



Universidade Eduardo Mondlane

Faculdade de Ciências

Departamento de Física

Opção 2

Sistema Híbrido Fotovoltáico – Eólico

Nome: Gujamo, Inocêncio Pedro

Docente: Prof. Dr. Cuamba

Física Aplicada

Índice

1	Objectivos	2
1.1	Sistemas híbridos definição	2
2	Energia fotovoltaica	3
2.1	Radiação solar	3
2.2	Princípio de funcionamento da célula fotovoltaica	5
2.2.1	Efeito Fotovoltaico	5
2.2.3	Célula fotovoltaica de silício	8
2.2.4	Módulos solares	9
3	Geração de energia eléctrica usando uma turbina eólica	11
3.1	Aerogeradores	13
3.2	Gerador	13
3.3	Torre	14
3.4	Nacele	14
4	Componentes do sistema fotovoltaico - eólico	15
4.1	Inversor	15
4.2	Rectificadores	16
4.3	Acumuladores – bateria	16
4.4	Controladores de carga	16
5	Conclusão	17
6	Referências bibliográficas	17

1 Objectivos

Descrever os princípios de produção de energia eléctrica a partir de sistema híbridos fotovoltaico – eólico.

Descrever os principais componentes dum sistema fotovoltaico híbrido fotovoltaico - eólico.

Analisar os parâmetros a ter em conta na montagem dos sistemas híbridos fotovoltaico – eólico.

1.1 Sistemas híbridos definição

Define-se sistema híbrido como sendo aqueles sistemas de geração de energia eléctrica formadas por duas ou mais fontes de produção de energia operando em conjunto para atender demanda de um consumidor comum [8]. Estas outras fontes podem ser, por exemplo, gerador a diesel, gerador eólico.

O gerador fotovoltaico é aquele que transforma a energia proveniente do sol a energia eléctrica. Essa transformação pode ser conseguida usando um material semiconductor. Os sistemas fotovoltaico compreendem o conjunto dos equipamentos necessários para transformar a energia radiante do Sol em electricidade adequada para o uso do consumidor [2]

A produção da energia eléctrica a partir do vento é feita a partir de aerogeradores. Os aerogeradores possuem um gerador que transforma a energia mecânica do vento em energia eléctrica. O funcionamento dos geradores baseia-se na lei de indução electromagnética de Faraday – Maxwell.

Alem de fonte de produção de energia eléctrica fotovoltaica e a eólica, o sistema híbrido que vou descrever possuem dispositivos de controlo e condicionamento de potência e dispositivos de armazenamento de energia – as baterias. [8]

O sistema híbrido fotovoltaico – eólico pode ser representado pelo esquema:

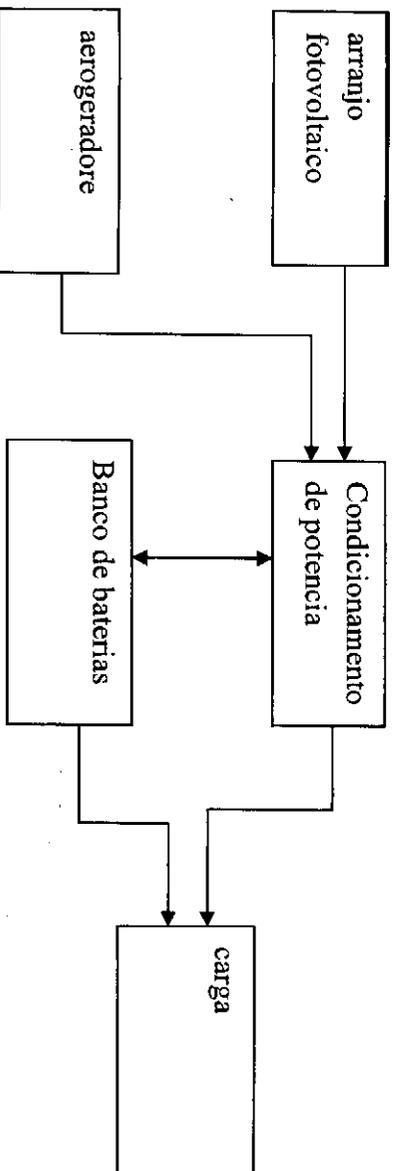


Fig. 1 Exemplo esquemático dum sistema fotovoltaico – eólico

2 Energia fotovoltaica

Existe dispositivos construídos para converter a energia solar em energia eléctrica. Esses dispositivos são chamados de células fotovoltaicas.

Antes de descrever o princípio de funcionamento dum célula solar também chama célula fotovoltaica, vou falar brevemente da radiação solar.

2.1 Radiação solar

O sol é a fonte de toda energia. É através do sol que a água aquece e realiza a evaporação, dando “origem a ciclo das águas, que possibilita o resfriamento e a consequente geração da hidro - electricidade”[3]. O vento para a produção de energia eólica é consequência da circulação atmosférica causada pela radiação solar. Estes são alguns exemplos que mostram a fonte primária da energia na Terra – o sol.

Radiação solar é uma onda electromagnética que se propaga a velocidades aproximada a 300000 km/s. Ela apresenta propriedades ondulatórias e corpusculares. Sendo a radiação solar uma onda electromagnética, as suas propriedades ondulatórias podem ser descritas através das equações de Maxwell.

Essas equações na forma diferencial tem a seguinte formam no sistema C.G.S.

$$\text{div} \mathbf{D} = 4\pi \rho \quad (1)$$

$$\text{div} \mathbf{B} = 0 \quad (2)$$

$$\text{rot} \mathbf{E} = -\frac{1}{c} \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} \quad (3)$$

$$\text{rot} \mathbf{H} = \frac{4\pi}{c} \mathbf{j} + \frac{1}{c} \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t} \quad (4)$$

Onde \mathbf{D} e o vector deslocamento eléctrico

\mathbf{H} é o vector intensidade do campo magnético

\mathbf{B} é o vector indução magnética do campo

\mathbf{j} e o vector densidade de corrente eléctrica

\mathbf{E} é vector intensidade do campo eléctrico

Estas sistema de equações torna se completo quando se acrescenta as "ditas equações materiais que caracterizam as propriedades eléctricas e magnéticas do meio"[4]. Essas equações materiais têm a seguinte forma no sistema C.G.S. para o meio isotrópico:

$$D = \epsilon E \quad (5)$$

$$B = \mu H \quad (6)$$

$$j = \gamma E \quad (7)$$

Onde ϵ e μ é a permabilidade dieléctrica e magnética respectivamente do meio em consideracao

γ é a condutividade eléctrica.

Em regiões onde não existem macro correntes $\mathbf{j}=0$ por tanto

$$\text{rot} \mathbf{H} = \frac{1}{c} \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t} \quad (8)$$

Dependendo da frequência da radiação, a energia emitida por um fóton da luz é dado pela equação

$$E = hf \quad (9)$$

Onde h é a constante de Planck e f é a frequência da radiação. No sistema internacional $h=6,625 \cdot 10^{-34}$ J/s

A radiação que recebemos na terra provem da fotosfera do sol. Esta radiação é distribuída de forma desigual ao longo da superfície da Terra. Entre tanto existe um valor médio da radiação que incide perpendicularmente a na superfície da terra fora da sua atmosfera. Este radiação é de $1367 \frac{W}{m^2}$. Este valor é chamado de constante solar.

A radiação do sol chega a terra em forma da radiação directa ou difusa.

Radiação directa é aquela que provem directamente do sol sem ocorrência alguma de mudança de direcção dos raios solares. Radiação difusa é a radiação recebida por um corpo após a direcção dos raios solares ser alterada por reflexões nas nuvens ou por espalhamento na atmosfera. A radiação reflectida ou albedo, é aquela recebida por um corpo após reflexão dos raios solares em superfícies. Sendo esta dependendo da forma e da textura da superfície reflectora. [5]

A figura a baixo ilustra as formas a que a radiação do sol chega ao solo.

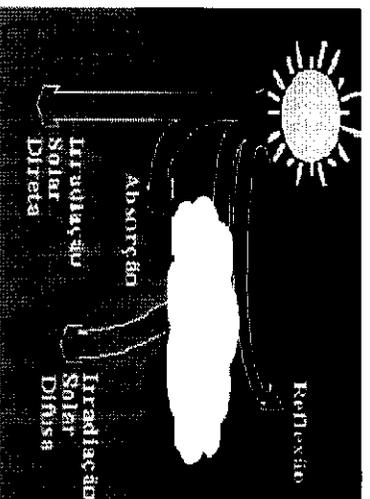


Fig. 2 Componente difusa e directa da radiação que chega a terra [3]

2.2 Princípio de funcionamento da célula fotovoltaica

2.2.1 Efeito Fotovoltáico

O efeito a que se baseia o funcionamento das células fotovoltaicas é o efeito fotovoltáico.

O efeito fotovoltáico é transformação da radiação solar em energia eléctrica. A corrente produzida pelo efeito fotovoltáico é contínua. A célula fotovoltaica é constituída por um material semiconductor. Semicondutores são substancias cristalinas cuja banda de valência é completamente preenchida por electrões, e cuja a banda proibida é pequena (por volta de 1eV para semicondutores intrínsecos) [9]. Esse material semiconductor pode ser o silício, o arseniato de gálio, telurieto de cádmio ou disselenieto de cobre e índio. A célula de silício cristalina é a mais comum. Actualmente, cerca de 95 % de todas as células solares do mundo são de silício [6]. A descrição a baixo refere-se ao funcionamento da célula fotovoltaica de silício.

O silício possui quatro electrões de valência. Para atingir uma configuração estável, dois átomos compartilham um par de electrões. Com a influência de factores externos, por

exemplo, a radiação, um electrão pode ser arrancado da ligação. Este electrão arrancado será um electrão livre. Este electrão move-se livremente e no seu lugar forma-se uma lacuna. A lacuna comporta-se como carga positiva. Este processo de movimento da lacuna no sentido inverso ao movimento do electrão dá-se o nome de auto-conducao.

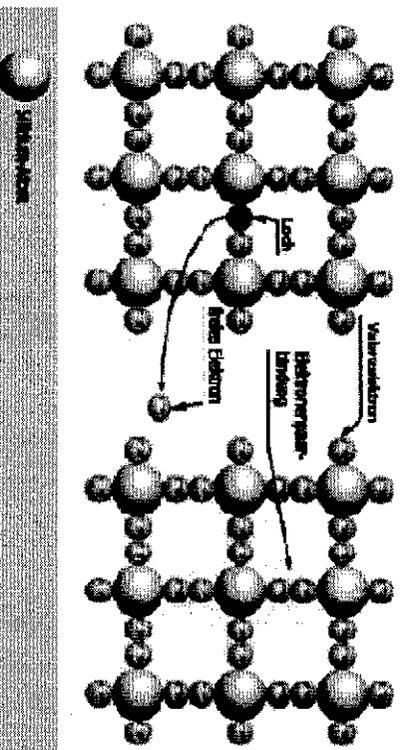


Fig. 3 Estrutura cristalina do silício e o processo de auto-condução.[6]

Para que o silício gere a corrente eléctrica é necessário que ele seja dopado, isto é, introduzir na estrutura do silício átomos de impurezas. Os materiais para a dopagem do silício devem ser do quinto ou terceiro grupo, por exemplo, fósforo e boro respectivamente. O fósforo possui um electrão de valência a mais em relação ao silício e o boro possui um electrão a menos. Com a introdução destas impurezas a rede cristalina fica com defeitos. Por cada átomo de fósforo, surge um electrão livre em excesso e assim forma-se material do tipo n. E por cada átomo de boro forma-se uma lacuna, construindo assim o material do tipo p. Um electrão do átomo de silício pode ser atraído pela lacuna e pranche-la e deste modo surgindo uma outra lacuna noutro lugar. "O mecanismo condutor que resulta da presença dos átomos impuros é chamado de condução extrínseca."[6]

A figura a baixa ilustra a condução extrínseca do silício dopado com material do tipo n e do tipo p. como se pode concluir, este movimento de portadores de carga é desordenado. Para termos uma corrente eléctrica é necessário um movimento ordenado de portadores de carga.

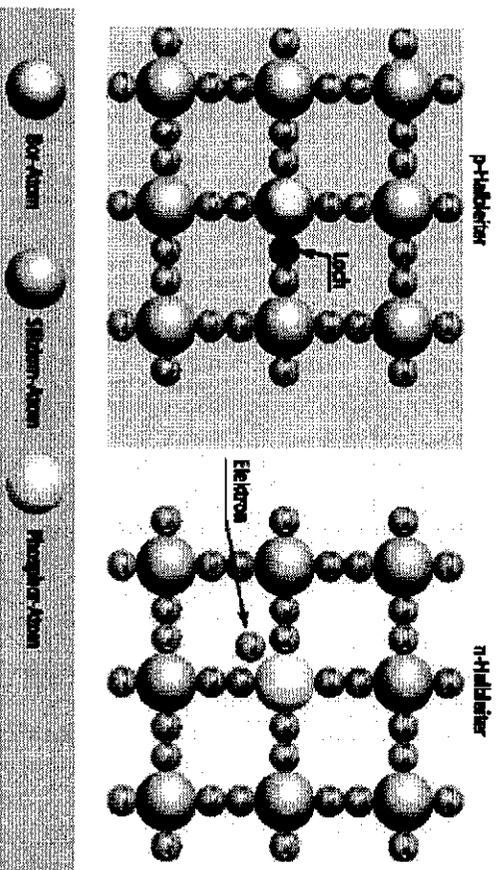


Fig. 4 Condução extrínseca com silício dopado com impurezas do tipo n e p [6]

Se unirmos materiais do tipo p e do tipo n ou seja criando uma junção p-n, vai surgir difusão de electrões da material do tipo n para a do material do tipo p. O mesmo acontece com material do tipo p [6] As lacunas no material do tipo p vão por difusão entrar no material do tipo n. A camada do tipo n, que cedeu electrões, fica positivamente carregado, e a camada do tipo p que recebeu os electrões ficam negativamente carregadas. Estas cargas como que fixas dao origem ao campo electrico que forma uma bareira de potencial capaz de impedir o fluxo dos electroes livres remanescentes no lado n. E deste modo cria - se a junção pn [5].

A figura a baixo mostra a criação da barreira do potencial e o surgimento do campo eléctrico ao se fazer a junção pn.

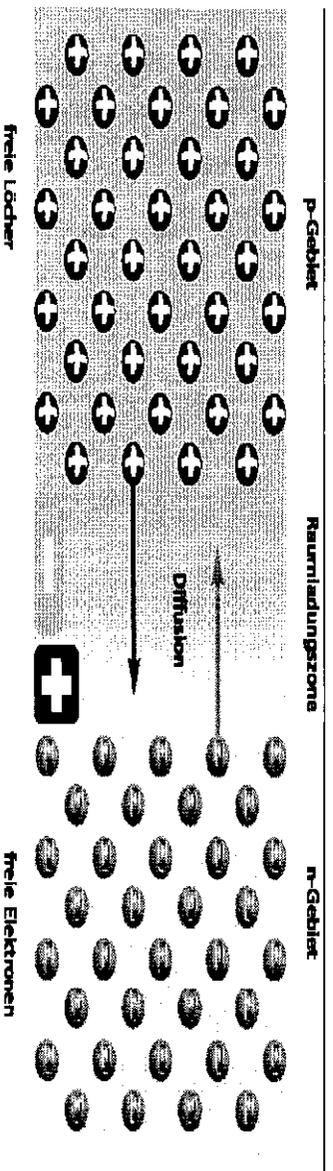


Fig. 5 Criação da barreira de potencial numa região de transição pn, através da difusão dos Electrões e das lacunas. [6]

Se a junção pn receber uma a luz com energia comparável a banda proibida, os fótons vão ser absorvidos e quebram ligações entre os electrões. Através da acção do campo eléctrico, os electrões vão ser direccionados para a camada do tipo p e as lacunas para camada do tipo n. Dando assim a corrente fotovoltaica.

A difusão dos portadores de carga até aos contactos eléctricos, produz tensão na fronteira da célula solar. Se não estiver ligada a nenhuma carga, é obtida a tensão de circuito aberto na célula solar. Se o circuito eléctrico estiver fechado. Contudo, alguns electrões que não alcançam os contactos são recombinados. A recombinação consiste no processo de unir um electrão livre e uma lacuna [6]

2.2.3Célula fotovoltaica de silício.

O seu funcionamento baseia-se no efeito fotovoltaico

A célula fotovoltaica de silício é constituída por duas camadas de silício do tipo p e tipo n. ela de facto, é uma junção pn. A camada que recebe os raios solares é do tipo n. É uma camada de silício dopado com elemento do quinto grupo da tabela periódica - o fósforo. E a camada inferior e do tipo p. a camada inferior é dopado com impureza do terceiro grupo da tabela periódica - o boro. Entre estas camadas é produzido um campo eléctrico que provoca a separação das cargas libertadas pela acção da luz. Nas suas partes frontais e posteriores são feitos contactos metálicos.

Conforme já descrito no efeito fotovoltaico, a luz do sol provoca a separação de portadores de carga. Se conectarmos um resistor, na figura representada pela lâmpada, nos contactos vai surgir uma corrente eléctrica. De toda energia que a célula solar recebe do sol, só 12% à 16% “é convertida em energia eléctrica. [2] Isto acontece devido a perdas de energia através de recombinação do electrão e lacuna, uma parte da radiação e reflectida, uma parte da radiação é transmitida, outra parte de energia é absorvida e transformada em calor e existe também perda de energia nos contactos metálicos.

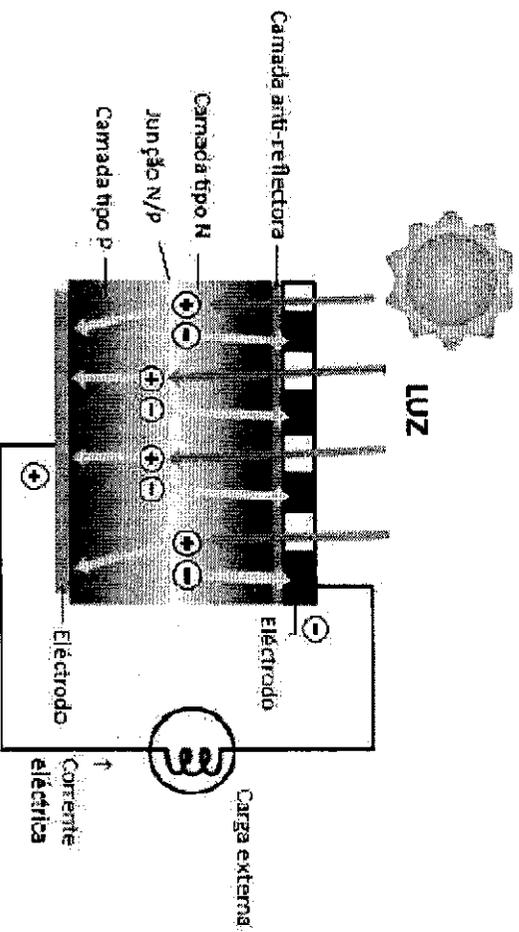


Fig. (6) Estrutura de uma célula solar [11]

2.2.4 Módulos solares

Uma célula fotovoltaica fornece pouca energia eléctrica, em uma tensão em torno de 0,4 Volts no ponto de máxima potência. A densidade de corrente é da ordem de 30 mA/cm² [7].

Para fins práticos faz-se associação das células fotovoltaicas em serie ou em paralelo formando módulos solares.

Para obter maior intensidade da corrente faz-se associação em paralelo. A corrente total da associação é dada pela equação:

$$I = I1 + I2 + \dots + In \quad (10)$$

A tensão da associação é igual a tensão de cada célula individual

$$V = V1 = V2 = \dots Vn \quad (11)$$

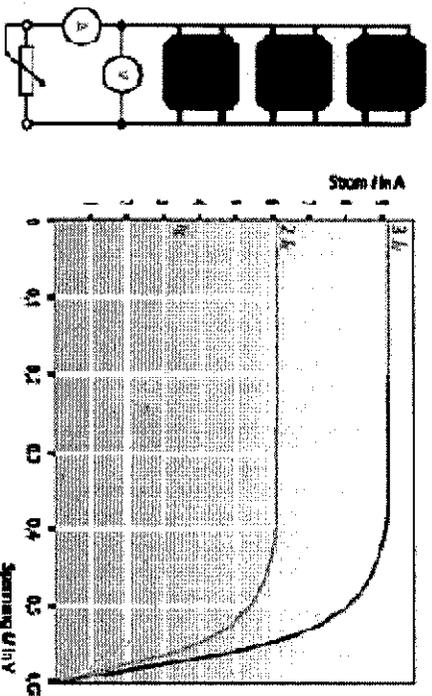


Fig. 7 Curva intensidade da corrente em função da tensão para três células conectadas em serie [7]

Se o objectivo é obter maior tensão faz-se associação em serie.

Quando a ligação é série as tensões são adicionadas e a corrente não é afectada, ou seja:

$$V = V1 + V2 + \dots + Vn \quad (12)$$

$$I = I1 = I2 = \dots In \quad (13)$$

É de notar que as correntes individuais iguais significam considerar-se módulos idênticos sob as mesmas condições de radiação e temperatura. Isto em geral não é totalmente verdade mas pode muitas vezes, ser uma boa aproximação, desde que alguns cuidados na selecção dos módulos e sua disposição sejam observados. [7]

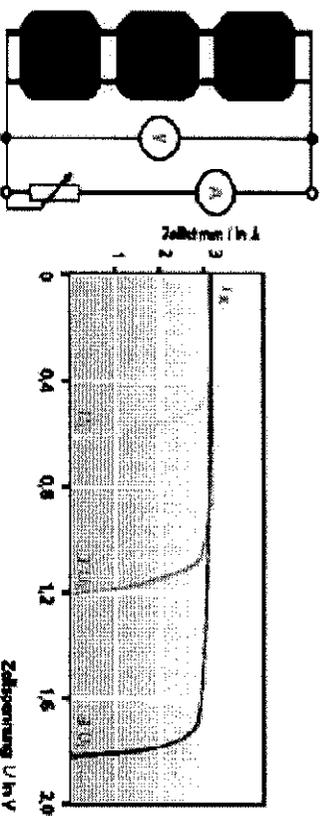


Fig. 8 Curva intensidade da corrente em função da tensão para três células conectadas em serie [6]

Por causa da possibilidade de uma célula dentro do módulo ser danificada e comprometer o funcionamento de todo o módulo, são ligados diodos de passagem – diodos de bypass. Esses diodos servirão de caminho alternativo da corrente e limita a libertação de calor na célula danificada. O diodo bypass é conectado em paralelo num conjunto de células. É necessário conectar também um diodo de bloqueio para evitar que o módulo consuma energia das baterias.

Os módulos podem ser associados em serie ou em paralelo. Para minimizar a perda de potência é conveniente a associação de módulos do mesmo tipo.

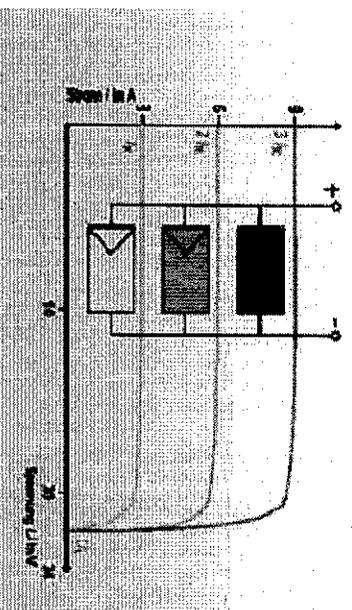


Fig. 9 Ligação em paralelo dos módulos fotovoltaicas [6]

3 Geração de energia eléctrica usando uma turbina eólica

Os ventos são resultantes do movimento do ar na atmosfera terrestre e, assim como outras fontes renováveis de energia, são originalmente resultantes da radiação solar que atinge a Terra. [1]

A principal característica do vento a ser analisada quando se visa ao aproveitamento eólico para geração de electricidade é a velocidade. A potência contida no vento é proporcional ao cubo de sua velocidade, tornando evidente a importância deste parâmetro em projectos de sistemas eólicos. Seja um fluxo de vento com velocidade v , através de um cilindro de área de secção transversal A e comprimento L , como mostrado na figura

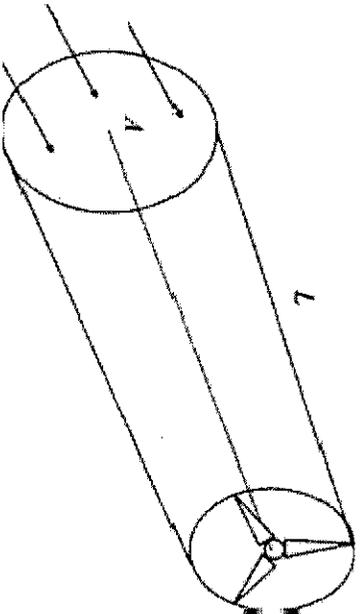


Fig. 10 Fluxo de vento através de um cilindro de área A e comprimento L [1]

A energia cinética E_c duma massa m que se move com velocidade v é dada por

$$E_c = \frac{1}{2} m v^2 \quad (14)$$

E a potência e a energia por unidade de tempo

$$P = \frac{dE}{dt} \quad (15)$$

$$P = \frac{1}{2} \frac{dm}{dt} v^2 \quad (16)$$

O termo $\frac{dm}{dt}$ representa a taxa de fluxo de ar que passa pelo cilindro. A massa de ar no cilindro é dada pelo produto entre a densidade do ar e o volume do cilindro, ou seja,

$$m = \rho A L \quad (17)$$

Ora a variação do comprimento L n decorrer do tempo é igual a velocidade, isto é,

$$v = \frac{dL}{dt} \quad (18)$$

então

$$\frac{dm}{dt} = \rho A v \quad (19)$$

Sendo assim

$$P = \frac{1}{2} \rho A v^3 \quad (20)$$

A densidade de potência, ou seja, a potencia por unidade de área é dada pela equação:

$$\frac{P}{A} = \frac{1}{2} \rho v^3 \quad (21)$$

O valor da densidade do ar a 15°C é de $1.225 \frac{kg}{m^3}$. Este é o valor normalmente utilizado pela industria de energia eólica. [1]

Diversos factores limitam a potência efectivamente aproveitada por um sistema eólico para a conversão em energia eléctrica. Esses factores são representados pelo coeficiente de potência, CP, que representa a parcela de potência do vento que pode efectivamente ser aproveitada por uma turbina eólica.

Então a nova potencia será

$$P = \frac{1}{2} C_P \rho A v^3 \quad (22)$$

Seu máximo teórico é definido pelo limite de Betz (16/27, ou $\approx 0,593$), porém alcança valores menores na prática.

3.1 Aerogeradores

O aerogerador é a parte do sistema eólico responsável em captar a energia cinética do vento e transformá-la inicialmente em energia mecânica de rotação, e em seguida transformá-la em energia eléctrica

O aerogerador possui como constituição básica o rotor, o gerador, a torre e a nacelle. O rotor é constituído pelo cubo, cone e pás. O rotor pode ser de eixo vertical ou horizontal. Ele gira a custa da energia da cinética do vento transmitida pelas pás.

As turbinas eólicas de eixo horizontal, principalmente aquelas de três pás, são actualmente muito mais utilizadas para geração de energia eléctrica do que as de eixo vertical [1]

3.2 Gerador

Gerador é responsável em converter a energia mecânica em energia eléctrica. O gerador esta conectado ao rotor através de um eixo de rotação, ou directamente.

O princípio de geração de corrente eléctrica através dum gerador é fundamentado pela lei de indução electromagnética (lei de Faraday – Maxwell). Ela diz: o valor da força electromotriz \mathcal{E}_{ind} de indução electromagnética num circuito vem sendo proporcional à velocidade de variação do fluxo magnético Φ_m que passa através da superfície compreendida dentro das linhas do circuito, mas com sinal contrário [4].

$$\mathcal{E}_{ind} = -\frac{d\Phi_m}{dt} \quad (23)$$

Os geradores podem ser síncronos ou assíncronos.

Geradores síncronos são usados de maneira geral para rotores cuja velocidade de rotação é constante e os geradores assíncronos são usados para rotores cuja velocidade de rotação é variável.

O rotor de um gerador síncrono possui um enrolamento de campo pelo qual passa uma corrente contínua, gerando um campo magnético constante. Portanto, o rotor irá sempre girar a velocidade constante e em sincronismo com o campo do estator e a frequência da rede. O estator de geradores síncronos consiste de um enrolamento trifásico em um núcleo de ferro laminado, produzindo um campo magnético girante a uma velocidade constante. Os geradores de indução não apresentam qualquer conexão eléctrica em seu rotor, sendo a corrente induzida pelo movimento relativo do rotor contra o campo girante produzido pelo

estator. Se a velocidade do rotor for igual à velocidade do campo girante do estator, não há movimento relativo e, consequentemente, não há corrente induzida. Por isso, a velocidade de operação do gerador de indução é sempre levemente superior à velocidade do campo girante. Essa diferença entre as velocidades é conhecida como escorregamento (s), parâmetro que representa uma característica peculiar da máquina de indução, sendo calculado através da equação

$$s = \frac{n_s - n}{n_s} \quad (24)$$

onde n é a velocidade de operação do rotor. Durante operação normal, o escorregamento é aproximadamente igual a 1%. [1]

3.3 Torre

A torre é a estrutura que serve de suporte para os restantes componentes do aerogerador. A torre deve ter uma altura suficiente para o melhor aproveitamento da força do vento. Dependendo do porte do aerogerador, as torres podem ser tubulares, autportantes.

As torres tubulares são normalmente feitos de aço e concreto. São usados para aerogeradores de grande porte. As torres autportantes são sustentadas por cabos e aplicam-se para aerogeradores de pequeno porte.

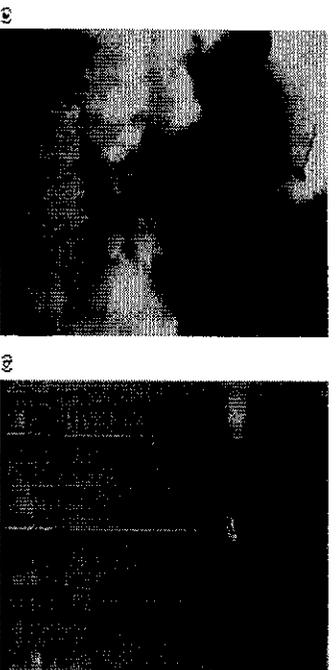


Fig. 11 (a) Torres auto-transportantes (b) torres tubulares [1]

3.4 Nacele

A nacele, é o compartimento responsável pelo abrigo, protecção e sustentação de todos os componentes de um aerogerador, com excepção do rotor. É normalmente fabricada de um material leve, como fibra de vidro.

Depois de examinar como é produzido a energia eléctrica a partir da radiação solar e do vento, vou descrever os componentes básicos dum sistema fotovoltaico - eólico.

4 Componentes do sistema fotovoltaico - eólico

4.1 Inversor

O inversor tem a função de transformar a corrente eléctrica contínua em alternada.

O uso do inversor é fundamental em sistemas híbridos, devido à maior facilidade de se encontrar no mercado equipamentos eléctricos e electrónicos de uso final que operam em corrente alternada. O princípio de funcionamento de um inversor está baseado em mecanismos de chaveamento que alteram o fluxo de corrente entre os sentidos positivo e negativo. Algumas características do inversor são a tensão de operação (de entrada DC e de saída AC), frequência de saída, potência nominal, capacidade de surto, eficiência, e forma de onda de saída. [1]

As tensões e frequência de operação dependem da carga a ser atendida. Em Moçambique as cargas de operação são 220 V, 60 Hz

A potência nominal é aquela que pode ser fornecida à carga de forma contínua, enquanto sua capacidade de surto, ou potência de pico, refere-se a um valor máximo de potência entregue em um curto intervalo de tempo, normalmente para atender equipamentos que possuem correntes de partida, como motores. A eficiência de conversão é a relação entre a potência de saída e a de entrada. [1]

A forma de onda de saída pode ser quadrada, quadrada modificada ou senoidal. Quase todos aparelhos de corrente alternada podem ser operadas com onda senoidal

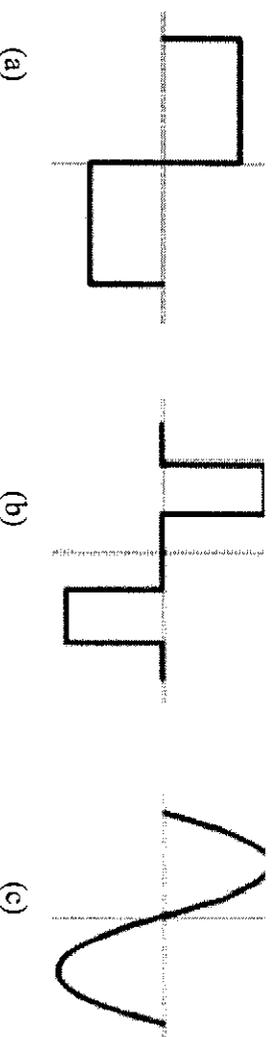


Fig. 12 Formas de onda do inversor: (a) onda quadrada, (b) onda quadrada modificada, (c) onda senoidal [1]

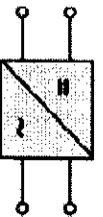


Fig.13 Símbolo para representação do inversor [6]

O inversor deve funcionar no ponto de máxima potência (MPP) para que apresente maior desempenho

4.2 Retificadores

Os retificadores são dispositivos para converter a tensão da corrente alternada em corrente contínua. Esta corrente alternada pode ser fornecida pelo aerogerador. Depois da corrente do aerogerador ser retificada, pode ser canalizada para o carregamento de baterias

4.3 Acumuladores – bateria

Visto que o vento nem a radiação solar nem sempre encontram-se a níveis suficientes de produção de energia, é necessários dispositivos para acumular energia, a fim de garantir o fornecimento de energia as cargas. Os dispositivos que servem para armazenar a energia são as baterias. As baterias podem ser conectadas em serie ou em paralelo para obter maior tensão ou corrente respectivamente.

Algumas características das baterias são a capacidade nominal, regime de carga ou descarga, profundidade de descarga (Pd).

A capacidade nominal é o número mais genérico da bateria. É a capacidade de descarga em ampere-hora que uma bateria totalmente carregada conserva a 27°C, durante 20 horas, sem que a tensão entre os terminais caia para menos da tensão de final de descarga (10,5 V). o regime de descarga é definido como a relação entre a sua capacidade nominal e o valor da corrente usada para fazer uma carga (ou descarga). Como exemplo, se a descarga de uma bateria de 150 Ah é realizada com uma corrente de 10 A, se diz então que o regime de descarga utilizado é de 15 horas, o valor da capacidade da bateria é simbolizado como C15 e a corrente utilizada para a descarga como I15. A profundidade de descarga é 0% quando a bateria está totalmente carregada e 100% quando está totalmente descarregada [1]

4.4 Controladores de carga

Controlador de carga é um dispositivo electrónico que opera em corrente contínua, cuja principal função é gerência os processos de carga e descarga das baterias. O controlador de carga deve actuar em um sistema híbrido de modo a evitar que a bateria opere em condições anormais, que contribuem para a redução de sua vida útil. Para isso, este equipamento possui dois ou três pontos de conexão, cada um contendo dois terminais (positivo e negativo). Um ponto é conectado ao arranjo fotovoltaico, outro às baterias. Um terceiro ponto pode existir, devendo ser conectado ao inversor de tensão, caso o controlador tenha a função de gerências

o processo de descarga das baterias. Este ponto não é encontrado em todos os controladores devido ao fato do inversor de tensão, dependendo de seu modelo, já ser apropriado para executar a função de controle de descarga do banco de baterias. Nesta condição, a saída do banco de baterias deve ser conectada directamente à entrada do inversor, sem passar pelo controlador.

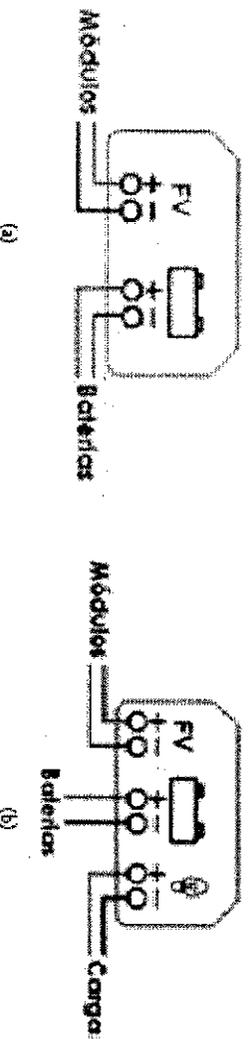


Fig. 14 Esquema básico de controlador de carga: (a) controlador de carga com dois pontos de conexão, (b) de carga com três pontos de conexão [1]

5 Conclusão

Os sistemas híbridos fotovoltaico – eólicos produzem energia eléctrica a partir de fontes renováveis. Elas podem operar juntos com objectivo de fornecer energia a mesma carga. São usados controladores e condicionadores de potência na sua bem como um banco de baterias operação. Antes da sua instalação é necessário avaliar os recursos de energia solar e eólica com cuidado no seu dimensionamento.

6 Referências bibliográficas

[1]. José Tavares Pinho - Sistemas Híbridos - Soluções Energéticas para a Amazônia - 2008

- [2]. Marcos de Oliveira Santos - Revitalização do sistema Fotovoltaico do CEFETSE/UNID Lagarto-2008, Monografia (obtenção do título de especialista em Fontes Alternativas de Energia), Universidade Federal de Lavras-2008
- [3] CRESESEB –Energia Solar - Princípios e Aplicações
- [4]. B. M. Yavorski , A.A.DeLaf- Prontuário de Física-1984
- [5]. Mauro Moura Severino – Avaliação Técnico-Econômica de um Sistema híbrido de Geração Distribuída Para Atendimento a Comunidades Isoladas da Amazônia-2008- dicertacao (tese de Doutorado em engenharia eléctrica)-Departamento de Engenharia Eléctrica, Universidade de Brasília, Brasília-2008
- [6]. *GREENPRO-Energia Fotovoltaica – Manual sobre Tecnologias, Projectos e instalação - 2004*
- [7]. GTEF-CRESESEB-CEPEL- Sistemas fotovoltaico - Manual de Engenharia – 2004
- [8]. Mestrado Luciano Hauschild- Avaliação de Estratégias de Operação de Sistemas Híbridos Fotovoltaico – Eólico – Diesel 2006- Dissertação (obtenção de título de Mestre em Energia), Universidade de São Paulo-2006
- [9]. I.V Savéliev - curso de Física General, Vol. 3, editora Mir Moscú-1984
- [11]. Hugo Gil Silva, Marcos Afonso – Energia Solar Fotovoltaica:: Contributo para um *Roadmapping* do seu Desenvolvimento Tecnológico-2009