



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE
FACULDADE DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA
CURSO DE LICENCIATURA EM ENGENHARIA E GESTÃO INDUSTRIAL

TRABALHO DE LICENCIATURA

**DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA OFF-GRID DE GERAÇÃO DE
ENERGIA EÓLICA NO DISTRITO DE INHASSORO, PROVÍNCIA DE
INHAMBANE**

Autor(a):

- Da Silva, Sabrina Augi I.

Supervisor:

- Eng.º Jaime Matavele

Maputo, Agosto de 2023



Universidade Eduardo Mondlane

Faculdade de Engenharia

Departamento de Engenharia Mecânica

Curso de Licenciatura em Engenharia e Gestão Industrial

Trabalho de Licenciatura

**DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA OFF-GRID DE GERAÇÃO DE
ENERGIA EÓLICA NO DISTRITO DE INHASSORO, PROVÍNCIA DE
INHAMBANE**

Trabalho de Licenciatura, submetido ao Departamento de Engenharia Mecânica da Faculdade de Engenharia da Universidade Eduardo Mondlane para obtenção do Grau de Licenciatura em Engenharia e Gestão Industrial.

Autor(a):

- Da Silva, Sabrina Augi I.

Supervisor:

- Eng.º Jaime Matavele

Maputo, Agosto de 2023

[Lombada]

“Dimensionamento de um sistema off-grid de geração de energia eólica no distrito de Inhassoro, provincia de Inhambane. Sabrina Augi Isidoro da Silva”



Índice

AGRADECIMENTOS.....	V
DEDICATÓRIA	VI
TERMO DE ENTREGA DO RELATÓRIO DE TRABALHO DE LICENCIATURA.....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS	1
LISTA DE ABREVIATURAS UTILIZADAS.....	2
RESUMO	3
ABSTRACT.....	4
CAPTÍTULO 1	5
1. Introdução	5
1.1 Problemática.....	6
1.2 Objectivo geral	6
1.3 Objectivos específicos.....	6
1.4 Hipótese/proposições	6
1.5 Estrutura do trabalho	7
CAPÍTULO 2: REVISÃO DE LITERATURA	8
2.1 Histórico da energia eólica.....	8
2.2 Energia Eólica	9
2.3 Características dos sistemas de energia eólica	10
2.3.1 Sistemas On-Grid	10
2.3.2 Sistemas Off-Grid	11
Vantagens e Desvantagens dos sistemas Off-Grid e On-Grid.....	11
2.4 Geração de energia eólica off-grid no mundo	12
2.4.1 Geração de energia eólica off-grid em Moçambique:	13
2.5 Potencial actual e utilização da energia eólica no mundo	13
2.5.1 Potencial eólico em Moçambique	15
2.5.2 Potencial eólico na província de Inhambane	16
2.6 Turbinas eólicas	17
2.6.1 Turbina eólica de eixo vertical (VAWT)	18
2.6.2 Turbina eólica de eixo horizontal (HAWT)	21
CAPÍTULO 3: CONTEXTUALIZAÇÃO	24
3.1 Caracterização do local de implantação do projecto	24
3.2 Dados relativos ao número de agregados	25
3.3 Estimativa da demanda de energia no distrito de Inhassoro	26

CAPÍTULO 4: METODOLOGIA DE RESOLUÇÃO DO PROBLEMA.....	31
4. Dimensionamento do sistema.....	31
4.1 Escolha da turbina eólica.....	31
4.1.1 Potência e tempo de vida útil.....	32
4.1.2 Eficiência das turbinas.....	33
4.1.3 Preço das turbinas eólicas.....	34
4.2 Sistema de armazenamento de energia	40
4.2.1 Sistema de armazenamento de bateria	41
4.2.2 Escolha da bateria	42
CAPÍTULO 5: APRESENTAÇÃO, ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	46
5.1 Análise económica	46
5.2 Análise ambiental.....	48
5.3 Apresentação dos resultados	50
Relativamente ao dimensionamento do sistema eólico, são apresentados na tabela abaixo os resultados dos parâmetros do projecto.	50
CAPÍTULO 6: CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	51
6.1 Conclusões	51
6.2 Recomendações.....	52
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	53
ANEXOS.....	55

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar quero agradecer a Deus, pela força e sabedoria para alcançar esta etapa da vida académica.

Agradecer à minha família, principalmente aos meus pais, Isidoro Pedro da Silva e Isabel dos Santos P. Ribeiro, pelo apoio incansável que sempre me deram ao longo da minha vida académica, e que me permitiu chegar até aqui e cumprir este objectivo. Quero agradecer-lhes também pelo regozijo que têm aquando das minhas conquistas e pela paciência, apoio e encorajamento que me transmitem nos momentos mais difíceis.

Quero agradecer igualmente ao meu supervisor Eng.º Jaime Matavele, pela constante disponibilidade para me orientar e auxiliar na realização desta dissertação, bem como da motivação que sempre me transmitiu.

Aos meus colegas, Sheuzia de Castro, Alfredo Cambuie e Carla Nhassengo por me acompanharem durante o período de aulas.

Agradecer de forma especial ao meu amigo e colega, Manuel Curima, pela ajuda e consultoria dada ao longo do meu projecto de licenciatura.

Por último, um agradecimento especial aos meus irmãos e amigos pela motivação e acompanhamento constante durante estes anos do meu percurso académico.

DEDICATÓRIA

Aos meus pais que sempre acreditaram no meu potencial e que não mediram esforços para que eu pudesse me formar.

E a todas as meninas, mulheres que sonham em um dia engrenarem no mundo das engenharias.

“Tudo posso naquele que me fortalece.” -Filipenses 4:13

DECLARAÇÃO DE HONRA

Eu, Sabrina Augi Isidoro da Silva, declaro por minha honra, que o presente trabalho de licenciatura com tema: **Dimensionamento de um sistema off-grid de geração de energia eólica no distrito de Inhassoro, província de Inhambane**, que apresento para o cumprimento dos requisitos para a obtenção do grau de Licenciatura em Engenharia e Gestão Industrial, foi por mim realizado, com base nos recursos que no mesmo se faz referência.

Assinatura: _____

(Sabrina Augi Isidoro da Silva)

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Vantagens e Desvantagens dos sistemas Off-Grid e On-Grid. Fonte [3].....	11
Tabela 2: Indicação das potências médias dos itens. Fonte: [Adaptado pela Autora]....	26
Tabela 3: Indicação das quantidades dos itens e dos seus respectivos consumos diários. Fonte: [Adaptado pela Autora].	27
Tabela 4. Demanda. Fonte: [Adaptado pela Autora].....	28
Tabela 5. Potência e tempo de vida útil. Fonte: [12].....	32
Tabela 6: Análise dos preços das turbinas eólicas. Fonte [12].....	34
Tabela 7: Especificações da Potência da turbina Enercon. Fonte:[12].....	37
Tabela 8: Especificações do rotor da turbina Enercon. Fonte [12]	37
Tabela 9: Avaliação dos diferentes tipos de bateria. Fonte: [13]	43
Tabela 10: Comparação de Avaliação Económica entre Projectos Eólicos Off-Grid: Análise do investimento inicial e do VPL Total. Fonte [14].....	47
Tabela 11: Apresentação dos resultados dos parâmetros do projecto. Fonte:[Adaptado pela Autora]	50

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Primeiro aerogerador da história. Fonte: XCEL ENERGY [5]	9
Figura 2: Representação de Turbinas eólicas. [1].....	10
Figura 3: Representação de um sistema <i>on-grid</i> . [3].....	10
Figura 4: Sistema Off-Grid. Fonte [3]	11
Figura 5: Evolução mundial da capacidade eólico-eléctrica em GW até os anos 2000. [4]	14
Figura 6: Mapa de potencial de projectos eólicos. Fonte: [8]	15
Figura 7: Custo nivelado da energia dos projectos eólicos, Fonte: [8].....	16
Figura 8: Turbina de eixo vertical do tipo Darrieus. Fonte: [10]	18
Figura 9: Aerogerador de eixo vertical do tipo Savonius. Fonte [10]	19
Figura 10: Aerogerador de eixo vertical do tipo Giromil. Fonte: [10]	20
Figura 11: Turbina eólica de eixo horizontal. Fonte: [10].....	22
Figura 12: Localização geográfica do distrito de Inhassoro. Fonte: [9].....	24
Figura 13: gráfico da demanda. Fonte [HomerPro].....	29
Figura 14: Relação custo e Potência da turbina Leitwind. Fonte: [12]	35
Figura 15: Relação Custo e Potência das turbinas Vestas e Enercon. Fonte: [12]	36
Figura 16: A Potência na velocidade de 8,1m/s da turbina da Enercon, modelo E-101 E2 / 3,5 MW. Fonte [12]	38
Figura 17: Ilustração das características de geração da turbina Enercon. Fonte: [HomerPro].....	39
Figura 18: Baterias de íons de lítio. Fonte [22]	45
Figura 19: Características do armazenamento.....	45

LISTA DE ABREVIATURAS UTILIZADAS

N_A – Número de agregados.

N_h – Número de habitantes.

$P_{T/A}$ – Potência total por agregado sem acesso a energia (W).

P_i – Potência de cada item tabelado (W).

Q_i – Quantidade média.

V_a – Velocidade de accionamento.

V_n – Velocidade de vento nominal.

V_d – Velocidade de desligamento.

V_2 – Velocidade do vento na altura desejada.

V_1 – Velocidade do vento em uma altura de referência.

h_2 – Altura desejada.

h_1 – Altura de referência.

z_0 – Comprimento de rugosidade.

P – Potência.

N_t – Número de turbinas desejadas.

FUNAE – Fundo de Energia.

VPL – Valores Presentes Líquidos.

HAWT– Horizontal Axis Wind Turbine.

VAWT – Vertical Axis Wind Turbine.

INE – Instituto Nacional de Estatística

AC – Corrente Alternada.

DC– Corrente Continua.

RESUMO

Dimensionamento de um sistema off-grid de geração de energia eólica no distrito de Inhassoro, é uma iniciativa que visa fornecer uma solução sustentável e eficiente para o suprimento de energia eléctrica em uma região com desafios de acesso à electricidade. O projecto busca aproveitar o potencial eólico da área para a geração de energia limpa e renovável, reduzindo a dependência de fontes de energia convencionais e fósseis.

O estudo de dimensionamento abrange a avaliação do recurso eólico disponível na região, a selecção de equipamentos adequados, como turbinas eólicas, controladores de carga e sistemas de armazenamento de energia, para garantir uma geração consistente e confiável. Além disso, são considerados os padrões de consumo de energia da comunidade-alvo para dimensionar o sistema adequando e atender à demanda energética local.

Ao implementar esse sistema de geração eólica off-grid, espera-se alcançar benefícios significativos, como a redução das emissões de gases de efeito estufa, a melhoria da qualidade de vida das comunidades, o desenvolvimento económico sustentável e a promoção da independência energética. O projecto também contribuirá para a preservação do meio ambiente, ao mitigar os impactos ambientais negativos associados a fontes de energia não renováveis.

Por meio do dimensionamento e implementação adequada do sistema de geração de energia eólica off-grid, o distrito de Inhassoro poderá desfrutar de uma fonte de energia limpa, confiável e acessível, proporcionando uma perspectiva promissora para o futuro energético da região, alinhada com a crescente preocupação global em relação às questões ambientais e à sustentabilidade.

Palavra-chave: energia eólica, dimensionamento, sistema off-grid.

ABSTRACT

The design of an off-grid wind power generation system in the Inhassoro district., in Inhambane, aims to provide a sustainable and efficient solution to the region's electricity supply challenges. The project seeks to harness the area's wind potential for generating clean and renewable energy, reducing dependence on conventional and fossil fuel energy sources.

The sizing study involves evaluating the available wind resources and selecting suitable equipment, such as wind turbines, charge controllers, and energy storage systems, to ensure consistent and reliable generation. Additionally, energy consumption patterns of the target community are taken into consideration to size the system appropriately and meet local energy demands.

Through the implementation of this off-grid wind energy generation system, significant benefits are expected, including a reduction in greenhouse gas emissions, improved quality of life for communities, sustainable economic development, and promotion of energy independence. The project also contributes to environmental preservation by mitigating negative impacts associated with non-renewable energy sources.

Proper implementation of this project is anticipated to provide a reliable, accessible, and clean energy source, offering a promising perspective for the region's energy future. Moreover, the project aligns with the growing global concern for environmental issues and sustainability.

Keyword: wind energy, sizing, off-grid system.

CAPTÍULO 1

1. Introdução

A crescente demanda por energia e a busca por soluções mais sustentáveis têm impulsionado o interesse em sistemas de geração de energia renovável, especialmente em áreas remotas ou de difícil acesso à rede eléctrica convencional. No contexto desse cenário, o dimensionamento de um sistema off-grid de geração de energia eólica no distrito de Inhassoro, localizado na província de Inhambane, emerge como um tópico de grande relevância.

Inhassoro, como muitas outras regiões semelhantes, enfrenta desafios significativos no acesso confiável à electricidade. A introdução de um sistema de energia eólica off-grid nessa área pode representar uma abordagem promissora para atender às necessidades energéticas da comunidade local, enquanto reduz os impactos ambientais associados à geração de energia convencional.

Neste contexto, esta investigação visa explorar as possibilidades e os benefícios de implementar um sistema de geração de energia eólica off-grid no distrito de Inhassoro. Através do dimensionamento adequado e de uma análise económica e ambiental, pretende-se avaliar a viabilidade dessa solução, considerando a capacidade de suprir as demandas locais e os potenciais impactos positivos no desenvolvimento sustentável da comunidade.

Este estudo procura fornecer percepções valiosas para a tomada de decisão e planeamento de futuros projectos de energia renovável em áreas remotas, destacando o potencial da energia eólica off-grid como uma alternativa eficaz e sustentável para a geração de electricidade em locais com desafios de infra-estrutura energética.

1.1 Problemática

A problemática que surge nesse contexto é: Como suprir as crescentes demandas por energia de maneira sustentável e eficiente, especialmente em áreas remotas ou de difícil acesso à rede eléctrica convencional, considerando os desafios ambientais e os impactos negativos associados às formas tradicionais de geração de energia?

1.2 Objectivo geral

O objectivo geral deste estudo é dimensionar um sistema off-grid de geração de energia eólica no distrito de Inhassoro, província de Inhambane, como uma solução sustentável para suprir as demandas energéticas locais e reduzir os impactos ambientais associados à geração de energia convencional.

1.3 Objectivos específicos

- Fazer o levantamento das necessidades energéticas.
- Realizar o dimensionamento técnico do sistema off-grid, considerando o número de turbinas, capacidade de geração e armazenamento de energia.
- Realizar uma análise económica.
- Realizar uma análise ambiental para avaliar os impactos positivos da energia eólica off-grid em comparação com a geração convencional.

1.4 Hipótese/proposições

A proposta de um sistema off-grid de geração de energia eólica no distrito de Inhassoro em Inhambane surge como uma alternativa sustentável e viável para atender às necessidades energéticas locais e reduzir a dependência de fontes não renováveis e poluentes, como o diesel e o carvão.

Além disso, a implantação do sistema off-grid de geração de energia eólica pode contribuir para a criação de empregos locais, para a melhoria da qualidade de vida das comunidades e para o desenvolvimento socioeconómico da região de forma sustentável e equitativa.

1.5 Estrutura do trabalho

No Capítulo 1 é feita uma abordagem geral do projecto, onde pode-se observar alguns pontos, como a introdução, objectivo geral, objectivos específicos, hipótese/proposições e a estrutura do trabalho.

No Capítulo 2, é descrito o que é a energia eólica e de onde tem origem, passando por um rápido histórico de como se deu o início de sua aplicação em todo o mundo. Neste capítulo é possível observar, também, o crescimento do potencial eólico até os dias atuais. Além disso, é feita uma descrição detalhada sobre a geografia de Moçambique e como ela está relacionada com a distribuição de seus ventos. Tudo isso a fim de que possa ser ilustrado as suas vantagens e mostrar todo o potencial eólico em Moçambique em particular na província de Inhambane.

O Capítulo 3, é caracterizado o local onde será implementado as turbinas e é feita uma estimativa dos dados de agregados e da demanda em Inhassoro.

O Capítulo 4, dá início a resolução do problema, onde pode-se encontrar o tipo de turbina escolhido para a aplicação neste trabalho, a escolha dos parâmetros iniciais de projecto se baseando na carga a ser suprida, bem como a escolha de seus principais componentes.

O Capítulo 5 é apresentado a análise económica e ambiental, bem como os resultados finais do projecto.

O Capítulo 6 é a conclusão, onde se faz um resumo de todos os desafios encontrados e definições do projecto.

CAPÍTULO 2: REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Histórico da energia eólica

A energia eólica é uma das fontes de energia renovável mais antigas conhecidas pelo homem, tendo sido utilizada há milhares de anos para impulsionar barcos a vela e moer grãos em moinhos de vento. No entanto, a história da energia eólica moderna começa no final do século XIX, com a invenção do primeiro gerador elétrico movido a vento.

Em 1887, James Blyth, um engenheiro escocês, construiu a primeira turbina eólica que gerava electricidade, para alimentar as luzes de sua casa em Marykirk, na Escócia. A turbina tinha um diâmetro de 10 metros e seis pás de madeira, que giravam em torno de um eixo vertical. Na década de 1920, o desenvolvimento da electrificação rural levou a um aumento na demanda por energia eléctrica em áreas remotas, e os moinhos de vento foram amplamente utilizados para fornecer electricidade para fazendas e pequenas comunidades. No entanto, com a chegada da rede eléctrica nacional, a energia eólica perdeu espaço para outras fontes de energia mais baratas e convenientes, como o petróleo e o carvão. [1]

A partir da década de 1970, com o aumento do preço dos combustíveis fósseis e crescente preocupação com as mudanças climáticas, houve um renovado interesse na energia eólica como uma fonte de energia renovável e limpa. A tecnologia de turbinas eólicas avançou rapidamente, com a introdução de pás aerodinâmicas, turbinas de eixo horizontal e sistemas de controle electrónico, o que tornou possível a construção de turbinas de grande porte, capazes de gerar electricidade em larga escala. [1]

Hoje, a energia eólica é uma das fontes de energia renovável que mais cresce em todo o mundo, com capacidade instalada de mais de 700 GW em 2020, o que representa cerca de 7% da capacidade total de geração de electricidade global. A energia eólica é vista como uma solução importante para a transição para um sistema de energia mais sustentável e de baixo carbono, contribuindo para a redução das emissões de gases de efeito estufa e mitigando os impactos das mudanças climáticas. [2]

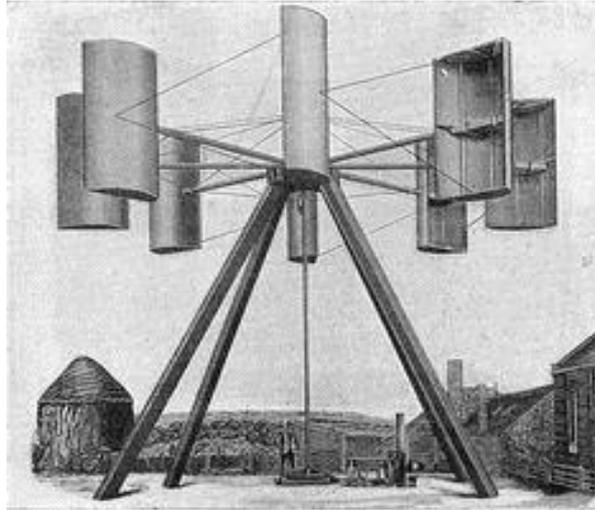


Figura 1: Primeiro aerogerador da história. Fonte: XCEL ENERGY [5]

2.2 Energia Eólica

A energia eólica é uma fonte de energia renovável e limpa que é a energia cinética do vento. Esta energia pode ser convertida em energia elétrica. O processo de conversão envolve o uso de turbinas eólicas para capturar a energia do vento e converter essa energia mecânica em electricidade. As turbinas eólicas são compostas por pás que giram com o vento e são conectadas a um gerador elétrico.

As turbinas eólicas podem ser instaladas em áreas com ventos fortes, aproveitando um recurso natural abundante. As turbinas eólicas geram electricidade de forma contínua, contribuindo para a estabilidade da rede eléctrica. Em contrapartida as turbinas eólicas podem ser afectadas pela variação da velocidade do vento, resultando em flutuações na geração de energia. Além disso, sua instalação e manutenção podem ser elevadas.

Os principais benefícios da energia eólica são a redução das emissões de gases de efeito estufa, a diminuição da dependência de combustíveis fósseis e a diversificação da matriz energética. No entanto, a energia eólica também apresenta algumas desvantagens, como a dependência das condições do vento e o impacto visual e sonoro das turbinas.



Figura 2: Representação de Turbinas eólicas. [1]

2.3 Características dos sistemas de energia eólica

2.3.1 Sistemas On-Grid

Sistemas *On-Grid*, também conhecidos como sistemas conectados à rede, são sistemas de geração de energia elétrica que estão interligados à rede elétrica pública. Neste tipo de sistema, a energia gerada pelos painéis solares fotovoltaicos ou outras fontes de energia renovável é utilizada localmente para suprir as necessidades de energia do local e o excedente é enviado para a rede elétrica. [3]

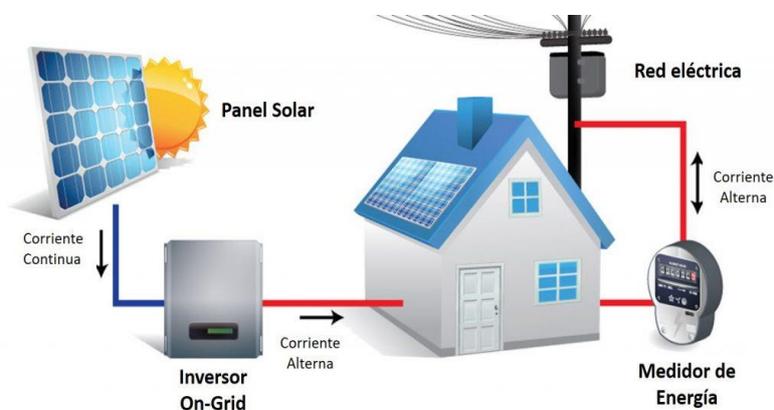


Figura 3: Representação de um sistema *on-grid*. [3]

2.3.2 Sistemas Off-Grid

Os sistemas *off-grid* são sistemas de energia eléctrica auto-suficientes, ou seja, que não estão conectados à rede eléctrica convencional. Eles são geralmente utilizados em áreas remotas, onde a conexão com a rede eléctrica é inviável ou muito cara. Os sistemas *off-grid* podem ser alimentados por diferentes fontes de energia, como a energia solar, a energia eólica ou a energia hidráulica. Eles são compostos por painéis solares, turbinas eólicas, baterias e outros equipamentos que permitem o armazenamento e a distribuição da energia gerada.

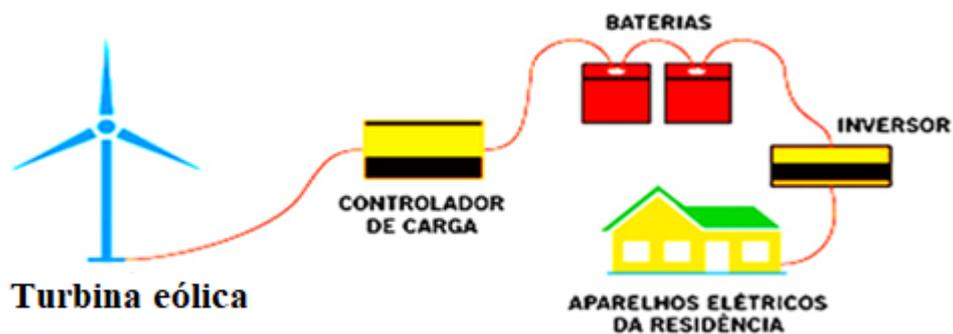


Figura 4: Sistema Off-Grid. Fonte [3]

Vantagens e Desvantagens dos sistemas Off-Grid e On-Grid

Tabela 1: Vantagens e Desvantagens dos sistemas Off-Grid e On-Grid. Fonte [3]

Sistema	Vantagens	Desvantagens
<i>Off-Grid</i>	Pode ser utilizado em regiões remotas, por ser independente na rede de distribuição de energia.	Necessita da utilização de baterias e controladores de carga.
	Não há necessidade de pagar a factura de energia.	Custo de aquisição dos equipamentos elevado.

	Possui sistema de armazenamento de energia.	Forte dependência dos ventos.
<i>On-Grid</i>	Dispensa a utilização de baterias e controladores de carga.	Necessita de criação da rede de distribuição, quando se trata de geração distribuída.
	Possibilita ao consumidor adquirir créditos de energia.	Normalmente, não há sistema de armazenamento de energia.
	Créditos podem ser usados em outras unidades consumidoras do mesmo proprietário.	Necessidade de pagar a factura de energia quando a demanda for maior que a produção e não houver créditos disponíveis.
	Mais eficiente.	

2.4 Geração de energia eólica off-grid no mundo

No mundo, a geração de energia eólica *off-grid* tem sido amplamente utilizada em áreas remotas, ilhas e comunidades isoladas. Um exemplo é a ilha de Ta'u, em Samoa Americana, que em 2016 se tornou 100% alimentada por energia renovável, incluindo energia eólica *off-grid*. [1]

Além disso, em países como a Índia e o Nepal, o uso de turbinas eólicas *off-grid* tem sido uma solução eficaz para fornecer electricidade em áreas rurais e remotas. Um estudo publicado em 2021 pela *Energies* destaca a eficácia das turbinas eólicas *off-grid* combinadas com sistemas de armazenamento de energia para fornecer electricidade confiável e sustentável em áreas remotas.

No entanto, o estudo também destaca a necessidade de políticas e regulamentações favoráveis, bem como o acesso a financiamento e tecnologias de baixo custo para expandir o uso da energia eólica *off-grid* em todo o mundo.

2.4.1 Geração de energia eólica off-grid em Moçambique:

Há escassez de referências de utilização de energia eólica *off-grid* em Moçambique. No entanto, um artigo publicado em 2015 pelo *International Journal of Renewable Energy Research (IJRER)* destaca o potencial da energia eólica para fornecer electricidade em áreas remotas do país. [23]

O estudo sugere que o uso de turbinas eólicas combinado com sistemas de armazenamento de energia pode ser uma solução eficaz para fornecer electricidade em áreas onde a rede eléctrica não está disponível. Entretanto, o estudo também destaca os desafios que precisam ser superados, como a falta de infra-estrutura e a falta de conhecimento e capacitação técnica local.

2.5 Potencial actual e utilização da energia eólica no mundo

Historicamente, os precursores Estados Unidos, Alemanha, Holanda e Dinamarca se mantiveram por bastante tempo entre os maiores geradores de energia eólica, porém como mostra a Figura 5, no final dos anos 90, outros países se apresentaram como novas potências no sector eólico, como Índia e Espanha, que se mantêm em destaque até hoje.

A entrada da China na economia de mercado a partir da década de 1990 impulsionou fortemente a sua economia, e junto com ela a necessidade de expansão da matriz energética. [4]

A figura abaixo representa a evolução mundial da capacidade eólico-eléctrica até os anos 2000.

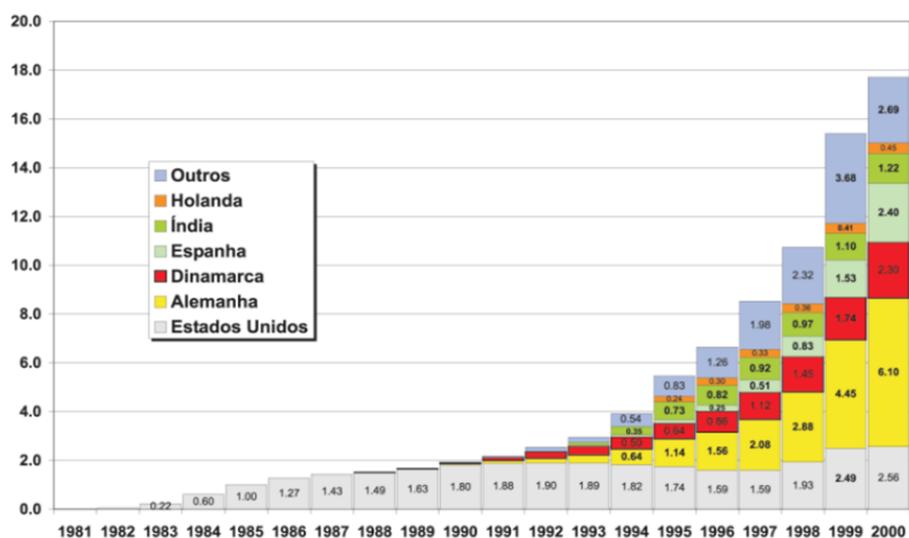


Figura 5: Evolução mundial da capacidade eólico-elétrica em GW até os anos 2000. [4]

Em 2005 o Congresso chinês aprovou uma lei de incentivo a produção de energia eléctrica de fontes renováveis. Em 2008, pelo menos 15 empresas chinesas já produziam turbinas eólicas, lançando de vez a China no mapa do sector. Hoje é a maior geradora de energia eólica do mundo e continua crescendo em larga escala.

Os EUA ainda se mantêm em constante crescimento, ano após ano, mesmo sendo ainda uma grande referência no sector eólico mundial, seguido por Alemanha e Índia.

A Índia também obteve grandes incentivos governamentais que irão se extinguir em 2019, enquanto isso sua matriz segue se expandindo.

De acordo com dados actualizados até 2021, a capacidade instalada de energia eólica em todo o mundo é de aproximadamente 743 gigawatts (GW). Isso representa uma fonte significativa de energia renovável e tem sido uma área em constante crescimento nos últimos anos. Países como a China, os Estados Unidos, a Alemanha e a Índia estão entre os líderes na utilização da energia eólica para gerar electricidade. O potencial total da energia eólica é ainda maior, pois há regiões com ventos fortes e constantes que ainda não foram completamente exploradas.

2.5.1 Potencial eólico em Moçambique

Moçambique tem um grande potencial eólico, especialmente nas áreas costeiras e em algumas regiões do interior. A velocidade média do vento na costa moçambicana é de cerca de 5,5 a 6,5 metros por segundo a 10 metros de altitude, o que é considerado adequado para a instalação de turbinas eólicas. [8]

De acordo com um estudo realizado pela Universidade Eduardo Mondlane em Maputo, estima-se que o potencial eólico de Moçambique seja superior a 4.000 MW. Esse potencial está distribuído em várias regiões do país, com destaque para as províncias de Cabo Delgado, Nampula, Sofala e Inhambane. [23]

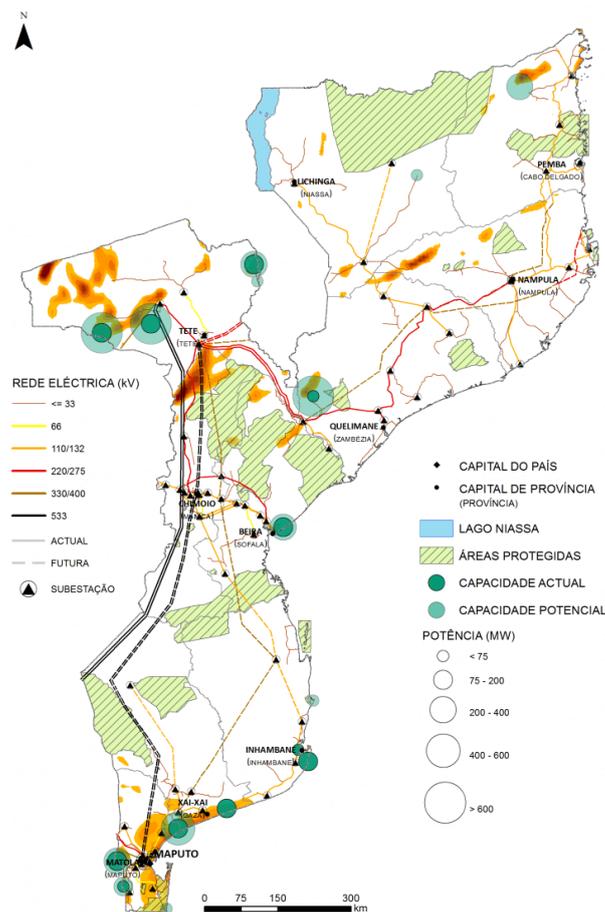


Figura 6: Mapa de potencial de projectos eólicos. Fonte: [8]

No entanto, apesar do grande potencial eólico de Moçambique, actualmente apenas uma pequena fracção da capacidade instalada de geração de energia eléctrica do país é proveniente de fontes renováveis, incluindo a energia eólica. O governo tem promovido

a diversificação da matriz energética e incentivado a instalação de usinas de energia eólica para aproveitar esse potencial e reduzir a dependência do país de fontes de energia fósseis, como o carvão e o petróleo.

Os melhores projectos podem ser competitivos com a geração convencional. O recurso favorável e a proximidade à rede permitem produzir energia eléctrica em vários locais, sendo possível nos melhores locais e com estratégias de financiamento adequadas obter valores competitivos com as energias convencionais.

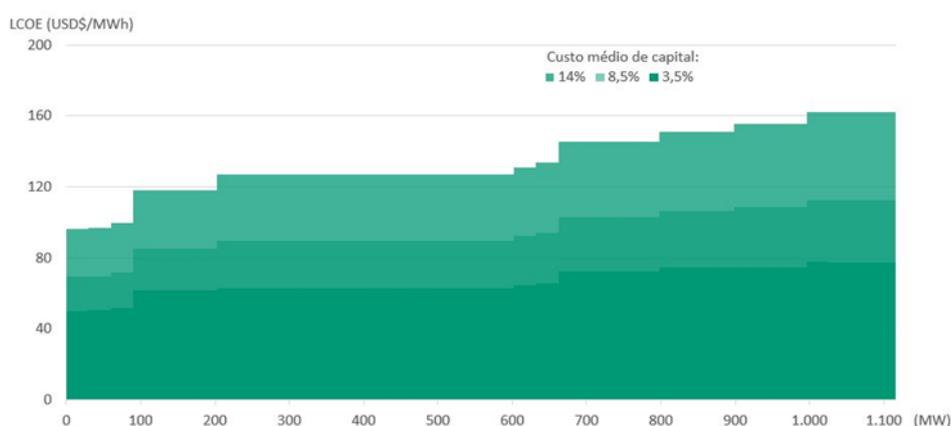


Figura 7: Custo nivelado da energia dos projectos eólicos, Fonte: [8]

2.5.2 Potencial eólico na província de Inhambane

A província de Inhambane, situada na costa sul de Moçambique, tem um grande potencial eólico devido à sua localização geográfica favorável. A região é caracterizada por ventos fortes e constantes, principalmente durante a estação seca, o que a torna ideal para a geração de energia eólica.

De acordo com estudos realizados, estima-se que a velocidade média do vento na província de Inhambane seja de cerca de 6,5 a 7 metros por segundo à altura de referência, o que é considerado ideal para a instalação de turbinas eólicas. Além disso, a costa de Inhambane é caracterizada por um perfil topográfico plano, o que facilita a instalação de turbinas eólicas em grandes áreas. [8]

Actualmente, a província de Inhambane conta com algumas iniciativas de geração de energia eólica em pequena escala, como a instalação de turbinas eólicas em escolas e

hospitais. No entanto, ainda há muito potencial a ser explorado na região para a geração de energia limpa e sustentável.

2.6 Turbinas eólicas

As turbinas eólicas ou aerogeradores são equipamentos que transformam a energia cinética do vento em energia eléctrica. As turbinas eólicas podem ser separadas em dois tipos básicos, pelo modo que a turbina gira. Ela pode girar com base no eixo horizontal, HAWT (*Horizontal Axis Wind Turbine*), ou pode girar com base num eixo vertical, VAWT (*Vertical Axis Wind Turbine*).

As turbinas eólicas também podem ser classificadas pelo seu tamanho e finalidade. Cada tamanho se adequa a um tipo de aplicação:

- Pequeno porte (≤ 100 kW) é indicado para uso residencial, fazendas ou sistemas isolados, os sistemas isolados utilizam normalmente alguma forma de armazenamento da energia gerada, este armazenamento pode ser feito pela utilização de baterias, caso for utilizado em aparelhos eléctricos, ou ainda na forma de energia potencial gravitacional, como é o caso em algumas quintas;
- Médio porte (100 kW- 2 000 KW) é indicado em uma geração de energia distribuída ou sistemas híbridos. Os sistemas híbridos são desconectados da rede convencional, e apresentam outras fontes de geração de energia, estes sistemas são mais complexos e exigem sistema de controlo para que haja uma maximização da eficiência na entrega de energia;
- Grande porte ($> 2\,000$ kW) é indicado em geração de energia distribuída ou quintas eólicas que apresentam grande número de turbinas eólicas com um sistema interligado a rede eléctrica, embora em alguns casos pode-se utilizar turbinas eólicas de grande porte em um sistema híbrido;

As turbinas eólicas podem ainda ser classificadas pelo número de pás: Monopá, Bipá, Tripá ou Multipá. O número de pás influencia na eficiência da mesma, um menor número de pás consiste em uma maior eficiência, entretanto perde-se estabilidade, normalmente utiliza-se o Tripá.

Por último, as turbinas eólicas podem ser classificadas pela orientação do vento:

- *Upwind*, quando o vento incide pela parte frontal da turbina, eles precisam de um sistema de guinada (*yaw*) para fazer a correcção da direcção do vento;
- *Downwind*, quando o vento incide pela parte traseira da turbina, sua principal vantagem é não precisar de um sistema de guinada (*yaw*), pois o rotor pode ser flexível e auto orientado.

2.6.1 Turbina eólica de eixo vertical (VAWT)

Os aerogeradores de eixo vertical têm a vantagem de não necessitarem de mecanismos de acompanhamento para variações da direcção do vento, o que reduz a complexidade do projecto e os esforços devido às forças de Coriolis. Os rotores de eixo vertical também podem ser movidos por forças de sustentação (*lift*) e por forças de arrasto (*drag*). Os principais tipos de rotores de eixo vertical são Darrieus, Savonius e turbinas com torre de vórtices.

Os rotores do tipo Darrieus são movidos por forças de sustentação, tendo assim uma melhor eficiência do que a do tipo Savonius, podendo atingir 40% de eficiência em ventos fortes, é constituída por duas ou três lâminas curvas (como as de um helicóptero) de perfil aerodinâmico, atadas pelas duas pontas ao eixo vertical. Como observado na figura 8.



Figura 8: Turbina de eixo vertical do tipo Darrieus. Fonte: [10]

O rotor do tipo Savonius é um dos mais simples, confiável, e aerodinamicamente é movido principalmente pela força de arrasto do ar, ele consiste em duas ou três cavidades tendo um formato de “S” quando olhando por uma visão superior, sua maior eficiência se dá em ventos fracos e pode chegar a 20%, devido a sua simplicidade elas são mais baratas e começam a girar em velocidades mais baixas que os outros tipos de aerogeradores. Como observado na figura 9.

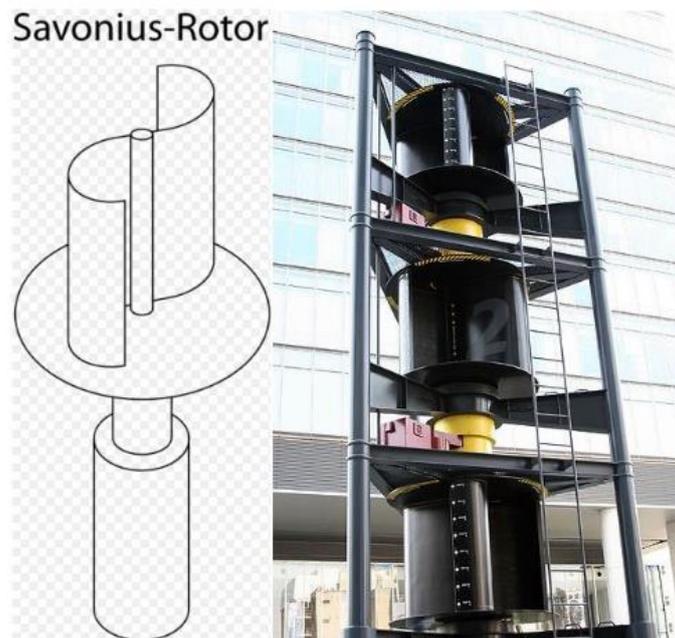


Figura 9: Aerogerador de eixo vertical do tipo Savonius. Fonte [10]

Tem-se também os aerogeradores de eixo vertical do tipo Giromill, ele é um subtipo da turbina Darrieus com lâminas rectas em vez de curvas, como observado na figura 10. Eles apresentam passo variável para reduzir a pulsação do torque. As vantagens de um passo variável são: um torque de partido elevado, uma curva de torque relativamente ampla e com uma melhor eficiência. Operam de forma eficiente com ventos turbulentos, as velocidades das lâminas são inferiores o que reduz a tensão de flexão da lâmina.



Figura 10: Aerogerador de eixo vertical do tipo Giromil. Fonte: [10]

As principais vantagens de turbinas de eixo vertical são:

- Não precisam de um sistema que ajuste a direção do vento, assim diminuindo o custo de produção, montagem e manutenção;
- Possuem a habilidade de tirar vantagem com ventos turbulentos e rajadas, o mesmo não acontece com os horizontais, em fato essas situações ainda aceleram a fadiga dos horizontais;
- Maior facilidade de manutenção de seus componentes devido a proximidade do solo;
- Podem ser instalados de forma mais agrupada nos parques eólicos, assim não precisando de tanto espaço, podem ainda ser instalados em baixo dos horizontais existentes assim aumentando a eficiência do parque;

As principais desvantagens de turbinas de eixo vertical são:

- Apresentam uma menor eficiência quando comparada com as de eixo horizontal;

- As torres de sustentação são mais baixas, assim não se beneficiam de ventos de maior velocidade;
- Cargas aerodinâmicas cíclicas, que induzem a fadiga.

2.6.2 Turbina eólica de eixo horizontal (HAWT)

As turbinas eólicas de eixo do tipo horizontal são os mais comuns, grande parte da experiência mundial está voltada para a sua utilização, são mais conhecidos e utilizados devido a sua maior eficiência, a cada 10 m de altura a velocidade do vento pode aumentar em até 20% e o potencial eólico em 34%, assim compensam o seu maior custo. Pode-se observar um exemplo na figura 11.

Ele é movido por forças aerodinâmicas chamadas de forças de sustentação (*lift*) e forças de arrasto (*drag*). Quando um elemento obstrui o movimento do vento ele sofre a acção de forças que atuam perpendicularmente ao escoamento (forças de sustentação) e de forças que atuam na direcção do escoamento (forças de arrasto). Ambas são proporcionais ao quadrado da velocidade relativa do vento. As forças de sustentação são dependentes da geometria do corpo e do ângulo de ataque (formado entre a velocidade relativa do vento e o eixo do corpo).

Os rotores que giram predominantemente sob o efeito de forças de sustentação permitem liberar muito mais potência do que aqueles que giram sob o efeito de forças de arrasto, para uma mesma velocidade de vento. Os rotores de eixo horizontal ao longo do vento (aerogeradores convencionais) são predominantemente movidos por forças de sustentação, por isso eles devem possuir um mecanismo para o ajuste da orientação.

Construtivamente, as pás podem ter as mais variadas formas e empregar os mais variados materiais. Em geral, utilizam-se pás rígidas de madeira, alumínio ou fibra de vidro reforçada.



Figura 11: Turbina eólica de eixo horizontal. Fonte: [10]

Quanto à posição do rotor em relação à torre, o disco varrido pelas pás pode estar à jusante do vento (*downwind*) ou a montante do vento (*upwind*). Sistemas *upwind* devem possuir um sistema de guinada (*yaw*), enquanto a orientação realiza-se automaticamente nos sistemas *downwind*.

Os rotores mais utilizados para geração de energia eléctrica são os de eixo horizontal do tipo hélice, normalmente compostos de 3 pás ou em alguns casos (velocidades médias muito altas e possibilidade de geração de maior ruído acústico) 1 ou 2 pás.

Os principais componentes da turbina de eixo horizontal são:

- **Rotor:** as pás do rotor recebem o vento e converte a energia cinética em energia mecânica de rotação que é transmitido para o eixo;
- **Eixo:** faz a transmissão da rotação entre o rotor e a caixa multiplicadora;
- **Caixa multiplicadora:** Aumenta a rotação do eixo entre o Bosso (HUB) do rotor e o gerador;
- **Nacele:** é a carcaça de protecção montada sobre a torre, onde se situam o gerador, caixa multiplicadora, controladores e eixo;
- **Gerador:** é responsável pela transformação de energia mecânica em energia eléctrica;
- **Torre:** é responsável pela sustentação de todos os outros componentes ao solo;

Vantagens das turbinas de eixo horizontal:

- Maior eficiência na conversão de energia cinética do vento em electricidade;
- Disponibilidade comercial ampla, com cadeia de suprimentos estabelecida e serviços de manutenção;
- Melhor adaptabilidade a ventos constantes e direccionais.

Desvantagens das turbinas de eixo horizontal:

- Necessidade de sistemas complexos de orientação para ajustar a posição das turbinas de acordo com a direcção do vento;
- Impacto visual significativo e ocupação de espaço devido ao tamanho e altura das turbinas;
- Menor adaptabilidade a ventos variáveis e turbulentos.

CAPÍTULO 3: CONTEXTUALIZAÇÃO

3.1 Caracterização do local de implantação do projecto

O distrito de Inhassoro, esta localizada na província de Inhambane, em Moçambique. Faz fronteira ao norte com o distrito de Govuro, ao sul com o distrito de Maxixe e ao oeste com o Oceano Índico.

O distrito de Inhassoro tem uma superfície de aproximadamente de 6.000 Km² e de acordo com os dados disponíveis no Instituto Nacional de Estatística (INE) até 2021, a população estimada de Inhassoro era de aproximadamente 61.699 habitantes, tendo como resultado uma densidade populacional de 10,5 habitantes/Km².

Inhassoro tem um clima tropical, com duas estações principais. A estação chuvosa ocorre de Novembro a Março, com altos níveis de precipitação. A estação seca vai de Abril a Outubro, caracterizada por temperaturas mais amenas e menos chuva. Geralmente, em áreas costeiras como Inhassoro, a umidade é relativamente alta devido à influência do oceano e as temperaturas médias tendem a ser moderadas, com poucas variações significativas ao longo do ano. Durante a estação chuvosa, que ocorre entre Novembro e Março, as temperaturas podem ser um pouco mais altas, variando entre 25°C e 30°C.



Figura 12: Localização geográfica do distrito de Inhassoro. Fonte: [9]

No distrito de Inhassoro, apenas 9,5% dos agregados familiares beneficiam directamente de electricidade.

A maioria dos habitantes deste distrito usam carvão, lenha e gás como fonte energia. Essas fontes de energia são frequentemente utilizadas para suprir as necessidades energéticas das comunidades, especialmente nas áreas rurais onde o acesso à eletricidade é limitado.

O carvão e a lenha são amplamente utilizados para a cocção de alimentos, aquecimento doméstico e atividades industriais. Infelizmente, o uso dessas fontes de energia tradicionais tem implicações ambientais, como a liberação de gases de efeito estufa e a degradação florestal devido à extração de lenha.

De acordo com um estudo realizado pelo governo de Moçambique em 2014, a província de Inhambane apresenta um potencial médio de vento de 6,5 metros por segundo (m/s) a 10 metros de altura, com picos de até 10 m/s em algumas áreas. Essa velocidade é considerada ideal para a instalação de turbinas eólicas de médio e grande porte.

Com os recursos apresentados nas estatísticas, o distrito de Inhassoro tem potencial para a instalação de sistemas eólicos.

3.2 Dados relativos ao número de agregados

Baseando-se nos dados do INE (2021), o distrito de Inhassoro possui um total de 61.699 de habitantes. No bairro de Chibamo, onde pretende-se fazer a instalação do sistema, localizado no distrito de Inhassoro tem cerca de 9.5% da população do distrito, o que corresponde a 5 862 habitantes.

De acordo com os mesmos dados os agregados do bairro de Chibamo são em média, constituídos por 6 membros. Sendo assim, pode-se determinar o número de agregados pela Equação (1):

$$N_A = \frac{N_h}{6} \quad (1)$$

$$N_A = \frac{5\,862}{6} \approx 977$$

Onde N_A e N_h São os números de agregados e de habitantes, respectivamente.

3.3 Estimativa da demanda de energia no distrito de Inhassoro

A estimativa da demanda de energia é fundamental para o planeamento adequado do sistema energético de um país, região ou sector específico. Com base nessa estimativa, é possível determinar a capacidade necessária de geração, transmissão e distribuição de energia, bem como o dimensionamento de infra-estruturas e investimentos futuros.

Normalmente, quando há acesso à energia, utiliza-se para os seguintes fins:

- Lâmpadas;
- Televisão;
- Congelador;
- Energia para carregamento de telefones móveis; e
- Aparelhos de som.

A tabela a seguir apresenta os equipamentos frequentemente usados no distrito de Inhassoro com os respectivos valores da potência média.

Tabela 2: Indicação das potências médias dos itens. Fonte: [Adaptado pela Autora].

Aparelho / Item	Potência média (W)
Televisão	150
Geladeira	250
Congelador	300
Lâmpada incandescente	60
Chaleira eléctrica	1.000
Microondas	2.000
Fogão eléctrico de 2 bocas	3.000
Telefone móvel	3

Computador	300
DVD player	30
Ferro-de-engomar	1.000
Termoacumulador	2.000
Aparelho de ar-condicionado	1.400
Coluna de som	100
Ventoinha	100

Para este dimensionamento, tem-se em conta que os agregados poderão, ao longo do tempo, usar os itens apresentados na Tabela 2, ou seja, tem-se em conta a evolução económica da população com tempo.

Desta forma, tem-se o seguinte balanço energético:

$$P_{T/A} = \sum_{i=1}^n Q_i P_i \text{ (W)} \quad (2)$$

Onde:

$P_{T/A}$ – Potência total por agregado sem acesso a energia (W)

P_i – Potência de cada item tabelado (W)

Q_i – Quantidade média de cada item tabelado, de acordo com a tabela 2.

Tabela 3: Indicação das quantidades dos itens e dos seus respectivos consumos diários.
Fonte: [Adaptado pela Autora].

Aparelho/Item	Quant.	Pot. Média (W)	Uso por dia (horas)	Consumo (wh)	
				Unitário	Total
Televisão	1	150	6	900	900
Geladeira	1	250	24	6.000	6.000
Congelador	1	300	24	7.200	7.200
Lâmpada incandescente	6	60	8	480	2.880
Chaleira eléctrica	1	1.000	1	1.000	1.000

Microondas	1	2.000	1	2.000	2.000
Fogão eléctrico de 2 bocas	1	3.000	3	9.000	9.000
Telefone móvel	4	3	4	12	48
Computador	1	300	4	1.200	1.200
DVD player	1	30	2	120	120
Ferro-de-engomar	1	1.000	1	1.000	1.000
Termoacumulador	1	2.000	24	48.000	48.000
Aparelho de ar-condicionado	1	1.400	5	7.000	7.000
Coluna de som	2	100	2	200	400
Ventoinha	2	100	4	400	800

Para melhor estimativa da demanda neste contexto, são combinados os dados da Tabela 2, que mostra os valores de potência dos equipamentos, com a Equação 2 para ter-se uma demanda horária. A tabela abaixo mostra o resultado desta combinação:

Tabela 4. Demanda. Fonte: [Adaptado pela Autora].

Valores em watt			
Horas	Demanda /Agr	Demanda/Bairro	Valores em kW
1	682	666.314	666,314
2	682	666.314	666,314
3	782	764.014	764,014
4	2.910	2.843.070	2.843,07
5	2.910	2.843.070	2843,07
6	2.550	2.491.350	2.491,35
7	4.550	4.445.350	4.445,35
8	4.550	4.445.350	4.445,35
9	4.692	4.584.084	4.584,084
10	4.692	4.584.084	4.584,084

11	4.692	4.584.084	4.584,084
12	4.692	4.584.084	4.584,084
13	4.692	4.584.084	4584,084
14	2.830	2.764.910	2.764,91
15	2.830	2.764.910	2.764,91
16	2.830	2.764.910	2.764,91
17	5.132	5.013.964	5.013,964
18	6.232	6.088.664	6.088,664
19	6.232	6.088.664	6.088,664
20	6.232	6.088.664	6.088,664
21	6.232	6.088.664	6.088,664
22	832	812.864	812,864
23	832	812.864	812,864
24	682	666.314	666,314

Os valores da demanda por agregado na segunda coluna da tabela acima mostram a potência horária por unidade de família e os valores da demanda por bairro são obtidos considerando o total de agregado no bairro de Chibamo.

Da Tabela 4, resulta a estimativa da demanda apresentada no gráfico abaixo.

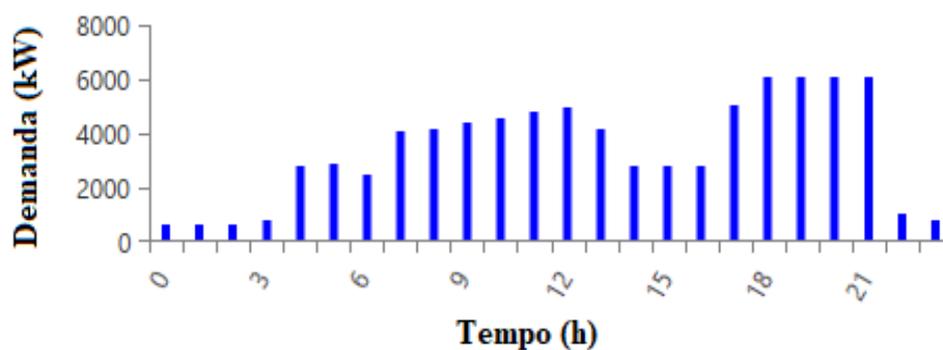


Figura 13: gráfico da demanda. Fonte [HomerPro]

De acordo com o gráfico acima, pode se observar que o período de maior utilização de energia nas residências (período pico) é das 17 horas às 21 horas.

Pode-se constatar, com base no gráfico, que a demanda pico é de 6.1 MW. Assim sendo, toma-se como coeficiente de segurança de 10%, visto que a fonte eólica é instável, o que resulta no valor de 6.8 MW de capacidade produtível para o consumo.

CAPÍTULO 4: METODOLOGIA DE RESOLUÇÃO DO PROBLEMA

A metodologia proposta para o desenvolvimento do sistema off-grid de geração de energia eólica no distrito de Inhassoro, consiste nas seguintes etapas:

- **Análise do potencial eólico da região de Inhambane:** A primeira etapa envolve a colecta de dados sobre as condições do vento no distrito de Inhassoro em Inhambane. Isso pode ser feito por meio de medições de velocidade e direcção do vento, usando equipamentos apropriados. Com base nos dados colectados, é possível avaliar o potencial eólico da região e identificar as áreas mais adequadas para a instalação das turbinas eólicas.
- **Dimensionamento do Sistema:** Nesta etapa é feita a colecta de dados do vento, a estimativa da carga eléctrica, a escolha da turbina eólica adequada e o dimensionamento do sistema de armazenamento (baterias).
- **Avaliação de impactos ambientais e sociais:** A implantação do sistema off-grid de geração de energia eólica em Inhambane pode ter impactos ambientais e sociais significativos. Nesta etapa, será realizado um estudo para avaliar os impactos potenciais do projecto e identificar medidas para mitigar esses impactos. Será necessário considerar questões como a protecção da biodiversidade local, a segurança da população e a preservação das tradições culturais.

Com base nessas etapas, será possível desenvolver uma proposta de sistema off-grid de geração de energia eólica em Inhambane que leve em consideração os aspectos técnicos, económicos, ambientais e sociais do projecto.

4. Dimensionamento do sistema

4.1 Escolha da turbina eólica

A escolha do tipo da turbina a ser usada no sistema de geração de energia, corresponde uma etapa determinante do projecto, visto que a escolha não adequada da turbina afecta negativamente o sistema em termos de, primeiro, não suprir a demanda de energia (se a geração for menor que a demanda), segundo, pode sobredimensionar o sistema, elevando consideravelmente os custos. Por último, em termos de tempo de vida útil do sistema, pois a resistência mecânica, a resistência a corrosão e outras especificações

podem não ser adequadas em um determinado local. Por esta razão, uma análise detalhada de parâmetros-chave da turbina precisa ser feita.

Os parâmetros de análise a ser considerados para a escolha da turbina, são: Potência, tempo de vida útil, eficiência, custos e resistências.

Para avaliação da potência, tomou-se como referência o catálogo das turbinas eólicas do aplicativo informático HOMER Pro.

Do catálogo, foram extraídos três (3) modelos de turbinas mais usados mundialmente, devido a sua aplicabilidade em diversos locais, a saber: **Enercon, Vestas e Leitwind**. É importante salientar a existência de outros modelos também usados mundialmente, no entanto, os três apresentados acima são os que convergem maior número de vantagem para aplicação neste sistema.

4.1.1 Potência e tempo de vida útil

De acordo com o catálogo, a classificação dos modelos das turbinas em relação a potência, é apresentada na tabela abaixo.

Tabela 5. Potência e tempo de vida útil. Fonte: [12]

Turbina	Tempo de vida útil (anos)	Potência em kW		
		Pequeno porte	Médio porte	Grande porte
Enercon	20	50 - 100	800 – 2.000	2.000 – 7.580
Vestas	20	X	660 – 1.650	X
Leitwind	20	X	800 – 2.000	2.000 – 3.000

Na Tabela 5, são apresentados os valores de potência das turbinas dos modelos em causa. É importante observar que as potências apresentadas são as que estão disponíveis no catálogo do HOMER Pro dentro dos limites da classificação. Relativamente ao tempo de vida útil, observa-se uma média de 20 anos em todos os modelos.

Por último, observa-se também que o modelo Enercon apresenta maior abrangência em termos de potência, isto é, tem maior disponibilidade para geração de energia, desde pequeno ao grande porte.

4.1.2 Eficiência das turbinas

A eficiência energética das turbinas eólicas pode variar amplamente entre diferentes fabricantes e modelos. Com base na referência geral das eficiências energéticas das turbinas *Enercon*, *Vestas* e *Leitwind* de pequeno, médio e grande porte, é importante notar que os valores específicos podem variar dependendo das tecnologias e modelos exactos de cada fabricante. [12]

De acordo com a informação fornecida pelo catálogo de cada fabricante, eis os dados de algumas estimativas aproximadas das eficiências energéticas para cada porte:

Turbinas Enercon:

- Pequeno porte: eficiência média de 30% a 35%.
- Médio porte: eficiência média de 35% a 40%.
- Grande porte: eficiência média de 40% a 45%.

Turbinas Vestas:

- Pequeno porte: eficiência média de 30% a 35%.
- Médio porte: eficiência média de 35% a 40%.
- Grande porte: eficiência média de 40% a 45%.

Turbinas Leitwind:

- Pequeno porte: eficiência média de 30% a 35%.
- Médio porte: eficiência média de 35% a 40%.
- Grande porte: eficiência média de 40% a 45%.

Essas estimativas são aproximadas e podem variar dependendo de vários factores, como as condições do vento, design da turbina e especificações técnicas individuais.

Nota: É importante ressaltar que a eficiência energética é uma medida da capacidade de converter a energia cinética do vento em energia eléctrica. As eficiências podem diferir entre modelos e até mesmo dentro da mesma categoria de porte.

4.1.3 Preço das turbinas eólicas

Ao considerar o preço das turbinas eólicas, é essencial levar em conta a potência e a velocidade do vento. Esses dois factores têm um impacto directo no custo das turbinas e na sua capacidade de gerar energia.

A potência de uma turbina eólica é um indicador da sua capacidade de geração de energia. Turbinas com maior potência são capazes de produzir mais electricidade a partir dos ventos. No entanto, essa potência adicional geralmente resulta em um preço mais elevado devido aos maiores custos de fabricação e tecnologia envolvidos.

A velocidade do vento é um factor crítico, pois as turbinas eólicas são projectadas para operar em determinadas faixas de velocidade. Turbinas projectadas para ventos mais fortes e constantes podem ter um preço maior, por outro lado, as turbinas eólicas projectadas para áreas com ventos mais suaves podem ter um preço mais acessível.

De acordo com a análise feita, pode-se observar na tabela abaixo, o preço das turbinas eólicas, a variação da potência e velocidade do vento da mesma, de acordo com a informação dos fabricantes.

Tabela 6: Análise dos preços das turbinas eólicas. Fonte [12].

	Modelo da turbina	Potencia (kW)	V_a (m/s)	V_n (m/s)	V_d (m/s)	Preços (Euros)
Enercon	E-101 E2	3.500	2	15	25	165.000,00
	E-53	800	3	12	34	176.657,00
	E-32	300	3	11.5	25	20.000,00
	E-66	1.500	3	12,5	25	160.000,00
	E-16	55	3	12	25	74.000,00

Leitwind	LTW101 / 2 MW	2.000	3	11	25	325.000,00
	LTW101 /2,5 MW	2.500	3	12	25	433.783, 00
	LTW 90	1.000	3	11	25	160.000,00
Vestas	V47	660	4	15	25	113.669,85
	V82	1.500	3	13	25	170.000
	V80	2.000	4	16	25	410.000

Onde:

V_a – Velocidade de accionamento

V_n – Velocidade de vento nominal

V_d – Velocidade de desligamento

Abaixo apresenta-se gráfico que mostra a variação de custos com potência para as turbinas do modelo *Leitwind*:

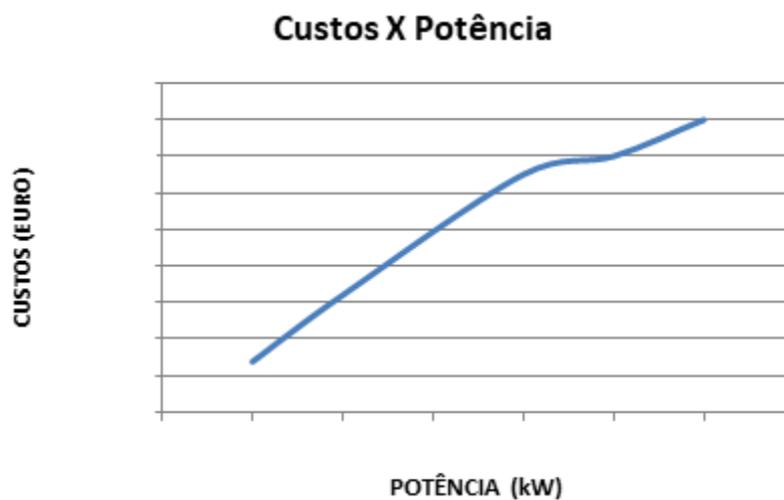


Figura 14: Relação custo e Potência da turbina Leitwind. Fonte: [12]

Como pode se observar no gráfico acima, os custos das turbinas da marca *LeitWind* crescem com a potência, ou seja, com a capacidade de geração das turbinas, fazendo da relação com tendência linear.

Da mesma forma, apresenta - se abaixo a mesma avaliação para as turbinas Vesta e Enercon.

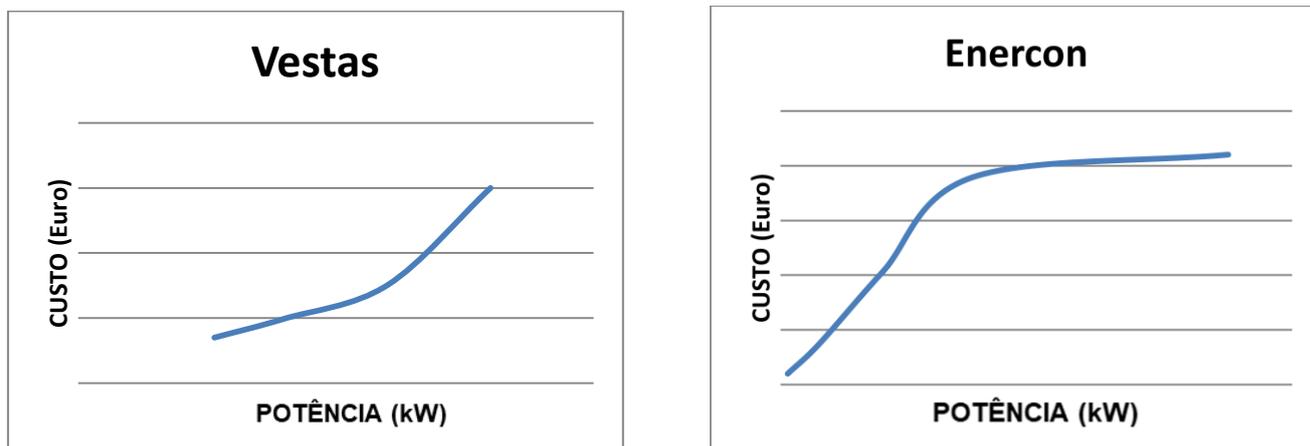


Figura 15: Relação Custo e Potência das turbinas Vestas e Enercon. Fonte: [12]

Pode se observar que as turbinas Vestas, apresentam uma variação do custo menor para baixas potências, o que torna esta turbina indicada para a geração de pequeno porte. Em contrapartida, as turbinas Enercon, apresentam menor variação do preço para geração de grande porte.

Com base nos dados obtidos, pode-se observar que as turbinas Leitwind e Vestas são mais adequadas para geração de pequeno e médio porte devido a baixa variação de custos nesse intervalo. Por outro lado, as turbinas Enercon se destacam em projectos de pequeno, médio e grande porte, entretanto com maior ênfase na faixa médio e grande porte pois devido a baixa variação de custos nesse intervalo. Essa diferenciação torna as turbinas Enercon uma escolha mais vantajosa em termos de preço para projectos de media e grande escala.

Assim sendo, irá se utilizar as turbinas da Enercon, modelo E-101 E2 / 3,5 MW para o dimensionamento do projecto em curso, devido a sua elevada eficiência e o seu baixo custo.

Na tabela abaixo, encontra-se especificações da turbina escolhida, acerca da potência e do rotor da turbina Enercon: E-101 E2 / 3,5 MW.

Tabela 7: Especificações da Potência da turbina Enercon. Fonte:[12]

Potência	
Potência nominal	3.500 kW
Velocidade de accionamento do vento	2.0 m/s
Velocidade nominal do vento	15.0m/s
Velocidade de desligamento do vento	25.0 m/s
Zona do vento (DIBt)	IV
Classe de vento (IEC)	Ia

Tabela 8: Especificações do rotor da turbina Enercon. Fonte [12]

Rotor	
Diâmetro	101.0 m
Área varrida	8,012 m ²
Número de lâminas	3
Velocidade do rotor, máx.	14.5 U/min
Velocidade de ponta	77 m/s
Material	GFRP
Fabricante	Enercon
Densidade da potência 1	436.8 W/m ²
Densidade da potência 2	2.3 m ² /kW
Altura da torre	74 m

Nota: A distância de separação das turbinas é de 233 m, considerando o diâmetro do rotor.

Com base na informação obtida pelo fabricante, pode-se encontrar a velocidade do vento a uma altura de 74m e o número de turbinas necessárias correspondente a demanda de 6,8 MW, pelas seguintes formas:

$$V_2 = V_1 \times \left(\ln \left(\frac{h_2}{z_0} \right) / \ln \left(\frac{h_1}{z_0} \right) \right) \quad (3)$$

Onde:

V_2 é a velocidade do vento na altura desejada,

V_1 é a velocidade do vento em uma altura de referência (6,5 m/s),

h_2 é a altura desejada (74m),

h_1 é a altura de referência (10m),

z_0 é o comprimento de rugosidade (0,003).

$$V_2 = 6,5 \times \left(\ln \left(\frac{74}{0,003} \right) / \ln \left(\frac{10}{0,003} \right) \right) = 8,1 \text{ m/s}$$

A velocidade a altura de 74m é de 8,1m/s, assim sendo a potência será de 1,175 MW.

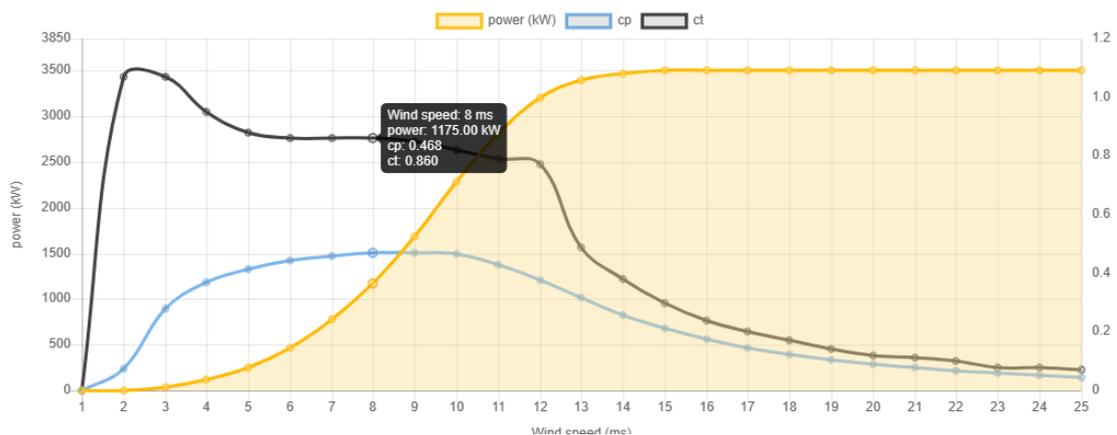


Figura 16: A Potência na velocidade de 8,1m/s da turbina da Enercon, modelo E-101 E2 / 3,5 MW. Fonte [12]

$$P \times N_t = Demanda \quad (4)$$

Onde:

P é a potencia (1,175 MW),

N_t é o numero de turbinas desejadas

$$1,175 \times N_t = 6,8$$

$$N_t = \frac{6,8}{1,175} = 5,7 \approx 6$$

Será necessário 6 turbinas da Enercon: E-101 E2, para suprir a demanda dos agregados do bairro de Chibamo. Deste modo, é possível obter a capacidade instalada (P_{in}), que é basicamente o limite de produção de um sistema de produção de energia.

$$P_{in} = N_t \times P_t \quad (5)$$

$$P_{in} = 6 \times 3,5 = 21 \text{ MW}$$

Abaixo segue a ilustração das características de geração da turbina Enercon acima mencionada:

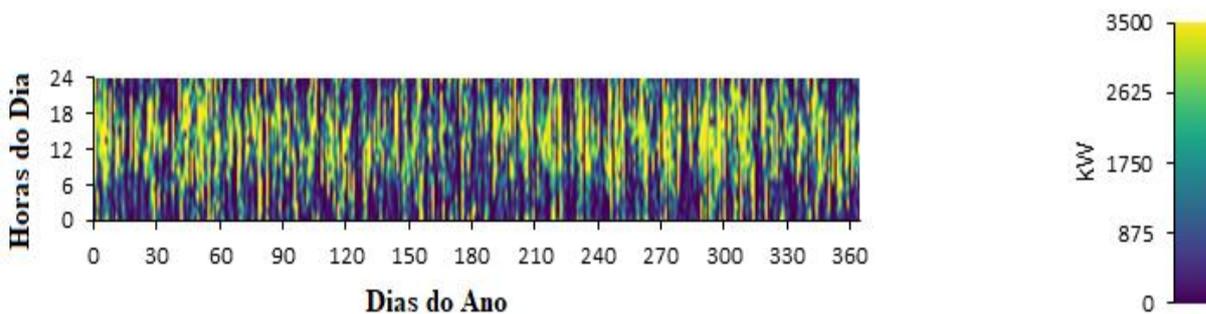


Figura 17: Ilustração das características de geração da turbina Enercon. Fonte: [HomerPro].

4.2 Sistema de armazenamento de energia

Um sistema de armazenamento de energia é um conjunto de tecnologias e equipamentos projectados para armazenar energia eléctrica gerada por fontes renováveis ou durante períodos de baixa demanda para uso posterior. Ele desempenha um papel crucial na integração de fontes intermitentes de energia, como solar e eólica, ao sistema eléctrico, permitindo o equilíbrio entre a geração e a demanda de energia.

Os sistemas de armazenamento de energia podem armazenar a energia em diferentes formas, como electricidade, energia potencial, energia química, energia térmica, entre outras.

Alguns dos tipos mais comuns de sistemas de armazenamento de energia são:

- 1) **Baterias:** São dispositivos que armazenam energia em formato químico e a convertem em electricidade quando necessário. As baterias de íons de lítio são amplamente utilizadas devido à sua eficiência, alta densidade de energia e capacidade de ciclagem profunda.
- 2) **Armazenamento hidreléctrico:** Envolve o uso de reservatórios de água em diferentes altitudes. A energia eléctrica é armazenada convertendo-a em energia potencial gravitacional, que é liberada quando a água flui do reservatório superior para o inferior, accionando turbinas e gerando electricidade.
- 3) **Armazenamento térmico:** Consiste em armazenar energia térmica em materiais como sais fundidos, água aquecida ou rochas. Essa energia térmica é então convertida em electricidade usando turbinas de vapor ou trocadores de calor.
- 4) **Armazenamento de ar comprimido:** Nesse sistema, a energia eléctrica é usada para comprimir o ar e armazená-lo em reservatórios subterrâneos ou tanques. Quando a energia é necessária, o ar comprimido é liberado e utilizado para accionar turbinas e gerar electricidade.
- 5) **Armazenamento químico:** Envolve a conversão da energia eléctrica em energia química por meio de reacções electroquímicas. Isso inclui sistemas como células de combustível, onde a electricidade é gerada por meio de reacções entre hidrogénio e oxigénio.

Os sistemas de armazenamento de energia desempenham um papel fundamental na estabilização da rede eléctrica, permitindo o gerenciamento eficiente da oferta e da

demanda de energia, além de possibilitar a integração de fontes renováveis intermitentes e a redução da dependência de combustíveis fósseis.

4.2.1 Sistema de armazenamento de bateria

Um sistema de armazenamento de baterias é um sistema que armazena electricidade em baterias para uso posterior. Esse tipo de sistema é comumente encontrado em aplicações de energia renovável, como sistemas solares fotovoltaicos ou sistemas eólicos.

O sistema de armazenamento de energia que usa baterias geralmente é composto por painéis solares ou turbinas eólicas para a geração de electricidade, um inversor para converter a corrente contínua (DC) gerada em corrente alternada (AC), e uma ou mais baterias para armazenar o excesso de electricidade produzido.

Durante os períodos em que a produção de electricidade é maior do que a demanda, o excedente de energia é direccionado para carregar as baterias. Quando a produção de electricidade é menor do que a demanda, o sistema utiliza a energia armazenada nas baterias para suprir a carga.

O funcionamento de um sistema de energia que utiliza bateria pode variar dependendo da aplicação específica, mas geralmente segue os seguintes princípios básicos:

- 1) **Geração de energia:** A energia eléctrica é gerada por meio de fontes renováveis, como painéis solares fotovoltaicos ou turbinas eólicas. Os painéis solares convertem a luz solar em electricidade, enquanto as turbinas eólicas transformam a energia cinética do vento em energia eléctrica.
- 2) **Conversão e controle:** A electricidade gerada inicialmente é geralmente corrente contínua (DC), mas muitos dispositivos e sistemas eléctricos operam com corrente alternada (AC). Portanto, um inversor é utilizado para converter a corrente contínua em corrente alternada, tornando-a compatível com a rede eléctrica ou com os equipamentos alimentados por AC.
- 3) **Armazenamento de energia:** O excedente de electricidade gerada durante os períodos de alta produção é direccionado para as baterias para armazenamento. As baterias armazenam a energia eléctrica em formato químico, pronta para ser usada quando necessário.

- 4) **Descarga e utilização:** Quando a demanda de energia é maior do que a produção actual, o sistema retira a energia armazenada nas baterias e a disponibiliza para uso. A electricidade é convertida novamente em corrente alternada pelo inversor, se necessário, e alimenta os dispositivos eléctricos ou a rede eléctrica, conforme a aplicação.

As aplicações dos sistemas de energia com bateria são diversas e incluem:

- **Residências:** Os sistemas de energia residenciais com baterias podem permitir que os proprietários armazenem o excesso de electricidade gerada pelas turbinas ou painéis solares durante o dia para uso nocturno ou em períodos de pouca geração. Eles podem oferecer autonomia energética em caso de falhas de energia e reduzir a dependência da rede eléctrica, resultando em economia de custos.
- **Comercial e industrial:** Empresas e indústrias podem implantar sistemas de energia com bateria para reduzir custos de electricidade, gerenciar a demanda de energia, fornecer backup de energia em caso de falhas de energia e, em alguns casos, participar de programas de resposta à demanda.
- **Sistemas isolados ou off-grid:** Em áreas remotas ou onde a infra-estrutura eléctrica não está disponível, os sistemas de energia com bateria podem fornecer electricidade independente da rede eléctrica principal, permitindo iluminação, electrificação básica e alimentação de equipamentos essenciais.

4.2.2 Escolha da bateria

A escolha da bateria depende de vários factores, incluindo a capacidade de armazenamento necessária, a demanda de energia, o ciclo de carga e descarga, o custo e outros requisitos específicos do sistema.

Assim sendo, existem várias opções de baterias que podem ser recomendadas para armazenar energia de turbinas eólicas Enercon. Alguns tipos comumente usados são:

- **Baterias de chumbo-ácido:** São baterias económicas e amplamente disponíveis. Elas são robustas e podem ser usadas em ciclos de carga e descarga profundos. No entanto, possuem menor densidade de energia e vida útil mais curta em comparação com outras tecnologias.

- **Baterias de íons de lítio:** São conhecidas por sua alta densidade de energia, eficiência de carga e descarga e longa vida útil. Elas são amplamente utilizadas em sistemas de armazenamento de energia renovável devido à sua capacidade de lidar com ciclos profundos de carga e descarga. Além disso, as baterias de íons de lítio são mais leves e compactas em comparação com as de chumbo-ácido.
- **Baterias de fluxo redox:** São projectadas especificamente para aplicativos de armazenamento de energia. Elas utilizam tanques de electrólitos líquidos para armazenar energia, o que permite escalabilidade e maior vida útil em comparação com outras tecnologias de bateria. No entanto, elas podem ser mais caras e requerem um sistema mais complexo.
- **Baterias de sódio:** São uma opção alternativa emergente. As baterias de sódio oferecem densidade de energia semelhante às baterias de íons de lítio, mas com menor custo e maior disponibilidade de recursos. No entanto, essa tecnologia ainda está em desenvolvimento e pode não estar amplamente disponível no mercado.

Para a escolha da bateria ideal para as turbinas Enercon, deve-se ter em conta alguns parâmetros de comparação, a saber: a densidade de energia (capacidade de armazenamento), o ciclo de vida, a eficiência, o custo e a sustentabilidade.

Na tabela abaixo se apresenta uma avaliação dos parâmetros descritos.

Tabela 9: Avaliação dos diferentes tipos de bateria. Fonte: [13]

Bateria	Densidade de energia (Wh/kg)	Ciclo de vida	Eficiência (%)	Custo (US\$/kWh)
Chumbo-ácido	30 à 50	200 à 500	80	100 à 300
Íons de lítio	150 à 250	500 à 1 500	95 à 98	150 à 300
Fluxo redox	20 à 50	5.000 à 20 000	70 à 90	200 à 600
Sódio	100 à 150	3.000 à 5 000	95 à 98	-

Com base na tabela acima, pode-se observar que:

- As baterias de íons de lítio possuem uma densidade de energia significativamente maior do que as baterias de chumbo-ácido, de fluxo redox e

de sódio. Isso significa que as baterias de íons de lítio podem armazenar mais energia em um espaço menor.

- As baterias de íons de lítio geralmente possuem um ciclo de vida mais longo em comparação com as baterias de chumbo-ácido. As baterias de fluxo redox também são conhecidas por terem uma vida útil prolongada devido à sua capacidade de regeneração dos eletrólitos.
- As baterias de íons de lítio e de fluxo redox geralmente apresentam altas eficiências, enquanto as baterias de chumbo-ácido podem ter eficiências ligeiramente mais baixas devido a perdas internas. As baterias de sódio ainda estão em desenvolvimento, mas espera-se que tenham eficiências comparáveis às de íons de lítio.
- As baterias de chumbo-ácido são geralmente mais baratas em termos de custo por unidade de capacidade de armazenamento, mas têm uma vida útil mais curta. As baterias de íons de lítio são mais caras, mas têm uma vida útil mais longa e uma melhor relação custo-benefício a longo prazo. As baterias de fluxo redox tendem a ser mais caras devido à sua complexidade eletroquímica. As baterias de sódio estão em estágio inicial de desenvolvimento, mas espera-se que tenham um custo competitivo.

Quanto a sustentabilidade, as baterias de chumbo-ácido contêm materiais tóxicos, como chumbo e ácido sulfúrico, e requerem um manuseio cuidadoso para evitar danos ambientais. As baterias de íons de lítio também requerem medidas adequadas de descarte e reciclagem para evitar impactos ambientais negativos. As baterias de fluxo redox podem ser mais sustentáveis devido à sua capacidade de reciclagem de eletrólitos. As baterias de sódio podem ser mais sustentáveis, uma vez que o sódio é um recurso mais abundante e acessível do que o lítio.

Com base na avaliação feita acima, pode-se observar que a bateria de íons de lítio, reúne mais requisitos para aplicação neste projecto, devido às suas vantagens comparativas em relação a outras baterias. Ela oferece alta densidade de energia, longa vida útil e alta eficiência, tornando-a uma opção ideal para aplicações de armazenamento de energia.

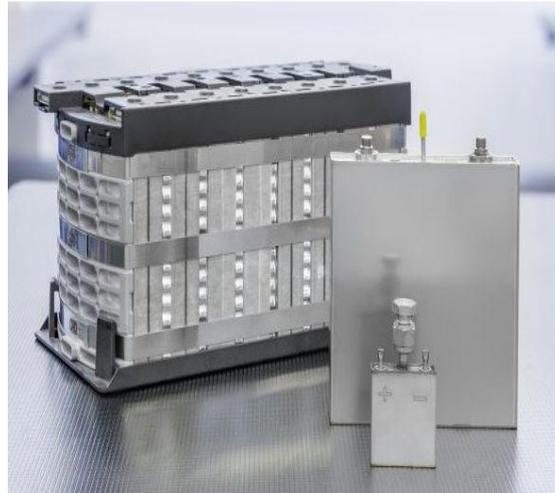


Figura 18: Baterias de íons de lítio. Fonte [22]

Assim sendo, pode-se se observar que:

- Capacidade Nominal: 68,5 kWh;
- Vida Útil Esperada: 10,0 anos;
- Rendimento Anual: 48,3 kWh/ano;
- Custos de Capital: \$30.821;
- Custo de Manutenção: \$469/ano;
- Perdas: 4,08 kWh/ano;
- Autonomia: 131 horas.

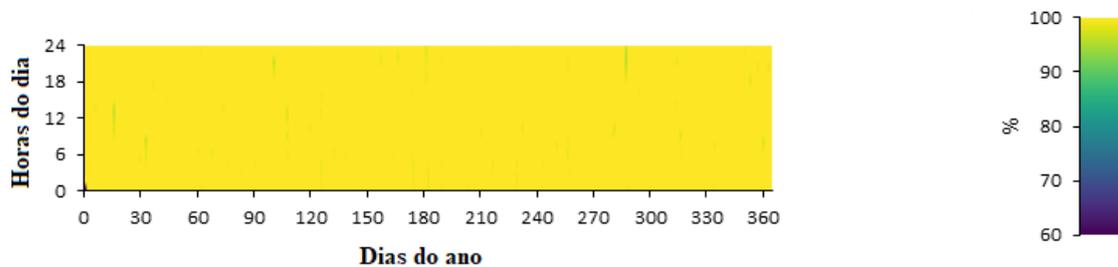


Figura 19: Características do armazenamento..

CAPÍTULO 5: APRESENTAÇÃO, ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

5.1 Análise económica

A realização da análise económica é de suma importância, pois através dela é possível demonstrar e justificar a viabilidade económica de implantação do sistema de geração eólica.

Considerando um sistema eólico off-grid com 6 turbinas, cada uma com potência de 3,5 MW, teremos:

Energia Eólica Off-Grid (por turbina):

- Potência Instalada por Turbina: 3,5 MW
- Custo Inicial por Turbina: \$165.000
- Vida Útil por Turbina: 20 anos
- Geração Anual Média por Turbina: 7.000.000 kWh (3,5 MW * 2.000 horas de operação por ano em média)
- Custo Operacional Anual por Turbina: \$50.000
- Tarifa de Electricidade Média: \$0,10/kWh (caso aplique)
- Taxa de Desconto: 8% ao ano

Considerando custos de itens como cabos e outros elementos eléctricos e, não menos importante, as contingências, o custo Total, estimado pelo Homer Pro são 5 048 663 de dólares.

A tabela a seguir apresenta uma análise comparativa das avaliações económicas numéricas de diferentes projectos de sistemas eólicos off-grid. Os dados utilizados foram obtidos do "Capital Cost and Performance Characteristic Estimates for Utility Scale Electric Power Generating Technologies", uma renomada associação americana que se dedica ao estudo e análise de casos de geração de energia eléctrica. Neste contexto, os projectos considerados envolvem a implantação de sistemas eólicos off-grid, cada um com características únicas em termos de capacidade instalada, quantidade de turbinas e outras especificações relevantes.

1. Projecto A: Sistema eólico off-grid com 4 turbinas de 4 MW cada
2. Projecto B: Sistema eólico off-grid com 8 turbinas de 3 MW cada
3. Projecto C: Sistema eólico off-grid com 6 turbinas de 2,5 MW cada

Tabela 10: Comparação de Avaliação Económica entre Projectos Eólicos Off-Grid: Análise do investimento inicial e do VPL Total. Fonte [14].

Projecto	Investimento Inicial	VPL Total (20 anos)
Projecto em causa (6 turbinas de 3,5 MW)	\$5.048.663	\$49,658,739.24
Projecto A (4 turbinas de 4 MW)	\$3,942,105.76	\$38,842,115.86
Projecto B (8 turbinas de 3 MW)	\$8,734,901.63	\$58,634,801.60
Projecto C (6 turbinas de 2,5 MW)	\$4,816,514.29	\$42,716,414.31

A análise destes projectos visa fornecer uma visão abrangente das viabilidades económicas associadas a diferentes configurações de geração de energia eólica. Por meio da comparação dos Valores Presentes Líquidos (VPLs) totais ao longo de um período de 20 anos, é possível identificar as possíveis diferenças no desempenho financeiro e avaliar qual projecto pode ser mais promissor em termos de retorno sobre o investimento. É importante ressaltar que, embora os dados sejam baseados em estimativas do "Capital Cost and Performance Characteristic Estimates", os valores aqui apresentados servem apenas para ilustrar o processo de comparação. A selecção do projecto mais adequado para implementação requer uma análise mais detalhada das condições e características específicas de cada projecto, considerando factores como custos iniciais, geração de energia, tarifas de electricidade e custos operacionais.

5.2 Análise ambiental

O meio ambiente é o conjunto de elementos naturais que sustentam a vida na Terra. Sua importância para a humanidade é vital, fornecendo recursos, serviços essenciais e equilíbrio ecológico, sendo fundamental para nossa sobrevivência, bem-estar e futuro sustentável.

A geração energética tem total relação com o meio ambiente, pois toda energia produzida é resultado da transformação de algum recurso natural. Assim, é dever de todos cuidar do meio ambiente para garantir que o recurso seja mantido para as próximas gerações.

A energia eólica é uma ferramenta importante na luta para reduzir o aumento na exploração das fontes energéticas que causam danos ao meio ambiente, pode-se verificar que esta energia limpa e sustentável pode contribuir significativamente para a conservação do ambiente de várias maneiras, como: promovendo uma energia limpa e renovável, redução da poluição do ar, preservação de recursos naturais, baixo consumo de água, uso eficiente da terra, protecção da biodiversidade, desenvolvimento sustentável, contribuição para metas ambientais, resiliência climática e conscientização ambiental.

Em suma, a energia eólica é uma alternativa ambientalmente amigável e renovável para a geração de electricidade, que contribui para a conservação do ambiente ao reduzir a poluição, proteger recursos naturais e promover um desenvolvimento mais sustentável.

A análise ambiental do dimensionamento de um sistema off-grid de geração de energia eólica no distrito de Inhassoro, província de Inhambane, revela uma série de benefícios significativos em comparação com as formas tradicionais de geração de energia. Essa abordagem tem o potencial de causar um impacto positivo tanto localmente quanto em termos mais amplos. Algumas das vantagens ambientais incluem:

- Energia limpa e redução de emissões: Os sistemas eólicos geram electricidade sem a queima de combustíveis fósseis, reduzindo significativamente as emissões de gases de efeito estufa e poluentes do ar. Isso ajudaria a melhorar a qualidade do ar na região e contribuir para a mitigação das mudanças climáticas.
- Preservação de recursos naturais: Ao utilizar energia eólica, o distrito de Inhassoro pode reduzir a necessidade de importação de combustíveis fósseis,

preservando os recursos naturais e evitando a exploração de recursos não renováveis.

- Resiliência energética: A diversificação da matriz energética com a incorporação de energia eólica tornaria o distrito menos dependente de fontes de energia importadas e mais resiliente a choques nos preços dos combustíveis fósseis ou interrupções no fornecimento.
- Desenvolvimento sustentável: A instalação de sistemas de energia eólica pode impulsionar o desenvolvimento sustentável em Inhassoro, gerando oportunidades de emprego local e atraindo investimentos em tecnologias limpas.
- Uso eficiente da terra: As turbinas eólicas podem ser instaladas em terrenos que podem ser usados simultaneamente para outras actividades, como agricultura ou pastagem, minimizando o impacto na ocupação do solo.
- Conscientização ambiental: A implementação de sistemas de energia eólica pode promover maior conscientização ambiental na comunidade, incentivando a adopção de práticas sustentáveis e a valorização do meio ambiente local.
- Benefício para a biodiversidade: Quando planejados adequadamente, os projectos de energia eólica podem minimizar os impactos negativos na biodiversidade local e contribuir para a protecção de habitats naturais.
- Impacto visual limitado: As turbinas eólicas podem ser projectadas de forma a terem um impacto visual relativamente baixo, preservando a paisagem e a identidade cultural da região.
- Acesso à electricidade: A implantação de sistemas de energia eólica pode melhorar o acesso à electricidade em áreas rurais de Inhassoro, fornecendo energia limpa e confiável para comunidades remotas.
- Contribuição para metas globais e locais: A energia eólica pode ajudar Moçambique a alcançar suas metas de redução de emissões de gases de efeito estufa e avançar em direcção à sustentabilidade ambiental.

Por essa razão, conclui-se que este projecto trará bastante contribuição no que diz respeito a conversação do ambiente, diminuindo a emissão de gases que prejudicam o mesmo e promovendo um desenvolvimento sustentável.

5.3 Apresentação dos resultados

Relativamente ao dimensionamento do sistema eólico, são apresentados na tabela abaixo os resultados dos parâmetros do projecto.

Tabela 11: Apresentação dos resultados dos parâmetros do projecto. Fonte:[Adaptado pela Autora]

Parâmetro	Quantidade
Número de agregados	977
Potencial total instalada	21 MW
Número de turbinas eólicas	6
Distancia das turbinas eólicas	233 m
Altura da torre da turbina	74 m
Capacidade nominal das baterias	68,5 kWh
Número de inversores	6

CAPÍTULO 6: CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

6.1 Conclusões

O dimensionamento de um sistema de geração de energia eólica off-grid no distrito de Inhassoro, Província de Inhambane, apresenta um cenário promissor para atender às necessidades energéticas locais de maneira eficiente e sustentável. A selecção das turbinas Enercon, modelo E-101 E2 / 3,5 MW, destaca a ênfase na eficiência e no baixo custo, proporcionando uma solução robusta para a geração de energia eólica.

A decisão de implementar seis dessas turbinas no projecto demonstra uma abordagem estratégica e dimensionada, alinhada com a demanda crescente da comunidade do bairro de Chibamo. A combinação das características avançadas das turbinas eólicas com a tecnologia de armazenamento de energia de íons de lítio enfatiza o compromisso com a confiabilidade, longevidade e eficiência do sistema. A escolha da bateria de íons de lítio como meio de armazenamento destaca suas vantagens marcantes, como alta densidade de energia, longa vida útil e eficiência, factores que são cruciais para atender à demanda intermitente e garantir um fornecimento constante de energia. Essa abordagem holística demonstra a visão de um sistema energético adaptado ao ambiente local, que busca não apenas atender às necessidades presentes, mas também construir um futuro sustentável para a região.

Portanto, o dimensionamento cuidadoso e a selecção estratégica das tecnologias, conforme discutido acima, representam uma abordagem equilibrada e eficaz para o projecto de geração de energia eólica off-grid no distrito de Inhassoro. Esse empreendimento não apenas atenderá às demandas energéticas da comunidade, mas também estabelecerá um exemplo valioso de como as energias renováveis podem impulsionar o desenvolvimento local, mitigar os desafios energéticos e contribuir para um futuro mais sustentável.

6.2 Recomendações

Para a aplicação do projecto feito, recomenda-se que se tenha informações exactas sobre o local a ser implantado porque a má localização do projecto pode afectar o seu desempenho. Quanto aos parâmetros obtidos, recomenda-se consultar especialistas em energia e finanças para obter uma análise mais precisa do projecto e que se faça uma reavaliação dos mesmos com outros aplicativos informáticos, para efeitos de comparação para garantir a confiabilidade dos mesmos, não só, mas também, que sejam avaliados outros parâmetros que influenciam indirectamente o projecto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1]. Hardy, C. (2010, julho 06). “Renewable energy and role of Marykirk's James Blyth”. Retrieved from wikipedia:
https://pt.wikipedia.org/wiki/Energia_e%C3%B3lica#cite_note-Courier-12
- [2]. Organização mundial de energia eólica (GWEC).2020. <https://gwec.net/>.(Acessado em Abril de 2023).
- [3]. [Tipos de sistema \(On Grid e Off Grid\) \(teslaprojetos.com\)](#) (Acessado em Maio de 2023).
- [4]. L. B. M. S. A. L. Amarante, O.A.C.; ZACK, Atlas do Potencial Eólico Brasileiro, 2001. (Acessado em Janeiro de 2023).
- [5]. XCELENERGY, “Wind works!,” Mar. 2018. (Acessado em Maio de 2023).
- [6]. Committee on publication ethics (COPE), 2011. International journal of renewable energy research (IJRER). (Acessado em Fevereiro de 2023).
- [7]. ATLAS DO POTENCIAL EÓLICO EM MOÇAMBIQUE, 2020.
- [8]. FUNAE, FP - Fundo de Energia, 2022.
- [9]. https://www.researchgate.net/figure/Map-of-Inhassoro-district-depicting-Inhassoro-mainland-and-Bazaruto-Island_fig2_343933717 (Acessado em Fevereiro de 2023).
- [10].<https://www.engquimicasantosp.com.br/2013/12/energia-eolica-e-aerogeradores.html> (Acessado em Junho de 2023).
- [11]. <https://www.wikipedia.org/> (Acessado em Fevereiro de 2023).
- [12]. <https://en.wind-turbine-models.com/> (Acessado em Julho)
- [13]. NOVAS TECNOLOGIAS E INFRAESTRUTURA DO SETOR ELÉTRICO BRASILEIRO – ARMAZENAMENTO DE ENERGIA EM BATERIAS Disponível em <https://repositorio.ufrn.br/handle/123456789/47548> (Acessado em Julho de 2023).
- [14]. Capital Cost and Performance Characteristic Estimates for Utility Scale Electric Power Generating Technologies, Fevereiro 2020.

- [15]. Distributed Wind Energy Association,
<http://distributedwind.org/wpcontent/uploads/2012/08/DWEA-Tower-Height.pdf>.
(Acessado em Julho 2023)
- [16] XFLR5 - Programa de análise para aerofólio, asas e aviões,
<https://sourceforge.net/projects/xflr5/>. (Acessado Julho 2023).
- [17] SKF – Fabricante de rolamentos e mancais, <http://www.skf.com/br/> . (Acessado Julho 2023).
- [18] Geremia Redutores – Fabricante de motor redutores,
<http://www.geremiaredutores.com.br/>. (Acessado em Julho 2023).
- [19] Slides de aula de elementos de máquina I e II do Professor Flávio de Marco Filho,
<http://mecanica-ufRJ.educao.ws/util/b2evolution/index.php?blog=21>. (Acessado em Junho 2023).
- [20] KHENAS, S., DUNNETT, S., PIGGOTT, H., “Small Wind Systems for Rural Energy Services”. 1ª edição, Michigan, EUA, 2010.
- [21] A. C. de Pina filho, Apostilha de Desenho Técnico para Engenharia Mecânica, Rio de Janeiro: Escola Politécnica, 2011.
- [22]. [Baterias de íons de lítio \(leybold.com\)](#). (Acessado Agosto de 2023).
- [23]. Report, R. i.–N. (2017, October), from <file:///C:/Users/hp/Downloads/reno.pdf>
(Acessado em Fevereiro de 2023).

ANEXOS

ANEXOS

ANEXO 1. ESPECIFICAÇÕES DA CURVA DA POTÊNCIA DA TURBINA *ENERCON E-101 E2 3.500*

Power curve

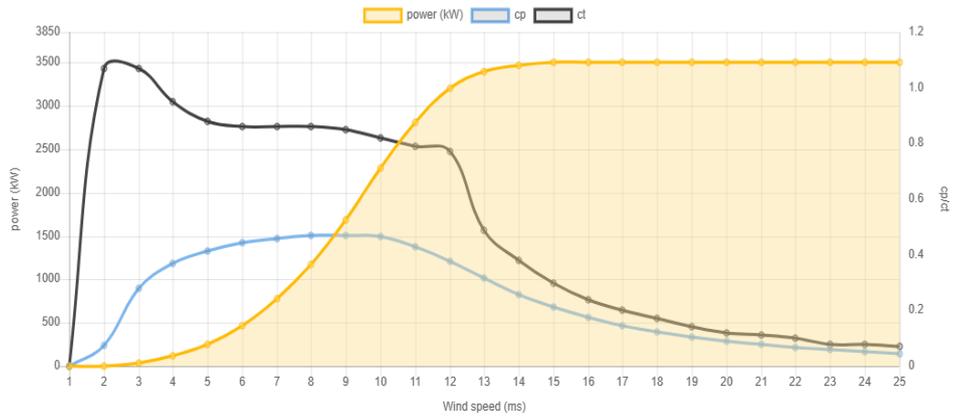


Ilustração 1: Especificações da curva da Potencia. Fonte [12]

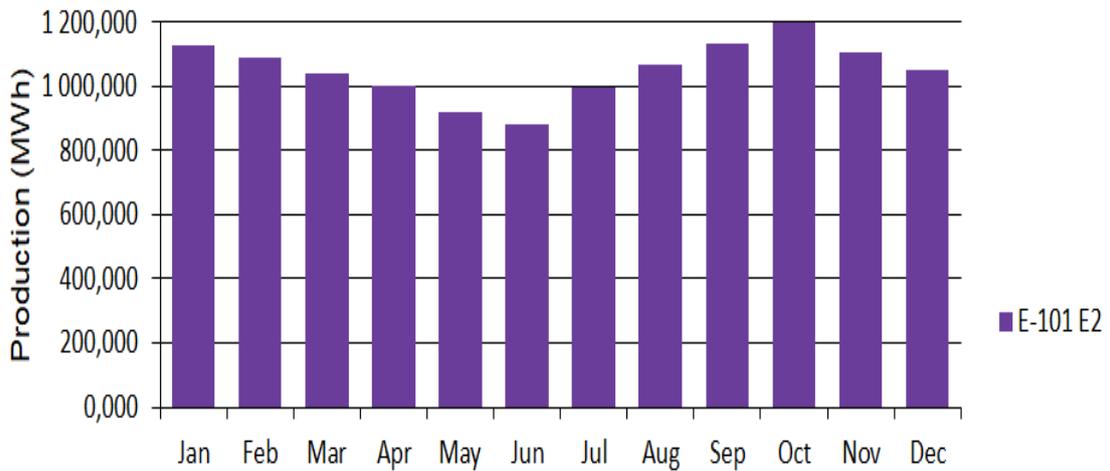


Ilustração 2: Gráfico da variação da produção. Fonte [Homer Pro]

ANEXO 2. GRÁFICOS DE SÉRIES TEMPORAIS

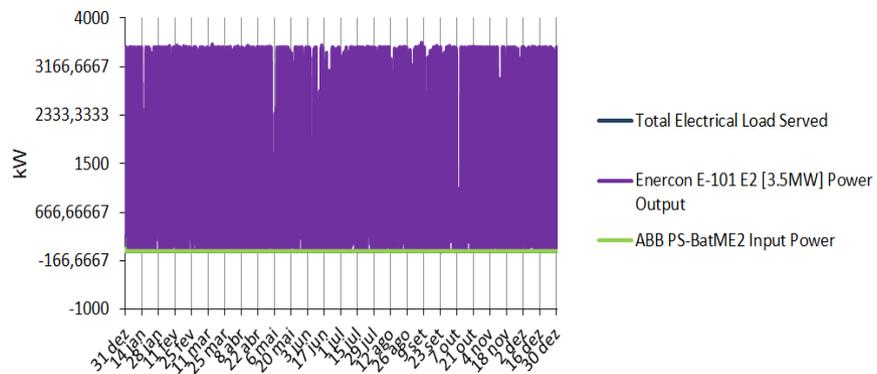


Ilustração 3: Gráficos de Series Temporais. Fonte [Homer Pro]

ANEXO 3. ILUSTRAÇÃO DA TURBINA ENERCON E-101 E2 3.500



Ilustração 4: Turbina eólica do modelo Enercon e-101 e2 3.500. Fonte [12]

ANEXO 4. APLICATIVO INFORMATIVO HOMER PRO

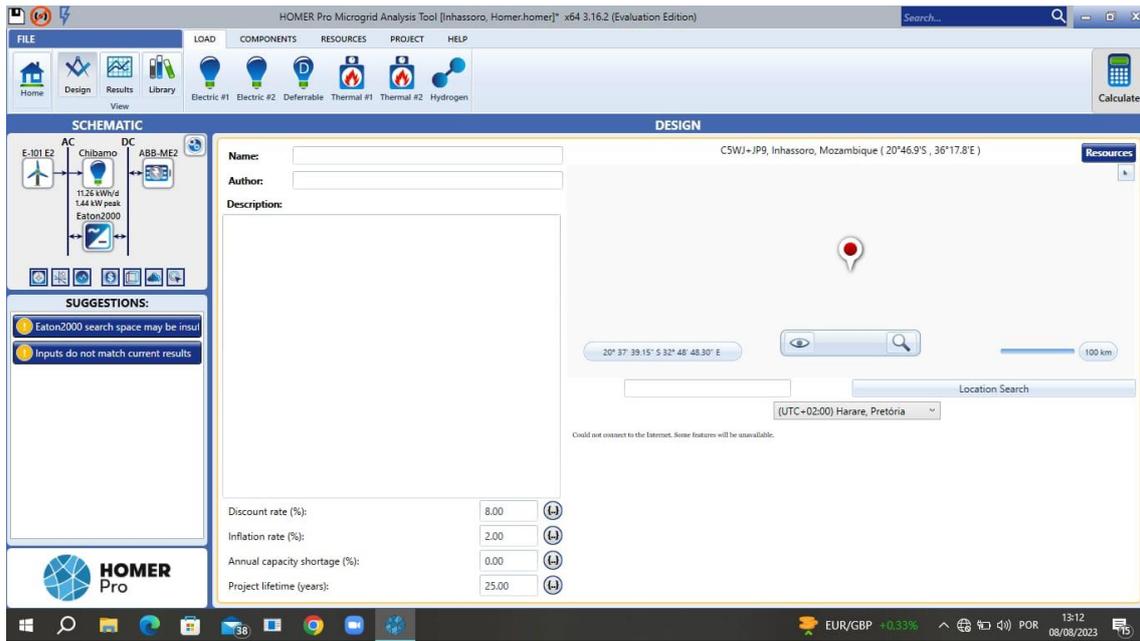


Ilustração 5: Aplicativo informatico Homer Pro. Fonte [Homer Pro].