



**UNIVERSIDADE DA INTEGRAÇÃO INTERNACIONAL DA LUSOFONIA**

**AFRO-BRASILEIRA**

**INSTITUTO DE ENGENHARIAS E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL**

**CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE ENERGIAS**

**JONAS ISRAEL ZANDAMELA**

**ANÁLISE DO POTENCIAL PARA IMPLANTAÇÃO DE USINAS EÓLICAS EM  
MOÇAMBIQUE**

**REDENÇÃO**

**2023**

JONAS ISRAEL ZANDAMELA

ANÁLISE DO POTENCIAL PARA IMPLANTAÇÃO DE USINAS EÓLICAS EM  
MOÇAMBIQUE

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia de Energias do da Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, como requisito parcial à obtenção do grau de bacharel em Engenharia de Energias.

Orientadora: Profa. Janaína Barbosa Almada.

REDENÇÃO

2023

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

---

Zandamela, Jonas Israel.

Z91a

Análise do potencial para implantação de usinas eólica em Moçambique / Jonas Israel Zandamela. - Redenção, 2024.  
63f: il.

Outro - Curso de Engenharia de Energias, Instituto de Engenharias e Desenvolvimento Sustentável, Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, Redenção, 2024.

Orientador: Prof. Ms. Janaína Barbosa Almada.

1. Energia eólica. 2. Fontes de Energia Renovável. 3. Potencial eólico. 4. Usina eólica. I. Título

CE/UF/BSP

CDD 333.85

---

JONAS ISRAEL ZANDAMELA

ANÁLISE DO POTENCIAL PARA IMPLANTAÇÃO DE USINAS EÓLICAS EM  
MOÇAMBIQUE

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia de Energias da Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, como requisito parcial à obtenção do grau de bacharel em Engenharia de Energias.

Aprovada em: 12/12/2023.

BANCA EXAMINADORA

---

Profa. Janaína Barbosa Almada (Orientadora)  
Universidade da Integração Internacional da  
Lusofonia Afro-Brasileira (Unilab)

---

Prof. Dra. Silvia Helena Dantas de Lima  
Universidade da Integração Internacional da  
Lusofonia Afro-Brasileira (Unilab)

---

Prof. Me. Jairo Lima do Nascimento  
Universidade da Integração Internacional da  
Lusofonia Afro-Brasileira (Unilab)

A Deus, em nome do Senhor Jesus, pela força concedida durante essa jornada. Aos meus pais, Israel Zandamela e Linda Maibasso e a minha amada, Bruna Ferreira dos Santos por acreditarem em mim.

## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço a Deus em nome do Senhor Jesus, que cumpriu sua promessa para comigo e me fez ultrapassar todas as dificuldades e nos altos e baixos que passei, ele sempre esteve comigo e não me deixou desistir. E isso está em mim. Nos momentos mais dolorosos, ele esteve ao meu lado e não me deixou cometer nenhum erro envergonhado. Pois : “<sup>1</sup> O SENHOR é o meu pastor, nada me faltará. <sup>2</sup> Deitar-me faz em verdes pastos, guia-me mansamente a águas tranqüilas. <sup>3</sup> Refrigerar a minha alma; guia-me pelas veredas da justiça, por amor do seu nome. Ainda que eu andasse pelo vale da sombra da morte, não temeria mal algum, porque tu estás comigo; a tua vara e o teu cajado me consolam. Preparas uma mesa perante mim na presença dos meus inimigos, unges a minha cabeça com óleo, o meu cálice transborda. Certamente que a bondade e a misericórdia me seguirão todos os dias da minha vida; e habitarei na casa do Senhor por longos dias. Salmos 23:1-6.”

Aos meus pais, Israel Zandamela e Linda Maibasso e a minha avó, Adélia Argentina e aos meus amados irmãos, José Israel Zandamela, Francisco, Albertina, Faquel, Alberto e Jossias. pelo amor, sustento, educação e, sobretudo por serem exemplos para mim. A família como um todo, que de onde venho não se limita aos que compartilham diariamente o teto e/ou a refeição, mas sim, todos que amamos e nos amam incondicionalmente.

A Bruna Ferreira dos Santos, minha namorada, pelo amor e apoio que me tem dado e sua família, seus pais, Valtemir e Auxiliadora Santos e irmãos, Brenda, Beatriz, Maiara, Matheus, Jadson, Jamily, David e os pequeninos amados, Olivia, Laura e Samuel.

A minha Orientadora Prof. Janaína Almada, que muito fez para contribuir com a minha formação através dos seus conhecimentos e para o presente trabalho. A todos os prezados professores do IEDS-UNILAB pelo seu contributo para minha formação.

Aos meus Pastores, Pastor Carlos Alberto, Pastor Edílson Rocha Dias. A família que eu ganhei, meus queridos Leudo Pimentel, Maria Raimunda e Pedro Alan.

Aos meus queridos amigos Engenheiro Lourenço Passos João, Geisel Facundo, Naelio Firmino, Ayrton Fernandes, Irma Luíza, Tales, Alan Ferreira, Engenheiro Antônio Uamba e Sirilo Lourenço Nhauleque, que a vida me deu, uns de tão longe que permanecerão eternamente perto, no pulsar deste meu coração.

"Everybody is a genius, but if you judge a fish by its ability to climb a tree, it will live its all life believing that is stupid." (Albert Einstein)

## RESUMO

A análise do potencial eólico e, posterior, instalação de usinas eólicas consiste de várias etapas, além dos aspectos técnicos e econômicos, há também a necessidade de avaliação dos impactos ambientais e sociais. A energia eólica vem se destacando pela sua classificação na cadeia de fontes de energia limpa e renovável, por isso capaz de dar grande contribuição para transição energética e na diversificação da matriz energética e permitir a redução significativa das emissões de gases de efeito estufa. Neste estudo, é avaliado um ponto promissor para instalação de usina eólica em Moçambique, as tecnologias mais convenientes, os aspectos financeiros e a integração dessas usinas na rede elétrica nacional. Serão também, tratados os possíveis impactos ambientais, tendo em conta a manutenção de alguns ecossistemas localizados na região de implantação do empreendimento, assim também como a questão da contribuição social que a implantação de usinas eólicas podem apresentar às comunidades locais. Através de uma abordagem multidisciplinar, este trabalho visa disponibilizar um entendimento abrangente sobre a instalação de usinas eólicas em Moçambique e seus benefícios para o desenvolvimento sustentável do país.

**Palavras-chave:** Energia Eólica. Fontes de Energia Renovável. Transição energética. Potencial Eólico. Usina Eólica.

## **ABSTRACT**

The analysis of wind potential and, subsequently, installation of wind power plants consists of several steps, in addition to the technical and economic aspects, there is also the need to assess the impacts environmental and social. Wind energy has stood out due to its classification in the chain of clean and renewable energy sources, therefore capable of making a great contribution to the energy transition and the diversification of the energy matrix and allowing the significant reduction of greenhouse gas emissions. In this study, a promising point for installing a wind farm in Mozambique, the most convenient technologies, the financial aspects and the integration of these plants into the national electricity grid are evaluated. Possible environmental impacts will also be addressed, taking into account the maintenance of some ecosystems located in the region of implementation of the project, as well as the issue of the social contribution that the implementation of wind farms can present to local communities. Through a multidisciplinary approach, this work aims to provide a comprehensive understanding of the installation of wind farms in Mozambique and their benefits for the country's sustainable development.

**Keywords:** Wind Energy. Renewable Energy Sources. Energy transition. Wind Potential. Wind farm.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Mapa de localização de Moçambique . . . . .	15
Figura 2 – Taxa de Crescimento Anual do PIB de Moçambique . . . . .	16
Figura 3 – Capacidade instalada de Moçambique . . . . .	17
Figura 4 – Repartição anual por categoria de consumo . . . . .	17
Figura 5 – Camada de Prandtl . . . . .	21
Figura 6 – Fluxo de massa de ar através de um tubo cilíndrico . . . . .	23
Figura 7 – Anemômetro de copo e Windvane . . . . .	26
Figura 8 – Lidar e torre de medição anemométrica . . . . .	26
Figura 9 – Torre de medição anemométrica . . . . .	27
Figura 10 – À esquerda TEEH e à direita TEEV . . . . .	28
Figura 11 – Turbinas de eixo horizontal . . . . .	28
Figura 12 – Turbinas <i>offshore</i> e <i>onshore</i> . . . . .	29
Figura 13 – Fundação e estruturas de suporte . . . . .	30
Figura 14 – Vista de subestação de alta tensão . . . . .	30
Figura 15 – Localização dos dados climáticos . . . . .	38
Figura 17 – Tipos tecnologia de geração . . . . .	40
Figura 16 – Informação sobre instalação . . . . .	40
Figura 18 – Correção da velocidade do vento . . . . .	41
Figura 19 – Gráficos das curvas de potencia e energia . . . . .	42
Figura 20 – Gráficos de fluxo de caixa anual . . . . .	49
Figura 21 – Sumario de redução de emissões 1 . . . . .	57
Figura 22 – Sumario de redução de emissões 2 . . . . .	58
Figura 23 – Sumario de redução de emissões 3 . . . . .	58

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Coeficiente de atrito para vários tipos de terreno . . . . .	22
Tabela 2 – Coeficiente de atrito para vários tipos de areas . . . . .	23
Tabela 3 – Dados climáticos. . . . .	39
Tabela 4 – Tabela de cálculos e análise de energia gerada . . . . .	43
Tabela 5 – Custos iniciais . . . . .	44
Tabela 6 – Custo típico de turbina eólica . . . . .	45
Tabela 7 – Custo de operação e manutenção . . . . .	45
Tabela 8 – Custo anual de operação e manutenção . . . . .	45
Tabela 9 – Parâmetros financeiros . . . . .	46
Tabela 10 – Custos . . . . .	47
Tabela 11 – Receita anual . . . . .	47
Tabela 12 – Viabilidade financeira . . . . .	48
Tabela 13 – Fluxo de caixa anual . . . . .	48
Tabela 14 – Análise de sensibilidade . . . . .	50
Tabela 15 – Análise de sensibilidade (continuação) . . . . .	50
Tabela 16 – Análise de risco . . . . .	51
Tabela 17 – Análise de risco (continuação) . . . . .	51

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

EIA	Estudo(s) de Impacto Ambiental
HFO	Óleo combustível pesado, em inglês, <i>Heavy Fuel Oil</i>
ROI	Retorno sobre Investimento, em inglês, <i>Return on Investment</i>
SWOT	Forças, Fraquezas, Oportunidades e Ameaças, em inglês, <i>Strenghts, Weaknesses, Opportunities e Threats</i>
TEEH	Turbinas Eólicas de Eixo Horizontal
TEEV	Turbinas Eólicas de Eixo Vertical
TIR	Taxa Interna de Retorno
VPL	Valor Presente Líquido

## LISTA DE SÍMBOLOS

$H_r$	Altura de referência de medição da velocidade do vento [m]
$H$	Altura desejada (medida) [m]
$u_r$	Velocidade do vento na altura de referência(medida a 10 m) [m/s]
$u$	Velocidade do vento na altura H [m/s]
$a$	Coefficiente de atrito
$P_v$	Potência contida nos ventos [W]
$A_v$	Área varrida pelas pás do aerogerador [ $m^2$ ]
$\rho$	Massa específica do ar [ $kg/m^3$ ]
$E$	Energia contida nos ventos[kWh]
$t$	Tempo de geração [h]
$E_c$	Energia cinética [J]
$m$	Massa de ar [kg]
$m'$	Fluxo da massa de ar [kg/s]
$P_m$	Potência mecânica [W]
$c_p$	Coefficiente da potência da turbina [adimensional]
$EAG$	Energia anual gerada [kWh]
$P_N$	Potencia nominal [kW]

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>14</b>
<b>1.1</b>	<b>Contextualização e justificativa</b>	<b>14</b>
<b>1.2</b>	<b>Objetivos</b>	<b>17</b>
<i>1.2.1</i>	<i>Objetivo Geral</i>	<i>17</i>
<i>1.2.2</i>	<i>Objetivos específicos</i>	<i>18</i>
<b>1.3</b>	<b>Estrutura do trabalho</b>	<b>18</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO DA LITERATURA</b>	<b>19</b>
<b>2.1</b>	<b>Fontes de Energia Renovável</b>	<b>19</b>
<i>2.1.1</i>	<i>Características e vantagens da energia eólica</i>	<i>20</i>
<b>2.2</b>	<b>Tecnologias para geração eólica</b>	<b>21</b>
<i>2.2.1</i>	<i>Estimativa do potencial eólico</i>	<i>21</i>
<i>2.2.2</i>	<i>Mapeamento de recursos eólicos</i>	<i>25</i>
<i>2.2.3</i>	<i>Turbinas eólicas</i>	<i>27</i>
<i>2.2.4</i>	<i>Infraestrutura para a geração eólica</i>	<i>29</i>
<b>2.3</b>	<b>Viabilidade econômica</b>	<b>31</b>
<i>2.3.1</i>	<i>Investimento inicial e custos operacionais</i>	<i>31</i>
<i>2.3.2</i>	<i>Análise financeira e indicadores de retorno</i>	<i>32</i>
<i>2.3.3</i>	<i>Outros elementos facilitadores da integração da energia eólica</i>	<i>33</i>
<b>2.4</b>	<b>Contribuição da energia eólica como fonte de baixo carbono</b>	<b>34</b>
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b>	<b>36</b>
<b>4</b>	<b>POTENCIAL DE ENERGIA EÓLICA EM MOÇAMBIQUE</b>	<b>38</b>
<b>4.1</b>	<b>Geografia e Condições Climáticas</b>	<b>38</b>
<i>4.1.1</i>	<i>Variação Temporal e Estacional</i>	<i>38</i>
<b>4.2</b>	<b>Viabilidade econômica</b>	<b>43</b>
<i>4.2.1</i>	<i>Investimento Inicial e Custos Operacionais</i>	<i>43</i>
<i>4.2.2</i>	<i>Análise Financeira e Indicadores de Retorno</i>	<i>45</i>
<b>4.3</b>	<b>Avaliação dos impactos socioambientais</b>	<b>52</b>
<i>4.3.1</i>	<i>Impactos em ecossistemas</i>	<i>52</i>
<i>4.3.2</i>	<i>Impactos sociais</i>	<i>53</i>
<i>4.3.3</i>	<i>Mitigação dos impactos</i>	<i>53</i>

<b>4.3.4</b>	<b><i>Experiências anteriores</i></b> . . . . .	54
4.3.4.1	<i>Parque Eólico Katskhi, Estados Unidos - Geórgia</i> . . . . .	54
4.3.4.2	<i>Parque Eólico Fosen, Noruega</i> . . . . .	54
<b>4.4</b>	<b>Desafios e oportunidades</b> . . . . .	54
<b>4.4.1</b>	<b><i>Obstáculos à Implementação de Usinas Eólicas</i></b> . . . . .	54
4.4.1.1	<i>Políticas de Incentivo e Financiamento</i> . . . . .	55
4.4.1.2	<i>Sistema elétrico de potência local</i> . . . . .	55
<b>4.4.2</b>	<b><i>Oportunidades de Desenvolvimento Sustentável</i></b> . . . . .	56
4.4.2.1	<i>Diversificação da Matriz Energética</i> . . . . .	56
4.4.2.2	<i>Redução de emissões de CO<sub>2</sub> e mudanças climáticas</i> . . . . .	57
4.4.2.3	<i>Criação de empregos locais</i> . . . . .	59
4.4.2.4	<i>Investimentos em infraestrutura</i> . . . . .	59
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES</b> . . . . .	60
	<b>REFERÊNCIAS</b> . . . . .	61

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Contextualização e justificativa

No contexto atual de avanço tecnológico e da crescente demanda por energia, a busca por fontes sustentáveis tornou-se fundamental. Vive-se em uma era marcada pela tecnologia, onde o conforto e a praticidade estão intimamente ligados ao consumo energético. Contudo, esse progresso tecnológico traz à tona desafios globais, sendo a sustentabilidade o mais urgente.

É essencial reconhecer que os recursos naturais são finitos, e a natureza possui seus limites. O que se extrai dela deve ser devolvido com a devida consideração, visando a regeneração dos recursos naturais. Isso leva a adoção de uma visão de consumo responsável, na qual se busca otimizar o uso enquanto se reduz o impacto ambiental.

As ações humanas de hoje refletem o mundo de amanhã, e essa consciência ecológica e sustentável que emergiu pretende proteger o planeta sem comprometer o crescimento e desenvolvimento desejados. Isso é particularmente relevante no setor energético global, cujo constante aumento dos preços do petróleo desafia a continuidade do crescimento, dessa forma, busca-se por alternativas que garantam um suprimento de energia constante e duradouro.

A energia eólica parece ser uma solução adequada para o desenvolvimento sustentável. Bem nos últimos anos, o mundo tem visto um desenvolvimento tecnológico significativo no campo da produção de energia eólica com turbinas eólicas. Essas conquistas foram feitas, a energia eólica era economicamente atrativa e tornou-se uma opção viável mesmo nas regiões com ventos de baixa intensidade.

Porém, é importante reconhecer que o vento é um desafio para ele ganhar. Combinar a energia eólica com outras fontes de energia, como a solar ou as usinas hidrelétricas podem compensar essa limitação e garantir um fornecimento contínuo de eletricidade. Em suma, a energia eólica desempenha um papel crucial na transição para sistemas energéticos mais sustentáveis e redução da dependência do petróleo.

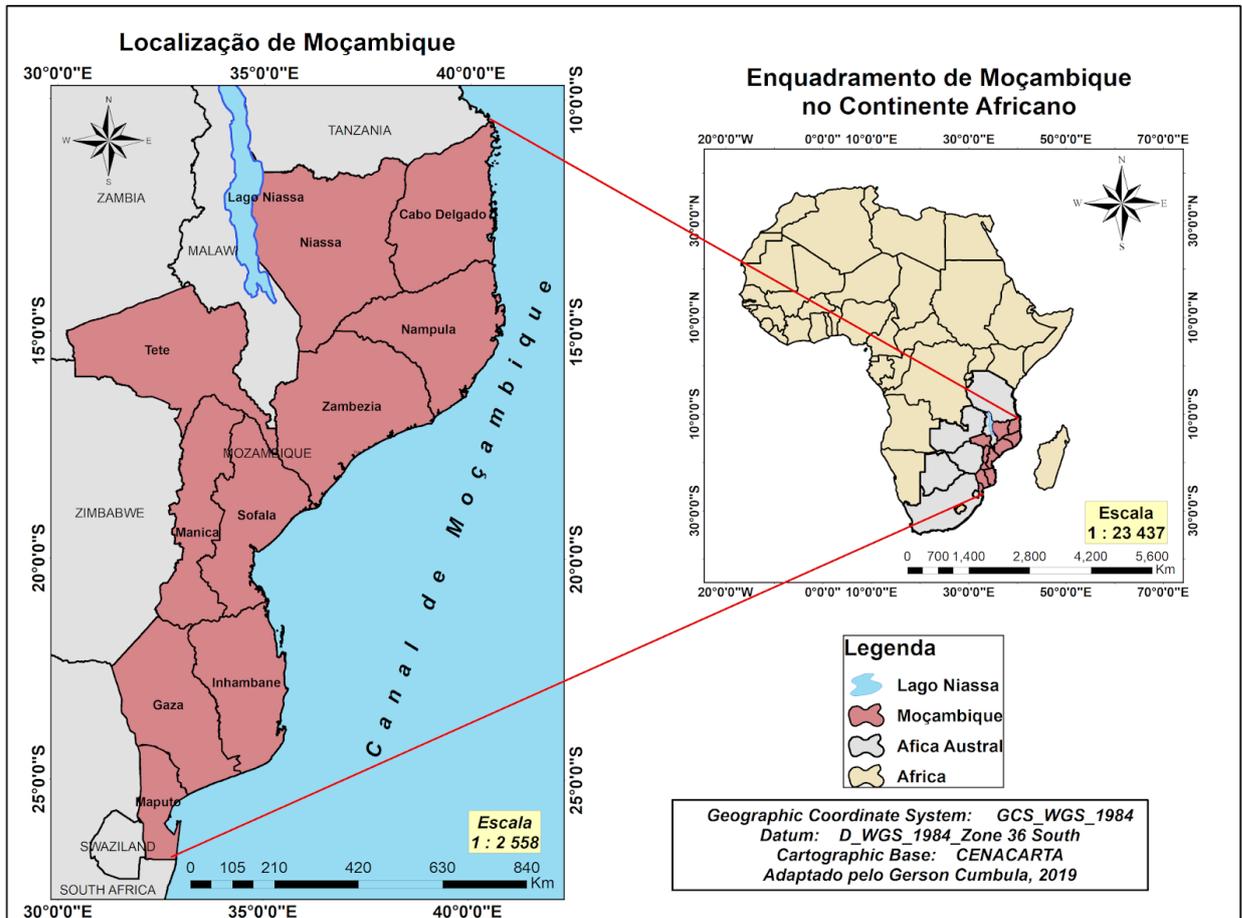
À medida que a tecnologia e a infra-estrutura continuam a desenvolver-se, a energia eólica tem o potencial de desempenhar um papel ainda maior no fornecimento de eletricidade limpa e acessível, ajudando a alcançar as metas globais de sustentabilidade.

Moçambique é um país da África Austral, limitado a norte pelo, Tanzânia, Malawi e Zâmbia, a leste pelo Canal de Moçambique e pelo Oceano Índico, a sul e oeste pela África do Sul e a oeste pela Suazilândia e pelo Zimbábue, conforme mostrado na Figura 1. A linha costeira do

país de norte a sul abrange 2.700km possui uma superfície contabilizada em 799.380km<sup>2</sup>, com uma população estimada em 32.08 milhões de habitantes.

O clima do país é tropical úmido devido às monções do oceano Índico e a corrente marítima quente do canal de Moçambique, nas montanhas o clima passa a ser tropical de altitude. A umidade e as precipitações variam amplamente em todo o país, e a temperatura média está entre 24°C e 27°C, entre os meses de maio e setembro, na estação seca as temperaturas variam entre 18°C e 20°C.

Figura 1 – Mapa de localização de Moçambique



Fonte: (BUSINESSMAPSMOZ, 2023)

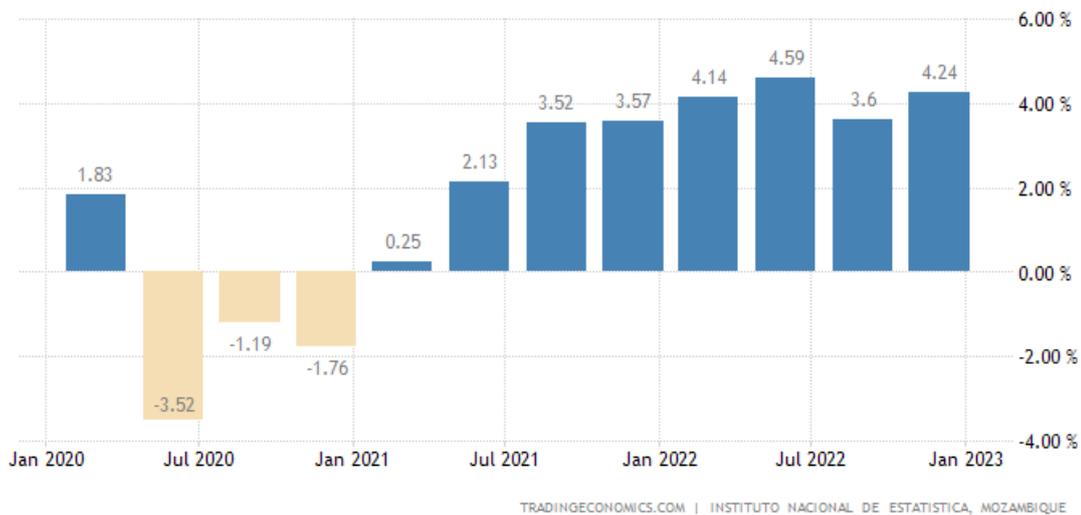
Em questões socioeconômicas, Moçambique começou a sair de um período de elevada volatilidade econômica, conforme ilustra a Figura 2. A estabilidade da moeda desde meados de 2017, ajudou na redução do pico da inflação de 26% que ocorreu em novembro de 2016, para pouco mais de 5% apurado em 2018. Ao mesmo tempo que exportações de carvão mineral ao longo de 2017, equivalente a 7% do PIB, apoiou a melhoria da balança comercial e a recuperação das reservas do Banco Central, as quais já em 2018 permitiam a cobertura de 7

meses de importações.

Em 2018, Moçambique já tinha assegurado o investimento do projeto Coral South, um dos dois grandes projetos de exploração de jazidas de gás natural e construção do gasoduto na bacia do Rovuma.

As principais exportações do país são, carvão, alumínio e tabaco. Para que não haja intensificação na pressão externa, a procura por importações deve reduzir ou se manter constante, enquanto isso as exportações, o investimento na economia atrelados a megaprojetos dever verificar um aumento, principalmente nos setores chaves, tais como agricultura e energia.

Figura 2 – Taxa de Crescimento Anual do PIB de Moçambique



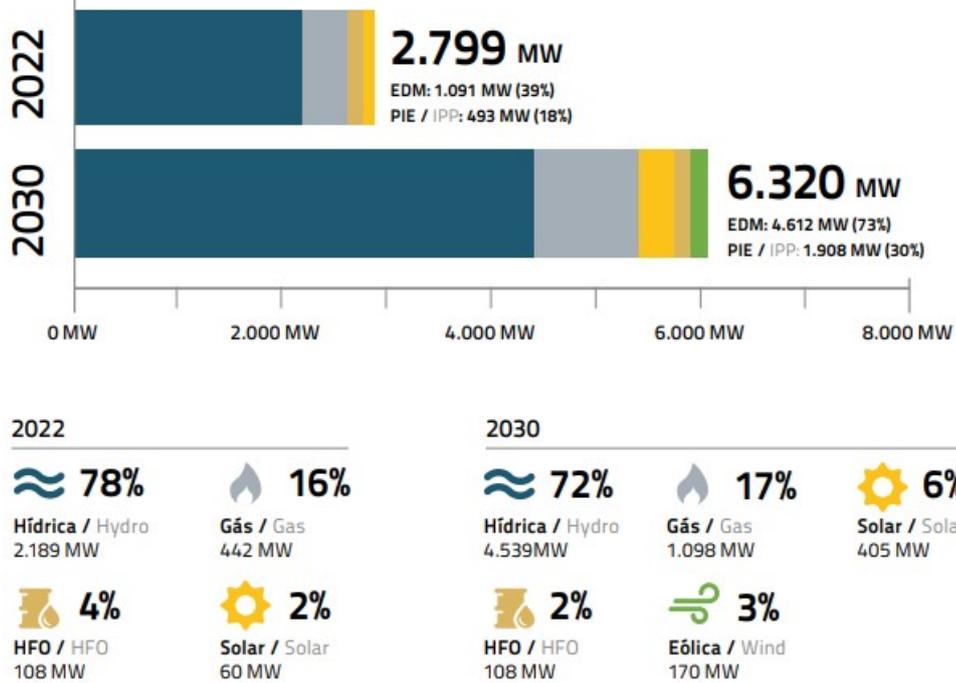
Fonte: (TRADING-ECONOMICS, 2023)

Estima-se que Moçambique atingiu uma capacidade total instalada de 2,799 MW no final de 2022, dos quais 78% correspondem a energia proveniente de hidroelétrica, entre as termoelétrica divide-se por combustível sendo 16% a gás e 4% a Óleo combustível pesado, em inglês, *Heavy Fuel Oil* (HFO), e 2% a solar. A capacidade instalada corresponde a 39% da EDM e 18% do PIE. As projeções para 2030 do Plano Quinquenal do Governo, mostram um aumento esperado da capacidade total instalada para 6,320 MW.

A energia hidroelétrica é a fonte de eletricidade dominante com 2,189 MW, 78% do energético total, seguida de 442 MW de gás (16%), 108 MW de HFO (4%) e 60 MW de energia solar (2%) (2022). (ALER, 2022)

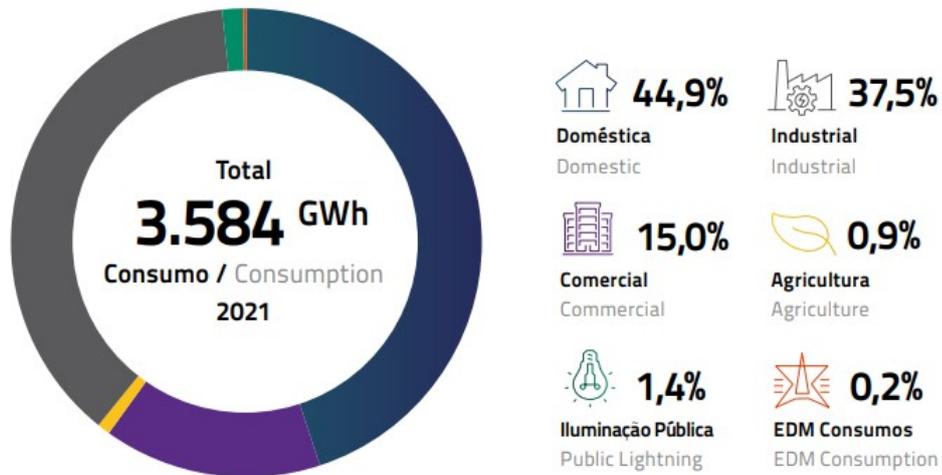
A Figura 3 mostra a capacidade total instalada atual e as projeções esperadas com o que o Plano Quinquenal do Governo 2030. Já a Figura 4 apresenta como é dividida a utilização da energia por classe de consumo.

Figura 3 – Capacidade instalada de Moçambique



Fonte: (ALER, 2022)

Figura 4 – Repartição anual por categoria de consumo



Fonte: (ALER, 2022)

## 1.2 Objetivos

### 1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é analisar o potencial eólico em Moçambique, com o auxílio do programa computacional RetScreen.

### **1.2.2 *Objetivos específicos***

Seguem enumerados abaixo os objetivos específicos deste trabalho:

- Analisar a viabilidade para instalação de um parque eólico em Moçambique;
- Determinar o potencial eólico de uma região pré-definida com o auxílio do programa computacional RetScreen.
- Considerar aspectos técnicos e econômicos;
- Avaliar os impactos ambientais e sociais;
- Apontar desafios e oportunidades com a implantação.

### **1.3 *Estrutura do trabalho***

Neste primeiro capítulo encontram-se a motivação e a contextualização do trabalho, os objetivos gerais e específicos do assunto em estudo.

O segundo capítulo apresenta uma breve revisão bibliográfica sobre a energia renovável, focando na geração de energia através de turbinas eólicas. tendo a energia eólica no mundo, o consumo de energia, a caracterização dos ventos e sua transformação em energia. Apresenta também métodos e conclusões.

O terceiro capítulo apresenta a metodologia utilizada na obtenção dos resultados e o método de análise da viabilidade em função da energia gerada.

O quarto capítulo apresenta um desenvolvimento dos cálculos e análises efetuadas. Os resultados obtidos em cada etapa do trabalho são apresentados, juntamente com figuras, tabelas e análise dos cálculos. Apresenta também aspectos da viabilidade econômica do estudo em causa, apresentando os resultados obtidos em cada etapa, juntamente com tabelas e análise dos cálculos.

O quinto capítulo apresenta as conclusões, sobre tudo das análises feitas no decorrer do trabalho.

## 2 REVISÃO DA LITERATURA

Este capítulo tem o objetivo de estabelecer os conceitos fundamentais para a compreensão do aproveitamento do potencial eólico para a produção de eletricidade. Explora-se a importância da energia proveniente dos ventos como uma fonte renovável de energia elétrica e uma alternativa viável. Os aspectos técnicos e operacionais relacionados à inserção da energia eólica na rede de transmissão e distribuição de eletricidade são abordados, bem como os desafios e soluções envolvidos.

### 2.1 Fontes de Energia Renovável

A crescente preocupação global com as mudanças climáticas e a busca por opções mais sustentáveis para substituir as fontes de energia convencionais têm gerado um novo interesse nas fontes de energia renovável. Essas formas de energia, ao contrário dos combustíveis fósseis, se regeneram naturalmente em um ritmo mais rápido, o que as torna cruciais para atender às crescentes demandas energéticas e reduzir a emissão de carbono. Algumas das principais fontes de energia renovável incluem aquelas que são derivadas direta ou indiretamente da energia da radiação do sol, como solar, eólica, hidráulica e biomassa, e aquelas que não tem relação, como a geotérmica e a maremotriz.

A energia geotérmica é derivada do calor interno da Terra. Utiliza-se a diferença de temperatura entre as camadas superficiais e profundas para geração de energia ou aquecimento direto. Já a energia das marés pode ser aproveitada pela construção de barragens. Seu aproveitamento ocorre em função das diferenças de profundidade das marés devido ao efeito gravitacional da lua e do sol na águas oceânicas.

Já a solar térmica e energia solar fotovoltaica utiliza a energia direta da radiação solar. Usando essa energia para aquecimento ou produção de eletricidade, através do aquecimento de fluidos de trabalho e do efeito fotovoltaico, respectivamente. É uma fonte de energia acessível e, quando usada de maneira adequada, pode ter um impacto significativo na geração de eletricidade limpa.

Entre as fontes indiretas do sol, tem-se a energia hídrica, biomassa e eólica. A evaporação da água e seu comportamento cíclico, permite a produção de eletricidade através do movimento da água em rios ou represas. Fonte hidráulica é renovável e bem estabelecida, comumente utilizada para a geração de eletricidade em grande escala. A biomassa utiliza matéria

orgânica, como resíduos agrícolas, resíduos de madeira e resíduos de alimentos, para produzir energia. Pode ser convertido em biocombustível ou utilizado diretamente para gerar calor ou eletricidade.

A energia eólica é produzida convertendo a energia cinética do vento em eletricidade por meio de turbinas eólicas. É uma fonte comum e pode desempenhar um papel importante na transição para uma matriz energética mais limpa. Neste contexto, a energia eólica é uma opção promissora para explorar o potencial de geração sustentável de energia.

### ***2.1.1 Características e vantagens da energia eólica***

As preocupações com o efeito futuro das emissões de gases de estufa por parte de vários países do mundo tem criado um ambiente muito favorável ao uso da energia eólica como uma fonte limpa de energia. Por exemplo, uma turbina de 600kW, instalada em uma região de bons ventos, poderá, dependendo do regime do vento e do fator de capacidade, evitar a emissão entre 20 mil e 36 mil toneladas de ( $CO_2$ ), equivalentes a geração convencional, durante seus 20 anos de vida útil estimados. (LOPES, 2012).

Um dos benefícios dessa transformação de energia é que o vento é inesgotável, pois ocorre devido as variações de pressão, temperatura e densidade causadas pelo aquecimento desigual da Terra por meio da radiação solar, que varia em função da distribuição geográfica, período do dia e sua distribuição anual.(FADIGAS, 2011). Portanto, enquanto houver radiação solar haverá movimentos de massas de ar. Isto torna a energia eólica uma alternativa confiável e sustentável aos combustíveis fósseis, cuja oferta é limitada.

Durante a geração de eletricidade através das turbinas eólicas, nenhum gás de efeito estufa é produzido. Isto ajuda a reduzir as emissões de dióxido de carbono ( $CO_2$ ) e outros poluentes atmosféricos que contribuem para as alterações climáticas e a poluição atmosférica. Em comparação com outras fontes de energia, como as centrais térmicas alimentadas por combustíveis fósseis, as turbinas eólicas têm um impacto ambiental relativamente baixo.

As turbinas eólicas podem ser instaladas em vários locais a depender das características ambientais locais como velocidade do vento, frequência de ocorrência e relevo do terreno. Atualmente, parques eólicos podem ser instalados em terra, *onshore*, ou em plataformas oceânicas, *offshore*. Outra questão importante é a conexão com as redes de transmissão de energia elétrica que devem ser o mais próximo possível dos centro de carga, de forma a reduzir as perdas de transmissão e aumentar a resiliência da rede.

Embora os custos iniciais de instalação possam ser elevados, a operação e manutenção de parques eólicos tendem a ser mais baratas do que as centrais térmicas convencionais. Esta é uma vantagem competitiva a longo prazo, especialmente à medida que a tecnologia avança e os custos de instalação diminuem. A instalação e operação de parques eólicos cria emprego local em áreas rurais e remotas e contribui para o desenvolvimento econômico das áreas circundantes.

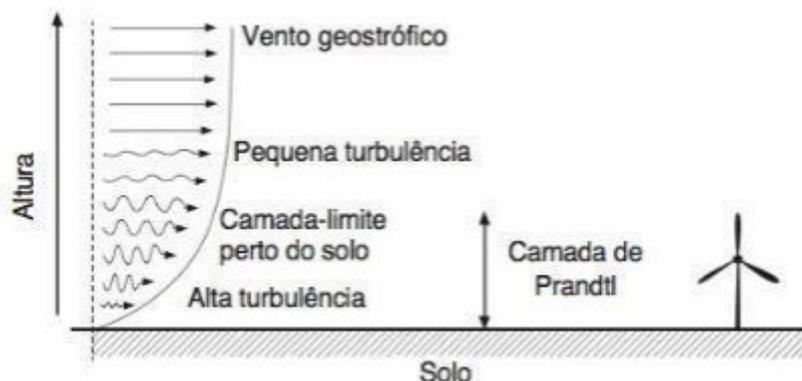
## 2.2 Tecnologias para geração eólica

Um projeto de geração de energia eólica passa por diversas etapas antes que a energia elétrica transformada esteja disponível. Entre essas etapas tem-se a estimativa de velocidade do vento, que define a viabilidade do empreendimento. Outras etapas são verificação dos equipamentos disponíveis e a infraestrutura existente e a que tem de ser construída.

### 2.2.1 Estimativa do potencial eólico

O potencial eólico de uma determinada região é avaliado pela frequência de velocidades do vento, estabilidade e direção. Os parâmetros que influenciam no perfil do vento levam em consideração fatores como, obstáculos próximo ao local de medição, rugosidade do terreno e orografia (existência de colinas e depressões). Portanto, as informações sobre as condições de contorno local são essenciais, pois ocasiona variação da velocidade do vento com a altura,(FADIGAS, 2011), conforme mostra a Figura 5.

Figura 5 – Camada de Prandtl



Fonte: (PINTO, 2013)

A modelagem da variação no perfil vertical do vento pode ser realizada através da lei das potências, segundo:

$$u = u_r \cdot \left( \frac{H}{H_r} \right)^\alpha \quad (2.1)$$

em que  $\alpha$  é coeficiente de atrito para vários tipos de terreno, a Tabela 1 mostra alguns exemplos desses valores. Obtem-se, portanto, a velocidade do vento corrigida,  $u$ , na altura,  $H$ , a partir da velocidade do vento medida,  $u_r$ , na altura de referência,  $H_r$ .

Tabela 1 – Coeficiente de atrito para vários tipos de terreno

Características do terreno	Coeficiente de atrito ( $\alpha$ )
Calma superfície aquática ou solo suave	0,10
Gramma alta ao nível do solo	0,15
Arbustos e cercas	0,20
Áreas rurais com muitas árvores	0,25
Pequenas cidades com árvores e arbustos	0,30
Grandes cidades com prédios elevados	0,40

Fonte: Rohatgi, 1994 (Adaptado)

Outra forma de modelagem do perfil vertical do vento é baseada na lei logarítmica. Segundo (FADIGAS, 2011) esse modelo é usado para correção de velocidades a alturas acima de 50 metros. Neste caso, o coeficiente de atrito é representado por  $Z_0$  e apresenta outros valores, conforme mostra a Tabela 2. A forma simplificada do modelo é dada por:

$$u = u_r \cdot \left( \frac{\ln\left(\frac{H}{Z_0}\right)}{\ln\left(\frac{H_r}{Z_0}\right)} \right) \quad (2.2)$$

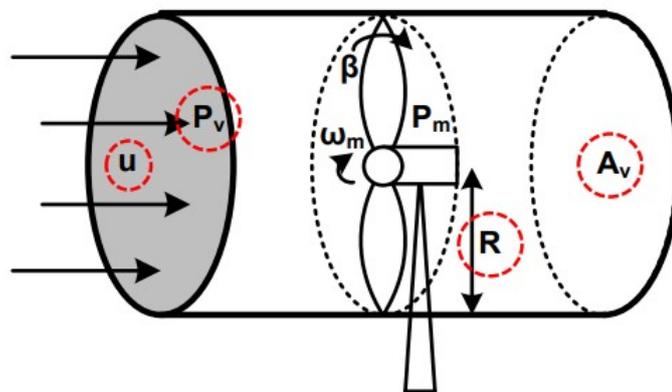
Tabela 2 – Coeficiente de atrito para vários tipos de áreas

Classe	$Z_0(m)$	Tipo de Área
0	0,0002	Com água, tais como mares e lagos.
1	0,03	Aberta com poucos quebra-ventos, plana ou levemente ondulada, podendo apresentar simples fazendas e árvores ou arbustos.
2	0,1	Terrenos de fazendas com quebra-ventos afastados a mais de 1000 metros entre si e algumas construções espalhadas; caracterizados por grandes áreas abertas entre alguns quebra-ventos, com uma passagem aberta; o terreno pode ser plano ou ondulado
3	0,4	Áreas urbanas, florestas e terras com muitos quebra-ventos; a área de fazenda é caracterizada por muitos quebra-ventos aglomerados, com separação média de poucas centenas de metros.

Fonte: (CUSTÓDIO, 2009)

Com base nos dados coletados, é possível estimar a disponibilidade da energia eólica de diferentes regiões, usando o fluxo de massa de ar através de um tubo cilíndrico conforme mostra a Figura 6.

Figura 6 – Fluxo de massa de ar através de um tubo cilíndrico



Fonte: (PINTO, 2013)

A partir da potência disponível nos ventos, a quantidade de eletricidade que pode ser gerada e o impacto que a energia eólica pode ter na matriz energética nacional pode ser estimada por:

$$E_c = \frac{m \cdot u^2}{2} \quad (2.3)$$

em que  $E_C$  é a energia cinética [J],  $m$  é a massa de ar [kg], e  $u$  é a velocidade do vento que passa pelas pás [m/s].

$$P_v = \frac{m' \cdot u^2}{2} \quad (2.4)$$

em que  $P_v$  é a potência disponível nos ventos [W],  $m'$  é o fluxo da massa de ar [kg/s].

$$m' = \rho \cdot u \cdot A_v \quad (2.5)$$

em que ,  $A_v$  é a área varrida pelas pás do aerogerador [ $m^2$  ], e  $\rho = 1,225 \text{ kg}/m^3$  é a massa específica do ar.

Substituindo a Eq.2.5 na Eq.2.4, obtém-se a seguinte equação para a potência disponível nos ventos :

$$P_v = \frac{1}{2} \cdot A_v \cdot \rho \cdot u^3 \quad (2.6)$$

Segundo (LOPES, 2012) a potência transformada em mecânica  $P_m$  pelas pás é dada em função do  $c_p$ , coeficiente da potência da turbina:

$$P_m = c_p(\omega_m, R, u) \cdot P_v \quad (2.7)$$

em que  $\omega_m$  é a velocidade de rotação das pás em [ $rad/s$ ] e  $R$  é o comprimento das pás ou raio do cilindro de ar considerado na Figura 6. Dessa forma, a energia elétrica ativa gerada anualmente,  $EAG_{estimada}$ , pode ser estimada por, (AMARAL, 2011):

$$EAG_{estimada} = \sum_{i=1}^n f_i \cdot P_{m_i} \cdot \eta_i \cdot t \quad (2.8)$$

para uma dada faixa de velocidade do vento  $i$ , tem-se que  $f_i$  é a frequência anual de sua ocorrência,  $P_{m_i}$  é a potência mecânica disponível na turbina,  $\eta_i$  é a eficiência na conversão mecânica-elétrica.

Tem-se ainda que  $t$  intervalo de tempo entre as medições de velocidade (horas). e  $n$  o número de intervalos de medição no período avaliado.

(LOPES, 2012). Um fator importante para avaliação do desempenho de uma unidade de geração de energia elétrica é o fator de capacidade,  $F_C$ , para um dado período. Dessa forma, o fator de capacidade anual de uma usina é dado por:

$$F_C = \frac{EAG}{8760 \cdot P_N} \quad (2.9)$$

em que  $P_N$  é a potencia nominal do aerogerador [ $kW$ ],  $EAG$  é a energia anual gerada [ $kWh$ ] e  $T$  = período de análise em horas = 8760 horas em um ano.

Para que a energia eólica seja tecnicamente aproveitável, que, em 50 m, sua densidade de potência de vento seja superior ou igual a 500 W/m<sup>2</sup>, o que exige uma velocidade de vento de 7 a 8 m/s no mínimo (GRUBB; MEYER, 1993). Afirmando que

A Organização Mundial de Meteorologia afirma que o vento ocorre em apenas 13 apresenta velocidade média de 50 m a 7 m/s. Essa relação variação significativa entre regiões e continentes.

### 2.2.2 Mapeamento de recursos eólicos

Como mostrado na seção 2.2.1, avaliar o potencial de geração de energia eólica depende essencialmente das velocidades do vento disponíveis em uma dada região. Dessa forma, a decisão da implantação é baseada em campanhas de medição ou medições fixas para previsão meteorológica, em geral, realizadas por entidades do estado.

As campanhas consistem na instalação de torres de medição equipadas com sensores que coletam dados sobre velocidade e direção do vento em diferentes alturas, como mostram as Figuras 7 e 8. Esses dados são analisados para determinar padrões de vento ao longo do tempo e determinar os melhores locais para instalar turbinas eólicas.

Figura 7 – Anemômetro de copo e Windvane



Fonte: (ATLAS-EOLICO-PARAIBA, 2023)

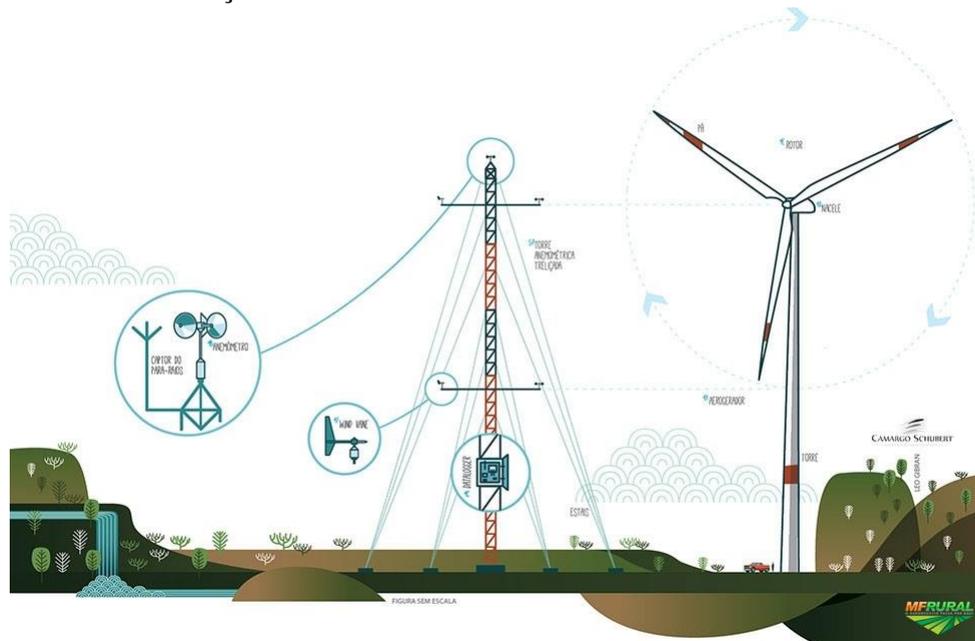
A utilização de dados de medições realizadas em locais próximos, uso de dados existentes de um ou mais locais e estações situadas nos aeroportos, uso de interpolações e extrapolações para estimativa, utilização de mapas ou atlas eólicos, que apresentam informações do tipo de terreno, distribuição da direção dos ventos, parâmetros de distribuição de Weibull, velocidade média, etc são utilizados como valores iniciais para pré-identificação das áreas mais viáveis.

Figura 8 – Lidar e torre de medição anemométrica



Fonte: (ATLAS-EOLICO-PARAIBA, 2023)

Figura 9 – Torre de medição anemométrica



Fonte: (MF-RURAL, 2023)

### 2.2.3 Turbinas eólicas

Segundo (CUSTÓDIO, 2009), a extração da energia cinética do vento é realizada por máquinas devidamente projetadas que transformam a energia cinética do vento em energia mecânica, e quando conveniente, em energia elétrica por intermédio de geradores. Os diferentes tipos de turbinas eólicas disponíveis e a seleção do tipo certo pode impactar a eficiência e a viabilidade dos projetos de geração de energia eólica. As Turbinas Eólicas de Eixo Vertical (TEEV) têm o rotor posicionado verticalmente, como pode ser verificado do lado direito da Figura 10, o que as torna menos dependentes da direção do vento e mais adaptáveis a mudanças de direção. Essas turbinas são frequentemente usadas em aplicações urbanas ou em áreas com ventos mais turbulentos. No entanto, elas tendem a ser menos eficientes em termos de captura de energia em comparação com as turbinas de eixo horizontal.

As Turbinas Eólicas de Eixo Horizontal (TEEH) são as mais comuns e amplamente utilizadas em parques eólicos em todo o mundo. Elas têm um rotor que gira em torno de um eixo horizontal que é perpendicular à direção do vento, conforme mostrado na Figura do lado esquerdo da Figura 10. Essas turbinas são mais eficientes para capturar ventos mais consistentes e direcionados, como os encontrados em regiões costeiras e montanhosas. Elas podem ser subdivididas em diferentes tipos, como turbinas de velocidade fixa e turbinas de passo variável.

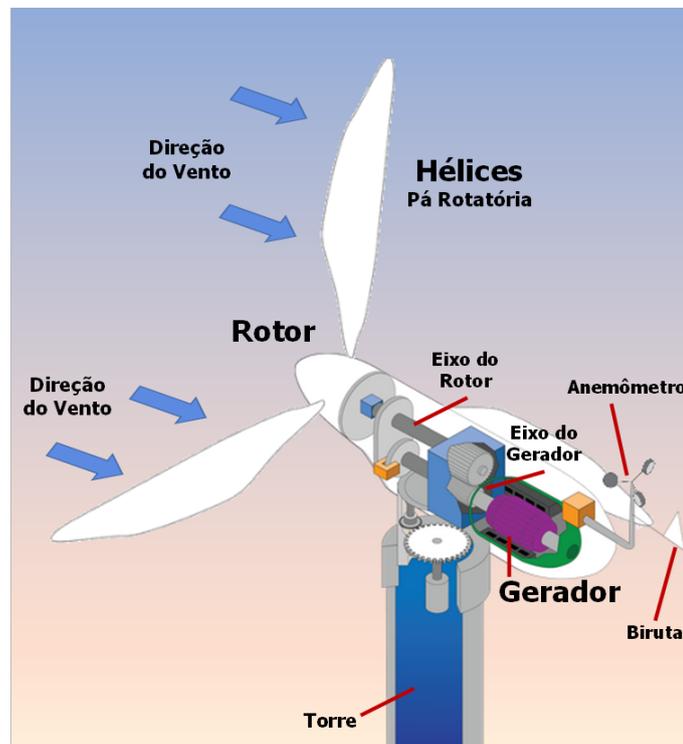
Figura 10 – À esquerda TEEH e à direita TEEV



Fonte: (RESEARCHGATE, 2023)

A Figura 11 mostra como é a composição básica de uma turbina eólica. A divisão consiste em rotor, torre e nacela, sendo na nacela que ficam os equipamentos que convertem a energia mecânica em energia elétrica.

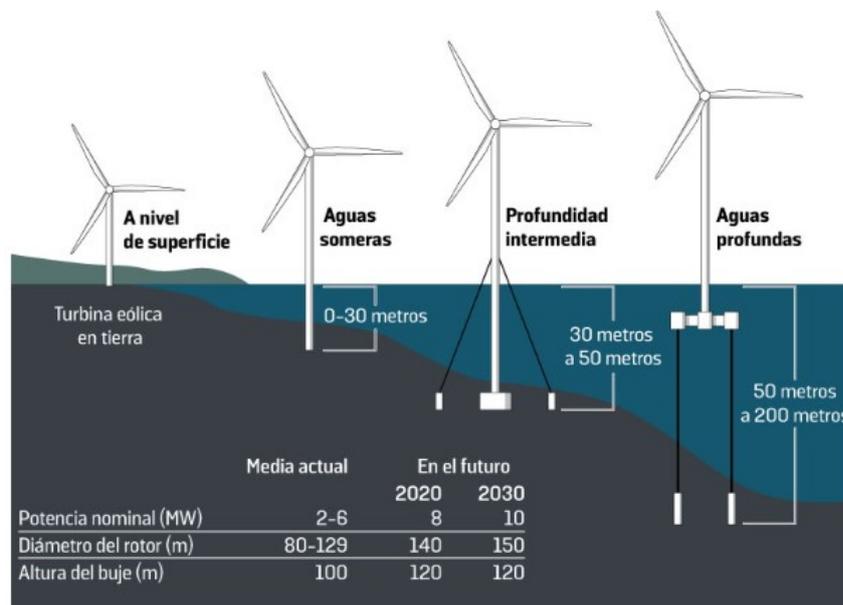
Figura 11 – Turbinas de eixo horizontal



Fonte: (BRAINLY, 2023)

Em relação ao local de instalação, as turbinas podem ser instaladas no continente ou no oceano (desde o mar continental até a zona econômica exclusiva). As turbinas *offshore* são instaladas sob plataformas no oceano, conforme apresentado na Figura 12, e podem aproveitar ventos mais fortes e constantes, entretanto a instalação e manutenção são mais complexas e caras. Turbinas terrestres são mais acessíveis em termos de instalação e manutenção, mas podem estar sujeitas a ventos menos previsíveis dependendo da topografia local.

Figura 12 – Turbinas *offshore* e *onshore*



Fonte: (ENERGIA-ESTRATEGICA, 2023)

#### 2.2.4 Infraestrutura para a geração eólica

A infraestrutura desempenha um papel essencial na implementação bem-sucedida de usinas eólicas. Os componentes necessários, além das turbinas eólicas, são fundação, ponto de acesso ao sistema de transmissão e estradas de acesso, apresentado na Figura 13.

As turbinas variam em tamanho e capacidade, sendo selecionadas com base nas condições eólicas locais e nas metas de geração de energia. Para sustentar as turbinas, são necessárias fundações sólidas que as fixam ao solo. Em terrenos terrestres, as fundações podem ser concretadas ou usarem sistemas de ancoragem, enquanto em projetos *offshore*, estruturas de suporte robustas são instaladas no fundo do mar para ancorar as turbinas.

As fundações devem ser adequadas para suportar o aerogerador sob cargas extremas, estabelecidas na pior condição de ocorrência num período de 50 anos. Em alguns da Europa, esta condição é estabelecida com velocidade do vento de 70 m/s. Dessa forma, o primeiro passo

no projeto das fundações é a especificação da carga. Os fabricantes de aerogeradores fornecem uma especificação completa para as fundações. Uma fundação típica para de 2MW é feita de concreto reforçado, escavação no necessário formato circular ou hexagonal com raio de 13 m e profundidade de 2 m. (LOPES, 2012)

Figura 13 – Fundação e estruturas de suporte



Fonte: (ALIANCA-ENERGIA, 2023)

A energia gerada pelas turbinas é transformada em eletricidade e precisa ser transportada para os centros de consumo. Isso requer uma rede de transmissão e distribuição, composta por cabos, transformadores e subestações, que são mostrados na Figura 14, que conecta as usinas eólicas à rede elétrica nacional.

Figura 14 – Vista de subestação de alta tensão



Fonte: (ANDRÉ-GOMES-ENGENHARIA-ELETRICA, 2023)

Equipes de manutenção e técnicos precisam de acesso seguro às turbinas para realizar inspeções e reparos. Isso requer a construção de estradas, plataformas e sistemas de elevação que facilitem o acesso aos componentes das turbinas em alturas elevadas.

Ao considerar a infraestrutura necessária, é fundamental adaptar as escolhas aos desafios geográficos, climáticos e logísticos do local. Além disso, a infraestrutura deve ser projetada para minimizar o impacto ambiental e social, considerando a conservação das áreas naturais e o envolvimento das comunidades locais.

## **2.3 Viabilidade econômica**

A análise dos aspectos econômicos relacionados à instalação de usinas eólicas consiste na exploração dos custos e retornos quantitativos, bem como no cálculo e comparação dos indicadores econômicos, baseados em juros de mercado, ou juros reduzidos devido a incentivos no setor.

### ***2.3.1 Investimento inicial e custos operacionais***

A viabilidade de um empreendimento depende da análise de todos os custos durante a vida útil do empreendimento, para isso utiliza-se fluxos de caixa que considera os investimentos e o retorno esperado.

O investimento inicial engloba todos os custos envolvidos na construção das usinas eólicas, desde a aquisição das turbinas eólicas até a preparação do terreno, construção das fundações, instalação das infraestruturas elétricas, entre outros. Esses custos podem variar dependendo do tamanho e da capacidade da usina, do tipo de turbina escolhida e das características geográficas do local. É importante considerar todos os aspectos, desde os materiais até a mão de obra, para obter uma estimativa precisa do investimento inicial.

Já custos operacionais, que podem ser divididos em custos fixos e custos variáveis, são os gastos recorrentes associados à manutenção e operação das usinas eólicas após sua instalação. Os custos fixos incluem despesas que permanecem relativamente constantes, independentemente da quantidade de energia gerada, como custos de manutenção preventiva e despesas administrativas (tais como reparos, seguros, monitoramento remoto, pagamento de pessoal e aluguel de equipamentos). Os custos variáveis, por outro lado, estão diretamente ligados à quantidade de energia produzida, como os custos de manutenção corretiva e o pagamento de

impostos sobre a produção de energia.

Ao analisar os custos, é fundamental considerar não apenas os custos imediatos, mas também os impactos financeiros ao longo do tempo. Muitas vezes, os custos iniciais mais altos das usinas eólicas podem ser compensados por economias operacionais e pelos benefícios ambientais e sociais. Ao longo do ciclo de vida das usinas, é necessária a substituição de componentes e a eventual desativação e desmontagem das turbinas ao final de sua vida útil.

Com o levantamento de todos os custos, uma análise de sensibilidade pode ser realizada para avaliar como variações nos custos iniciais e operacionais podem afetar a viabilidade do projeto. Isso envolve testar diferentes cenários para determinar como o projeto responderia a mudanças nas condições econômicas.

### **2.3.2 *Análise financeira e indicadores de retorno***

Qualquer investimento é decidido e efetuado, com a análise quantitativa do retorno esperado. Para isso, considera-se os juros e o tempo que o capital ficará investido. Dessa forma, é importante conhecer os principais indicadores para que possíveis investidores demonstrem interesse.

O tempo de retorno ou *payback* é o tempo necessário para recuperar o investimento inicial por meio dos fluxos de caixa gerados pelo projeto. Quanto mais curto for esse período, mais rápido o investimento é recuperado.

O Valor Presente Líquido (VPL) calcula o valor presente de todo o fluxo de caixa do projeto, descontados a uma taxa específica, esse valor de juros deve ser o valor esperado de retorno dos investimentos. Um VPL positivo indica que o projeto é potencialmente viável, pois os ganhos futuros excedem o investimento inicial.

A Taxa Interna de Retorno (TIR) é a taxa de desconto que iguala o valor presente líquido igual a zero. Quanto maior a TIR, mais atrativo é o projeto. A TIR também podem ser comparados com a taxa de desconto, que representa o custo de capital ou o retorno mínimo esperado pelos investidores. Se o valor encontrado superarem a taxa de retorno mínimo, isso sugere que o projeto pode ser atraente para os investidores.

Além dos indicadores de retorno, é importante realizar análises de sensibilidade para entender como mudanças nas variáveis-chave afetam a viabilidade econômica do projeto. Por exemplo, testando diferentes cenários de preços de energia, custos operacionais, investimentos iniciais, para avaliar como essas variações impactam os resultados financeiros.

É importante reconhecer que a análise financeira está sujeita a riscos e incertezas. Diferentes cenários e sensibilidades devem ser considerados para avaliar como o projeto se comporta sob diversas condições econômicas .

### ***2.3.3 Outros elementos facilitadores da integração da energia eólica***

A integração bem-sucedida da energia eólica na rede elétrica é essencial para maximizar os benefícios dessa fonte renovável. A geração eólica é intrinsecamente variável devido à natureza intermitente e flutuante dos ventos. Isso pode levar a picos e quedas de produção, o que exige estratégias de gerenciamento para equilibrar a oferta e a demanda de energia na rede elétrica.

O armazenamento de energia é uma solução para mitigar a variabilidade da geração eólica. O excesso de energia produzida em momentos de alta velocidade do vento pode ser armazenado e liberado quando a produção é baixa. Tecnologias como baterias e sistemas de armazenamento hidrelétrico podem desempenhar um papel crucial nesse sentido.

Sistemas de previsão meteorológica avançada são usados para prever os padrões de vento com antecedência. Essas previsões permitem que as operadoras da rede antecipem variações na geração eólica e ajustem o equilíbrio entre oferta e demanda de forma mais eficaz.

Sistemas de controle em tempo real são implementados para monitorar a geração eólica e otimizar a operação das turbinas. Isso inclui ajustar o ângulo das pás das turbinas para maximizar a captura de vento e minimizar a carga nos componentes mecânicos. A inserção de energia eólica na rede elétrica também requer atenção à estabilidade do sistema. Flutuações bruscas na geração eólica podem impactar a frequência e a tensão da rede, exigindo sistemas de controle de qualidade de energia e dispositivos de resposta rápida.

A expansão da energia eólica requer um planejamento cuidadoso da infraestrutura de transmissão e distribuição. Novas linhas de transmissão e subestações podem ser necessárias para transportar a energia gerada pelos parques eólicos para os centros de consumo.

Ao explorar a integração da energia eólica na rede elétrica, é importante considerar os sistemas existentes, as capacidades técnicas da rede e os requisitos de regulação e controle. Com a implementação de estratégias de gerenciamento eficientes, a energia eólica pode se tornar uma parte confiável e valiosa da matriz energética, contribuindo para a diversificação e a sustentabilidade.

## 2.4 Contribuição da energia eólica como fonte de baixo carbono

A geração de energia elétrica através da energia eólica oferece vantagens significativas na redução das emissões do gás dióxido de carbono ( $CO_2$ ) em comparação com fontes de energia tradicionais, como carvão, petróleo e gás natural, que são também fontes de combustíveis fósseis finitas, ou seja, não renováveis. (LOPES, 2012)

A redução das emissões de  $CO_2$  é importante porque tem uma relação direta com o aquecimento global e as alterações climáticas. Compreender esta ligação é importante para apreciar a redução das emissões do gás.

O dióxido de carbono é um gás de presença natural na atmosfera terrestre, entre outros gases, o  $CO_2$  é protagonista na regulação do clima da Terra, através do efeito estufa. Quando a luz solar atinge a superfície da Terra, parte dela é refletida de volta ao espaço e a outra parte é absorvida e liberada na forma de calor. Gases de efeito estufa como o  $CO_2$  atuam como um “cobertor” que retém parte desse calor na atmosfera, aquecendo o planeta. (YU, 2004)

Entretanto, desde o início da Revolução Industrial, grandes quantidades de  $CO_2$  foram liberadas na atmosfera devido às atividades humanas, como a queima de combustíveis fósseis (carvão, petróleo e gás natural) e o desmatamento. A concentração atmosférica do  $CO_2$  aumentou mais rapidamente nas últimas décadas devido ao aumento da demanda por energia e, consequentemente, do uso de combustíveis fósseis.

As concentrações crescentes de dióxido de carbono na atmosfera estão a causar o aumento da temperatura da Terra, um fenômeno conhecido como aquecimento global. Esse aquecimento não natural tem muitos efeitos negativos, incluindo o derretimento das camadas de gelo polares e dos glaciares, a subida do nível do mar, além de fenômenos meteorológicos extremos (tais como tempestades mais intensas e secas prolongadas) e a acidificação dos oceanos, entre outros.

As alterações climáticas têm um impacto direto nos ecossistemas. Os seres vivos enfrentam desafios de adaptação a estas mudanças, levando a extinções e desequilíbrios. O aquecimento global também pode levar a alterações nos padrões de migração de espécies, criando desarmonia nos ecossistemas terrestres e marinhos.

O impacto nas condições de vida dos seres humanos incluem ameaças à segurança alimentar, escassez de água, aumento de doenças transmitidas por vetores, migração forçada e conflitos causados pela competição por recursos escassos. A economia global também é afetada por perdas causadas por fenômenos meteorológicos extremos, pela perda de produtividade

agrícola e pelos custos associados à adaptação e mitigação das alterações climáticas. (YU, 2004)

Portanto, é importante reduzir as emissões de  $CO_2$ , pois o aumento da sua concentração na atmosfera está diretamente relacionado com o aquecimento global e as alterações climáticas, e tem um impacto negativo no ambiente, nos ecossistemas e nas condições de vida na Terra. As emissões devem ser minimizadas para limitar os impactos negativos e garantir um futuro mais sustentável para as gerações futuras. Este objetivo pode ser alcançado através de uma mudança para fontes de energia mais limpas, eficiência energética e práticas de consumo mais sustentáveis.

As turbinas eólicas contribuem com o objetivo mais sustentável, visto que não emitem  $CO_2$  ao gerar eletricidade. A geração de energia eólica é um processo sem emissões diretas de gases de efeito estufa, o que a torna uma alternativa limpa aos recursos fósseis. Evita-se também as emissões indiretas ao substituir as fontes de energia tradicionais. A energia eólica pode, na verdade, ajudar a reduzir a necessidade de combustíveis fósseis, reduzindo as emissões associadas à extração, ao transporte e à queima de combustíveis fósseis.

Por outro lado, as fontes de energia tradicionais, como o carvão, o petróleo e o gás natural, emitem grandes quantidades de  $CO_2$  quando queimadas, contribuindo significativamente para o aumento das concentrações atmosféricas de  $CO_2$  e para o aquecimento global. Estes recursos fósseis também estão associados a impactos ambientais negativos, como a poluição do ar e da água e práticas mineiras prejudiciais. A redução do uso de combustíveis fósseis pode melhorar significativamente a qualidade do ar local. Isto reduz as emissões de poluentes atmosféricos nocivos, como óxidos de enxofre e óxidos de azoto, que podem ser prejudiciais à saúde humana.

A energia eólica desempenha um papel importante na mitigação das alterações climáticas, uma vez que a redução das emissões de  $CO_2$  ajuda a limitar o aquecimento global e os impactos relacionados, tais como fenômenos meteorológicos extremos, alterações climáticas e subida do nível do mar.

### 3 METODOLOGIA

Com o intuito de alcançar o objetivo principal deste trabalho, que consiste em analisar o potencial eólico para a implantação de usinas eólicas em Moçambique, visando diversificação da matriz de eletricidade, em meio as preocupações ambientais da atualidade.

Dessa forma, a primeira etapa consiste na busca por fontes de dados necessárias para análise. Sendo o histórico de dados meteorológicos, entre eles, a medição da velocidade do vento em locais estratégicos em Moçambique e as informações geográficas dos mesmos, os dados mais importantes. Buscou-se também por informações socioeconômicas e regulamentações aplicáveis.

Para análise dos dados e identificação das áreas mais promissoras para instalação de usinas eólicas, usou-se o *software RetScreen*. Essa plataforma foi desenvolvida pelo governo do Canadá e auxilia na análise, implementação e monitoramento de tecnologias de baixo carbono, entre elas a energia eólica. Através do *software* é possível obter curvas de distribuição de frequência da velocidade do vento para a área de estudo. Com isso, estima-se a capacidade teórica de produção de energia eólica com base nos dados recolhidos.

A etapa seguinte é realizar a análise técnica mais detalhada para determinar a viabilidade de estabelecimento de parques eólicos em áreas de alto potencial. Nessa etapa, estima-se os custos de investimento, operação e manutenção da planta. São desenvolvidos também modelos financeiros para avaliar a viabilidade econômica, incluindo o cálculo do Retorno sobre Investimento, em inglês, *Return on Investment (ROI)*.

Depois de avaliada a viabilidade técnico-econômica, o passo seguinte é a realização dos Estudo(s) de Impacto Ambiental (EIA), nos quais identifica-se e quantifica-se os potenciais impactos ambientais. São utilizados modelos de simulação para prever o comportamento da fauna, flora e ecossistemas locais em diferentes cenários de implantação de parques eólicos. Aborda-se também estratégias de mitigação, tais como a seleção de locais em que os impactos negativos são menores.

Pesquisas de campo e consultas as comunidades locais para compreender os impactos econômicos e sociais com implantação de parques eólicos devem ser realizadas. Analisando benefícios como a criação de empregos locais, maior acesso à eletricidade e desenvolvimento comunitário, e os malefícios como sombreamento das pás, barulho das turbinas, desapropriação de terrenos. Por fim, é interessante a realização de uma análise Forças, Fraquezas, Oportunidades e Ameaças, em inglês, *Strengths, Weaknesses, Opportunities e Threats (SWOT)* para identificar

potenciais desafios e obstáculos. Sendo possível desenvolver estratégias para superá-los com parcerias estratégicas ou medidas de mitigação.

## 4 POTENCIAL DE ENERGIA EÓLICA EM MOÇAMBIQUE

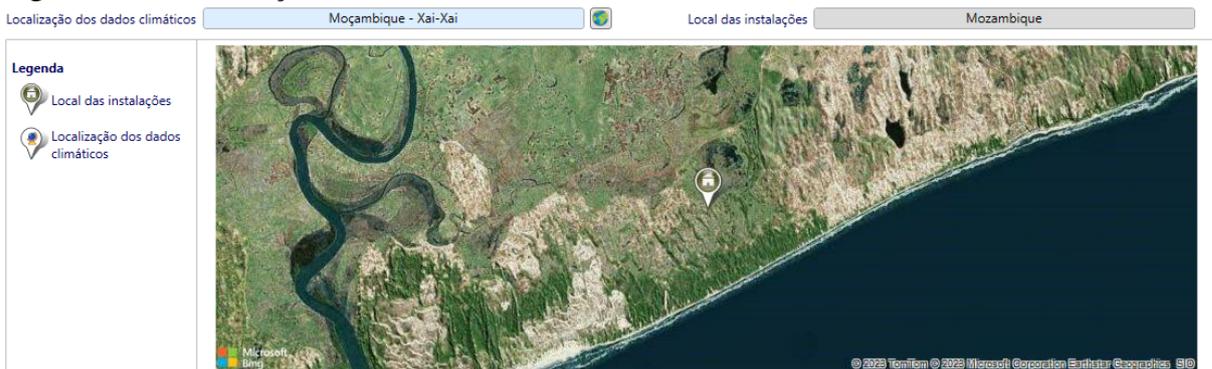
A avaliação da disponibilidade do recurso eólico e seu potencial em Moçambique é a primeira etapa na determinação da viabilidade de criação de parques eólicos no país. A topografia local e as condições específicas do vento são fatores decisivos para o sucesso desses empreendimentos, e, conseqüentemente, contribuição para uma matriz energética sustentável.

### 4.1 Geografia e Condições Climáticas

Moçambique é conhecido pela sua geografia diversificada, com costas, planícies e montanhas. Esta diversidade geográfica tem um impacto direto na distribuição do vento, em geral, as zonas costeiras e montanhosas têm ventos constantes e fortes, enquanto os padrões de vento podem ser mais variáveis em zonas planas. Considerando a localização geográfica de Moçambique, é relevante avaliar a instalação de turbinas *onshore* e *offshore*. Os dados avaliados nesse estudo foram medidos na cidade de Xai-Xai como mostra a Figura 15.

A escolha deste local decorre do fato de ser uma zona costeira, o terreno é livre de obstáculos como prédios, árvores, plantações e construções elevadas, pelo menos, a uma distância de vinte vezes a altura do objeto até o aerogerador, região também não apresenta condições climáticas adversas capazes de danificar o aerogerador. conforme recomenda (AMARAL, 2011).

Figura 15 – Localização dos dados climáticos



Fonte: Autor 2023

#### 4.1.1 Variação Temporal e Estacional

É importante considerar o tempo e a variação sazonal dos ventos em Moçambique. Certos meses ou épocas do ano podem apresentar velocidades de vento mais elevadas, enquanto outros meses podem ser mais calmos, como apresentado na Tabela 3. Esta mudança poderá

afetar a capacidade de produção de energia ao longo do ano e afetar o planejamento e a escala dos projetos de energia eólica.

Tabela 3 – Dados climáticos.

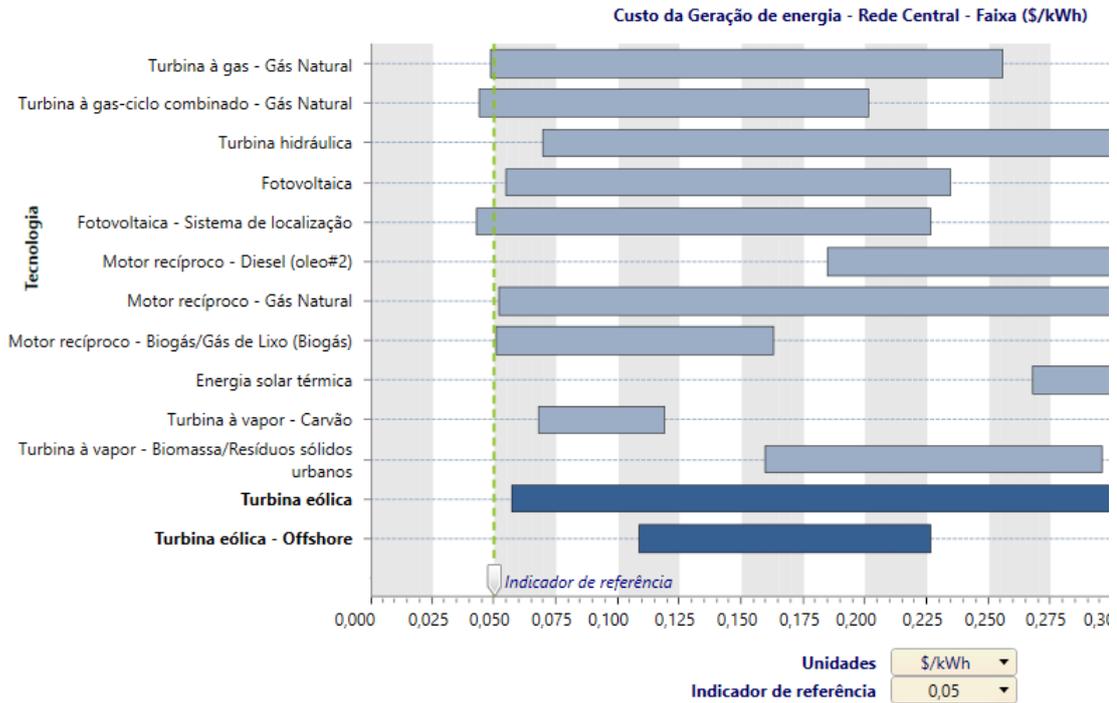
Mês	Temp. ar [°C]	Hum. rel. [%]	Precip. [mm]	Rad. solar hor. [kWh/dia · m <sup>2</sup> ]	Pressão atm. [kPa]	Vel. vento [m/s]	Temp. solo [°C]
<b>Jan</b>	26.4	76.2%	153.45	6.70	101.0	5.5	27.4
<b>Fev</b>	26.6	75.9%	109.48	6.33	101.0	5.3	27.6
<b>Mar</b>	26.1	75.5%	100.44	5.56	101.2	5.1	27.1
<b>Abr</b>	24.7	73.5%	60.30	4.64	101.5	5.0	25.7
<b>Mai</b>	23.0	72.5%	34.41	3.98	101.7	4.8	23.9
<b>Jun</b>	21.3	70.6%	30.60	3.52	101.9	4.9	22.0
<b>Jul</b>	20.6	71.0%	25.73	3.74	102.1	5.1	21.3
<b>Ago</b>	21.2	70.5%	21.08	4.4	101.9	5.5	21.9
<b>Set</b>	22.5	70.0%	29.70	5.13	101.7	5.9	23.2
<b>Out</b>	23.5	72.2%	50.84	5.46	101.5	6.0	24.5
<b>Nov</b>	24.7	73.4%	84.60	5.87	101.3	5.8	25.6
<b>Dez</b>	25.7	74.6%	108.50	6.61	101.1	5.4	26.7
<b>Anual</b>	<b>23.8</b>	<b>73.1%</b>	<b>809.13</b>	<b>5.16</b>	<b>101.5</b>	<b>5.4</b>	<b>24.7</b>

Fonte: (RETSCREEN, 2023)

Pode se observar que a produção eólica no mar apresenta quase o dobro do fator de capacidade da produção terrestre, podendo ultrapassar o valor de 50%. A produção offshore tem outras vantagens como a localização em área plana, não ocupa espaço em terra e não apresenta obstáculos à circulação do vento. Entretanto, possui maior investimento com equipamentos, instalação, transmissão e manutenção (AMARAL, 2011). Dessa forma, antes de se fazer investimentos em usinas *offshore* a exploração em terra é mais vantajosa.

Por esses motivos, Neste estudo escolheu-se a implantação do parque eólico em estudo *onshore*. A Figura 16 resume as principais características e informação sobre instalação da usina em estudo. A Figura 17 a razão da escolha do tipo de tecnologia de geração.

Figura 17 – Tipos tecnologia de geração



Fonte: Próprio Autor

Figura 16 – Informação sobre instalação

RETScreen - Instalação Assinante: Visualizador

Informação sobre as instalações

Tipo de instalação	Usina
Tipo	Turbina eólica
Descrição	100 000 kW
Preparado para	TCC
Preparado por	Jonas Israel Zandamela
Nome do equipamento	Modelo
Endereço	Endereço
Cidade/Município	Xai-Xai
Prov./Estado	Gaza Province
País	Moçambique

Foto | Imagem - Kruger

Fonte: próprio Autor

Aerogeradores em operação comercial são instalados em alturas que podem chegar até 150m, dessa forma, torna-se importante conhecer a distribuição da velocidade do vento na altura de instalação da turbina, tendo em vista que essa velocidade determina a produtividade. Além disso, o perfil do vento influencia na vida útil das pás do rotor, pois, ao girarem dentro do perfil vertical dos ventos, as pás são submetidas a cargas cíclicas em função da turbulência dos ventos. (FADIGAS, 2011)

Considerando a velocidade do vento na altura de referência,  $H_r$ , e os dados referentes as dimensões da turbina eólica escolhida, utiliza-se a Equação 2.2 para correção da velocidade do vento verticalmente, apresentado na Figura . Esse modelo é mais complexo e realístico e comumente usado para valores de  $H$  maiores que  $50m$ , pois considera que o escoamento na atmosfera é altamente turbulento (FADIGAS, 2011).

Figura 18 – Correção da velocidade do vento

**Eólica**

Descrição: Usina eólica - 90 MW

Nota: JONAS ISRAEL ZANDAMELA

**Nível**

Nível 1 | Nível 2 | Nível 3

**E-learning**

**Eólica - Nível 2**

**Avaliação de recursos**

Método de avaliação dos recursos	Velocidade do Vento	Dados Climáticos
Velocidade do vento - anual	m/s: 5,4	Moçambique - Xai-Xai: 5,4
Medido a	m: 10	Xai: 10
Coefficiente de cisalhamento do vento	0,14	
Temperatura do ar - anual	°C: 23,8419	23,8
Pressão Atmosférica - anual	kPa: 101,4851	101

**Turbina eólica**

Capacidade de potência por turbina	MW: 3	
Fabricante	Vestas	
Modelo	VESTAS V90-3.0 MW - 90m	
Número de turbinas	30	
Potência elétrica	MW: 90	
Altura do centro	m: 100	7,5 m/s
Diâmetro do rotor por turbina	m: 90	
Área de varredura por turbina	m <sup>2</sup> : 6 361,73	
Dado da curva de energia	Padrão	
Fator de forma	2	

Fonte: Próprio Autor

Curvas de potência são definidas empiricamente por meio de medições de velocidade do vento e energia gerada. Um anemômetro é instalado sobre um mastro razoavelmente perto da turbina, mas não na própria turbina ou muito próximo a ela, já que o rotor da turbina pode criar turbulência e interferir na medição da velocidade do vento. Se a velocidade do vento não oscila bruscamente, então pode-se usar as medições a partir do anemômetro e ler a saída de energia elétrica da turbina eólica. O gráfico será obtido a partir da combinação desses dois resultados (AMARAL, 2011). A Figura 19 apresenta os dados de Potência e Energia do aerogerador escolhido VESTAS V90-3.0 MW - 90m, fornecidos pelo fabricante, apresenta também a energia gerada no local escolhido para a instalação neste trabalho.

Figura 19 – Gráficos das curvas de potencia e energia



Fonte: Próprio Autor

A síntese dos resultados da análise de potência e energia gerada são os dados utilizados para avaliar se o empreendimento seria tecnicamente viável. Usou-se a Equação 2.8 para estimar a energia elétrica anual gerada, que é aproximadamente 232 GWh, e posteriormente calcular o fator de capacidade pela Equação 2.9. O fator de capacidade é importante como forma de comparação com outras usinas já em operação e tem-se para este caso fator de potencia em 29,4%, como mostra a Tabela.4.

Este valor é considerado razoável, uma vez que, estudos sobre o potencial eólico mostram que a média mundial do fator de capacidade é de 27%.(AMARAL, 2011). Ainda na Tabela 4 estima-se a receita gerada com exportação de eletricidade, usou-se uma referência de \$0,10/kWh, e o resultado foi de, aproximadamente, 23 milhões de CAD (Dólar Canadense).

Tabela 4 – Tabela de cálculos e análise de energia gerada

Perdas		
Perdas do painel	%	2%
Perdas no aerofólio	%	2%
Perdas diversas	%	2%
Disponibilidade	%	98%
Resumo		
Fator de Utilização	%	29,4%
Custos iniciais	\$/kW	1 800
	\$	162 000 000
Custo de operações e manutenção (economia)	\$/kW-ano	36
	\$	3 240 000
Preço eletricidade exportada		Preço eletricidade exportada - anual
	\$/kWh	0,10
Eletricidade exportada p/ rede	MWh	231 892
Receita com eletricidade exportada	\$	23 189 189
Outras informações		Por turbina
Produção de energia não ajustada	MWh	8 622
Coefficiente de pressão		1,002
Coefficiente de Temperatura		0,970
Produção de energia bruta	MWh	8 380
Coefficiente de perdas		0,92
Rendimento específico	kWh/m <sup>2</sup>	1 215

Fonte: Próprio Autor

## 4.2 Viabilidade econômica

A análise dos aspectos econômicos relacionados à instalação da usina eólica em Moçambique foi realizado explorando tópicos como investimento inicial, custos operacionais, análise financeira e indicadores de retorno, além das políticas de incentivo e financiamento disponíveis para projetos de energia eólica.

### 4.2.1 Investimento Inicial e Custos Operacionais

Esta seção avalia a viabilidade econômica das usinas eólicas em Moçambique. Ela se concentra em compreender os custos associados à construção e instalação das usinas eólicas, bem como os custos contínuos de operação e manutenção.

As Tabelas 6 e 5 apresentam valores de orçamentos de cada fase para a implementação bem sucedida do projeto em análise, considerando valores desde estudos de viabilidade do projeto, desenvolvimento, uma vez que o projeto de caso proposto tenha sido identificado através do estudo de viabilidade e cuja implementação seja desejável, a fase de engenharia que inclui custos para o local do projeto proposto e projeto de construção, projeto mecânico, projeto

elétrico, projeto civil, licitações e contratação e supervisão de construção, a fase do sistema de produção de eletricidade, compostas pela aquisição dos aerogeradores e linha de transmissão, e o equilíbrio do sistema e custos diversos para o projeto de caso proposto normalmente inclui uma série de itens, como custos específicos do projeto (por exemplo, sistema de manuseio de combustível, obras hidrelétricas), peças sobressalentes, transporte, treinamento e comissionamento, contingências e interesse durante a construção. Todos valores destas fases estão detalhados na Tabela. 5. O Custo de Implantação leva em consideração somente as despesas de implantação da usina e é medido em \$/kW, isto é, unidades monetárias para cada kW de capacidade instalada de geração.

Tabela 5 – Custos iniciais

Custos iniciais (créditos)	Unidade	Quantidade	Custo unitário	Quantidade	Custos relativos
<b>Estudo de viabilidade</b>					
- Estudo de viabilidade	custo	1	\$ 100 000	\$ 100 000	
Subtotal				\$ 100 000	0,1%
<b>Desenvolvimento</b>					
- Desenvolvimento	custo	1	\$ 3 000 000	\$ 3 000 000	
Subtotal				\$ 3 000 000	1,6%
<b>Engenharia</b>					
- Engenharia	custo	1	\$ 2 000 000	\$ 2 000 000	
Subtotal				\$ 2 000 000	1,1%
<b>Sistema de produção de eletricidade</b>					
Usina eólica - 90 MW	kW	90 000	\$ 1 800	\$ 162 000 000	
Construção de estrada	km	0	\$ 0	\$ 0	
Linha de Transmissão	km	12	\$ 100 000	\$ 1 200 000	
Subestação	projeto	1	\$ 1 950 000	\$ 1 950 000	
Ações de Eficiência energética		1	\$ 3 000	\$ 3 000	
- Definido pelo usuário	custo			\$ -	
Subtotal				\$ 165 153 000	89,3%
<b>Balanco do sistema e misc.</b>					
Peças de reposição	%	30,0%	\$ 8 000	\$ 2 400	
Transporte	projeto	1	\$ 8 448	\$ 8 448	
Treinamento & Comissionamento	d-p	1	\$ 4 447	\$ 4 447	
- Definido pelo usuário	custo			\$ -	
Contingências	%	5,0%	\$ 170 268 295	\$ 8 513 415	
Juros durante a construção		12 mes(es)	\$ 178 781 710	\$ 6 257 360	
Subtotal				\$ 14 786 070	8,0%
<b>Total de custos de investimento</b>				\$ 185 039 070	100,0%

Fonte: Próprio Autor

As Tabelas 7 e 8 apresentam o Custo de operação e manutenção que é medido em \$/kW e Custo anual de operação e manutenção que inclui a compra de peças e mão de obra. os valores em \$ (CAD )podem ser consultados nas Tabelas referidas.

Tabela 6 – Custo típico de turbina eólica

Tecnologia	Usina - Custo típico (instalação incluída) (\$/kW)					
	10 kW	100 kW	1 000 kW	10 000 kW	100 000 kW	1 000 000 kW
Turbina a gás - Gás Natural	3 420	3 130	2 160	1 440	990	900
Turbina a gás-ciclo combinado - Gás Natural					2 520	1 260
Turbina hidráulica		5 130	4 680	4 050	3 690	3 240
Fotovoltaica	1 980	1 710	1 440	1 170	990	855
Fotovoltaica - Sistema de localização	2 610	2 070	1 620	1 350	1 080	900
Motor recíproco - Diesel (óleo#2)		900	990	1 170	1 350	
Motor recíproco - Gás Natural		2 160	1 800	1 350	1 080	
Motor recíproco - Biogás/Gás de Lixo (Biogás)	6 750	5 220	3 960	2 970	2 340	
Energia solar térmica			9 090	6 120	5 130	5 130
Turbina a vapor - Carvão					3 420	3 420
Turbina a vapor - Biomassa/Resíduos sólidos urbanos			9 900	8 910	7 200	
<b>Turbina eólica</b>	<b>5 760</b>	<b>2 880</b>	<b>2 520</b>	<b>1 890</b>	<b>1 800</b>	<b>1 620</b>
<b>Turbina eólica - Offshore</b>				<b>4 230</b>	<b>3 690</b>	<b>3 240</b>

Nota: Os valores típicos de custo são expressos em Dolares canadenses, com base na cotação de 1 de janeiro de 2022. A paridade do poder de compra (taxa de câmbio) de aproximadamente 1,25 CAD = 1 USD.

Definido pelo usuário

Opções - Definido pelo usuário

Fator de Ajuste: 0,9000 Moeda: \$

Taxa de inflação cumulativa: 0% Símbolo: \$

(Início: 1 de janeiro de 2022)

Taxa de câmbio: 1,00000 \$/\$

Fonte: Próprio Autor

Tabela 7 – Custo de operação e manutenção

Tecnologia	Usina - Custo de operações e manutenção - Típico (\$/kW-ano)					
	10 kW	100 kW	1 000 kW	10 000 kW	100 000 kW	1 000 000 kW
Turbina a gás - Gás Natural	292	219	146	101	55	41
Turbina a gás-ciclo combinado - Gás Natural					101	50
Turbina hidráulica		181	148	99	84	84
Fotovoltaica	39	25	19	14	11	9
Fotovoltaica - Sistema de localização	50	31	24	17	12	10
Motor recíproco - Diesel (óleo#2)		163	125	62	48	
Motor recíproco - Gás Natural		244	187	93	73	
Motor recíproco - Biogás/Gás de Lixo (Biogás)	460	403	310	155	121	
Energia solar térmica			148	137	132	110
Turbina a vapor - Carvão					112	95
Turbina a vapor - Biomassa/Resíduos sólidos urbanos			432	345	260	
<b>Turbina eólica</b>	<b>48</b>	<b>60</b>	<b>51</b>	<b>34</b>	<b>36</b>	<b>29</b>
<b>Turbina eólica - Offshore</b>				<b>155</b>	<b>100</b>	<b>80</b>

Fonte: Próprio Autor

Tabela 8 – Custo anual de operação e manutenção

Custo anual (créditos)	Unidade	Quantidade	Custo unitário	Quantidade
<b>Operações e manutenção</b>				
Mostrar dado				
<b>Sistema de produção de eletricidade</b>				
Usina eólica - 90 MW			\$ 3 240 000	Atualizar custo
Peças e mão de obra	projeto	1	\$ 1 000 000	\$ 1 000 000
	Definido pelo usuário	custo		\$ -
Contingências	%	5,0%	\$ 4 240 000	\$ 212 000
Subtotal			\$	<b>4 452 000</b>

Fonte: Próprio Autor

#### 4.2.2 Análise Financeira e Indicadores de Retorno

Um dos principais benefícios do uso do software RETScreen é que ele facilita o processo de avaliação de projetos para os tomadores de decisão. A planilha de Análise Financeira,

com seus itens de entrada de parâmetros financeiros (por exemplo, taxa de desconto, índice de endividamento, etc.) e seus itens de saída calculados de viabilidade financeira (por exemplo, TIR, retorno simples, VPL, etc.), permite que o tomador de decisão do projeto considere vários parâmetros financeiros com relativa facilidade. Uma descrição desses itens, incluindo comentários sobre sua relevância para a análise preliminar de viabilidade, está incluída abaixo

Os itens inseridos na Tabela 9 são usados para realizar cálculos na planilha de Análise Financeira. Os valores para cada parâmetro dependem da perspectiva do usuário (por exemplo, concessionária vs. produtor independente de energia).

Tabela 9 – Parâmetros financeiros

Parâmetros financeiros		
<b>Geral</b>		
Reajuste do custo do combustível		2%
Taxa de inflação	%	2%
Taxa de desconto	%	9%
Taxa de reinvestimento	%	9%
Vida do projeto	ano	20
<b>Financiamento</b>		
Incentivos e subsídios	\$	
Razão da dívida	%	70%
Empréstimo	\$	129 527 349
Capital próprio investido	\$	55 511 721
Taxa de juros da dívida	%	7%
Duração da dívida	ano	15
Pagamento da dívida	\$/ano	14 221 407

Fonte: Próprio Autor

Muitos dos itens de resumo aqui são calculados e/ou inseridos nas planilhas de Modelo Energético considerando todos os custos do projeto, desde a aquisição das turbinas até comissionamento, como pode ser consultado na Tabela 10 .

Tabela 10 – Custos

Custos   Economia   Receitas			
<b>Custos iniciais</b>			
Estudo de viabilidade	0,05%	\$	100 000
Desenvolvimento	1,6%	\$	3 000 000
Engenharia	1,1%	\$	2 000 000
Sistema de produção de eletricidade	89,3%	\$	165 153 000
Balanço do sistema e misc.	8%	\$	14 786 070
<b>Total de custos de investimento</b>	<b>100%</b>	<b>\$</b>	<b>185 039 070</b>
<b>Fluxo de caixa anual - Ano 1</b>			
<b>Pagamento anual de custos e empréstimos</b>			
Operações e manutenção		\$	4 452 000
Pagamento da dívida - 15 anos		\$	14 221 407
<b>Total de custos anuais</b>		<b>\$</b>	<b>18 673 407</b>
<b>Economia e receita anual</b>			
Receita com eletricidade exportada		\$	23 189 189
Receita pela redução de GEE		\$	0
Outras receitas ( custo)		\$	0
Receita da produção de EL		\$	0
<b>Total de economia e receita anual</b>		<b>\$</b>	<b>23 189 189</b>
<b>Fluxo monetário anual líquido - Ano 1</b>		<b>\$</b>	<b>4 515 782</b>

Fonte: Próprio Autor

Para a eletricidade exportada para a rede pelo sistema de energia do caso proposto, os campos de entrada mostrados na Tabela 11, são para permitir a análise das receitas de exportação de eletricidade de acordo com as circunstâncias específicas do projeto já apresentadas na Tabela.4.

Tabela 11 – Receita anual

Receita anual			
<b>Receita com eletricidade exportada</b>			
Eletricidade exportada p/ rede	MWh		231 892
Preço eletricidade exportada	\$/kWh		0,10
Receita com eletricidade exportada	\$		23 189 189
Taxa de indexação sobre a eletricidade exportada	%		2%
<b>Receita pela redução de GEE</b>			
Redução anual bruta de emissões de GEE	tCO <sub>2</sub> /an		276 674
Redução anual bruta de emissões de GEE - 20 anos	tCO <sub>2</sub>		5 533 475
Receita pela redução de GEE	\$		0
<b>Outras receitas ( custo)</b>		<input type="checkbox"/>	
<b>Receita da produção de Energia Limpa (EL)</b>		<input type="checkbox"/>	

Fonte: Próprio Autor

Os resultados da Tabela 12 fornecem vários indicadores financeiros para o mecanismo de tomada de decisão para o caso proposto.

Tabela 12 – Viabilidade financeira

Viabil. Financeira		
TIR antes impostos-capital próprio	%	13,8%
TIRM antes impostos-capital próprio	%	11,4%
TIR antes impostos - ativos	%	2,3%
TIRM antes impostos - ativos	%	4,9%
Retorno simples	ano	9,9
Retorno do capital próprio	ano	8,6
Valor Presente Líquido (VPL)	\$	30 491 315
Economia anual no ciclo de vida	\$/ano	3 340 216
Razão custo benefício (C-B)		1,5
Juros da dívida		1,3
Custo de Redução de GEE	\$/tCO <sub>2</sub>	-6,18
Custo da Geração de energia	\$/kWh	0,103

Fonte: Próprio Autor

O modelo da Tabela 13 calcula os fluxos de caixa cumulativos, que representam os fluxos líquidos após impostos acumulados desde o ano 0. Ele usa os fluxos líquidos para calcular os fluxos cumulativos.

Tabela 13 – Fluxo de caixa anual

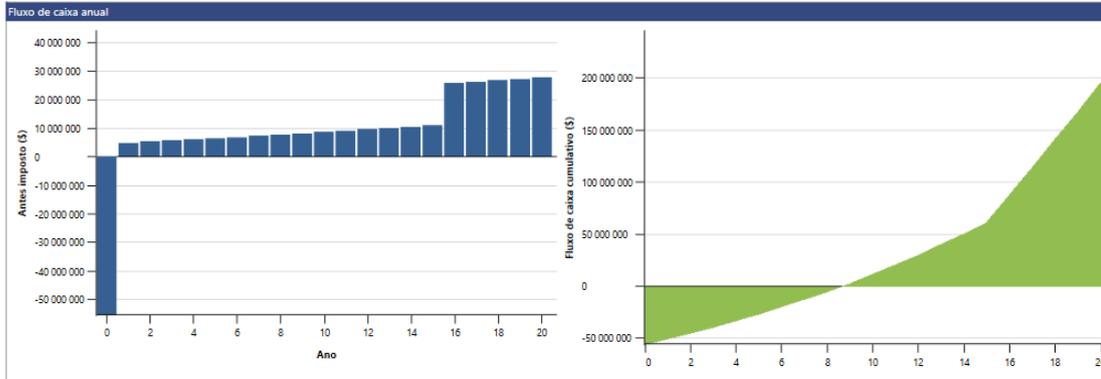
Fluxo de caixa anual		
Ano	Antes imposto	Cumulativo
#	\$	\$
0	-55 511 721	-55 511 721
1	4 890 526	-50 621 195
2	5 272 765	-45 348 430
3	5 662 648	-39 685 783
4	6 060 329	-33 625 453
5	6 465 964	-27 159 490
6	6 879 711	-20 279 779
7	7 301 734	-12 978 045
8	7 732 196	-5 245 849
9	8 171 268	2 925 420
10	8 619 122	11 544 542
11	9 075 932	20 620 474
12	9 541 879	30 162 353
13	10 017 145	40 179 498
14	10 501 916	50 681 414
15	10 996 382	61 677 797
16	25 722 145	87 399 942
17	26 236 588	113 636 529
18	26 761 320	140 397 849
19	27 296 546	167 694 395
20	27 842 477	195 536 872

Fonte: Próprio Autor

Na Figura 20, são traçados os gráficos de fluxo de caixa anual e cumulativo. Esses

fluxos de caixa ao longo da vida do projeto são calculados no modelo e relatados na tabela anual de fluxos de caixa.

Figura 20 – Gráficos de fluxo de caixa anual



Fonte: Próprio Autor

A planilha de Análise de Sensibilidade e Risco são para ajudar a estimar a sensibilidade de indicadores financeiros importantes em relação aos principais parâmetros técnicos e financeiros. Esta planilha de análise de sensibilidade e risco contém duas seções principais: Análise de sensibilidade, mostrada nas Tabelas 14 e 15, e Análise de risco, como mostram as Tabelas 16 e 17. Cada seção fornece informações sobre a relação entre os parâmetros-chave e os indicadores financeiros importantes, mostrando os parâmetros que têm maior impacto nos indicadores financeiros. A seção Análise de Sensibilidade é destinada ao uso geral, enquanto a seção Análise de Risco, que realiza uma simulação de Monte Carlo, é destinada consulta de dados estatísticos.

Tabela 14 – Análise de sensibilidade

Análise de Sensibilidade

Análise de performance      Retorno do capital próprio

Fx. de sensibilidade      25%

Limite      7      ano

- Remover análise

		Custos iniciais					\$
		138 779 302	161 909 186	185 039 070	208 168 953	231 298 837	
Preço electricidade exportada		-25,0%	-12,5%	0,0%	12,5%	25,0%	
\$/MWh							
75,00	-25,0%	10,7	15,4	17,3	19,1	> projeto	
87,50	-12,5%	6,5	9,4	13,5	16,1	17,6	
100,00	0,0%	4,6	6,3	8,6	11,8	15,2	
112,50	12,5%	3,5	4,6	6,2	8,1	10,6	
125,00	25,0%	2,8	3,7	4,7	6,0	7,7	

- Remover análise

		Custos iniciais					\$
		138 779 302	161 909 186	185 039 070	208 168 953	231 298 837	
Operações e manutenção		-25,0%	-12,5%	0,0%	12,5%	25,0%	
\$							
3 339 000	-25,0%	4,1	5,5	7,5	10,1	13,4	
3 895 500	-12,5%	4,3	5,9	8,0	10,9	14,5	
4 452 000	0,0%	4,6	6,3	8,6	11,8	15,2	
5 008 500	12,5%	4,8	6,7	9,3	12,8	15,6	
5 565 000	25,0%	5,2	7,2	10,1	13,9	16,0	

Fonte: Próprio Autor

Tabela 15 – Análise de sensibilidade (continuação)

- Remover análise

		Taxa de juros da dívida					%
		5,25%	6,13%	7,00%	7,88%	8,75%	
Duração da dívida		-25,0%	-12,5%	0,0%	12,5%	25,0%	
ano							
11	-25,0%	10,6	11,2	11,5	11,9	12,3	
13	-12,5%	8,4	9,2	10,2	11,3	12,6	
15	0,0%	7,2	7,9	8,6	9,5	10,6	
17	12,5%	6,5	7,1	7,7	8,5	9,4	
19	25,0%	6,1	6,5	7,1	7,8	8,6	

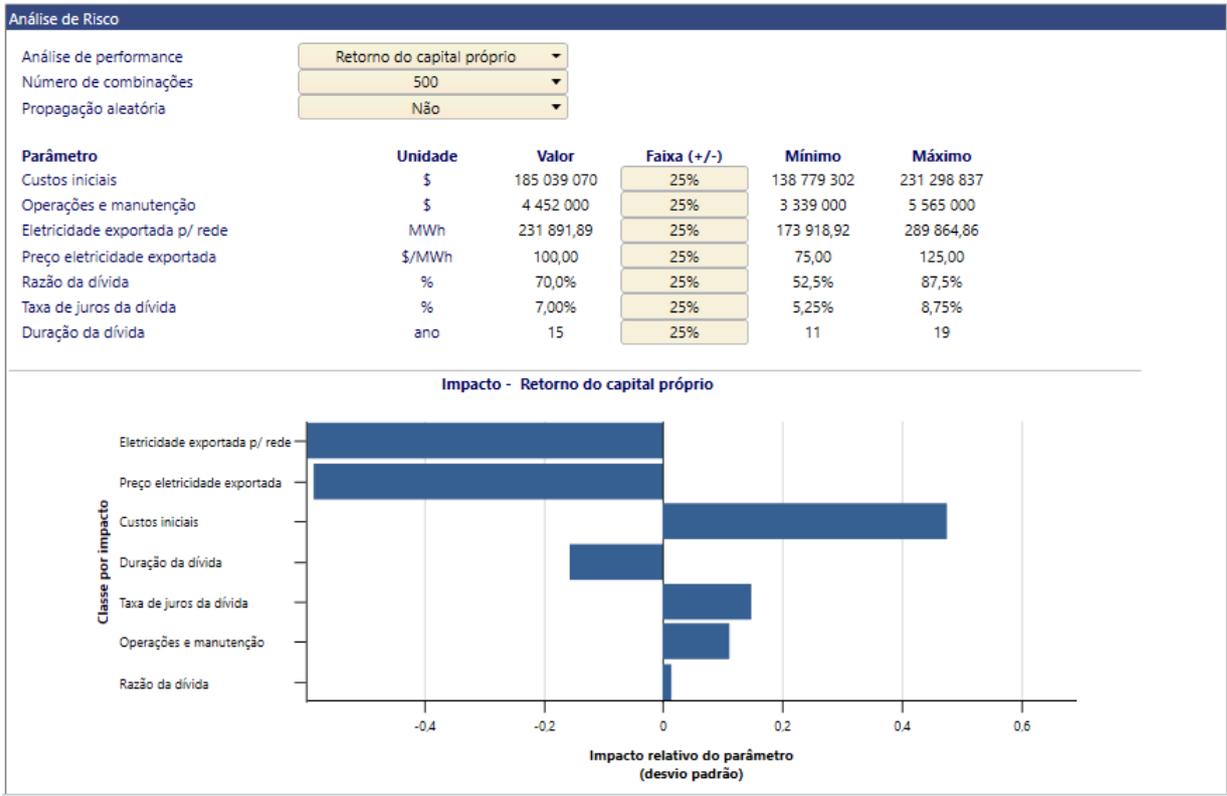
- Remover análise

		Duração da dívida					ano
		11	13	15	17	19	
Custos iniciais		-25,0%	-12,5%	0,0%	12,5%	25,0%	
\$							
138 779 302	-25,0%	5,9	5,0	4,6	4,2	4,0	
161 909 186	-12,5%	8,7	7,2	6,3	5,8	5,4	
185 039 070	0,0%	11,5	10,2	8,6	7,7	7,1	
208 168 953	12,5%	12,8	13,3	11,8	10,3	9,3	
231 298 837	25,0%	14,1	14,6	15,2	13,5	12,1	

+ Adicionar análise

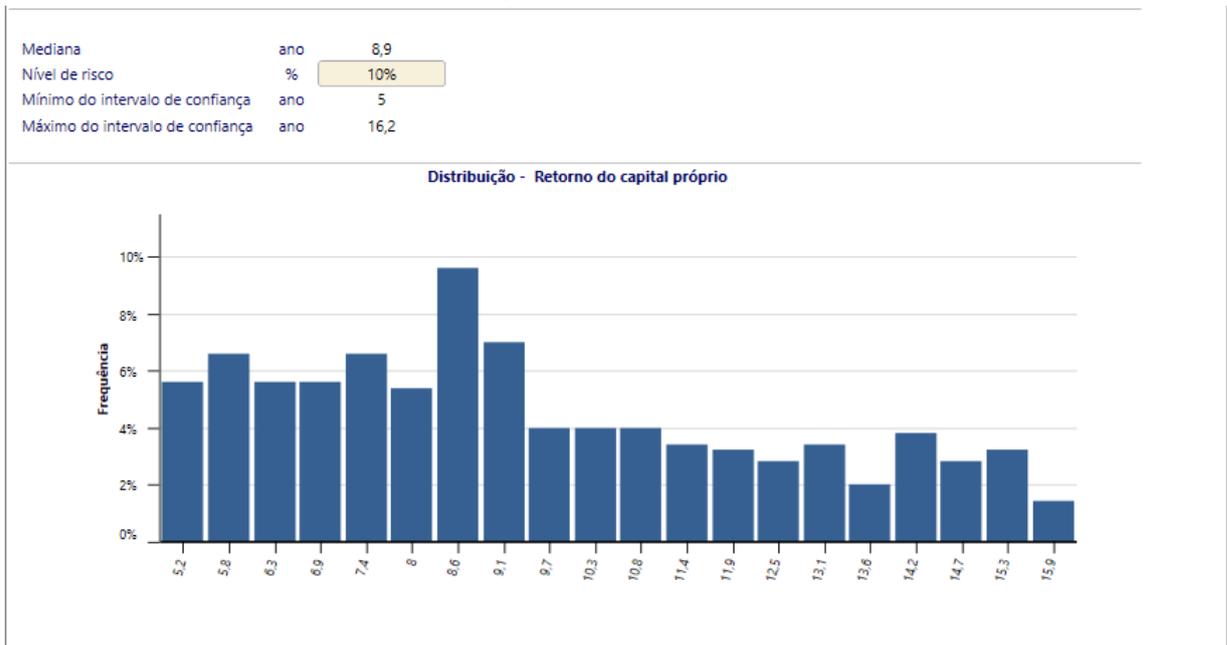
Fonte: Próprio Autor

Tabela 16 – Análise de risco



Fonte: Próprio Autor

Tabela 17 – Análise de risco (continuação)



Fonte: Próprio Autor

### **4.3 Avaliação dos impactos socioambientais**

A avaliação dos impactos ambientais é um processo fundamental para entender e prever como as atividades humanas ou projetos podem afetar o meio ambiente. Ela envolve a identificação, análise e avaliação dos efeitos positivos e negativos que uma ação pode ter sobre os recursos naturais, ecossistemas e qualidade de vida das pessoas. O objetivo da avaliação de impacto ambiental (AIA) é tomar decisões informadas, minimizando ou mitigando os efeitos prejudiciais ao ambiente. Essa etapa é necessária na maioria dos países quando empreendimentos de qualquer natureza vão se instalar.

#### **4.3.1 Impactos em ecossistemas**

A construção de usinas eólicas requer a instalação de estruturas de grande porte, como as torres das turbinas, linhas de transmissão e subestações elétricas. Isso pode resultar na destruição ou fragmentação de habitats naturais, afetando a fauna e a flora locais. A remoção da vegetação e o nivelamento do solo para instalar as estruturas podem levar à perda de biodiversidade e à redução da qualidade do habitat para espécies nativas.

As usinas eólicas funcionam capturando a energia cinética dos ventos para gerar eletricidade. Isso pode potencialmente modificar os padrões de vento na região, uma vez que as turbinas diminuem a velocidade do vento em sua proximidade. Essa mudança nos padrões de vento pode afetar o movimento de polinizadores, dispersores de sementes e outras espécies que dependem do vento para suas atividades.

A construção das fundações das turbinas e a movimentação de equipamentos pesados podem resultar na compactação do solo e na remoção da vegetação, aumentando o risco de erosão. A erosão do solo pode ter impactos negativos na qualidade da água, uma vez que os sedimentos carregados pela chuva podem ser transportados para cursos d'água, causando turbidez e poluição.

As turbinas eólicas em funcionamento emitem ruídos devido ao movimento mecânico das pás e outros componentes. Esse ruído pode perturbar as espécies locais, especialmente animais sensíveis ao som, incluindo os seres humanos. Também pode afetar o comportamento de caça, comunicação e outros aspectos do ciclo de vida animal.

### **4.3.2 Impactos sociais**

A instalação de turbinas eólicas em áreas naturais pode ter impactos visuais significativos. As turbinas são grandes estruturas que podem se destacar na paisagem, alterando a aparência estética de uma região. Em algumas áreas, isso pode afetar negativamente a beleza cênica e o valor estético da paisagem, especialmente se a área for uma atração turística ou de importância cultural.

Como consequência desse impacto visual tem-se a diminuição o valor das propriedades, principalmente, as residenciais, já que a visão das turbinas pode ser considerada indesejável por potenciais compradores. Outra consequência é a redução da qualidade de vida da comunidades próximas das torres, que alegam ruído e a presença visual constante, como causas estresse piora da saúde mental. Há ainda um consequência forte nas áreas que dependem do turismo, a presença de turbinas eólicas visíveis pode afetar a atratividade da região para os visitantes, potencialmente prejudicando a economia local.

### **4.3.3 Mitigação dos impactos**

A minimização dos impactos deve ser realizada antes do início das obras de instalação através de planejamento detalhado e eficaz. É fundamental que sejam realizados estudos de impacto ambiental rigorosos antes da instalação de usinas eólicas. Esses estudos podem ajudar a identificar áreas sensíveis, propor medidas de mitigação e desenvolver estratégias para minimizar os efeitos adversos sobre os ecossistemas locais.

Além disso, o planejamento adequado da localização das usinas, levando em consideração as características da paisagem e a minimização do impacto visual, a restauração de habitats degradados e o monitoramento contínuo dos impactos são essenciais para garantir a coexistência sustentável entre a energia eólica e os ecossistemas naturais.

As comunidades locais devem ser envolvidas no processo de tomada de decisão, permitindo que expressem suas preocupações e opiniões. Tornar as compensações financeiras às comunidades afetadas e os investimentos em projetos de desenvolvimento local, um dos pontos de apoio do empreendimento. Além disso, informar as comunidades sobre os benefícios ambientais e econômicos das turbinas eólicas, bem como sobre as medidas tomadas para minimizar os impactos negativos.

Em última análise, encontrar um equilíbrio entre a expansão das energias renováveis

e a preservação da paisagem e do bem-estar das comunidades locais é um desafio que requer a colaboração de diversos setores e a consideração cuidadosa de múltiplos aspectos.

#### **4.3.4 Experiências anteriores**

Avaliar experiências de outros projetos de mesma natureza, pode adiantar e tornar mais econômico a adoção de soluções. Portanto, serão apresentados alguns dos projetos avaliados.

##### **4.3.4.1 Parque Eólico Katskhi, Estados Unidos - Geórgia**

O Parque Eólico Katskhi, na Geórgia, enfrentou resistência das comunidades locais devido à preocupação com a interferência nas vistas panorâmicas e à potencial desvalorização das propriedades. O projeto colaborou com as comunidades locais, realizando consultas públicas e permitindo que os residentes expressassem suas preocupações. Além disso, foram implementadas estratégias de paisagismo para integrar as turbinas eólicas à paisagem circundante, reduzindo o impacto visual.

##### **4.3.4.2 Parque Eólico Fosen, Noruega**

O Parque Eólico Fosen, na Noruega, enfrentou a necessidade de equilibrar a expansão da energia eólica com a preservação das áreas naturais e vistas panorâmicas. O projeto implementou medidas de planejamento rigorosas para localizar as turbinas eólicas em áreas que minimizem o impacto visual e ambiental. Também foi realizado um extenso processo de consulta pública e engajamento com as comunidades locais para garantir que suas preocupações fossem consideradas.

### **4.4 Desafios e oportunidades**

#### **4.4.1 Obstáculos à Implementação de Usinas Eólicas**

A integração bem-sucedida da energia eólica nas redes existentes pode ser dificultada pela falta de infraestruturas adequadas, como redes de transmissão e subestações. Segue como a falta de infra-estruturas dificulta a integração da energia eólica.

Muitos locais ideais para a produção de energia eólica estão localizados em áreas

remotas, longe dos centros de consumo de eletricidade. Isto significa que é necessário construir novas linhas de transmissão de alta tensão para transportar a eletricidade gerada pelos parques eólicos para as cidades e centros industriais.

#### *4.4.1.1 Políticas de Incentivo e Financiamento*

A avaliação dos custos iniciais e operacionais envolvidos na implementação de usinas eólicas mostra como deve ser elevado o investimento. Entretanto, a instabilidade regulatória causa incertezas causadas, principalmente, por mudanças nas políticas de governo impõe riscos os investidores que acabam desistindo de projetos.

A disponibilidade de financiamento a taxas razoáveis pode ser um desafio, especialmente para projetos de grande escala, e a busca por investimento fora do país pode ser demorada e burocrática. Além disso, a implementação de políticas requer coordenação entre diferentes departamentos do governo e agências reguladoras, o que torna uma tarefa que depende muito dos governos.

Por fim, os investidores podem perceber a energia eólica como um setor arriscado devido à sua dependência das condições climáticas e variáveis econômicas.

#### *4.4.1.2 Sistema elétrico de potência local*

A energia eólica é uma fonte intermitente porque depende das condições do vento. A falta de infraestruturas de transporte pode agravar este problema, pois é difícil equilibrar a oferta e a procura de eletricidade quando a energia eólica só está disponível durante determinados períodos.

A adição de parques eólicos à rede pode sobrecarregar a infraestrutura existente, provocando congestionamentos e perdas de eficiência. A falta de investimento na expansão e modernização da rede pode dificultar a absorção eficaz da energia eólica.

Em muitos casos, a falta de infraestrutura adequada deve-se a um mau planeamento ou à falta de visão a longo prazo por parte dos governos e das empresas de energia. O planeamento cuidadoso e a coordenação entre as diferentes partes interessadas são essenciais para superar estes desafios.

A construção de novas linhas de transmissão e subestações é cara e pode exigir investimentos significativos. A falta de financiamento para estas melhorias poderá retardar ou dificultar a expansão da capacidade de geração eólica.

As subestações elétricas são componentes críticos das redes elétricas que ajudam a controlar e distribuir energia elétrica. A ligação dos parques eólicos à rede elétrica pode ser difícil devido à falta de subestações adequadas ou à sua capacidade insuficiente. O aproveitamento da energia eólica muitas vezes requer a modernização de subestações elétricas ou a construção de novas.

Para superar estes desafios, é essencial investir em infra-estruturas de transporte e subestações, desenvolver estratégias de planeamento adequadas e promover a colaboração entre os sectores público e privado. A energia eólica desempenha um papel fundamental na transição para uma matriz energética mais limpa e sustentável, mas a integração bem-sucedida na rede requer infra estruturas robustas e adaptadas às características específicas do seu corpo.

#### ***4.4.2 Oportunidades de Desenvolvimento Sustentável***

Aqui são exploradas as "Oportunidades de Desenvolvimento Sustentável", pois aqui se está investigando os benefícios positivos que a implementação de usinas eólicas pode trazer para Moçambique em termos de crescimento econômico, resiliência ambiental e bem-estar social. Aqui estão alguns pontos importantes que são abordar neste tópico:

##### ***4.4.2.1 Diversificação da Matriz Energética***

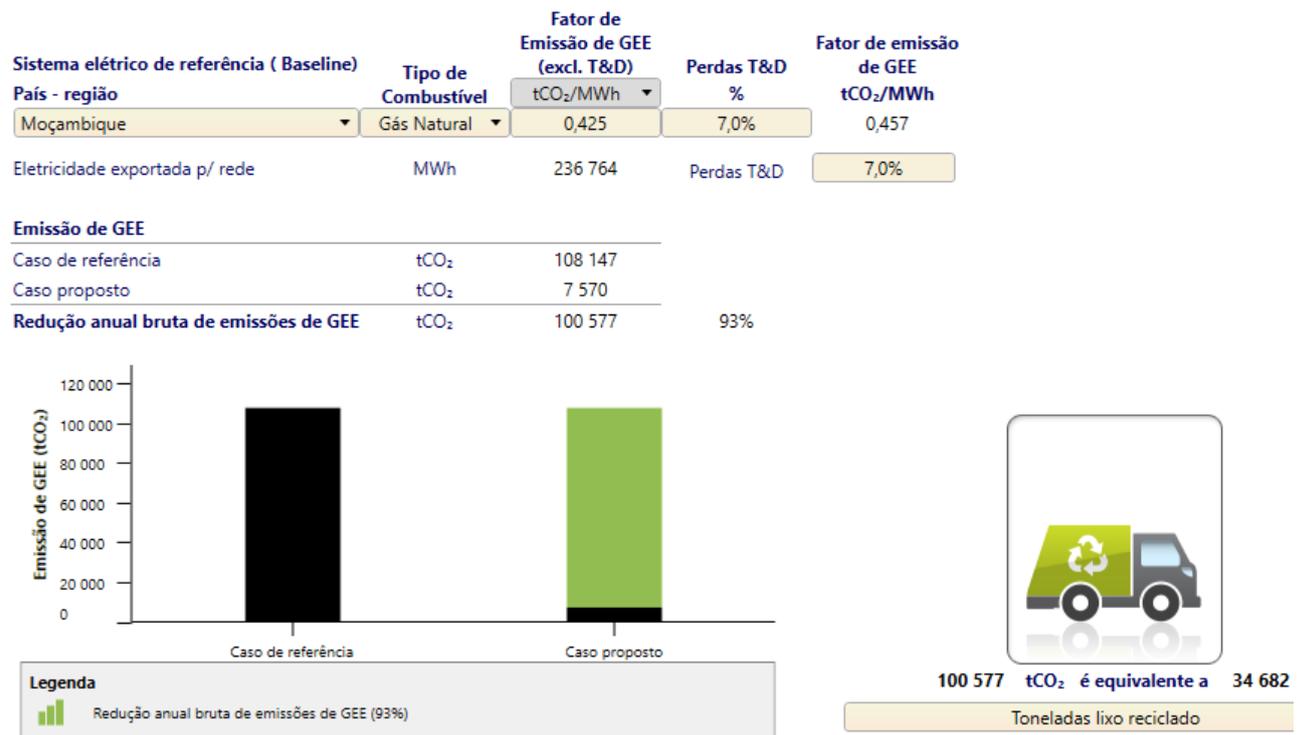
O País sempre dependeu fortemente da energia hidroelétrica para a produção de eletricidade. Contudo, a disponibilidade de água pode ser afetada por alterações climáticas, como a seca, deixando o país vulnerável a interrupções no fornecimento de energia. A introdução de parques eólicos ajuda a diversificar a matriz energética, reduzir esta vulnerabilidade e aumentar a segurança energética.

Moçambique, como muitos outros países em desenvolvimento, importa frequentemente combustíveis fósseis para satisfazer as suas necessidades energéticas. Isto pode ser caro e sensível às flutuações nos preços internacionais do petróleo e do gás. A energia eólica, uma vez instalada, estará disponível gratuitamente localmente, ajudando a reduzir a dependência de combustíveis importados e a estabilizar os custos de energia a longo prazo.

4.4.2.2 Redução de emissões de CO<sub>2</sub> e mudanças climáticas

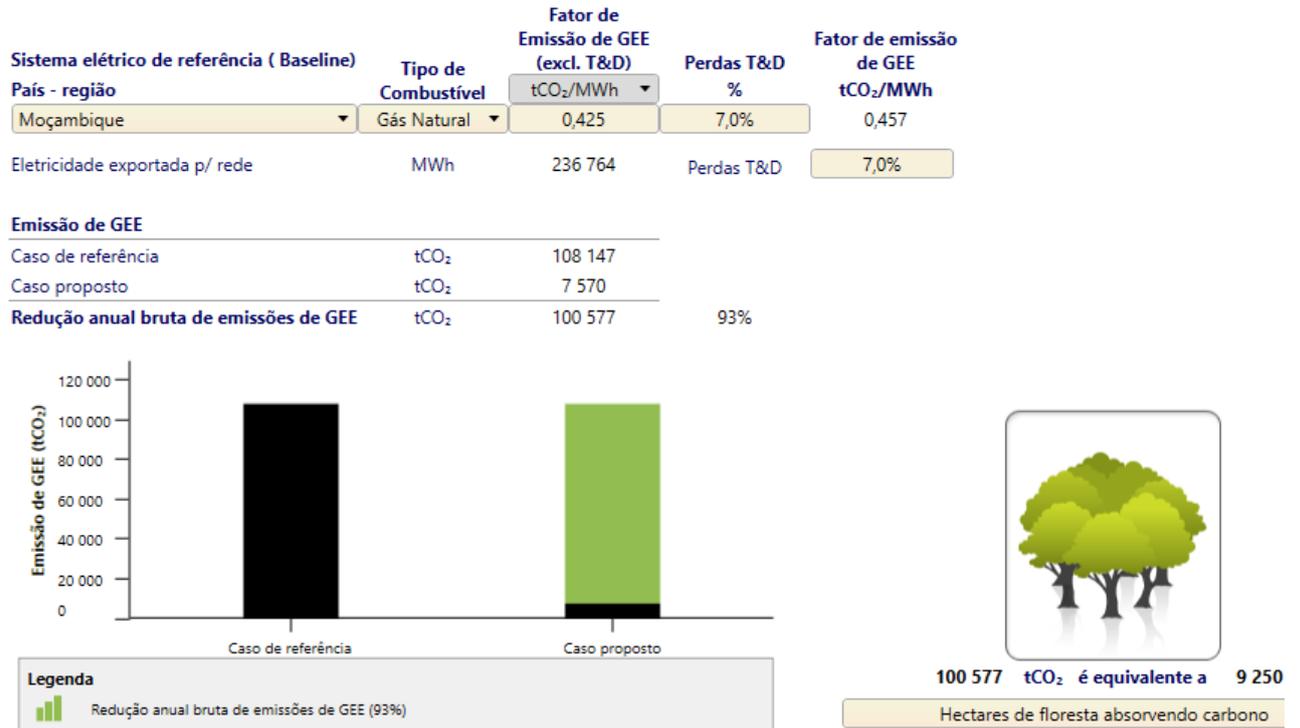
A energia eólica desempenha um papel importante na redução das emissões de gases com efeito de estufa, como pode ser visto nas Figuras 21, 22 e 23, e a implantação da energia eólica em Moçambique pode contribuir para o cumprimento dos objetivos nacionais e internacionais em matéria de alterações climáticas.

Figura 21 – Sumario de redução de emissões 1



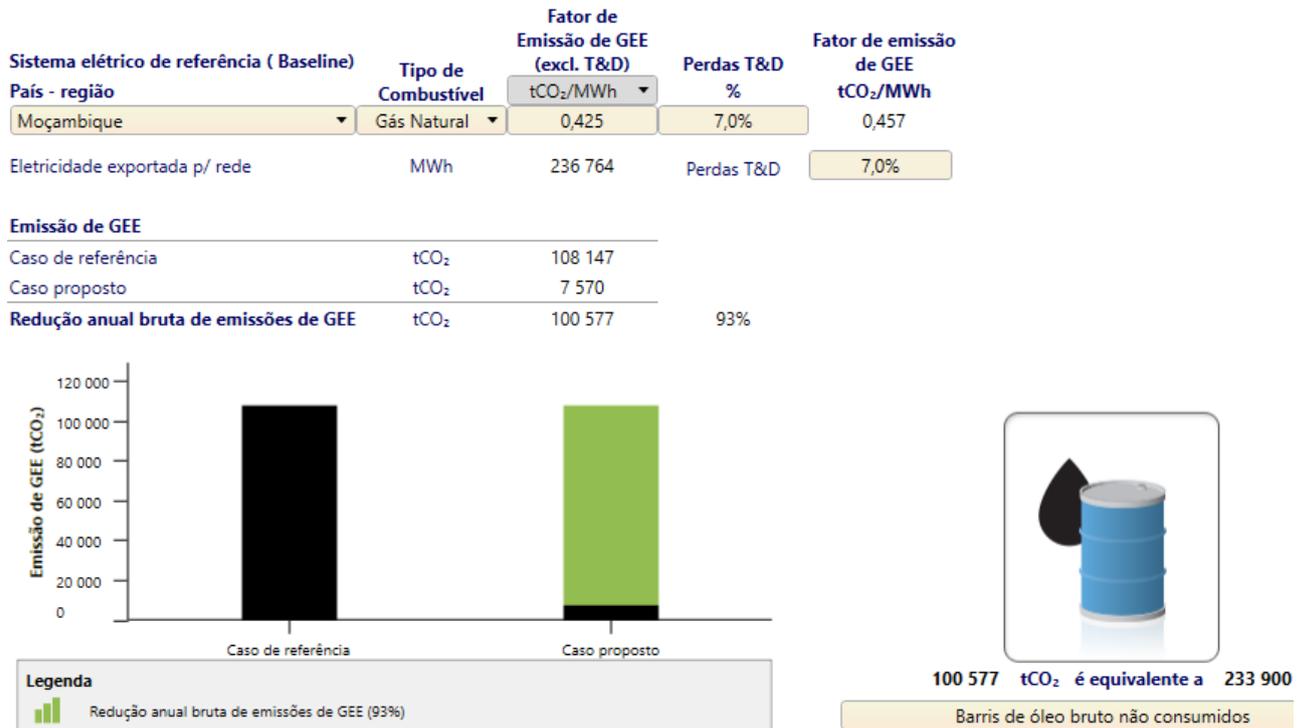
Fonte: Próprio Autor

Figura 22 – Sumario de redução de emissões 2



Fonte: Próprio Autor

Figura 23 – Sumario de redução de emissões 3



Fonte: Próprio Autor

#### 4.4.2.3 *Criação de empregos locais*

A construção e operação de parques eólicos requer mão de obra local, o que pode estimular a economia local e criar empregos. Além disso, o desenvolvimento das infraestruturas necessárias para a energia eólica, tais como estradas e redes elétricas, pode melhorar a infraestrutura geral do país.

#### 4.4.2.4 *Investimentos em infraestrutura*

Os projetos de energia eólica podem estimular o investimento em infra-estruturas locais de várias maneiras, contribuindo para o desenvolvimento da área onde estão localizados.

Para a instalação e manutenção de parques eólicos, são necessárias estradas de acesso em áreas remotas onde os ventos são favoráveis. Isto muitas vezes requer a construção e melhoria de estradas locais para permitir o transporte de equipamento pesado, turbinas eólicas e pessoal. Estas melhorias rodoviárias beneficiam as comunidades locais, tornando o transporte mais acessível e facilitando o acesso a serviços essenciais, como saúde e educação.

Os parques eólicos estão frequentemente localizados em áreas remotas e podem ser ligados à rede principal através da construção de linhas de transmissão. Esta expansão da rede não só apoia as operações das centrais e a distribuição da energia produzida, mas também pode beneficiar as comunidades locais, melhorando o acesso à eletricidade. Isto pode promover o desenvolvimento empresarial local e melhorar a qualidade de vida daqueles que anteriormente não tinham acesso a eletricidade estável.

Os projetos de energia eólica podem proporcionar formação e desenvolvimento de competências às populações locais, dotando os trabalhadores de conhecimentos técnicos específicos que podem ser aplicados em indústrias de outros campos, como a manutenção de turbinas eólicas, eletricidade e eletrônica.

Os projetos de energia eólica não só fornecem energia limpa e renovável, mas também têm potencial para realizar um investimento significativo em infra-estruturas locais, melhorando assim a qualidade de vida das comunidades vizinhas e estimulando o desenvolvimento econômico da região onde estão localizados. Estes benefícios podem constituir uma parte importante da lógica do desenvolvimento da energia eólica em muitas partes do mundo.

## 5 CONCLUSÕES

Neste Capítulo, se conclui a análise abrangente sobre a viabilidade da instalação de uma usina eólica em Moçambique e resumindo os principais pontos discutidos ao longo do estudo. A avaliação dos recursos eólicos e as conclusões relativas à viabilidade técnica do projeto sugerido são abordadas a seguir.

Com base nos dados disponíveis, torna-se claro que Moçambique tem um grande potencial para a produção de energia eólica. Isto pode contribuir, significativamente, para diversificar a matriz energética do país e reduzir a dependência de fontes de energia mais tradicionais, como a energia hidroelétrica.

A tecnologia de energia eólica é amplamente utilizada e bem compreendida em todo o mundo. As turbinas eólicas modernas são eficientes e fiáveis, tornando tecnicamente viável a implementação de projetos eólicos em Moçambique.

No entanto, existem alguns desafios técnicos a considerar, incluindo: A necessidade de infra-estruturas de transmissão adequadas para ligar os parques eólicos à rede elétrica existente e a necessidade de fazer reforços, pois há flutuações na geração de energia eólica para garantir um fornecimento de energia estável e fiável.

Para concretizar o potencial da energia eólica, os projetos eólicos requerem investimentos significativos, incluindo a aquisição de turbinas eólicas, infra-estruturas de transmissão e a instalação de parques eólicos em locais estratégicos.

Hoje a energia eólica é uma fonte barata e uma opção mais limpa em comparação com as fontes de energia fósseis e pode trazer benefícios ambientais significativos, incluindo a redução das emissões de gases com efeito de estufa. Entretanto, para garantir o sucesso da implementação da energia eólica em Moçambique, é essencial um planeamento cuidadoso, regulamentação adequada e incentivos para atrair investimento e promover a sustentabilidade do sector.

Moçambique possui recursos eólicos promissores e a viabilidade técnica de gerar energia a partir destes recursos é elevada. No entanto, o desenvolvimento bem sucedido neste setor exige investimentos significativos e planeamento estratégico, para o desenvolvimento de infra-estrutura básica como estradas, portos e rede de transmissão e distribuição forte. A implantação de usinas como as projetadas neste trabalho deve contribuir para a diversificação da matriz energética e para um futuro mais sustentável em Moçambique.

## REFERÊNCIAS

- ALER, A. **Renováveis-em-Moçambique**. 2022. Disponível em: <[www.edm.co.mz/pt/document/reports/energias-renov%C3%A1veis-em-mo%C3%A7ambique-2022-resumo](http://www.edm.co.mz/pt/document/reports/energias-renov%C3%A1veis-em-mo%C3%A7ambique-2022-resumo)>. Acesso em: 2023.
- ALIANCA-ENERGIA. 2023. Disponível em: <<https://images.app.goo.gl/mrBvUwpze5cB6FcB9>>. Acesso em: 2023.
- AMARAL, B. M. **Modelos VARX para Geração de Cenários de Vento e Vazão Aplicados à Comercialização de Energia**. 2011.
- ANDRÉ-GOMES-ENGENHARIA-ELETRICA. 2023. Disponível em: <<https://www.andregomes-eng.com.br/subestacao-energia-industrias>>. Acesso em: 2023.
- ATLAS-EOLICO-PARAIBA. 2023. Disponível em: <<http://surl.li/kniwg>>. Acesso em: 2023.
- BRAINLY. 2023. Disponível em: <<https://images.app.goo.gl/FF8uexUCtpzqxrBT9>>. Acesso em: 2023.
- BUSINESSMAPSMOZ. 2023. Disponível em: <<https://businessmapsmoz.blogspot.com/2019/10/localizacao-de-mocambique-mocambique-e.html?m=1>>. Acesso em: 2023.
- CUSTÓDIO, R. d. S. **Energia-Eólica-para-Produção-de-Energia-Elétrica**. 1<sup>a</sup>. ed. Rio de Janeiro: Eletrobrás, 2009. 366 p.
- ENERGIA-ESTRATEGICA. 2023. Disponível em: <<https://images.app.goo.gl/FF8uexUCtpzqxrBT9>>. Acesso em: 2023.
- FADIGAS, E. A. F. A. **Energia-Eólica**. 1<sup>a</sup>. Barueri: Manole, 2011. 285 p. (Série Sustentabilidade).
- LOPES, R. A. **Energia-Eólica**. 2<sup>a</sup>. São Paulo: Artliber Editora, 2012. 366 p. (Série Sustentabilidade).
- MF-RURAL. 2023. Disponível em: <[www.mfrural.com.br%2Fdetalhe%2F135583%2Ftorre-estaiada-e-auto-portante-p-radio-fm-tv-rep-celular-internet-via-radio&psig=AOvVaw2q\\_BpQeE1Uzhz2r4agDgdn&ust=1701983910071000&source=images&cd=vfe&opi=89978449&ved=0CBEQjRxqFwoTCKjEvvHe-4IDFQAAAAAdAAAAABAI](http://www.mfrural.com.br%2Fdetalhe%2F135583%2Ftorre-estaiada-e-auto-portante-p-radio-fm-tv-rep-celular-internet-via-radio&psig=AOvVaw2q_BpQeE1Uzhz2r4agDgdn&ust=1701983910071000&source=images&cd=vfe&opi=89978449&ved=0CBEQjRxqFwoTCKjEvvHe-4IDFQAAAAAdAAAAABAI)>. Acesso em: 2023.
- PINTO, M. d. O. **Fundamentos-de-Energia-Eolica**. 1<sup>a</sup>. ed. Barueri: LTC, 2013. 368 p. (Série Sustentabilidade).
- RESEARCHGATE. 2023. Disponível em: <<https://images.app.goo.gl/2LJ2quV5aSjDDx1X9>>. Acesso em: 2023.
- RETSCREEN. 2023. Disponível em: <<https://natural-resources.canada.ca/maps-tools-and-publications/tools/modelling-tools/retscreen/7465>>. Acesso em: 09/2023.
- TRADING-ECONOMICS. 2023. Disponível em: <<https://pt.tradingeconomics.com/mozambique/gdp-growth-annual>>. Acesso em: 2023.
- YU, C. M. **Seqüestro florestal de carbono no Brasil**. 1<sup>a</sup>. São Paulo: Annablume, 2004. 278 p.