



Escola Superior de Ciências Marinhas e Costeiras

Curso de Licenciatura em Oceanografia

Monografia para grau de Licenciatura em Oceanográfica



Autor:
AdolfoAunetaMaromete

Supervisor:
Professor.António M. Hoguane

Quelimane, 2018



Escola Superior de Ciências Marinhas e Costeiras

Curso de Licenciatura em Oceanografia

Monografia para grau de Licenciatura em Oceanográfica



Autor:
Adolfo Auneta Maromete

Supervisor:

Professor. António M. Hogueane

Quelimane, 2018

Dedicatória

Dedico a minha mãe, Auneta Lambussene Marrumete que infelizmente Deus a levou para sempre, não podendo-lhe dar a oportunidade de cuidar e usufruir da semente que com carinho, amor e esperança plantou, sobretudo pela educação e amor absoluto apesar de estar sozinha desde de pequeno até a sua morte. Seus ensinamentos foram e sempre serão a minha fonte de inspiração no meu coração, que Deus a tenha.

Agradecimentos

Em primeiro lugar agradeço a Deus Pai todo-poderoso por me ter concedido a vida, iluminar e guiar o meu caminho e pela oportunidade de realizar mais um sonho da minha vida.

Ao meu irmão Mendes João Lamussene, por tudo que ele fez por mim sobretudo a confiança e motivação que depositara em mim para que este sonho fosse possível que para além de irmão, foi um pai para mim.

Em seguida ao meu supervisor Professor Catedrático António Mubango Hogueane, pela orientação, paciência e dedicação durante a realização deste trabalho, e pelo encorajamento e confiança depositada nas minhas capacidades académicas.

Agradeço a minha família em especial ao casal João e Laureciana, Rassula, Salmina, Isaias, pela compreensão e que sempre estiveram ao meu lado durante esta trajectória.

A Escola Superior Ciências Marinhas e Costeiras, os agradecimentos estendem-se em especial ao dr. Omar, dra. Carlota, dr. César e a todos os da CTA, estendendo também aos amigos e colegas Matias Armindo Coutinho, Joaquim Venâncio Manguengue, Gastone, Orlando Elias Mazuze, Ibraimo António Selimane, Sergio Paulino Mutemba pelo espírito de companheirismo, ao Sr. Julião Elídio André pelo apoio nas experiências, incentivo e críticas construtivas durante o trabalho. Agradeço “de coração”.

Por fim, um especial e muito obrigado a todos aqueles que me ajudaram de forma directa ou indirectamente para que o meu curso fosse possível.

Declaração de Honra

Eu Adolfo Auneta Marumete, declaro por minha honra que o presente trabalho intitulado *Construção de um Gerador de Estator Permanente e Baixa Rotação*, é da minha autoria, fruto do meu esforço, dedicação e da minha inteira responsabilidade. Os conteúdos e resultados contidos no presente trabalho, em nenhum momento foram apresentados em nenhuma parte com finalidade de obtenção de qualquer grau acadêmico ou outros fins.

A informação aqui contida reflecte nada mais que a verdade estando indicadas no texto e na página de bibliografia as fontes por mim consultadas, durante toda etapa de elaboração desta monografia para a obtenção do grau de Licenciatura em Oceanografia.

Autor

(Adolfo Auneta Marumete)

Resumo

Moçambique é um País que apresenta dificuldades na distribuição da eléctrica, levando com que várias comunidades se baseiem na energia de biomassa para a realização das suas actividades quotidianas. O presente trabalho tem como objectivo principal a construção de um gerador de estator permanente e baixa rotação capaz de produzir energia eléctrica em velocidades de vento relativamente baixas, determinar a sua potência e avaliar o seu rendimento em condições eólicas em que pode ser submetido. Para os testes possíveis do gerador para a determinação da potência e o respectivo rendimento, acoplou-se a uma turbina eólica do eixo vertical instalada no campus universitário da Escola Superior Ciências Marinhas e Costeiras. Desta forma, para o controlo do sistema, foi instalado um anemómetro de copo e um amperímetro para medição da força do vento e de tensão e intensidade de corrente eléctrica, respectivamente. Os dados de vento assim como de corrente eléctrica foram tratados estaticamente por planilha “*MS EXCEL*”; foi determinada a potência. Para a avaliação do rendimento, foram construídos gráficos que relacionam a potência produzida e o rendimento do gerador com a força. Os resultados obtidos mostram que a tensão máxima foi observada em velocidade de 4 m/s^{-1} . A eficiência máxima do gerador, de acordo com a intensidade do vento local, foi de 7.2%, o que é aceitável tendo em conta o vento que actua no local. Os resultados obtidos durante a experiencia; foram encorajadores tendo em conta as condições eólicas na qual o gerador foi submetido.

Palavras-chave: Gerador, Rotor, Estator, Tensão, Rendimento.

Abstract

Mozambique is a country that presents difficulties in the distribution of electricity, leaving several communities to rely on biomass energy to carry out their daily activities. The present work aims at the construction of a permanent low-speed stator generator capable of producing electrical energy at relatively low wind speeds, determining its power and evaluating its efficiency under wind conditions where it would be subject. For the possible tests of the generator for the determination of the power and its performance, it was coupled to a wind turbine of the vertical axis installed in the university campus of the School Marine and Coastal Sciences. For the control of the system, a hand anemometer and an analog multimeter were employed for wind force and voltage and current intensity measurements respectively. Wind data as well as current data were statically processed by MS EXCEL spreadsheet; power was determine. For the performance evaluation, graphs were constructed that relate the power produced with the wind force and the performance of the generator as a function of the wind force. The results show that the maximum tension was observed at a speed of 4 m/s^{-1} . The maximum efficiency of the generator, given the local wind strength was 7.2%, which is acceptable considering to the wind acting on the premises. The results obtained during the experiment are encouraging given to the wind conditions in which the generator was submitted.

Keywords: Generator, rotor, stator, voltage, efficiency.

Índice

Dedicatória.....	i
Agradecimentos	ii
Declaração de Honra.....	iii
Resumo	iv
Abstract.....	v
CAPITULO I	1
1. INTRODUÇÃO E OBJECTIVOS.....	1
1.1. Introdução	1
1.2. Objectivos	2
1.2.1. Geral.....	2
1.2.2. Específicos.	2
CAPITULO II.....	3
2. REVISÃO DA LITERATURA	3
2.2. História sobre a transformação da Energia Eólica em Eléctrica através do Gerador.....	3
2.3. Energia eólica.....	3
2.4. Componentes do sistema de geração eólica	4
2.5. Gerador eléctrico.....	5
2.6. Princípio de funcionamento	6
2.9. Tipos de geradores eléctricos.....	7
2.9.3. Geradores de Comutador de Corrente Alternada	8
CAPITULO III.....	8
3. METODOLOGIA	8
3.1. Local de Inovação	8

3.2. Material e Métodos.....	9
3.3.5. Montagem.....	12
3.4. Experiências.....	14
3.4.1. Avaliação do gerador e determinação da potência no vento local.....	14
CAPITULO IV.....	16
4. Resultados e Discussão.....	16
4.1. Resultados.....	16
CAPITULO V.....	20
5. Conclusão e recomendações.....	20
5.1. Conclusão.....	20
5.2. Recomendações.....	21
CAPITULO VI.....	22
6. Referencias Bibliografias.....	22

Lista de Figuras:

Figura 1: Turbinas eólicas de eixo horizontal em operação.....	4
Figura 2: Ilustra a Forma simplificada de um gerador de corrente alternada. Fonte: (SILVA, 2012).	5
Figura 3: Modelo simples do funcionamento do gerador de corrente alternada. Fonte (NOGUERA 2000).	6
A Figura 4: Localização geográfica do local da inovação (ASSIS, 2009).	9
Figura 5: As imagens indicam o processo de construção dos rotores.....	10
Figura 6: As imagens ilustram o material usado na formulação do estator.....	11
Figura 7: A figura ilustra a estrutura na qual montou se o estator e o rotor.	11
Figura 8: A figura ilustra outro material usado na construção do gerador.	12
Figura 9: Esta imagem ilustra o gerador com todos os componentes.....	13
Figura 10: Ilustração do material usado na parte eléctrica e o da sua medição.....	14

Figura 11: Velocidade na qual começa a produzir a corrente eléctrica.	16
Figura 12: Potência do gerador em função do vento.	17
Figura 13: Tensão (V) produzida em função das rotações (rpm) do gerador.	18

Lista de Tabelas:

Tabela 1: Material usada na construção do gerador.	10
---	----

Lista de Abreviaturas/ símbolos:

ESCMC-Escola Superior Ciências Marinhas e Costeira;

UEM-Universidade Eduardo Mondlane;

MW-Mega Wat;

m/s⁻¹ – metros por segundo;

S- sul;

N- norte;

E- este;

mm- milímetros;

V- volte;

cm- centímetros;

m- metro;

g- grama;

rpm- rotações por minuto.

CAPITULO I

1. INTRODUÇÃO E OBJECTIVOS

1.1. Introdução

Nos últimos anos o aproveitamento da energia das turbinas tem observado vários tipos, nem com isso há grandes perdas na transformação dessa energia para o uso domestica, com tudo vários esforços estão sendo evitados com vista o melhoramento e aperfeiçoamentos dos estrume-tos de modo que as perdas verificadas se reduzam no máximo possível.

A transferência de tecnologia que visa a construção de geradores que possam operar a baixa rotação para o aproveitamento dos recursos de energias renováveis das turbinas no país, ainda é pouco conhecida nos sectores técnicos e nos sectores consumidores, as infra-estruturas de captação dessa energia é escassa, (MINENER, 2011). Este problema que de certa forma proporciona a fraca demanda nas zonas rurais sobretudo as comunidades pescadoras desfavorecida da rede eléctrica pública, visto que usariam a corrente eléctrica para a conservação do pescado.

A construção de um gerador de estator permanente de baixa rotação seria uma das alternativas de uso da energia renovável produzida pelas turbinas, que permitiria a transformação de energia eólica em energia eléctrica sem causar impacto negativo ao ambiente. (EUGENIO et all, 2013). Visto que, com o estator permanente e o rotor móvel pode-se reduzir de uma forma significativa as perdas por atrito, essa e uma das vantagens, das demais existentes apesar de que esse tipo de sistema necessita de maior força para a movimentação dos rotores.

Neste contexto, na base das suposições acima apresentadas, o presente estudo teve como objectivo Construir um gerador de estator permanente e baixa rotação capaz de produzir energia eléctrica em velocidades de vento relativamente baixas, com um valor de tensão adequado, tendo em vista a maximização dos rendimentos socioeconómicos e social das populações que vivem nas zonais rurais, sobretudo as que depende da pesca para o seu sustento quotidiano. E espera-se que os resultados deste estudo contribuam para suprir algumas necessidades, sobretudo os rendimentos socioeconómicos das comunidades sem o acesso a energia eléctrica convencional.

1.2. Objectivos

1.2.1. Geral.

Construir um gerador de estator permanente e baixa rotação capaz de produzir energia eléctrica em velocidades de vento relativamente baixas.

1.2.2. Específicos.

- Avaliar o gerador nas condições da velocidade do vento local;
- Definir a velocidade do vento a partir da qual o gerador começa a produzir;
- Determinar a potência e a eficiência do gerador na transformação da energia mecânica da turbina para energia eléctrica.

CAPITULO II

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1. Conceitos Básicos sobre Gerador

2.2. História sobre a transformação da Energia Eólica em Eléctrica através do Gerador.

O vento é uma fonte de energia renovável, para a extracção da energia do vento são utilizadas turbinas eólicas, que são dispositivos capazes de converter a energia do vento em mecânica útil para posterior aplicação. Podendo ser aplicados na moagem de cereais, bombeamento de água e geração de energia eléctrica (Hoguane *et al.* 2007) citado por (MUBANGO, 2013).

A técnica de se usar a energia do vento para moer grãos de cereais expandiu-se rapidamente no médio oriente e foi extensamente usado antes que o primeiro moinho de vento aparecesse na Europa. No início do século XI depois de Cristo, os europeus aderiram a técnica de usar a energia de vento, inventaram o primeiro moinho de vento do tipo holandês.

Nos últimos 20 anos, a indústria eólica mundial registou um crescimento significativo no amadurecimento das suas tecnologias e também na procura de novos mercados (MOTENZANO, 2007).

Um dos primeiros estudos sobre o electromagnetismo foi realizado pelo Benjamin Franklin por volta de 1752, que sugeriu pela primeira vez a ideia de cargas positivas e negativas, A partir de então diversas pesquisas foram realizadas usando os conceitos de corrente eléctrica.

Em 1831, Michel Faraday desenvolveu o conceito de indução electromagnética, que é a base para a geração de energia eléctrica (LESSA, 1987).

2.3. Energia eólica

A energia eólica baseia-se na energia cinética contida no movimento das massas de ar na atmosfera, os ventos, que são produzidos através do aquecimento diferenciado da atmosfera. Assim como a radiação do sol que não é uniforme, alguns locais são mais aquecidos do que outros (MOTENZANO, 2007).

Essa diferença de temperatura acaba criando zonas de pressões diferentes, que por sua vez, causam o deslocamento das massas de ar. O uso da energia eólica para geração de electricidade ocorre através da conversão da energia cinética contida nos ventos em energia eléctrica, com o auxílio de uma turbinas eólicos e geradores.

O local onde serão instaladas as turbinas é um dos factores importante para gerar a energia, além disso, a altura também é um factor muito relevante para o aproveitamento da energia eólica, em grandes alturas são encontradas elevadas velocidades de vento.

A energia cinética causada pelos ventos, primeiro é transformada em energia mecânica, através do movimento das pás da turbina eólica, e em seguida, esta energia mecânica é convertida em energia eléctrica por meio do gerador eléctrico. O processo de conversão é realizado da seguinte forma: o vento faz girar as pás da turbina, que estão acopladas a um eixo central. Este eixo está ligado a uma caixa de transmissão, que tem a função de aumentar a velocidade de rotação do gerador eléctrico. A Figura 1 ilustra turbinas eólicas de eixo horizontal (Dutra, 2010).



Figura 1: Turbinas eólicas de eixo horizontal em operação.

2.4. Componentes do sistema de geração eólica

Turbina eólica é uma máquina que absorve parte da potência cinética do vento através de um rotor aerodinâmico, transformando em potência mecânica de eixo (torque x rotação), a qual é transformado em potência eléctrica (tensão x corrente) através de um gerador eléctrico (SANTOS et all, 2006).

A transformação de energia no sistema eólico começa no rotor, onde as turbinas de eixo horizontal constituído por pás, emitem efeitos aerodinâmicos, transformando assim a energia cinética dos ventos, em energia mecânica de rotação, a uma determinada frequência. O aerogerador eólico é incorporado

uma caixa multiplicadora de velocidade que emite energia mecânica ao gerador eléctrico a uma frequência de 1000 a 1500 rpm (SANTOS et all, 2006).

O gerador eléctrico, por sua vez, transforma a energia mecânica de rotação em energia eléctrica, com um rendimento da mesma ordem ao da caixa multiplicadora. Para a captação de uma maior quantidade de energia pelas pás, o sistema captor para conversor deve estar apoiado em uma torre a uma altura do nível do solo, que varia em função do diâmetro do rotor.

2.5. Gerador eléctrico

Gerador é um dispositivo usado para a transformação da energia mecânica, química ou outra forma de energia em energia eléctrica. O primeiro gerador eléctrico foi inventado por Wernervon Siemens em 1879 (EUGENIO et all, 2013). A função do gerador eléctrico é de converter energia mecânica em energia eléctrica podendo esta ser alternada ou contínua. Um gerador de corrente contínua é conhecido como dínamo e um gerador de corrente alternada como alternador. Os alternadores são os responsáveis por gerar a corrente alternada (SILVA, 2012).

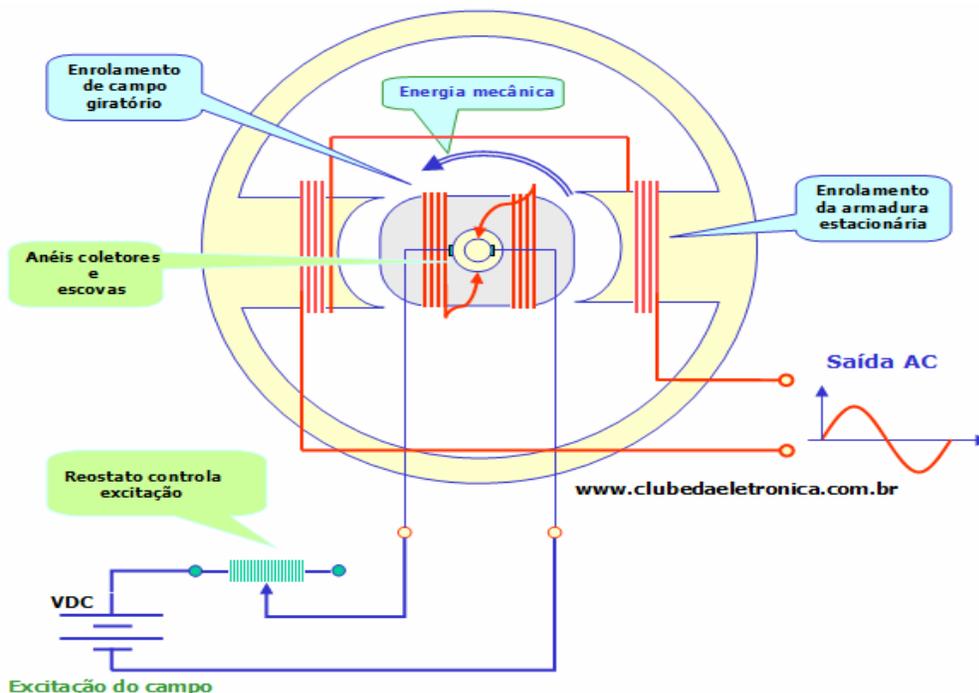


Figura 2: Ilustra a Forma simplificada de um gerador de corrente alternada. Fonte: (SILVA, 2012).

2.6. Princípio de funcionamento

O seu princípio de funcionamento dos geradores é basicamente a indução magnética (força electromotriz), o modelo mais simples é composto por dois ímãs e uma espira, um tipo de circuito eléctrico que produz um campo magnético e electricidade, a turbina é responsável por fazer a parte das espiras ou rotor girar, gerando uma corrente eléctrica (NOGUERA et all, 2000).

As duas extremidades das espiras são ligados a dois anéis que giram juntos com o sistema das espiras e se conectam ao circuito externo, que esta por sua vez é responsável por transmitir a energia gerada, o gerador de corrente contínua difere se do gerador de corrente alternada principalmente na capacidade de transmitir a energia. Em geral, a corrente alternada consegue atingir uma voltagem muito maior que a contínua, conseguindo chegar mais longe sem perder a força (SiILVA, 2012), a corrente alternada é tida como a mais perigosa justamente por trabalhar com tensões muito elevadas.

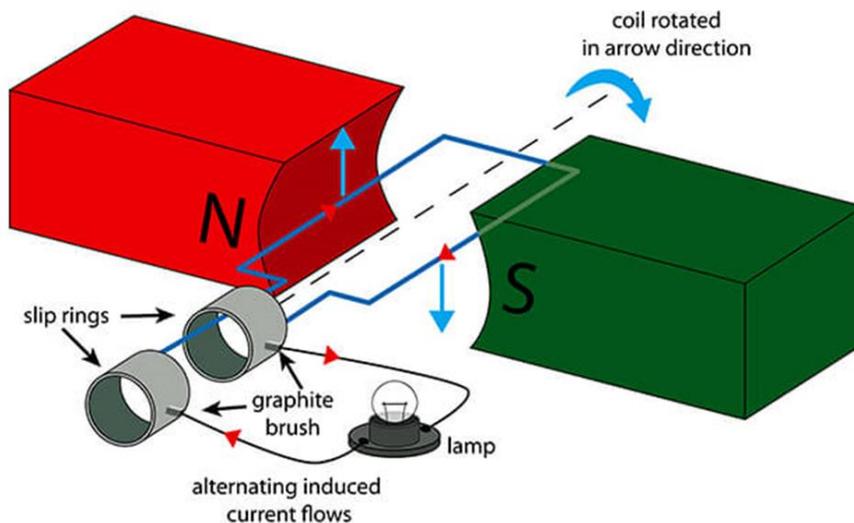


Figura 3: Modelo simples do funcionamento do gerador de corrente alternada. Fonte (NOGUERA 2000).

2.7. Termos mecânicos:

Rotor – Parte giratória de máquina

Estator – Parte fixa da máquina

2.8. Termos eléctricos:

Armadura – Responsável pela geração de energia, pode ser o rotor (móvel) ou estator (parte fixa).

Campo – Responsável pela geração do campo magnético (ímã permanente ou electromagnético), pode ser o rotor (móvel) ou o estator (parte fixa).

2.9. Tipos de geradores eléctricos

Há muitos outros tipos de geradores eléctricos como é o caso de geradores electrostáticos (máquina de Wimshurst e os -geradores de Van de Graaff), mas os geradores que convertem energia mecânica em eléctrica são três nomeadamente:

Gerador Síncrono;

Gerador de indução ou Gerador Assíncrono;

Gerador de Corrente continua.

2.9.1. Geradores Síncronos

Actualmente, grande parte dos sistemas de transformação de energia eólica usa geradores síncronos para transformação electromecânica (ALVES, 2003).

As principais vantagens dos geradores Síncronos são as seguintes: não tem limitação de potência na construção, tem ligação directamente à rede eléctrica, possuem alta eficiência ($\eta \approx 0,98$) e permitem melhor controlo do factor de potência da carga, (NOGUERA et all, 2000). Suas desvantagens são as seguintes: necessitam de regulador de tensão acoplado ao campo e é necessário manter velocidade de rotação constante no sistema (se ligado à rede), posto que a constância de sua frequência depende intrinsecamente da constância da velocidade de rotação; caso contrário, poderá apresentar problemas de instabilidade eléctrica.

2.9.2. Geradores Assíncronos

Para o gerador de indução, variações limitadas de rotação são possíveis, dentro da margem de escorregamento do gerador.

Permite maior elasticidade em rotação do que o gerador síncrono, o que reduz tensões mecânicas e flutuações elevadas de potência gerada quando da ocorrência de rajadas de vento de curta duração, permitindo alguma absorção da energia cinética pela inércia do rotor (MONTEIRO, 2009).

Os geradores de indução são mais robustos, requerem mínima manutenção e têm uma longa vida em operação.

O gerador de indução também possibilita conexão directa à rede sem a necessidade de sincronização ou de regulação de tensão. Entretanto, alguns problemas podem ocorrer com a magnetização, a corrente de partida, perturbações na rede eléctrica, e com o controle de potência reactiva, utilização de capacitares para a correcção do factor de potência, especialmente nas secções de alta impedância da rede eléctrica onde tiver instalado (SiILVA, 2012).

No caso dos parques eólicos da Califórnia, praticamente todos os aerogeradores em uso têm geradores de indução.

2.9.3. Geradores de Comutador de Corrente Alternada

São geradores adaptados especialmente para trabalharem em frequência variável. Sua concepção é similar às excita trizes de grandes turbo geradores (1000 MW) do tipo conhecido sob o nome de *brushlessexcitationsystem* (ALVES, 2003).

Excitação (independente da velocidade de rotação do eixo do gerador), melhor controlado factor de potência da carga e podem ser usados eventualmente como gerador síncrono. Por outro lado, têm um custo da ordem de 20% acima de geradores de corrente contínua, exigem manutenção periódica (troca de escovas) e a limitação tecnológica de potência situa-se na faixa de 5 MW.

CAPITULO III

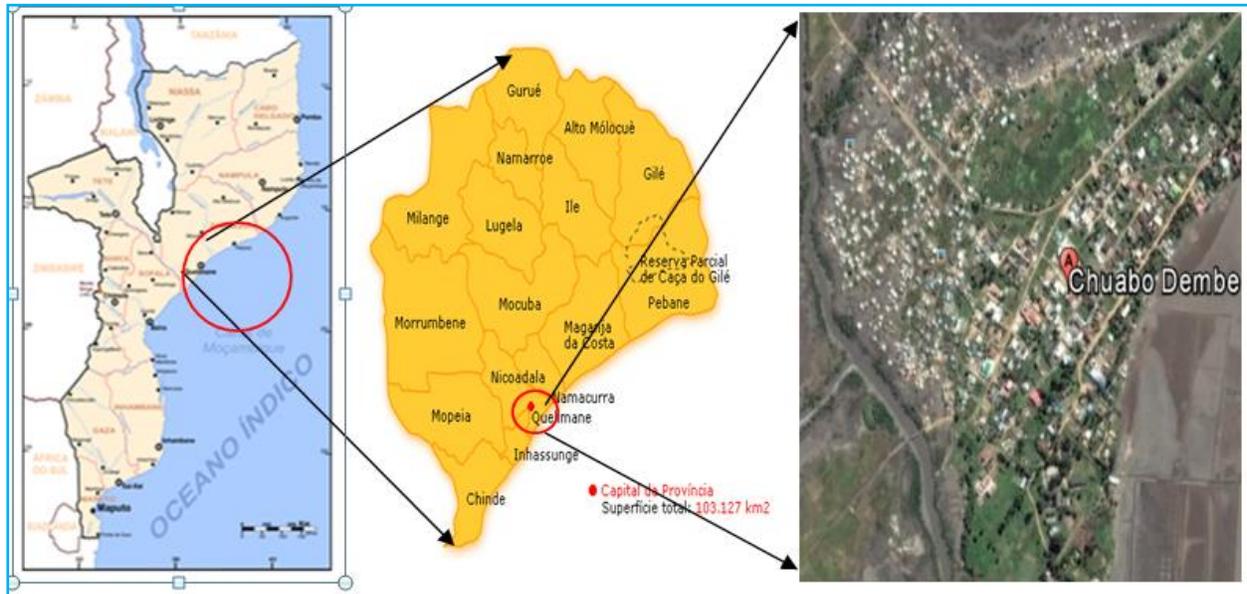
3. METODOLOGIA

3.1. Local de Inovação.

A cidade de Quelimane localiza-se na região centro de Moçambique na zona costeira da província da Zambézia, entre os paralelos 17° 52'35.25" S e 36° 53' 14,05" E. Tendo como limites: Norte: Distrito de Namacura; Sul: Distrito de Inhassunge, Este: oceano Indico, Oeste: Distrito de Nicoadala.

Esta inovação foi realizada na oficina da Escola Superior Ciências Marinhas e Costeira ESCMC-UEM e ensaiado nos campos da mesma.

Os ventos predominantes neste local variam em cada estação do ano, com mais predominância de ventos um pouco intensos na época quente, onde as suas intensidades chegam a atingir os 7 m/s⁻¹.



A Figura 4: Localização geográfica do local da inovação (ASSIS, 2009).

3.2. Material e Métodos.

A tabela 1 apresenta a lista do material usado para a construção do gerador.

Tabela 1: Material usada na construção do gerador.

Material usado para construção do gerador		
Imãs	Cantoneiras de $\frac{3}{4}$	Eixo metálico
Dois discos de ferro	Varão roscado 12 mm	Cremalheira
Cola de ferro (pratley)	Porcas de 12 mm	Anilha de mola
Detector magnético	Exo maceiras	Anilhas simples
Chapa de alumínio	Rectificadores	Berbequim
Fita adesiva	Isoladora de corrente eléctrica	Réguas de ferros e plásticas
Cintas plásticas	Fio esmaltado	Marcadores
Cabo multifilar	Terminais de cabo multifilar	Bateria de 12 v
Eléctrodos	Disco de corte	Multímetro não digital
Discos de lima	Maquina de soldar	Corrente de motorizada
Regulador de corrente		

3.3. Construção do gerador

3.3.1. Rotor

Foi usado cola de ferro (pratley) para fixar os ímãs nos discos de travão de automóvel com 9 cm de diâmetro interno, diâmetro externo 26 cm, espessura externa de 0,7 cm e espessura interna de 1,5 cm. Onde posteriormente foram coladas 6 ímãs de 4 cm de diâmetro interno, 10 cm de diâmetro externo com uma espessura de 1,7 cm e 500 g para cada disco. Os ímãs foram colocadas de uma forma alternada de acordo com a sua polaridade (N-S-N-S-N-S) com uma distancia de 1 cm entre si (figura 4).



Figura 5: As imagens indicam o processo de construção dos rotores.

3.3.2. Estator

Para construção de estator foi usada uma chapa de alumínio com 52 cm de comprimento, 38, 5 cm de largura contendo um furo circular na região central com 15,5 de diâmetro. Em seguida foram feitas 9 bobinas com 32 espiras cada, ligadas em 3 séries de 3, as mesmas foram enroladas com uma fita adesiva para que não sofressem a corrosão. As bobinas foram colocadas na chapa de alumine em volta do furo circular de uma forma alternada de acordo com as suas séries. Com auxílio de um berbequim com brocas para alumine de 0,5 mm furou-se a chapa para facilitar a passagem das cintas plásticas e fixar as bobinas na chapa. E finalmente juntou-se as três extremidades das séries (figura 6).



Figura 6: As imagens ilustram o material usado na formulação do estator.

3.3.3. Estrutura

Para garantir o suporte do estator e rotor foi construída uma estrutura metálica, com 40 cm de largura, 55 cm de comprimento e 39,5 cm de altura na base de duas cantoneiras de $\frac{3}{4}$ diâmetro. A mesma estrutura compreendeu três divisões: superior, médio e inferior, onde a parte superior e inferior tinha como objectivo suportar as exo maceiras, e a parte média assegurar o estator a uma altura de 15 cm. A parte superior dividiu-se as larguras em 14-11-14 cm, o mesmo foi feito na parte inferior em 12-15-12 cm (figura 7).



Figura 7: A figura ilustra a estrutura na qual montou se o estator e o rotor.

3.3.4. Outro material

Para além do rotor, estator e estrutura acima descritos, tem outras componentes preponderantes na construção desse gerador, como é o caso do eixo metálico que serve como componente central e principal no suporte e movimentação dos rotores (figura 8).

As exuma seiras suportam e facilitam o movimento rotativo do eixo, os parafusos mais compridos e porcas foram usados para fixar os rotor e as anilhas de mola bem como algumas porcas usados no distanciamento do rotor inferior, os parafusos mais curtos foram usados para fixar a exuma seira superior. A corrente e suas carentes foram usadas na componente multiplicação de rotação, onde a carrete de diâmetro maior foi colocada no eixo da turbina e a carrete de diâmetro menor foi colocada no eixo do gerador (figura 8).

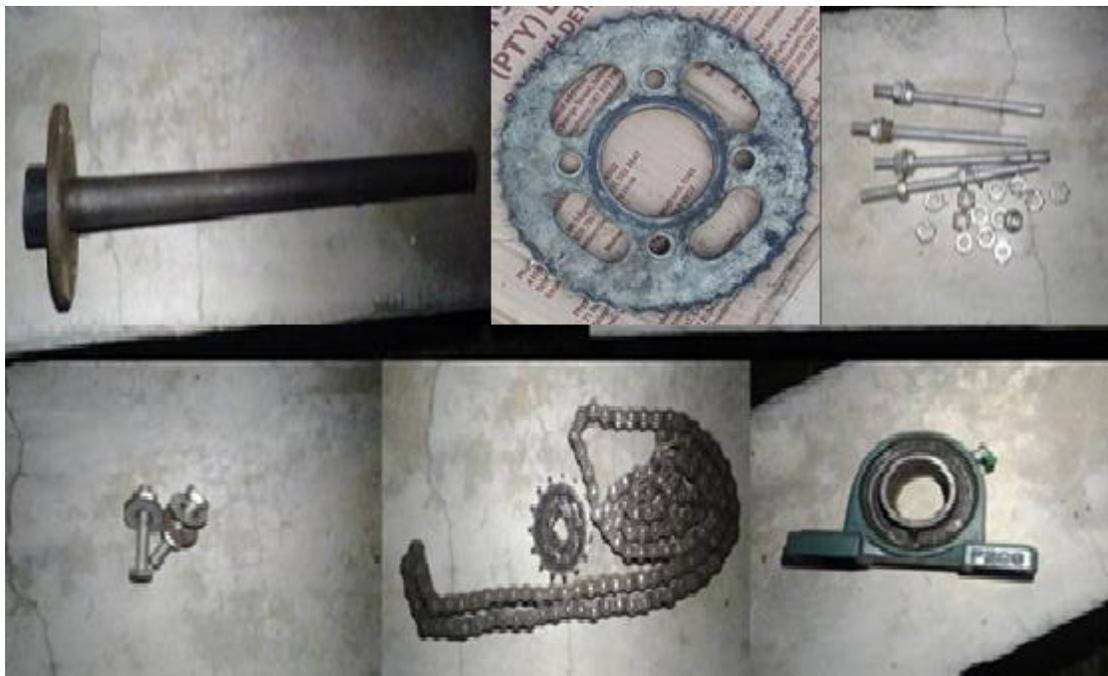


Figura 8: A figura ilustra outro material usado na construção do gerador.

3.3.5. Montagem

O processo de montagem fez se com a ajuda de mais dois colegas, onde com a cola de ferro usada nos ímãs (rotor) colocou-se um pedaço cilíndrico de borracha por baixo da base maior do eixo para que ela ajuste a chumaceira. Dado isso, fixou-se a chumaceira maior de P 210' na parte inferior da estrutura,

nesse caso pegou-se no eixo e fez passar o primeiro disco com a parte dos ímãs virada para cima, a chapa dos solenóides (bobinas) e por fim o outro disco com a parte dos ímãs viradas para baixo.

Colocada todos esses componentes no eixo, introduziu-se dentro da estrutura onde o primeiro disco fica assente na base maior do eixo e a chapa dos solenóides (bobinas) apoiou-se na divisão central da estrutura com 14.5 cm de altura, o outro disco dos ímãs com base nos parafusos de 15 cm de comprimento e 8 mm de secção e porcas da mesma secção (8 mm),foi possível suspender-lo na parte superior, os rotores tiveram como distância de 11.5 cm entre si, usando quatro (4) pares de porcas e dois (2) de anilhas de mola para distanciar a base maior do eixo e o rotor inferior, o rotor (disco com ímãs) superior e o estator (chapa de bobinas) encontravam-se a uma distância de 5.2 cm e com o inferior a 2.4 cm (figura 9).



Figura 9: Esta imagem ilustra o gerador com todos os componentes.

3.3.6. Parte Eléctrica.

Esta parte compõe as ligações eléctricas, na qual com o auxílio de uma chapa contraplacado de comprimento 53 cm e largura 23 cm, onde fixou-se 3 (três) rectificadores usando uns parafusos de 0.5 mm, a parte superior de cada rectificador apresentava 4 (quatro) terminais, as quais dois eram positivos e negativos de saída e as outras duas terminais se destinavam a saída e foram cruzadas pelas 3 (três) extremidades de cabo de bobinagem. Com base de dois cabos multifilares (vermelho + e preto -) foram ligados os 3 (três) rectificadores em série, onde foi acoplado um multímetro análogo para ajudar na leitura da corrente produzida pelo gerador, em seguida foi conectado um regulador de 12 V para que se regule a mesma para 12 V, por fim ligou-se a um acumulador (bateria) da mesma voltagem (figura 10).



Figura 10: Ilustração do material usado na parte eléctrica e o da sua medição.

3.4. Experiências

3.4.1. Avaliação do gerador e determinação da potência no vento local.

A experiência consistiu na medição da corrente produzida pelo gerador, na qual foram consideradas a diferença de potencial e a intensidade da corrente.

Para a determinação da potência do gerador baseou-se na seguinte fórmulas matemáticas:

$$P_{\text{eixo}} = \frac{\pi n r}{30 v} \quad [1]$$

Onde:

P é a potência do eixo;

n é o numero de rotações da turbina num intervalo de 5 em 5 minutos;

r é o raio da turbina;

30 é uma constante de resistividade magnética;

v é a velocidade do vento.

$$P_t = \frac{1}{2} \rho A v^3 \quad [2]$$

Onde:

P_t é a potência mecânica da turbina;

ρ é a densidade do ar;

A é a área das pás;

v^3 é a velocidade do ar.

$$P_{elec.} = U \cdot I \quad [3]$$

Onde:

$P_{elec.}$ é a potência eléctrica do gerador;

U é a tensão;

I é a intensidade.

A eficiência (η) do gerador foi calculada a partir da relação entre a Potencia Eléctrica (P_e) produzida pelo gerador e a potencia da turbina (P_t).

$$\eta = \frac{P_e}{P_t} 100\% \quad [4]$$

Onde:

η é o rendimento do gerador;

P_t é a potencia mecânica da turbina;

$P_{elec.}$ é a potência eléctrica do gerador.

CAPITULO IV

4. Resultados e Discussão.

4.1. Resultados.

A figura 11 apresenta a voltagem eléctrica medida em função do vento. De acordo com os testes realizados, observou-se que o gerador produz a corrente eléctrica numa baixa intensidade do vento, visto que, a uma intensidade do vento de 1 m/s^{-1} , produz uma tensão de 0.2 V segundo demonstra o gráfico 11. No mesmo vê-se que a tensão tende a aumentar com o aumento da intensidade do vento.

Em certos casos o vento manteve-se constante e a tensão aumentando, isso deve-se a conservação da inércia da turbina, na qual depois de uma intensidade alta do vento, a turbina conserva a rotação por um certo tempo, mesmo depois da redução na intensidade do vento, o mesmo acontece com a tensão em que manteve-se constante enquanto o vento aumentava, isto deve-se a variação brusca do vento e sem condições de variar a rotação da turbina. Para que alcancemos uma tensão de $12/24 \text{ V}$ (voltes), seria necessário uma intensidade de vento de aproximadamente 40 m/s^{-1} , o que é um caso meio difícil para a nossa realidade.

Conversão de energia eólica em energia eléctrica.

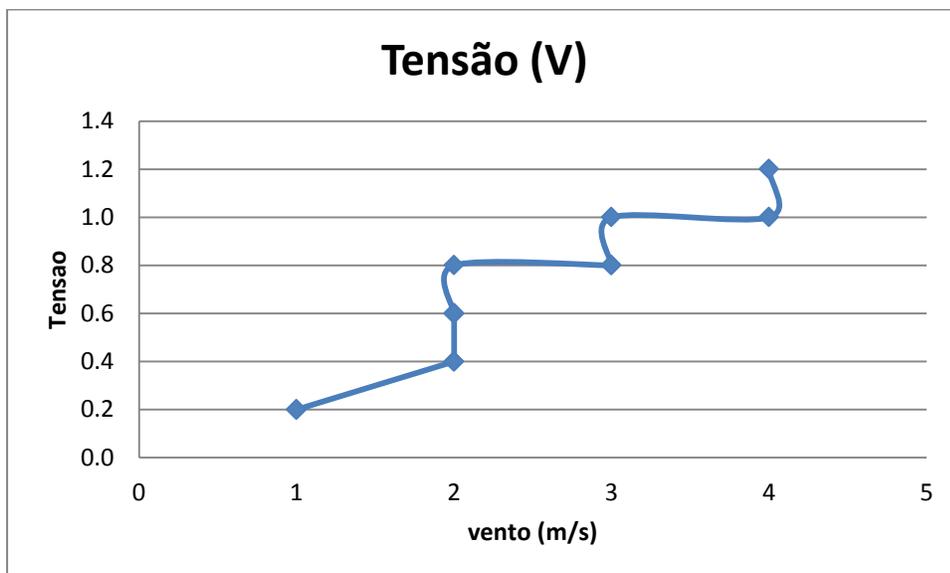


Figura 11: Velocidade na qual começa a produzir a corrente eléctrica.

A Figura 12 mostra os resultados do potencial eléctrico do gerador em função da intensidade do vento que actua na turbina. A potência do gerador foi registada com baixas intensidade do vento, tendendo a aumentar com o aumento da intensidade do vento.

Sabendo que o aumento da potência eléctrica depende relativamente do aumento da intensidade do vento, com o aumento contínuo do mesmo vento até 7m/s^{-1} por exemplo, poderia se chegar a uma potência aproximadamente 6 W. No período onde observou se uma constante na intensidade do vento e aumento na potência eléctrica deve se a conservação do momento da inércia por parte da turbina e o aumento da intensidade do vento e uma constância na potência deve se a uma variação espontânea do vento e que não chegue a induzir o aumento da rotação da turbina para posterior aumento da potência eléctrica do gerador.

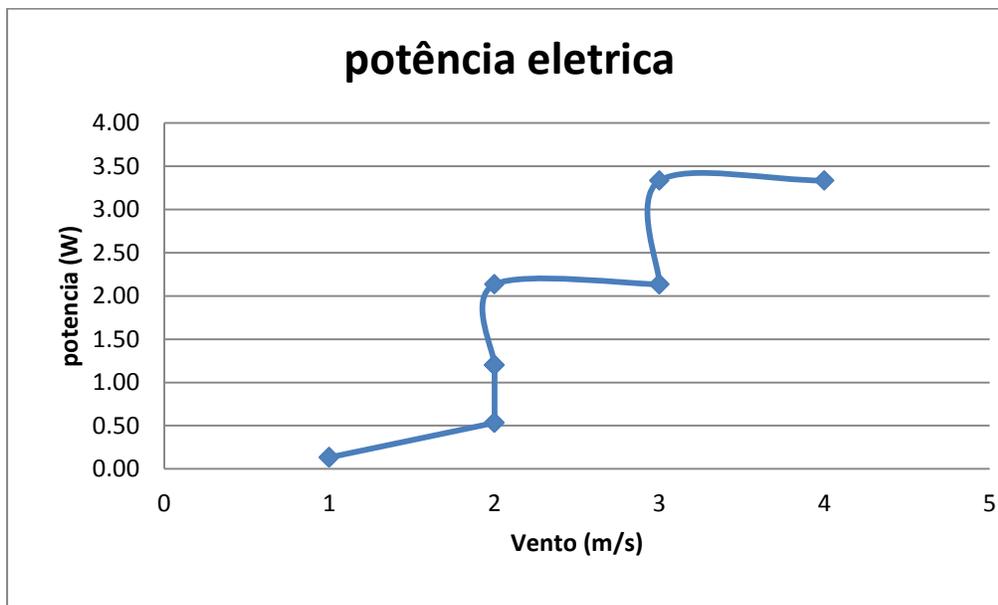


Figura 12: Potência do gerador em função do vento.

A Figura 13 apresenta a relação entre a tensão (V) produzida pelo gerador e números de rotações do mesmo, na qual observa se uma relação exponencial, as pequenas variações na linha exponencial deve se aos valores da tensão terem sido observados num intervalo de tempo de 5 (cinco) em 5 (cinco) minutos com os valores da rotação medidas no mesmo intervalo de tempo.

No caso em que a tensão mantém se constante e aumentar o numero de rotações, se deve ao facto de que dentro do intervalo do tempo de 5 minutos a intensidade do vento aumentou de uma forma significativa, aumentando dessa forma o numero de rotações em relação ao intervalo anterior e na observação da tensão for a mesma e no caso de se manter constante o numero de rotações e variar a tensão teria sido devido ao aumento da intensidade do vento no limita do intervalo de medição.

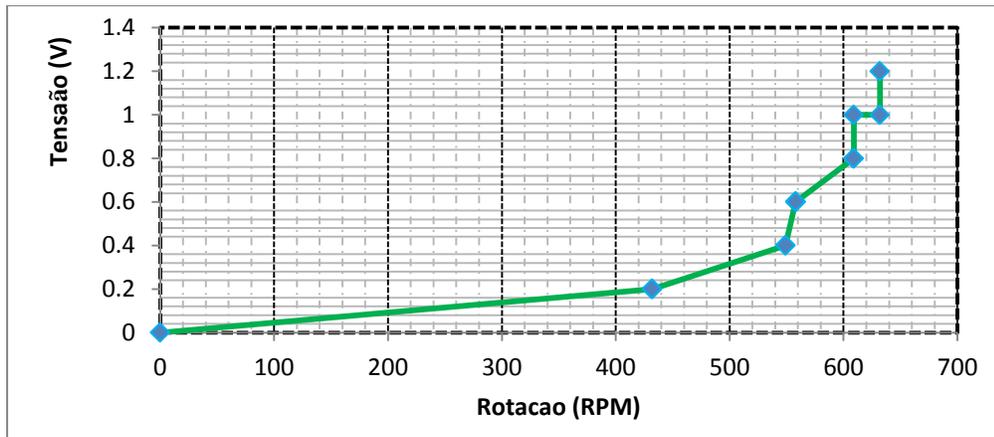


Figura 13: Tensão (V) produzida em função das rotações (rpm) do gerador.

A eficiência ou por outras palavras o rendimento do gerador foi calculada a partir da relação entre a potência do gerador e a potência da turbina, segundo o descrito na fórmula matemática [4], desposto no capítulo anterior. Estes dados do cálculo do rendimento estão em função da intensidade da corrente eléctrica produzida instantaneamente durante o tempo da ocorrência de experiencia. É verificado que os valores do rendimento em percentagem (0-1%) são observados em baixos valores da intensidade da corrente (0-1A) e o rendimento máximo esta entre (6-8%) é tida com o aumento da intensidade.

Segundo (BETZ, 1926) citado por (MANGUENGUE, 2017) a eficiência de um motor tem o valor máximo de 0.59, desta forma o conceito dado por experiencias do Betz, o gerador encontra se dentro dos padrões ao despor-se de 7.2 % do seu rendimento.

Os testes desta pesquisa foram realizados em condições naturais tais como a intensidade do vento, neste caso com a variação do vento, tomou se em conta os valores mais elevados dos mesmos parâmetros usando-os para o cálculo das variáveis.

4.2..Discussão

De acordo com os resultados obtidos durante a experiência, dentro das condições nas quais o sistema foi submetido, verificou-se na Figura 11 (Tensão vs vento), que o gráfico apresenta um mínimo de 0.2 V a uma intensidade de vento de 1 m/s^{-1} , visto que, a esses ventos as rotações também são baixas, tendo-se observado máximo de 1.2 V de tensão, com 4 m/s^{-1} de vento.

Na Figura 12, apresenta-se potência em função do vento, onde a ventos mínimos de 1 m/s^{-1} , a potência está na ordem de 0.20 W, tendo-se verificada máximas de 3.40 W de potência num vento também máximo de 4 m/s^{-1} .

Os resultados apresentados nesses dois gráficos não são tão semelhantes a resultados obtidos em outras literaturas, tais como os de (EMILIO, 2013) e (VALIA, 2011) devido a vários factores tais como, Intensidade do vento e algumas perdas (mecânicos).

Também pode ter havido diferença na força do campo magnético, as perdas por resistências não nulas nos condutores das bobinas que dificulta a passagem da corrente provocando dessa forma as perdas caloríficas, perdas inerentes ao efeito ferromagnética, perdas por fluxo de fuga, perdas por atrito nos apoios de rolamentos (EMILIO, 2013), no número de espiras, perdas por efeito joule nos enrolamentos e secção do fio dos solenóides, o que pode ter limitado a corrente e a voltagem produzidos.

A intensidade do vento é um factor preponderante na implantação de um sistema de transformação da energia eólica em eléctrica, isto é, a escolha de um local com boa força de vento é uma vantagem.

A Figura 13 é de tensão em função de número de rotações do gerador, neste gráfico observou-se um mínimo de 0 V quando o número de rotações for 0 rpm e volta a verificar o seu máximo de tensão 1.2 V numa altura em que as rotações observavam o máximo de 126 rpm.

A eficiência eléctrica de gerador foi determinada na base de uma relação matemática entre a potência de gerador pela potência da turbina, onde obteve-se um máximo de 7.2 %, tendo em conta uma intensidade máxima do vento de 4 m/s, esses resultados são inferiores aos do (VALIA, 2011) que resultou numa eficiência eléctrica estimada em 14.5% e superam os da (EMILIO, 2013) onde a sua eficiência eléctrica máxima foi de 4.5% obtida a uma velocidade de vento de 10 m/s^{-1} . A disparidade dos resultados obtidos pelo Valia e Emílio centralizou-se no factor de multiplicação usada por ambos que é diferente e do local de implantação do sistema.

O rendimento de uma máquina (gerador) não é necessariamente que chegue a 100 %, esse argumento é fundamentado pelo Filho *et al*, (2008), citado por (VALIA, 2011), ao afirmar que um gerador ao receber a potência mecânica entregue pelo eixo da turbina e a ser transformada em uma energia eléctrica, a conversão não é total, pois existem perdas de energias neste processo. Contudo, estes resultados da experiência, são encorajadores, o que leva a ser considerada de positiva (boa). Neste caso, a produção eléctrica e o rendimento poderiam ter sido melhorados, mesmo com velocidades baixas de vento, se se tivesse sido empregues ímãs com uma maior força magnética, fios de secção de solenóides maior e com número de espiras maior. Mais ainda se se tivesse utilizado maior número de bobinas e de rectificadores.

CAPITULO V

5. Conclusão e recomendações

5.1. Conclusão

De acordo com os resultados obtidos ao longo dos testes efectuados e a metodologia usada na recolha dos dados, apesar das inúmeras dificuldades enfrentadas no mesmo processo, conclui-se que:

No local da implantação, os ventos variaram de 1 a 4 m/s⁻¹, no período entre as 14 as 17 horas, relativamente baixa, o que condicionou para o fraco rendimento por parte do gerador;

A tensão máxima encontrada durante os testes foi de 1.2 V, a esperançosa de acordo com as condições eólicas na qual foi submetido o gerador;

A eficiência máxima do gerador de acordo com a intensidade do vento local foi de 10%, o que o aceitável segundo o vento que actua no locais;

É possível aumentar a produção eléctrica nas mesmas condições do vento, usando ímãs com maior força magnética, utilizando fios de secção maior e com número de espiras maior.

5.2.Recomendações

Para os próximos estudos desta natureza recomenda se a observância dos aspectos relacionados com:

A implantação da turbina em locais com um potencial eólico mínimo de 5 m/s^{-1} para o melhoramento do rendimento do sistema;

A elevação da estrutura da turbina para o melhor aproveitamento da energia eólica, o melhoramento das condições mecânicas da turbina assim como do gerador para melhor aproveitamento da força do vento;

O melhoramento do sistema de multiplicação, como factor preponderante no sistema;

A utilização de imãs com maior força magnética;

A utilização de fios de maior secção e o aumento de número de espiras nos solenóides, para que se aumente o valor da corrente a se produzir.

CAPITULO VI

6. Referencias Bibliografias

- ALVES, M. F. (2003). *ABC DAS MAQUINAS ELECTRICAS*. Instituto Superior de engenharia de porto- Departamento de Engenharia Electrica: Brasil.
- ASSIS, A. F. (2009). *Atlas de Mocambique*. perpendicular a Rua Padre Joao Nogueira no. 7 Maputo Mocambique.: Editora Nacional de Mocambique.
- Dutra, R. M. (2010). *Energia Eólica- Estado da Arte ePrincípios Físicos* . Centro de Pesquisas de Energia Elétrica, Departamento de Tecnologias Especiais - DTE: Electrobras.
- EMILIO, C. A. (2013). *AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA ELÉCTRICA DE UMA TURBINA*. Escola Superior de Ciências Marinhas e Costeiras-Uem.
- EUGENIO et all, D. (2013). *GERADOR MAGNÉTICO DE ENERGIA*. São Caetano do Sul/ SP: Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza.
- LESSA, A. (1987). *COSTRUCAO DE UM MOTORr ELECTRICO DIDATICO*. Rio de Janeiro. Rj Brasil: Brasil.
- MANGUENGUE, J. V. (2017). *AVALIACAO DO DESENVOLVIMENTO DE UMA TURBINA DO EIXO VERTICAL HIBRIDA ACOPOLADO A UM GERADOR DE BAIXA ROTACAO DE ESTATOR PERMANETE PARA A PRODUCAO DE CORRENTE ELECTRICA*. Escola Superior de Ciencias Marinhas e Costeira (ESCMC)- UEM: Mocambique.
- MINENER, M. d. (2011). *ESTRATÉGIA DE DESENVOLVIMENTO DE ENERGIAS NOVAS E. REPÚBLICA DE MOÇAMBIQUE*: Mocambique.
- MONTEIRO, T. M. (2009). *ANÁLISE DE GERADOR DE INDUÇÃO PARA PRODUÇÃO DE ENERGIA*. RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL: Brasil.
- MOTENZANO, B. E. (2007). *MODELO DINAMICO DE VISUALIZACAO DE UM AEROGERADOR COM VELOCIDADE DE ROTACAO VARIAVEL E CONTROLE DE PASSO EM VRML*. Rio de Janeiro RJ- Brasil: Brasil.

MUBANGO, C. A. (2013). *ESTUDO DA INFLUENCIA DO ANGULO DAS PAS NA EFICIENCIA MECANICA DE UMA TURBINA EOLICA HIBRIDA DE EIXO VERTICAL DO TIPO SAVONIUS/DARRIEUS*. Mocambique: Escola Superior de Ciencias Marinhas e Costeira.

NOGUERA et al, L. R. (2000). *CONSTRUÇÃO DE UM MOTOR DE INDUÇÃO TRIFÁSICO COM ROTOR GAIOLA DE ESQUILO MONTADO PARA FINS DIDÁTICOS*. Brasil: São José dos Campos – SP.

SANTOS et al, A. A. (2006). *PROJETO DE GERAÇÃO DE ENERGIA EÓLICA*. Universidade Santa Cecília- Brasil: Sao Paulo- Brasil.

SILVA, C. (2012). *GERADORES AC*. clube de ciencias: Brasil.

VALIA, N. C. (2011). *AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA ELÉTRICA DA TURBINA EOLICA DO EIXO VERTICAL DO TIPO SAVONIUS CANTRUIDA NOS CAMPOS DA UNIVERSIDADE DA UEM-ESCMC, CHUABO DEMBE-QUELIMANE*. Universitários da UEM-ESCMC, Chuabo Dembe-Quelimane: Mocambique.