, potenciando a sua eficiência operacional, a sinergia com outros investimentos na atividade produtiva e o maior e melhor aproveitamento dos recursos renováveis levou que se introduzissem algumas alterações na lei em referência, que se veio a consumir através do Decreto-Lei Nº 14/2006 de 20 de fevereiro (CABO VERDE, 2006A).

E deste modo, o decreto reformula as bases do Sistema Elétrico e tem como objetivos fundamentais o fomento do desenvolvimento econômico e social e a preservação do ambiente, em observância estreita aos seguintes princípios:

- Assegurar um fornecimento de energia elétrica seguro e fiável, assim como, um aumento de coberturas de serviços a todos os consumidores, a um preço razoável, justo e não discriminatório no uso;
- Aumentar o uso de fontes de energias renováveis e a cogeração para a produção de eletricidade;
- Promover a eficiência e inovação tecnológica na produção, transporte, distribuição e uso de energia elétrica no país;
- Atrair investimentos privados nacionais e estrangeiros para o Sistema Elétrico, nele se incluindo os autoprodutores e produtores independentes, pela definição de condições estáveis, equitativas, favoráveis e transparentes para o investimento;
- Estimular a sã competição e concorrência no Sistema Elétrico.

- **DECRETO-LEI Nº 30/2006**

Com a inclusão do autoprodutor e do produtor independente no sistema elétrico, o Decreto-lei nº 30/2006 de 12 de Junho foi aprovado de modo a regular o licenciamento do autoprodutor e do Produtor Independente, no qual visa reforçar a capacidade de acompanhamento das necessidades de expansão do sistema elétrico Nacional, com o objetivo de assegurar os consumos de forma antecipada, em estreita articulação entre os serviços públicos competentes e a concessionária da rede elétrica pública, conforme o preceituado no contrato de concessão (CABO VERDE, 2006B).

A potência nominal total de cada centro produtor de energia elétrica é limitada pelo decreto não podendo exceder:

- 100 kVA, quando a interligação é feita com a rede pública de baixa tensão; ou -- 20.000 kVA, quando a interligação é feita em média, ou alta tensão.
- No caso de geradores assíncronos ligados a redes de média tensão ou tensão superior, a potência de cada gerador não pode exceder 5.000 kVA.

- **DECRETO-LEI Nº 41/2006**

Devido à incapacidade do sistema elétrico face ao aumento crescente do consumo de energia e à forte dependência da importação dos recursos fósseis para a produção da energia elétrica, o Decreto-lei Nº 41/2006 de 31 de julho estabeleceu as disposições relativas à definição de crise energética, a sua declaração e às medidas interventivas de carácter excecional que devem ser tomadas pelo Estado (CABO VERDE, 2006C).

- **DECRETO-LEI Nº 1/2011**

Com a declaração da crise energética, Cabo Verde dá um passo importante em matéria das energias renováveis ao aprovar o Decreto-Lei Nº 1/2011 com o objetivo de dar um grande impulso a esta modalidade. O Decreto veio não só criar um regime de licenciamento e exercício de atividade específica e adaptada às energias renováveis, como também estabelecer um conjunto de matérias transversais fundamentais para o desenvolvimento das energias renováveis, principalmente quanto ao planeamento territorial, às questões tributárias, ao licenciamento ambiental e aos mecanismos de remuneração e sua garantia (CABO VERDE, 2011).

Destaca-se neste decreto-lei o artigo 2º que define as fontes de energia renovável; o artigo 9º que estabelece a criação do Plano Diretor de Energias Renováveis (PDER), que deverá ser elaborado pela Direção Geral de Energia a cada 5 anos; artigo 10º que define o Plano Estratégico Setorial das Energias Renováveis (PESER) e as Zonas de Desenvolvimento de Energias Renováveis (ZDER).

Com base no decreto, a atividade de produção de eletricidade baseada em fontes de origem renovável pode ser exercida por pessoas singulares ou coletivas, de direito público ou privado, com base em três regimes.

Regime Geral – aplicável à produção independente e autoprodução com base em fontes de origem renovável não previstas nos restantes regimes;

Regime para micro geração – aplicável à autoprodução com base em fontes de origem renovável e potência de ligação até 100 kW;

Regime simplificado para eletrificação rural descentralizada - aplicável à produção independente e autoprodução com base em fontes de energia renováveis quando realizada para abastecer rede autónoma situada em localidades geograficamente isoladas.

### **3.2.1 INCENTIVOS ÀS ENERGIAS RENOVÁVEIS EM CABO VERDE**

“O Decreto-Lei Nº 1/2011 contempla no artigo 12º, uma série de incentivos às empresas produtoras de energia elétrica com base em energias renováveis. No âmbito do exercício da atividade de produção de eletricidade com base em fontes de origem renovável, o produtor tem os seguintes direitos” (CABO VERDE, 2011):

- Consumir e ou ceder a terceiros, nos termos da lei, a energia elétrica por si produzida;
- Entregar à rede elétrica pública, através da entidade titular da concessão de transporte e distribuição de energia elétrica, a totalidade da energia elétrica produzida.
- Ligar-se, quando necessário, por ramal à rede explorada pela concessionária referida na alínea anterior, através do ponto de entrega previamente acordado com a concessionária e validado pela DGE. A fim de garantir o transporte e distribuição da eletricidade com origem em fontes renováveis, o operador da rede no momento do despacho de instalações de produção, deve dar prioridade à eletricidade proveniente de fontes de origem renovável.

#### **a) Impostos**

As entidades produtoras de energia elétrica com base em energias renováveis usufruem das seguintes reduções de impostos sobre os rendimentos (CABO VERDE, 2011):

- Nos cinco primeiros anos de produção de energia de cada projeto, as contribuições e impostos sobre lucros beneficiam-se de uma redução percentual de 100%;
- Após os cinco primeiros anos e até ao décimo ano de produção de energia de cada projeto, as contribuições e impostos sobre lucros beneficiam-se de uma redução percentual de 50%;
- Após o período estabelecido na alínea anterior, e até ao 15º ano, as contribuições e impostos sobre lucros beneficiam de uma redução de 25%, apenas nos casos em que o investimento acumulado nos últimos três anos seja superior a 50% do investimento inicial.

#### **b) incentivos fiscais**

Em termos fiscais é prevista isenção aduaneira. Os bens de equipamentos, matérias primas e subsidiárias, produtos acabados e semiacabados e outros materiais que sejam incorporados ou utilizados na produção de bens ou serviços destinados à produção de energia elétrica com origem em fontes renováveis, são livres de direitos, aduaneiros e outras imposições aduaneiras (CABO VERDE, 2011).

#### **c) Incentivos de Licenciamento Ambiental**

A instalação de unidades de microprodução com base em fontes de energia renováveis está isenta de quaisquer licenciamentos, ambiental ou municipal, carecendo apenas de registro, nos termos do Decreto-Lei N° 1/2011. O produtor de energia renovável no regime geral tem direito aos títulos internacionais de redução de emissões de GEE (Gases de Efeito Estufa), emitidos nos termos dos acordos internacionais em vigor e de acordo com os procedimentos estabelecidos internacionalmente para o efeito (CABO VERDE, 2011).

**d) Regime remuneratório específico aplicável à produção independente:**

O produtor com base em energias renováveis no regime geral tem direito a receber um valor fixo em escudos por cada kWh de energia ativa injetado na rede durante um período de 15 (quinze) anos após a data de ligação à rede, o valor previsto não é atualizado com a inflação, mantendo-se fixo ao longo do período. O produtor de energia renovável no regime geral pode optar por 2 (dois) meios de recebimento da remuneração (CABO VERDE, 2011):

- Pagamento pela Concessionária da rede de transporte e distribuição, mensalmente, de acordo com a produção verificada e no prazo de 30 (trinta) dias após a emissão de fatura do produtor à Concessionária;
- Pagamento através de créditos de produção renovável emitidos no prazo de 30 (trinta) dias após a emissão de fatura do produtor à Concessionária da rede de transporte e distribuição.

### **2.3 AVALIAÇÕES SOCIOAMBIENTAIS**

A preocupação dos países no que diz respeito à sustentabilidade ambiental, com vista a usufruir dos recursos sem que estes se esgotem dando um principal enfoque à sua preservação e utilização racional.

Cabo Verde, pela sua natureza insolar, por ser de origem vulcânica e sua localização na região do Sahel, está confrontado com grandes vulnerabilidades naturais.

Com poucos recursos naturais e minerais que poderiam contribuir de forma significativa no seu desenvolvimento económico, muitos esforços têm sido feitos no sentido de proteger o ambiente e os fracos sistemas ecológicos ao longo da sua história. Não obstante, persistem ainda problemas de degradação ambiental, sobre-exploração de recursos e a perda da biodiversidade. Face a estes problemas, o Governo de Cabo Verde adotou a Avaliação de Impactes Ambientais (AIA) como instrumento da política do ambiente para ajudar na tomada de decisões ambientalmente sustentáveis envolvendo a participação pública no processo.

## 2.4 AVALIAÇÃO ECONÔMICO FINANCEIRA

Um projeto de implantação de um parque eólico requer investimentos envolvendo recursos humanos, materiais e financeiros que devem ser ajustados ao processo, de forma a evitar que ocorram falhas que inviabilizem o seu adequado desenvolvimento. Para isto, devem-se adotar decisões de investimento com base em informações cuidadosamente analisadas, pois, do contrário, haverá possibilidades de comprometimento de seus recursos financeiros no decorrer do tempo.

A viabilidade econômica de um parque eólico é uma condição fundamental e decisiva para a aprovação da sua construção. No cálculo da viabilidade econômica de empreendimentos desta natureza normalmente considera-se um período de operação de de 20 anos, enquanto os vários custos envolvidos na implantação, operação, manutenção e descomissionamento (rendimento da energia, reparações, etc.) devem ser estimados, mesmo que não possam ser calculados com precisão. Os custos financeiros são fatores cruciais para a viabilidade do projeto e dependem muito do preço inicial dos aerogeradores, dos custos de manutenção/operação a eles associados, assim como do custo de venda da energia.

Para dar suporte à decisão de investimento, é importante realizar uma análise de viabilidade econômica. Para tal, utilizam-se métodos e critérios específicos de Análise de Projetos de Investimentos, utilizados na área de Engenharia Econômica, os quais demonstram com clareza os retornos sobre os investimentos, subsidiando assim a escolha da melhor alternativa, com a consequente otimização de recursos.

Esta etapa é de fundamental importância para se definir o investimento adequado, estimar o ganho esperado e o tempo de retorno do investimento realizado para garantir boas assertividade em processos de análise de investimento.

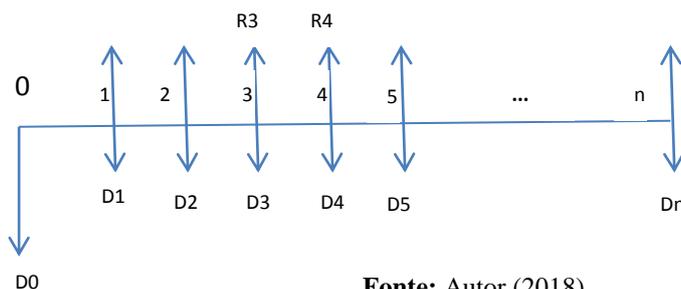
A seguir são descritos os indicadores financeiros usualmente utilizados em análise de projeto:

- **Fluxo de caixa**

Fluxo de Caixa é um instrumento de gestão financeira que projeta para períodos futuros todas as entradas e as saídas de recursos financeiros da empresa, indicando como será o saldo de caixa para o período projetado. (SEBRAE)

A Figura 22 apresenta um diagrama genérico de fluxo de caixa, onde é possível identificar uma distribuição periódica de  $n$  receitas e  $n+1$  despesas.

Figura 22: Diagrama do Fluxo de Caixa.



Fonte: Autor (2018).

- **Taxa Interna de Retorno (TIR)**

A Taxa Interna de Retorno (TIR), vem do inglês *Internal Return Rate* (IRR), e é uma fórmula matemática-financeira utilizada para calcular a taxa de desconto que teria um determinado fluxo de caixa para igualar a zero seu Valor Presente Líquido. Em outras palavras, seria a taxa de retorno do investimento em questão.

- **Valor presente líquido (VPL) ou Valor Atualizado Líquido (VAL)**

É uma fórmula matemática-financeira utilizada para calcular o valor presente de uma série de pagamentos futuros descontando um taxa de custo de capital estipulada. O dinheiro que se recebe no futuro não vale o mesmo que no tempo presente. Normalmente, o cálculo do VPL é feito em análises de retorno de projetos ou valoração de empresas. O termo mais famoso para esse tipo de estudo é viabilidade econômica com as variações e econômica financeira ou técnica-econômica. Calcula-se com a seguinte equação:

$$VPL = FC_1 + \frac{FC_2}{(1+i)^{j+1}} + \frac{FC_3}{(1+i)^{j+2}} + \frac{FC_4}{(1+i)^{j+3}} + \dots (5)$$

Onde, FC significa o fluxo de caixa de cada período,  $i$  é a taxa de desconto escolhido, também conhecido como taxa interna de retorno (TIR) e  $j=1$ . Deste modo é cada fluxo de caixa dividido pela taxa de desconto elevada ao seu respectivo período.

- **Payback**

*Payback* significa “retorno”. É o tempo de retorno desde o investimento inicial até aquele momento em que os rendimentos acumulados tornam-se iguais ao valor desse investimento. Ela dá a estimativa de quanto tempo vai levar até que recupere a aplicação inicial. Esse período nem sempre é curto e depende do valor do investimento e do tipo de negócio. Em geral, o retorno acontece dentro de meses ou anos.

O *payback* está relacionado a outros indicadores, como: VPL, TIR. Normalmente é calculado por:

$$PB(\textit{payback}) = \frac{\textit{investimento inicial}}{\textit{resultado médio do fluxo de caixa}}$$

### 3.5 O Software RETScreen

É um software gratuito, desenvolvido pelo governo de Canada em conjunto com a NASA (Administração Nacional da Aeronáutica e do Espaço) do governo dos Estados Unidos da América, utilizado para avaliar se um determinado projeto de energia renovável, de eficiência energética ou de cogeração possui viabilidade financeira (RETScreen, 2012).

RETScreen Expert é a versão atual do software, lançada ao público em 19 de setembro de 2016. O software possibilita a total identificação, avaliação e otimização da viabilidade técnica e financeira de possíveis projetos de energia renovável e de eficiência energética, assim como a medição e verificação do desempenho real das dependências e a identificação de oportunidades de economia/produção de energia.

O software possui um banco de dados climáticos com informações de vários países e localidades, tornando-se uma importante ferramenta para análise de viabilidade econômica, através da variação das velocidades dos ventos. Esses dados são calculados na altura do cubo dos diversos geradores eólicos contidos no banco de dados de produtos, que pode ser identificado na aba Modelo Energético.

### 3.6 COMISSIONAMENTO

É um processo que tem como objetivo assegurar que sistemas e componentes de uma edificação ou planta industrial estejam de acordo com os requisitos e necessidades operacionais do cliente, no que diz respeito ao projeto, instalação, testes e operação. (SGS,2018)

O comissionamento é uma ferramenta de qualidade extremamente importante, que, se usada corretamente, tem um impacto econômico positivo, ao encontrar a tempo respostas para problemas no andamento da obra, ou correções a tempo de evitar retrabalhos dispendiosos

que afetam mesmo o cronograma da instalação. Um gerenciamento de comissionamento eficaz é essencial para verificar a exatidão da instrumentação, das máquinas de fabricação, dos equipamentos elétricos e também realizar uma instalação industrial completa.

### 3.6.1 Etapas

Normalmente, o processo de comissionamento é dividido nas seguintes etapas: (SGS,2018)

- **Planejamento do Comissionamento:** Pode se dividir nas seguintes etapas: -  
Desenvolvimento e revisão dos procedimentos e normas aplicáveis ao processo de Comissionamento;
  - Definição dos pacotes de comissionamento;
  - Elaboração dos *check-list* das demais etapas;
  - Alinhamento entre o *Masterplan* do empreendimento e o cronograma de comissionamento;
  - Elaboração e atualização dos cronogramas detalhados de cada etapa do processo de comissionamento.
- **Complementação Mecânica:** nesta fase deverá ser avaliada a correta montagem das instalações conforme projeto e o acompanhamento dos testes específicos de cada equipamento, conforme especificações do fabricante e normas. Ao final dessa etapa, deverá ser registrada através de *check-list* (protocolos de complementação mecânica) as observações da montagem e resultados dos testes.
- **Pré-comissionamento:** nesta etapa deverá ser realizada a sinalização por etiquetas e cadeados que indiquem e proteja os equipamentos em teste, energizados e em término de montagem e a energização e testes dos equipamentos de forma individual conforme especificações dos fabricantes e normas. Ao final dessa etapa, a constatação do perfeito funcionamento e resultados dos testes dos equipamentos e linhas deverão ser formalizados através de *check-list* (protocolos de pré comissionamento).
- **Comissionamento:** Sinalização por etiquetas e cadeados que indiquem e proteja os equipamentos em teste, energizados e em término de montagem e testes em equipamentos em grupos pré-definidos conforme condições oferecidas pelo processo de produção implantado. Ao final dessa etapa, a constatação do perfeito

funcionamento e resultado dos testes dos grupos de equipamentos, linhas e sistemas devem ser formalizados através de *check-list* (protocolos de comissionamento).

- **Operação Assistida:** Nesta etapa, os grupos de equipamentos já deverão estar comissionados à frio e à quente para então ser estabilizado o processo de produção, monitorados os parâmetros de funcionamento dos equipamentos, realizados os ajustes finais nos sistemas e averiguado a aderência ao Plano de Produção.

### 3.7 DESCOMISSIONAMENTO

Um parque eólico tem uma vida operacional de aproximadamente 20 a 30 anos. Após esse período a eficiência de geração do parque cai a níveis que não justificam mais a sua operação, tornando-se então necessário que o proprietário do projeto desative a instalação, restaure a área para seu uso anterior ou negocie com os proprietários das terras a repotenciação ou atualização dos equipamentos, permitindo assim estender a vida útil do parque eólico.

Desativação significa que as turbinas eólicas e qualquer outra infraestrutura auxiliar serão removidos do local, e as estradas e os alicerces da fundação são cobertos e revegetados, permitindo que a terra seja devolvida ao seu uso anterior.

Às vezes, partes do parque eólico, continuam a servir a uma finalidade funcional e, portanto, podem ser deixadas no lugar, como a subestação ou faixas de acesso. O que restar deve ser negociado e acordado com os proprietários de terras. Em muitos casos, as faixas de acesso tornaram-se uma parte desejável da propriedade do proprietário e o proprietário da terra deseja que elas permaneçam.

O descomissionamento é de responsabilidade do proprietário do parque eólico. Geralmente, aprovações de desenvolvimento e contratos de proprietários de terras contêm cláusulas estabelecendo explicitamente a quantidade de tempo entre o fim da vida útil do parque eólico e o fim do descomissionamento, e as expectativas em torno da reabilitação do local. Normalmente, as condições de aprovação também exigem que o descomissionamento seja realizado dentro de um determinado período de tempo de operações permanentemente deixando de operar.

#### 3.7.1 Etapas

No caso de um parque eólico, o descomissionamento requer uma sequência para remoção dos componentes será usada:

- Remover turbinas eólicas
- Remover transformadores de coleta
- Remover parcialmente fundações de turbinas eólicas
- Remover estruturas suspensas de coleta/transmissão
- Remover equipamentos da subestação do projeto
- Remover estradas de acesso (a menos que os pedidos do proprietário permaneçam)

Após a remoção de todas as fundações a uma profundidade mínima de aproximadamente áreas perfuradas serão reclassificadas. O solo superficial é restaurado e semeado com vegetação.

## 4 RESULTADOS

### 4.1 Especificação do tipo e quantidade de aerogerador

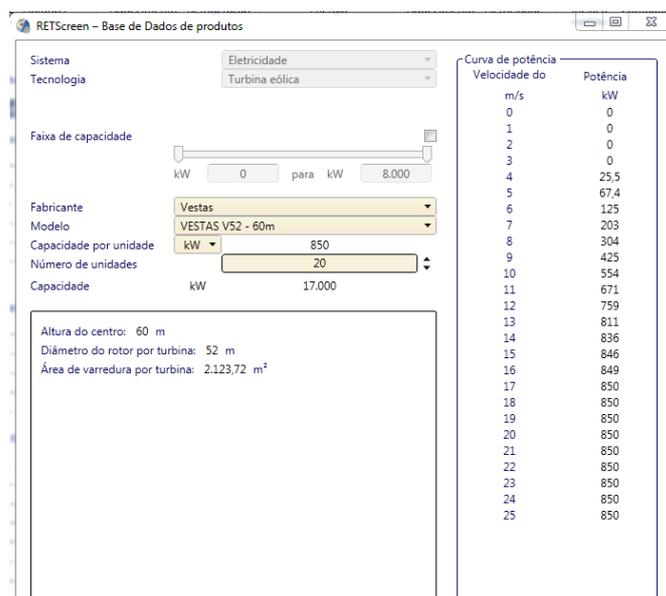
Para este projeto escolheu-se o fabricante dinamarquês de turbinas Vestas, por ser uma das maiores companhias mundial produtora de turbinas de energia eólica e também por já conhecer a realidade de Cabo Verde, pois já possui contrato assinado desde dezembro de 2009 com a CABEÓLICA.

Dentro do catalogo de aerogeradores da Vestas, foi escolhido o aerogerador V52, que é um aerogerador pequeno para os padrões atuais da indústria, porém, devido às restrições logísticas do país em termos de acesso portuários e rodoviários, desempenharam um papel importante na escolha desses tipos de turbina.

Utilizando o software RETScreen, foi escolhido o modelo de aerogerador na base de dados, conforme mostrado na figura 23 e a quantidade de aerogeradores. Após essa seleção, o software já fornece o valor da capacidade de geração e a curva de velocidade versus potência, conforme pode ser visto na figura 24.

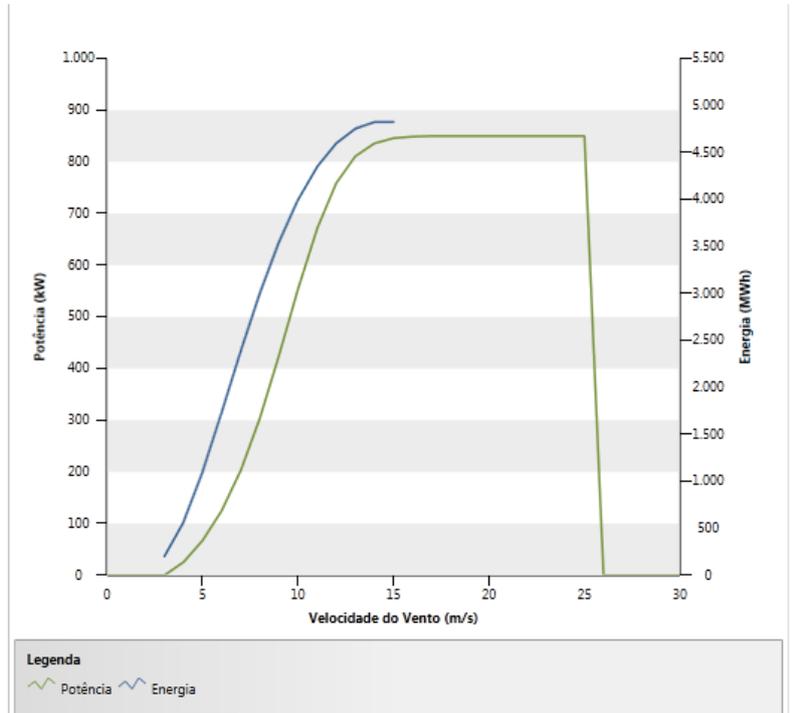
Tendo em conta os pressupostos mencionados no ponto 4.1.5, foram identificados 3 projetos para a ilha de São Vicente, de acordo com a Tabela 7. Para a estimativa do cálculo da potência instalada e número de aerogeradores a implantar, em cada um dos sites identificados, foi considerado o modelo V52 do fabricante VESTAS, com uma potência unitária de 850 KW. As características destes aerogeradores podem ser consultados na figura 25.

**Figura 23:** Base dado do Aerogerador Escolhido.



Fonte: RETScreen, 2018.

**Figura 24:** Curva de potência.



Fonte: RETScreen, 2018.

**Figura 25:** Especificações do aerogerador V52.

## Datasheet

### Power

Rated power:	850.0 kW
Flexible power ratings:	-
Cut-in wind speed:	4.0 m/s
Rated wind speed:	14.0 m/s
Cut-out wind speed:	25.0 m/s
Survival wind speed:	60.0 m/s
Wind zone (DIBt):	II
Wind class (IEC):	Ia

### Rotor

Diameter:	52.0 m
Swept area:	2,124.0 m <sup>2</sup>
Number of blades:	3
Rotor speed, max:	31.4 U/min
Tipspeed:	85 m/s
Type:	-
Material:	GFK
Manufacturer:	Vestas
Power density 1:	400.2 W/m <sup>2</sup>
Power density 2:	2.5 m <sup>2</sup> /kW

### Generator

Type:	Double Fed Asyn
Number:	1.0
Speed, max:	1,620.0 U/min
Voltage:	690.0 V
Grid connection:	Asincron
Grid frequency:	50.0 Hz
Hersteller:	Weier / ABB

### Tower

Hub height:	36.5/40/44/49/55/60/65/70/74/86 m
Type:	Steel tube
Shape:	conical
Corrosion protection:	coated
Manufacturer:	Vestas

**Fonte:** Vestas, 2018.

Com base nos resultados do processo de identificação e me dados da Zonas para Desenvolvimento de Energias Renováveis (ZDER), foi identificado um potencial de 39 MW na ilha de São Vicente, de energia eólica. Para efeitos de cálculo e hierarquização dos projetos foram consideradas as produções de energia anual listadas na Tabela 5.

**Tabela 4:** Nome dos projetos escolhidos e as especificações.

Nome do projeto	Quantidade de Aeroogeradores	Potência Instalada (MW)	Energia GWh/ano
Mato Inglês	8	7	23
Madeiral	15	13	41
Ribeira Chão de Madeiral	22	19	61

**Fonte:** Autor, 2018.

## 4.2 Viabilidade financeira

Os custos associados à instalação de aproveitamentos eólicos dependem fundamentalmente dos custos de instalação e do tipo de tecnologia usada, sendo, por isso, muito variáveis em função das fundações, acessos, transporte, ligação à rede, número de turbinas, altura do rotor, tipo de gerador, sistema de controle (CASTRO, 2007).

A Tabela 8 apresenta uma estrutura de custos de investimento para uma turbina típica de médio porte em um parque *Onshore*. A maior parte do custo de investimento de um projeto de energia eólica é referente à compra da turbina eólica, mesmo que seja

considerado apenas o custo com a turbina e seu transporte até o local de instalação. Dos demais custos destacam-se as despesas com fundações, instalação elétrica e conexão com a rede.

**Tabela 5:** Estrutura de custos para uma típica turbina eólica de médio porte.

	Participação no custo total (%)	Participação típica nos demais custos (excluindo os custos com a turbina) (%)
Turbina ( <i>ex works</i> )	74-82	-
Fundação	1-6	20-25
Instalação elétrica	1-9	10-15
Conexão com a rede	2-9	35-45
Consultoria	1-3	5-10
Terreno	1-3	5-10
Custos com financiamento	1-5	5-10
Construção de estradas	1-5	5-10

Fonte: EWEA, 2003.

Os custos de implantação de um parque eólica dependem de uma série de fatores tais como, o regime de ventos da região, o número de turbinas instaladas e sua potência, acessibilidade do local de instalação, tipo de terreno e propriedade de terras, a política ambiental do local, os tipos de incentivos existentes para o setor, dentre outros. Desta forma, cada projeto terá um custo próprio e a margem entre os projetos mais baratos e os mais onerosos podem ser significantes.

**Tabela 6:** Depreciação dos componentes de uma Turbina Eólica.

Unidade de cadastro	Tipo de bem		
	Descrição	Vida Útil	Taxa
Turbina Eólica (Aerogerador)	Unidade de Geração Eólica - Pás	15	6,67%
	Unidade de Geração Eólica - Gerador	20	5,00%
	Unidade de Geração Eólica - Nacele	25	4,00%
	Unidade de Geração Eólica - Torre	30	3,33%

Fonte: ANEEL, 2013.

A partir destes dados, conclui-se que o total depreciado por ano, até o ano 15, inclui todos os itens do aerogerador. Mas, a partir do ano 16, não se contabilizam mais as pás da turbina eólica, pois esta possui uma vida útil de apenas 15 anos. A depreciação para todos os outros itens são contabilizados por um período de 20 anos, pois este é o período de análise de investimentos usualmente indicado pelo setor de projetos das empresas deste segmento.

#### 4.2.1 Análise financeira

Para efeitos de análise e avaliação dos projetos foram consideradas as produções de energia anuais apresentadas na Tabela 4, onde se encontra a produção de eletricidade estimada para cada um dos projetos eólicos. O investimento deste tipo de projetos foi determinado tomando um valor base de 2M €/MW (*European Wind Energy Association*, 2018), estimado a partir do investimento anunciado para os projetos em curso. Este valor foi ajustado de acordo com as especificidades de cada projeto e, tendo em conta, a orografia e a distância à rede elétrica.

**Tabela 7:** Investimento e custos de O&M dos projetos eólicos.

<b>Projeto</b>	<b>Nº de unidade Geradora</b>	<b>Potência [MW]</b>	<b>Investimento Inicial [€]</b>	<b>Valor anual da O&amp;M nos primeiros 10 anos [€]</b>	<b>Valor anual da O&amp;M nos últimos 10 anos [€]</b>
Mato Inglês	8	7	15.083.000	114.784	297.581
Madeiral	15	13	26.819.000	213.177	539.284
Ribeira Chão de Madeiral	22	19	38.632.000	311.566	790.950

**Fonte:** Autor, 2018.

Para os projetos eólicos assumiu-se ainda os seguintes pressupostos:

- Prazo de construção: 1 ano
- Vida útil: 20 anos
- Prazo de descomissionamento: 6 meses

Na Tabela 9, a coluna da potência foi retomada da Tabela 7 e os valores constantes da coluna, investimento inicial surgem da aplicação do valor aproximado de 2 M€ /MW à coluna de potência. A coluna de O&M advém da aplicação dos valores aproximados de 0.0052 €/kWh, nos primeiros 10 anos de vida útil do projeto e de 0.013€/kWh nos 10 anos finais da vida útil do projeto.

#### 4.2.2 Análise de rentabilidade econômico-financeira

As análises de rentabilidade econômico-financeira dos projetos foram efetuadas com base no software da RETScreen – Projeto de Produção de Eletricidade. A TIR, o

Retorno simples e do capital próprio foram os indicadores utilizados para avaliar a rentabilidade (ou não) dos diferentes projetos, nos dois cenários utilizados.

#### 4.2.2.1 Cenário I

Neste cenário considerou-se o preço de eletricidade exportada para a rede da ELECTRA é de 91 €/MWh, correspondente à tarifa mínima praticada pela empresa CABEÓLICA, para consumos superiores ao escalão de base. Com esse preço de venda, calculamos os indicadores da TIR relativamente ao capital próprio e ao total dos ativos. De igual modo procedeu-se ao cálculo do retorno relativamente ao ativo e ao capital próprio. Os resultados encontram-se no Anexo A.

Neste cenário considerou-se o fator de utilização 36%, corresponde ao fator de utilização adoptado pelo estudo da *Gesto Energy Solutions* (SOLUTIONS, 2011).

**Tabela 8:** Principais indicadores calculados para os diferentes projetos.

<b>Projeto</b>	<b>TIR antes imposto Capital próprio</b>	<b>TIR antes Imposto Ativos</b>	<b>Retorno Simples (Anos)</b>	<b>Retorno De capital Próprio (Anos)</b>
Mato Inglês	64,6%	6,4%	7,9	1,6
Madeiral	72,0%	7,4%	7,5	1,5
Ribeira Chão de Madeiral	74,5%	7,7%	7,3	1,4

**Fonte:** Adaptado CABEÓLICA,2018.

Constata-se pelos dados da Tabela 8 que a TIR do capital próprio é bastante elevada, variando de 64,6 % a 74,5%, sendo considerada, portanto atrativa. A TIR relativamente ao ativo também é atrativa, variando de 6,4 % a 7,7 %. O retorno relativamente ao capital próprio e ao ativo processa-se em períodos aceitáveis, variando entre 1,4 a 7,9 anos.

Na Tabela 9 apresenta-se o resumo do cálculo do VAL, ao fim de 20 anos, para os projetos das alternativas propostas.

**Tabela 9:** Indicador VAL.

<b>Projetos</b>	<b>Investimentos</b>	<b>Receita</b>	<b>Val</b>
	<b>(€)</b>	<b>(€)</b>	<b>(€)</b>
Mato Inglês	€15.100.000	€1.820.929	1.350.745,39€
Madeiral	€26.800.000	€3.414.242	5.810.124,87€
Ribeira Chão de Madeiral	€38.600.000	€5.007.556	9.919.258,86€

**Fonte:** Adaptado CABEÓLICA,2018.

Pela Tabela 9 constata-se que o VAL é sempre inferior ao investimento inicial para todos os projetos, o que configura projetos sem rentabilidade económica.

#### 4.2.2.2 Cenário II

O preço de eletricidade exportada para a rede da ELECTRA é de 123,9 €/MWh, igual à tarifa de base praticada pela empresa gestora do parque eólico da Praia, que é de 123,9 €/MWh. A Tabela 10 resume os principais indicadores calculados para os diferentes projetos.

**Tabela 10:** Principais indicadores calculados para os diferentes projetos, cenário 2.

<b>Projeto</b>	<b>TIR antes imposto</b>	<b>TIR antes</b>	<b>Retorno</b>	<b>Retorno</b>
	<b>Capital próprio</b>	<b>Imposto Ativos</b>	<b>Simplex</b>	<b>De capital</b>
			<b>(Anos)</b>	<b>próprio</b>
				<b>(Anos)</b>
Mato Inglês	111,3%	12,2%	5,8	0,9
Madeiral	121,6%	13,4%	5,5	0,8
Ribeira Chão de Madeiral	125,0%	13,8%	5,4	0,8

**Fonte:** Adaptado, CABEÓLICA,2018.

Constata-se pelos dados da Tabela 10 que a TIR relativamente ao capital próprio e ao ativo é atrativa, variando entre 111 % a 125,0% para o capital próprio e entre 12 % a 13,8 % para o investimento global. O retorno relativamente ao capital próprio e ao ativo processam-se também em períodos aceitáveis, variando entre 0,8 a 5,8 anos.

Na Tabela 11 apresenta-se o resumo do cálculo do VAL, ao fim de 20 anos, para os projetos do cenário II.

**Tabela 11:** Indicador VAL, cenário II.

<b>Projetos</b>	<b>Investimentos</b>	<b>Receita</b>	<b>Val</b>
	<b>(€)</b>	<b>(€)</b>	<b>(€)</b>
Mato Inglês	€15.100.000	€2.428.463	14.630.516,27€
Madeiral	€26.800.000	€4.553.369	30.515.140,97€
Ribeira Chão de Madeiral	€38.600.000	€6.678.274	46.130.759,17€

**Fonte:** Adaptado, CABEÓLICA,2018.

Através da tabela 12 verifica-se que os projetos em que o VAL é superior ao investimento inicial são os de Madeiral (investimento 26.800.000€ e VAL 30.515.140,97€) e Ribeira Chão de Madeiral (investimento 38.600.000€ e VAL 46.130.759,17€). Portanto, somente estes podem ser considerados viáveis do ponto de vista da rentabilidade econômica.

## 5 CONCLUSÃO

As energias renováveis são alternativas que vem se mostrando cada vez mais forte e necessária para segurança da matriz energética mundial, tendo em vista o grande potencial de Cabo Verde. O foco deste trabalho foi apresentar os elementos constituintes de projeto para parques eólicos e o estudo da viabilidade de implantação de um parque na ilha de São Vicente em Cabo Verde.

Criou-se dois cenários, em que o cenário 1, que pressupõe o fator de utilização de 36% e tarifa de exportação para a rede de 91 €/MWh, mostrou-se inviável para as teres potencias localidades. Pela análise do indicador VAL, conclui-se que ele é sempre inferior ao investimento inicial, o que mostra que o empreendimento é inviável em qualquer das localidades, na perspectiva das suas rentabilidades económicas.

Relativo ao cenário 2, que pressupõe o fator de utilização de 36 % e tarifa de exportação para a rede de 123,9 €/ MWh, é o que apresenta o maior TIR, variando entre 12,2% a 13,8%, representando algum conforto para as exigências dos investidores. Na perspectiva do VAL, somente os projetos de Madeiral (investimento 26.800.000€ e VAL 30.515.140,97 €) e Ribeira Chão de Madeiral (investimento 38.600.000 € e VAL 46.130.759,17€) mostram-se financeiramente viáveis.

Em um cenário de elevado custo energético, como é apresentado na tabela 1, encontra-se uma "aspiração dos agentes económicos e das populações que o custo da eletricidade, e conseqüentemente o custo da água, venham a decrescer com a introdução das energias renováveis na matriz energética do país" (Neves, 2012: p. 70).

As fontes renováveis assumem, assim, especial relevância na estratégia de Cabo Verde para o setor energético, sendo a solução direta e mais eficaz para substituir os combustíveis fósseis. Apesar de todas as dificuldades que Cabo Verde ainda apresenta a geração por fontes renováveis, enxerga-se que a integração destas fontes pode ser viabilizada através do apoio do Governo, com programas de incentivos fiscais e linhas de crédito, ou através de parcerias público-privadas, que possam fornecer financiamento privado ao setor.

A obtenção/atração de investimento privado para a energia elétrica de fonte renovável pode constituir uma forma de aliviar a forte pressão que o investimento inicial exerce sobre o setor público, no financiamento do setor energético de Cabo Verde. (Gesto, 2011).

Estimulado por este cenário, este projeto apresentou uma contribuição através de um estudo preliminar que demonstra potencial viabilidade para instalações de novos parques eólicos em São Vicente, aumentando assim a integração das energias renováveis ao sistema energético em Cabo Verde.

Como conclusão final é importante pontuar também o entendimento de que o aspecto de rentabilidade financeira não deve ser o único fator decisivo para questões relacionadas ao aproveitamento da energia eólica. Se faz necessário levar em conta também outros elementos como a criação de novos postos de trabalho, de forma direta e indireta.

### **5.1 Sugestões para trabalhos futuros**

Este trabalho serve como uma primeira análise para estudo de viabilidade para implantação de um empreendimento eólico na ilha de São Vicente, que pode nortear os próximos estudos que venham a ser feito nesta região, sobre este tema. Ainda orienta os caminhos a serem seguidos para elaboração de projetos que venham embasar ainda mais as informações aqui apresentadas.

Como sugestões para continuidade à pesquisa iniciada neste trabalho, apresenta-se: estudos específicos de rugosidade do relevo da região, aplicação de métodos avançados de mapeamento de ventos de Cabo Verde, permitindo assim a atualização do mapa dos ventos e estudo de turbulências dos ventos em função da rugosidade da região. Poder-se-á ainda estudar a viabilidade de empreendimentos para aumentar a produção de energia eólica e solar na ilha de São Vicente, caminhando no sentido de um dia se alcançar uma ilha com abastecimento energético suprido 100% por fontes renováveis. Por fim, sugere-se ainda a exploração das etapas de projeto de engenharia necessários para a análise de viabilidade técnica de um empreendimento de geração eólica.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agenda de Ação para Energia Sustentável para todos em Cabo Verde. Disponível em: [https://www.seforall.org/sites/default/files/Cape\\_Verde\\_AA\\_PT\\_Released.pdf](https://www.seforall.org/sites/default/files/Cape_Verde_AA_PT_Released.pdf).

Acessado em: Agosto. 2018.

ÁGUAS DE PONTA PRETA. Disponível em: <http://aguaspontapreta.cv/wp-content/uploads/2016/03/8158e458ab5c3e736b838e7f3e09f254.pdf>. Acessado em: Agosto.2018.

Anuário estatístico. 2016. Disponível em: <http://ine.cv/wp-content/uploads/2017/11/aecv-2016.pdf>. Acessado de: Outubro. 2018.

CABEOLICA, Relatório e Contas .2017.

CABO VERDE. Decreto-Lei N° 30/2006 de 12 de junho de 2006. Praia, 2006B. Disponível em:<http://www.are.cv/Downloads/Electricidade/Legislacao/Decreto-Lei%2030-06%20de%2012%20Junho%20-%20Produtor%20independente.pdf>. Acesso em: Julho. 2018.

CABO VERDE. Decreto-Lei N° 41/2006 de 31 de julho de 2006. Praia, 2006C. Disponível em:[http://www.are.cv/index.php?option=com\\_docman&task=cat\\_view&gid=42&dir=DESC&order=name&Itemid=99999999&limit=5&limitstart=5](http://www.are.cv/index.php?option=com_docman&task=cat_view&gid=42&dir=DESC&order=name&Itemid=99999999&limit=5&limitstart=5). Acesso em: Agosto. 2018.

CABO VERDE. Decreto-Lei N° 1/2011 de 3 de janeiro de 2011. Praia, 2011. Disponível em: [http://www.are.cv/index.php?option=com\\_docman&task=cat\\_view&gid=42&dir=DESC&order=name&Itemid=99999999&limit=5&limitstart=10](http://www.are.cv/index.php?option=com_docman&task=cat_view&gid=42&dir=DESC&order=name&Itemid=99999999&limit=5&limitstart=10). Acesso em: Setembro. 2018.

CABO VERDE. Decreto-Lei N° 54/99 de 30 de agosto de 1999. Praia, 1999. Disponível em:[http://www.are.cv/index.php?option=com\\_docman&task=cat\\_view&gid=42&dir=DESC&order=name&Itemid=99999999&limit=5&limitstart=5](http://www.are.cv/index.php?option=com_docman&task=cat_view&gid=42&dir=DESC&order=name&Itemid=99999999&limit=5&limitstart=5). Acesso em: Julho. 2018.

CABO VERDE. Decreto-Lei N° 14/2006 de 20 de fevereiro de 2006. Praia, 2006A. Disponível em: <http://www.are.cv/Downloads/Electricidade/Legislacao/DecretoLei%20n%2054-99%20de%2030%20Agosto,%20com%20alteracoes%20do%20DL%20n%2014-06%20de%2020%20Fevereiro.pdf>. Acesso em: Julho. 2018.

CABO VERDE no contexto de desenvolvimento sustentável. Disponível em: <https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/1036capeverdesummary.pdf>. Acessado em: Outubro. 2018.

Característica da turbina eólica V52. Disponível em: [https://www.epd.gov.hk/eia/register/report/eiareport/eia\\_1242006/html/EIA\\_Report/Annex%20A3.3.pdf](https://www.epd.gov.hk/eia/register/report/eiareport/eia_1242006/html/EIA_Report/Annex%20A3.3.pdf). Acessado em: Outubro 2018.

Comissionamento. SGS. Disponível em: <https://www.sgsgroup.com.br/-/media/local/brazil/documents/white-papers/industrial/sgs-ind-commissioning-pt-brazil.pdf>. Acessado em: Outubro. 2018.

Comissionamento. Metodologia e Conceitos. Disponível em: <https://pt.slideshare.net/JosLusFernandesPerei/apresentao-comissionamento-59277351>. Acessado: Outubro. 2018.

ELECTRA, Relatórios e Contas de 2016. 2017. Disponível em: <http://www.electra.cv/index.php/2014-05-20-16-30-16/relatorios-norte>. Acessado em: Julho. 2018.

Estudo de Caso PROJETO EÓLICO DA CABEÓLICA Cabo Verde. Disponível em: [http://www.ecreee.org/sites/default/files/ecreee\\_estudo\\_de\\_caso\\_projeto\\_eolico\\_da\\_cabeolica\\_cabo\\_verde.pdf](http://www.ecreee.org/sites/default/files/ecreee_estudo_de_caso_projeto_eolico_da_cabeolica_cabo_verde.pdf). Acessado em: Outubro. 2018.

FADIGAS, Eliane. Energia Eólica. São Paulo. 2011.

JUNIOR, Alan. Estudo de um Gerador de Indução Assíncrono auto excitado por capacitores. Disponível em: <http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10015173.pdf>. Acessado em: Outubro. 2018.

GESTO, Energy - Plano Energético Renovável de Cabo Verde. Cabo Verde, Praia: Direção Geral de Energia de Cabo Verde, 2011. Disponível em: [http://www.ecowrex.org/system/files/documents/2011\\_plano-energetico-renovavel-caboverde\\_gesto-energia.pdf](http://www.ecowrex.org/system/files/documents/2011_plano-energetico-renovavel-caboverde_gesto-energia.pdf). Acesso em: Agosto. 2018.

GOUVEIA, Yesmary. Construção de um Parque Eólico Industrial. Disponível em: <https://repositorio.ipl.pt/bitstream/10400.21/3566/1/Disserta%C3%A7%C3%A3o.pdf>. Acessado em: Outubro. 2018.

LEÃO, Ruth. GTD – Geração, Transmissão e Distribuição de Energia Elétrica. 2009.

LOPES, Ricardo Aldabó. Energia Eólica. 2ªed. São Paulo. 2012

LORA, Electo Eduardo. Geração Termelétrica. VolIII. Rio de Janeiro. 2004.

OLIVEIRA, Karina. Trabalho de conclusão de curso. Projeto Básico de um Parque Eólico e estudos de conexão. Universidade federal de Juiz de Fora. 2014.

Plano Energético Renovável de Cabo Verde- Estudo do Recurso Eólico. Disponível em: [http://www.energiasrenovaveis.cv/index.php/component/jdownloads/send/7-estudos/20-estudo-recurso-eolico?option=com\\_jdownloads](http://www.energiasrenovaveis.cv/index.php/component/jdownloads/send/7-estudos/20-estudo-recurso-eolico?option=com_jdownloads). Acessado em: Outubro. 2018.

Relatório de base para Cabo Verde. Disponível em: [http://www.energiasrenovaveis.cv/index.php/component/jdownloads/send/6-planos/19-relatorio-de-base-para-cabo-verde?option=com\\_jdownloads](http://www.energiasrenovaveis.cv/index.php/component/jdownloads/send/6-planos/19-relatorio-de-base-para-cabo-verde?option=com_jdownloads). Acessado em: Outubro. 2018.

REIS, ANDRÉ. Influencia da rugosidade do terreno para o perfil vertical do vento. UNIFEI. 2016.

REIS, Joana. COMPORTAMENTO DOS GERADORES EÓLICOS SÍNCRONOS. Disponível em: <http://www.pee.ufrj.br/index.php/pt/producao-academica/dissertacoes-de-mestrado/2013-1/2013100301-2013100301/file>. Acessado: Outubro. 2018.

Rev. de Ciências Agrárias vol.36. Os solos de Cabo Verde. Disponível em: [http://www.scielo.mec.pt/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0871-018X2013000400001](http://www.scielo.mec.pt/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0871-018X2013000400001). Acessado em: Outubro. 2018.

RODRIGUES, Leonel. Portal do Setor Elétrico. Cabos para Aplicação na Geração de Energia Eólica. 2014. Disponível em: <https://www.osetoelettrico.com.br/cabos-para-aplicacao-na-geracao-de-energia-eolica/>. Acessado em: Maio. 2018.

Silva, Selênio. Tecnologias de aerogeradores. Disponível em: [http://ead2.ctgas.com.br/arquivos/Pos\\_Tecnico/Especializacao\\_Energia\\_Eolica/Tecnologia\\_Aerogeradores/Apostila.pdf](http://ead2.ctgas.com.br/arquivos/Pos_Tecnico/Especializacao_Energia_Eolica/Tecnologia_Aerogeradores/Apostila.pdf). Acessado em: Setembro. 2018.

TEIXEIRA, Luciane. PLANEJAMENTO E IMPLANTAÇÃO DE UM PARQUE EÓLICO. Disponível em: <http://www.dee.ufc.br/anexos/TCCs/2010.1/LUCIANE%20TEIXEIRA%20SOARES.pdf>. Acessado em: Outubro. 2018.

Tolmasquim, Maurício. Energia Renovável. Rio de Janeiro. 2016.

TORRES, Pedro Miguel Lopes - Metodologia para redução de perdas e aumento de fiabilidade em redes de distribuição. Lisboa: Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, 2010. 148 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Eletrotécnica). Disponível em: <http://hdl.handle.net/10400.21/1007>. Acesso em: Setembro. 2018.

Vestas. Disponível em: <https://en.wind-turbine-models.com/turbines/71-vestas-v52>. Acessado em: Outubro. 2018.

Vídeo ENERGIAS RENOVÁVEIS EM CABO VERDE. Disponível em: <https://www.dw.com/pt-002/energias-renov%C3%A1veis-em-cabo-verde/av-39352752>. Acessado: Julho. 2018.

WIND POWER. Disponível em: [WindPower.org](http://WindPower.org). Acessado em: Outubro. 2018.

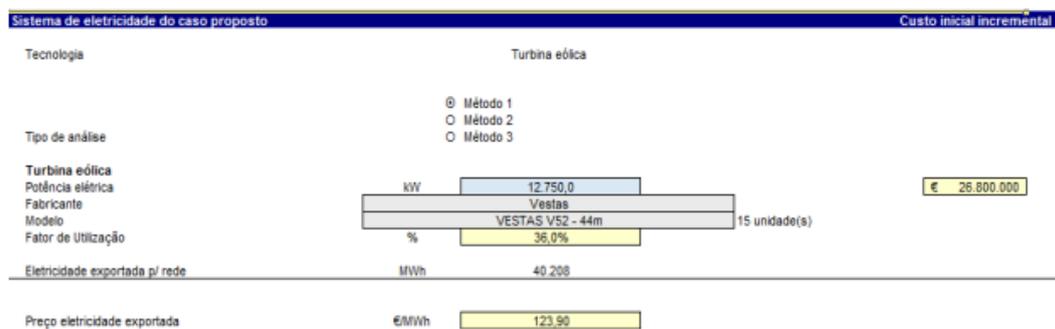
## ANEXOS

### Anexo A.1 Cálculo do TIR e PAYBACK de Madeiral.

Nas Figura A1 ,Figura A2 e Figura A3 são apresentadas as planilhas que serviram de base para o cálculo da TIR e PAYBACK.

Na Figura A.1 introduzem-se os dados referentes ao investimento inicial, a potencia elétrica e ao fator de utilização e o programa calcula a eletricidade exportada para a rede em MWh.

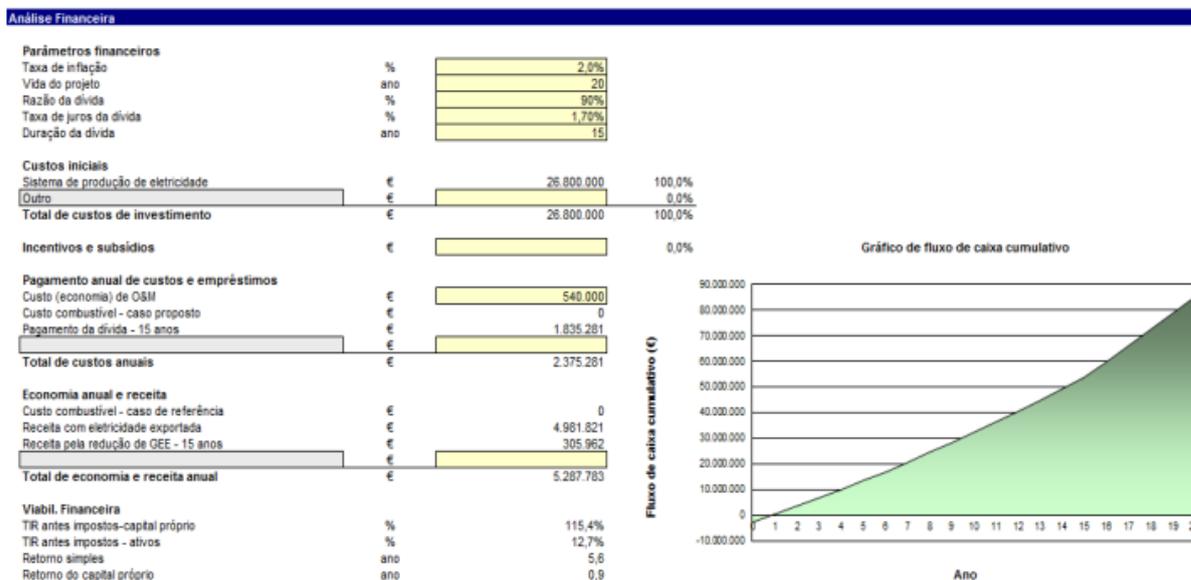
**Figura A1:**



Fonte: RETScreen, 2018.

**Figura A2:** Cálculo da TIR e PAYBACK PE de Madeiral.

Na Figura A2 introduzem-se os dados referentes ao fator de emissão de GEE e perdas de transporte e distribuição do sistema elétrico de referência e da eletricidade exportada para a rede e o programa calcula os restantes parâmetros.



Fonte: RETScreen, 2018.

Anexo B: Cálculo do TIR e PAYBACK de Ribeira Chão de Madeiral.

Nas Figura B.1, Figura B.2 e Figura B.3 são apresentadas as planilhas que serviram de base para o cálculo da TIR e PAYBACK. Na Figura A3.1 introduzem-se os dados referentes ao investimento inicial, à potencia elétrica e ao fator de utilização e o programa calcula a eletricidade exportada para a rede em MWh. Ribeira Chão de Madeiral.

Sistema de eletricidade do caso proposto		Custo inicial incremental	
Tecnologia	Turbina eólica		
Tipo de análise	<input checked="" type="radio"/> Método 1 <input type="radio"/> Método 2 <input type="radio"/> Método 3		
Turbina eólica			
Potência elétrica	KW	18.700,0	€ 38.600.000
Fabricante	Vestas		
Modelo	VESTAS V52 - 44m		
Fator de Utilização	%	36,0%	22 unidade(s)
Eletricidade exportada p/ rede	MWh	58.972	
Preço eletricidade exportada	€/MWh	123,90	

Fonte: RETScreen, 2018.

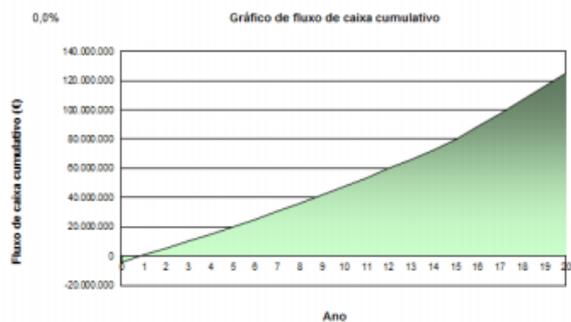
Análise de Emissões		Fator de Emissão de GEE (excl. T&D)	Perdas T&D	Fator de emissão de GEE
Sistema elétrico de referência (Baseline)	Tipo de	tCO2/MWh	%	tCO2/MWh
Pais - região	Todos os tipos	0,660	15,0%	0,776
Eletricidade exportada p/ rede	MWh	58.972	Perdas T&D	2,0%
<b>Emissão de GEE</b>				
Caso de referência	tCO2	45.790,3		
Caso proposto	tCO2	915,8		
Redução anual bruta de emissões de GEE	tCO2	44.874,5		
Custo de transação dos créditos de GEE	%			
Redução anual líquida de emissões de GEE	tCO2	44.874,5	é equivalente a	8.219 Carros e camionetes não utilizados
<b>Receita pela redução de GEE</b>				
Crédito para redução de GEE	€/CO2	10,00		
Duração do crédito para redução de GEE	ano	15		
Taxa de indexação do crédito para redução de GEE	%	2,0%		

Fonte: RETScreen, 2018.

Na Figura A3 introduzem-se os dados referentes ao fator de emissão de GEE e perdas de transporte e distribuição do sistema elétrico de referência e da eletricidade exportada para a rede e o programa calcula os restantes parâmetros.

Análise Financeira

<b>Parâmetros financeiros</b>			
Taxa de inflação	%	2,0%	
Vida do projeto	ano	20	
Razão da dívida	%	90%	
Taxa de juros da dívida	%	1,70%	
Duração da dívida	ano	15	
<b>Custos iniciais</b>			
Sistema de produção de eletricidade	€	38.600.000	100,0%
Outro	€		0,0%
<b>Total de custos de investimento</b>	<b>€</b>	<b>38.600.000</b>	<b>100,0%</b>
<b>Incentivos e subsídios</b>	<b>€</b>		<b>0,0%</b>
<b>Pagamento anual de custos e empréstimos</b>			
Custo (economia) de O&M	€	790.000	
Custo combustível - caso proposto	€	0	
Pagamento da dívida - 15 anos	€	2.643.352	
<b>Total de custos anuais</b>	<b>€</b>	<b>3.433.352</b>	
<b>Economia anual e receita</b>			
Custo combustível - caso de referência	€	0	
Receita com eletricidade exportada	€	7.306.670	
Receita pela redução de GEE - 15 anos	€	448.745	
<b>Total de economia e receita anual</b>	<b>€</b>	<b>7.755.415</b>	
<b>Viabil. Financeira</b>			
TR antes impostos - capital próprio	%	118,7%	
TR antes impostos - ativos	%	13,1%	
Retorno simples	ano	5,5	
Retorno do capital próprio	ano	0,9	



Fonte: RETScreen, 2018.

Na Figura A3 introduzem-se os dados referentes à taxa de inflação, vida do projeto, razão da dívida, taxa de juros da dívida e a duração da dívida e o programa calcula os restantes parâmetros.

## ANEXO C

No Anexo C são apresentadas as planilhas do cálculo do VAL dos projetos eólicos que são viáveis. Nas planilhas do cálculo do VAL, que desenvolvi, introduz-se a taxa de atualização, o investimento inicial, os juros parcelares ao longo dos anos, a amortização dos equipamentos e as receitas provenientes da eletricidade exportada para a rede. O programa calcula o fator de atualização, o fluxo de caixa atualizado ao longo dos anos e o VAL ao longo dos anos da vida útil do projeto. Projeto eólico cenário 2.

**Tabela C1:** Cálculo do VAL para Madeiral.

	Taxa act	1,80%									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Investimento	-26800000										
Juros		-410040	-385810,91	-361169,93	-336110,05	-310624,15	-284704,99	-258345,21	-231537,31	-204273,67	-176546,56
O&M		-540000	-540000	-540000	-540000	-540000	-540000	-540000	-540000	-540000	-540000
Amort		-1.340.000,00 €	-1.340.000,00 €	-1.340.000,00 €	-1.340.000,00 €	-1.340.000,00 €	-1.340.000,00 €	-1.340.000,00 €	-1.340.000,00 €	-1.340.000,00 €	-1.340.000,00 €
Receita		5.287.783	5.287.783	5.287.783	5.287.783	5.287.783	5.287.783	5.287.783	5.287.783	5.287.783	5.287.783
Res.Previsional	-26800000	2997743	3021972,09	3046613,07	3071672,95	3097158,85	3123078,01	3149437,79	3176245,69	3203509,33	3231236,44
Retoma Juros+Amort		3947783	3947783	3947783	3947783	3947783	3947783	3947783	3947783	3947783	3947783
FAC		0,982318271	0,964949186	0,947887216	0,931126931	0,914662997	0,898490174	0,882603314	0,866997362	0,85166735	0,836608398
CFA	-26800000	3877979,371	2916049,508	2887845,581	2860117,407	2832856,596	2806054,905	2779704,232	2753796,634	2728324,3	2703279,543
VAL	- 26.800.000,00 €	- 22.922.020,63 €	- 20.005.971,12 €	- 17.118.125,54 €	- 14.258.008,13 €	- 11.425.151,54 €	- 8.619.096,63 €	- 5.839.392,40 €	- 3.085.595,77 €	- 357.271,47 €	2.346.008,08 €

11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
-148348,08	-119670,23	-90504,85	-60843,67	-30678,24						
-540000	-540000	-540000	-540000	-540000	-540000	-540000	-540000	-540000	-540000	-540000
-1.340.000,00 €	-1.340.000,00 €	-1.340.000,00 €	-1.340.000,00 €	-1.340.000,00 €	-1.340.000,00 €	-1.340.000,00 €	-1.340.000,00 €	-1.340.000,00 €	-1.340.000,00 €	-1.340.000,00 €
5.287.783	5.287.783	5.287.783	5.287.783	5.287.783	5.287.783	5.287.783	5.287.783	5.287.783	5.287.783	5.287.783
3259434,92	3288112,77	3317278,15	3346939,33	3377104,76	3407783	3407783	3407783	3407783	3407783	3407783
3947783	3947783	3947783	3947783	3947783	3947783	3947783	3947783	3947783	3947783	3947783
0,821815716	0,807284593	0,793010406	0,778988611	0,765214745	0,751684425	0,738393345	0,725337274	0,712512057	0,699913612	
2678654,841	2654442,779	2630636,091	2607227,618	2584210,358	2561577,407	2516284,289	2471792,033	2428086,476	2385153,709	
5.024.662,92 €	7.679.105,70 €	10.309.741,79 €	12.916.969,41 €	15.501.179,77 €	18.062.757,17 €	20.579.041,46 €	23.050.833,49 €	25.478.919,97 €	27.864.073,68 €	

Fonte: Autor, 2018.

**Tabela C2:** Cálculo do VAL para Ribeira Chão de Madeiral.

	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
	-213665,52	-172360,85	-130354	-87633,04	-44185,82					
	-790000	-790000	-790000	-790000	-790000	-790000	-790000	-790000	-790000	-790000
	-1.930.000,00 €	-1.930.000,00 €	-1.930.000,00 €	-1.930.000,00 €	-1.930.000,00 €	-1.930.000,00 €	-1.930.000,00 €	-1.930.000,00 €	-1.930.000,00 €	-1.930.000,00 €
	7.755.415	7.755.415	7.755.415	7.755.415	7.755.415	7.755.415	7.755.415	7.755.415	7.755.415	7.755.415
	4821749,48	4863054,15	4905061	4947781,96	4991229,18	5035415	5035415	5035415	5035415	5035415
	5825415	5825415	5825415	5825415	5825415	5825415	5825415	5825415	5825415	5825415
	0,821815716	0,807284593	0,793010406	0,778988611	0,765214745	0,751684425	0,738393345	0,725337274	0,712512057	0,699913612
	3962589,499	3925868,69	3889764,413	3854265,794	3819362,165	3785043,031	3718116,927	3652374,191	3587793,901	3524355,502
	8.508.109,16 €	12.433.977,85 €	16.323.742,26 €	20.178.008,06 €	23.997.370,22 €	27.782.413,25 €	31.500.530,18 €	35.152.904,37 €	38.740.698,27 €	42.265.053,77 €

		Taxa act	1,80%								
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Investimento	-3860000										
Juros		-590580	-555682,88	-520192,51	-484098,8	-447391,5	-410060,17	-372094,22	-333482,84	-294215,06	-254279,74
O&M		-790000	-790000	-790000	-790000	-790000	-790000	-790000	-790000	-790000	-790000
Amort		-1.930.000,00 €	-1.930.000,00 €	-1.930.000,00 €	-1.930.000,00 €	-1.930.000,00 €	-1.930.000,00 €	-1.930.000,00 €	-1.930.000,00 €	-1.930.000,00 €	-1.930.000,00 €
Receita		7.755.415	7.755.415	7.755.415	7.755.415	7.755.415	7.755.415	7.755.415	7.755.415	7.755.415	7.755.415
Res.Previsional	-3860000	444835	4479732,12	4515222,49	4551316,2	4588023,5	4625354,83	4663320,78	4701932,16	4741199,94	4781135,26
Retoma Juros+Amort		5825415	5825415	5825415	5825415	5825415	5825415	5825415	5825415	5825415	5825415
FAC		0,982318271	0,964949186	0,947887216	0,931126931	0,914662997	0,898490174	0,882603314	0,866997362	0,85166735	0,836608398
CFA	-3860000	5722411,591	4322713,862	4279921,675	4237853,086	4196495,326	4155835,866	4115862,376	4076562,778	4037925,187	3999937,912
VAL	-38.600.000,00 €	-32.877.588,41 €	-28.554.874,55 €	-24.274.952,87 €	-20.037.099,79 €	-15.840.604,46 €	-11.684.768,59 €	-7.568.906,22 €	-3.492.343,44 €	545.581,75 €	4.545.519,66 €

Fonte: Autor, 2018.