



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE

Faculdade de Ciências

Departamento de Física

FÍSICA DAS ENERGIAS RENOVÁVEIS

OPÇÃO II

Tecnologias de Energia Solar Fotovoltaica

Docente : Prof. Dr. Cuamba, Boaventura

Discente: Navungo, Alberto Z. Pedro,

1. Introdução

O aproveitamento da energia gerada pelo Sol, inegorável na escala terrestre de tempo, tanto como fonte de calor quanto de luz, é hoje, sem sombra de dúvidas, uma das alternativas energéticas mais promissoras para enfrentarmos os desafios do novo milênio. E quando se fala em energia, deve-se lembrar que o Sol é responsável pela origem de praticamente todas as outras fontes de energia. Em outras palavras, as fontes de energia são, em última instância, derivadas da energia do Sol. É a partir da energia do Sol que se dá a evaporação, origem do ciclo das águas, que possibilita o represamento e a consequente geração de eletricidade. A radiação solar também induz a circulação atmosférica em larga escala, causando os ventos. Petróleo, carvão e gás natural foram gerados a partir de resíduos de plantas e animais que, originalmente, obtiveram a energia necessária ao seu desenvolvimento, da radiação solar.

A energia solar fotovoltaica é o nome dado à transformação da luz solar em energia eléctrica. Essa transformação é efectuada por células solares, integradas em painéis fotovoltaicos. Os sistemas fotovoltaicos podem ser autónomos ou estarem ligados à rede de electricidade. Nos sistemas autónomos, toda a energia eléctrica que é produzida é consumida pelo produtor.

As células fotovoltaicas são constituídas por um material semiconductor – o silício – ao qual são adicionadas substâncias, ditas dopantes, de modo a criar um meio adequado ao estabelecimento do efeito fotovoltaico, isto é, conversão directa da potência associada à radiação solar em potência eléctrica DC. Actualmente, a principal característica do sistema eléctrico é a utilização de grandes usinas, centralizando a geração de energia eléctrica, com o transporte desta através de extensas redes de transmissão e distribuição. Esta nova alternativa de geração oferece algumas vantagens, como suporte de tensão através do fornecimento de energia reactiva local, melhoria da qualidade de suprimento, redução das perdas, melhoria do fator de potência, libertação da capacidade e possibilidade para atendimento de carga local, melhoria na curva de carga, redução nos custos de expansão da rede e a prorrogação de novos investimentos para a construção de grandes usinas. Outra vantagem importante é a produção de pequenos blocos de energia através de fontes renováveis, tais como pequenas centrais hidrelétricas, geradores eólicos, células combustíveis, células fotovoltaicas, etc.

2. Resumo

Em todo o mundo ocorre um aumento no interesse pelos sistemas fotovoltaicos, motivado principalmente pela redução dos custos das células solares e pelos crescentes problemas ambientais causados pelas formas tradicionais da geração de energia. O uso de sistemas fotovoltaicos tem aos poucos ganhado espaço, principalmente em regiões onde o acesso a energia elétrica convencional é ainda economicamente inviável, porém, nada impede que seja aplicado nos locais com presença da energia elétrica.. Evitar excessos é um fator de grande importância a ser considerado no dimensionamento dos sistemas fotovoltaicos isto é, o uso dos equipamentos elétricos ou eletrônicos devem ser bem projetados, bem como, apresentar baixo consumo de energia. Assim, este trabalho tem por objetivo apresentar a tecnologia dos sistema fotovoltaicos, vantagens e desvantagens da energia solar fotovoltaico e aplicações destas tecnologias em Moçambique.

3. Objetivos

Este trabalho têm como objetivo apresentar aspectos relacionados com a tecnologia de energia solar fotovoltaico, vantagens e desvantagens e aplicações em Moçambique

4. Metodologia

Para o estudo do tema em questão, foram utilizados alguns manuais a serem citados na referência bibliográfica. O presente trabalho contém textos, figuras ilustrativas e fórmulas para o cálculo de alguns parâmetros importantes para a abordagem do tema.

5. Revisão bibliográfica

5.1 Energia solar

O aproveitamento da energia gerada pelo Sol, inesgotável na escala terrestre de tempo, tanto como fonte de calor quanto de luz, é hoje, sem sombra de dúvidas, uma das alternativas energéticas mais promissoras para se enfrentar os desafios do novo milênio. E quando se fala em energia, deve-se lembrar que o Sol é responsável pela origem de praticamente todas as outras fontes de energia. Em outras palavras, as fontes de energia são, em última instância, derivadas da energia do Sol. É a partir da

energia do Sol que se dá a evaporação, origem do ciclo das águas, que possibilita o represamento e a consequente geração de eletricidade. A radiação solar também induz a circulação atmosférica em larga escala, causando os ventos. Petróleo, carvão e gás natural foram gerados a partir de resíduos de plantas e animais que, originalmente, obtiveram a energia necessária ao seu desenvolvimento, da radiação solar.

6. Célula Fotovoltaico

6.1 Efeito Fotovoltaico

Células fotovoltaicas são fabricadas com material semiconductor, ou seja, material com características intermediárias entre um condutor e um isolante. O silício apresenta-se normalmente como areia. Através de métodos adequados obtém-se o silício em forma pura. O cristal de silício puro não possui elétrons livres e, portanto é mau condutor eléctrico. Para alterar isto acrescentam-se percentagens de outros elementos. Este processo denomina-se dopagem. A dopagem do silício com o fósforo obtém-se um material com elétrões livres ou materiais com portadores de carga negativa (silício tipo N). Realizando o mesmo processo, mas agora acrescentado Boro ao invés de Fósforo, obtém-se um material com características inversas, ou seja, falta de elétrões ou material com cargas positivas livres (silício tipo P). Cada célula solar compõe-se de camada fina de material tipo N e outra com maior espessura de material tipo P (ver figura 1). Separadamente, ambas as capas são eletricamente neutras. Mas ao serem unidas, na região P-N, forma-se um campo eléctrico devido aos elétrons livres do silício tipo N que ocupam os vazios da estrutura do silício tipo P. Ao incidir luz sobre a célula fotovoltaica, os fótons chocam-se com outros elétrons da estrutura do silício fornecendo-lhes energia e transformando-os em condutores. Devido ao campo eléctrico gerado pela junção P-N, os elétrons são orientados e fluem da camada “P” para a camada “N”.

Por meio de um condutor externo, ligando a camada negativa à positiva, gera-se um fluxo de elétrons (corrente eléctrica). Enquanto a luz incidir na célula, manter-se-á este fluxo. A intensidade da corrente eléctrica gerada variará na mesma proporção conforme a intensidade da luz incidente. Uma célula fotovoltaica não armazena energia eléctrica. Apenas mantém um fluxo de elétrons estabelecidos num circuito eléctrico enquanto houver incidência de luz sobre ela. Este fenómeno é denominado “Efeito fotovoltaico”.

CÉLULA FOTOVOLTAICA

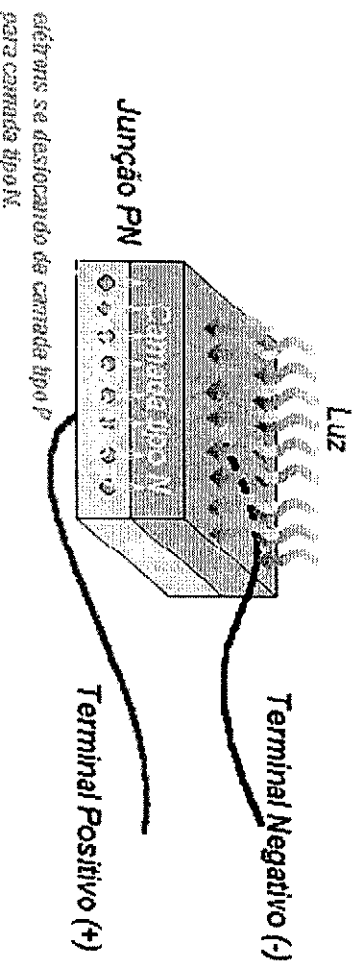


Fig1 Esquema básico de uma célula fotovoltaico

Cada módulo fotovoltaico é formado por uma determinada quantidade de células conectadas em série

6.2 Tipos de Células

Existem basicamente três tipos de células, conforme o método de fabricação

Silício monocristalino: é o material mais usado na composição das células fotovoltaicas, Estas células obtêm-se a partir de barras cilíndricas de silício monocristalino produzidas em fornos especiais. As células são obtidas por corte das barras em forma de pastilhas finas (0,4-0,5 mm de espessura) fig.2.a. A sua eficiência na conversão de luz solar em eletricidade é superior a 12%.

Silício policristalino:

O silício policristalino, constituído por um número muito elevado de pequenos cristais da espessura de um cabelo humano fig.2.b, dispõe de uma quota de mercado de cerca de 30%. As discontinuidades da estrutura molecular dificultam o movimento de electrões e encorajam a recombinação com as lacunas, o que reduz a potência de saída. Por este motivo os rendimentos em laboratório e em utilização prática não excedem os 18% e 12%, respectivamente. Em contrapartida, o processo de fabricação é mais barato do que o do silício cristalino.

Silício amorfo: O silício amorfo não tem estrutura cristalina, Estas células são obtidas por meio da deposição de camadas muito finas de silício ou outros materiais semicondutores sobre superfícies de vidro ou metal fig.2.c. Sua eficiência na conversão de luz solar em eletricidade varia entre 5% e 7%.

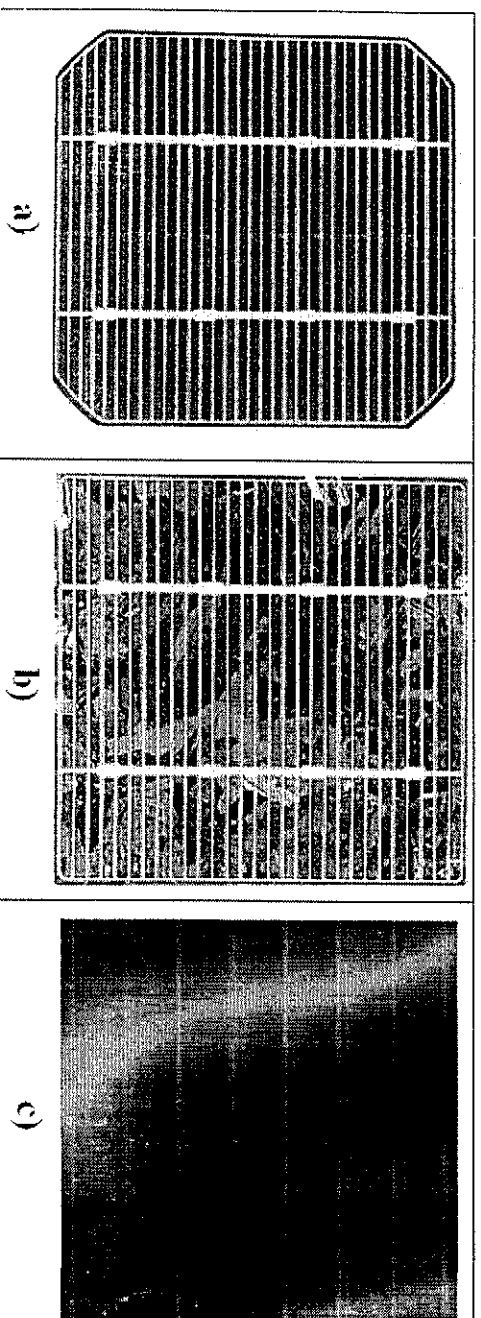


Fig.2: Tipos de células convencionais de silício: a) monocristalino; b) policristalino; c) amorfo

Célula de CdS/CdTe:

Nas células solares de CdS/CdTe o telureto de cádmio e o sulfeto de cádmio formam uma estrutura denominada heterojunção (junção p-n de semicondutores diferentes). Nestas células, o CdTe é o semicondutor tipo p e o CdS é o material tipo n mais utilizado, o qual juntamente com o vidro e o óxido transparente condutivo actua como “janela” para a radiação incidente. A estrutura típica e mais bem sucedida para fabricação de células solares de CdS/CdTe de baixo custo e alta eficiência é baseada numa estrutura na qual as partes activas da célula são depositadas sobre um substrato de vidro, conhecida com estrutura de superestrato, o que significa que a luz incide através do substrato de vidro. Na FIG. 2.5 são mostradas as quatro camadas, além do substrato de vidro, que constituem esta célula solar. A seguir são descritas tais camadas.

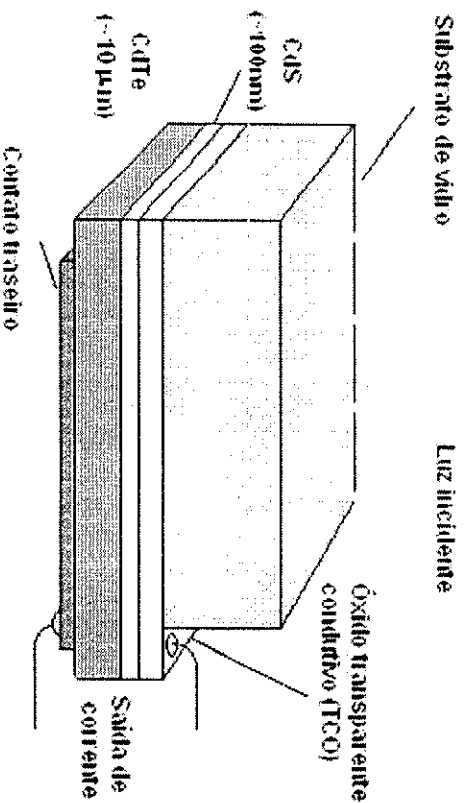


Fig.3 Esquema de uma célula solar de Cds/CdTe (SEMICONDUCTORS ANDELECTROCERAMICS, UNIVERSITY OF DURHAM, 2003).

Recentemente foi desenvolvida uma célula solar de tripla junção metamórficas constituído por semicondutores compostos V-III: fosfeto de índio gálio, índio e de arseneto de gálio e germânio. Esta estrutura especial, torna possível otimizar o uso de quase todo o espectro solar para produção de energia.

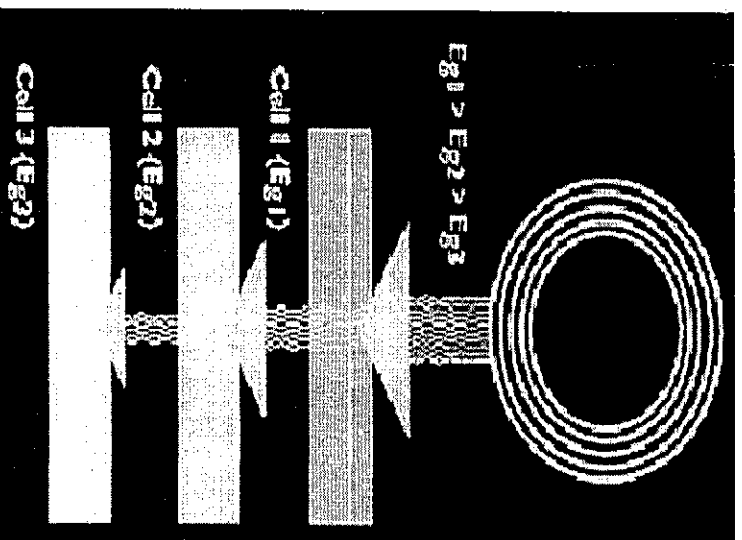


Fig.5 Source: National Renewable Energy Laboratory

7. Gerador fotovoltaico

7.1 Potência obtida

É o produto da tensão pela intensidade de corrente:

$$P = V \times I \quad (1)$$

Em que:

P é a potência, medida em Watts

V é a tensão aplicada, medida em Volts

I é a corrente que circula, medida em Amperes

Analisando-se os casos vistos na ligação em série e na ligação em paralelo verificaremos que ambos operam com valores de potência idênticos:

$$P = V \times I = 24 * 2 = 48w \quad (3) \text{ (ex. série);}$$

$$P = V \times I = 12 * 4 = 48w \quad A = 48W \quad (4) \text{ (ex. paralelo)}$$

Uma mesma potência elétrica poderá estar na forma de alta tensão e baixa corrente ou baixa tensão e alta corrente. Cada aplicação determinará a melhor escolha.

8. Curvas características das células fotovoltaicas

8.1 Curva de corrente x tensão (curva I -V)

A representação típica da característica de saída de um dispositivo fotovoltaico (célula, módulo, sistema) denomina-se curva corrente tensão.

A corrente de saída mantém-se praticamente constante dentro da amplitude de tensão de funcionamento e, portanto, o dispositivo pode ser considerado uma fonte de corrente constante neste âmbito. A corrente e a tensão em que opera o dispositivo fotovoltaico são determinadas pela radiação solar incidente, pela temperatura ambiente, e pelas características da carga conectadas ao mesmo. A I-V pode ser obtida por meio de um circuito simples como o mostrado na fig.5

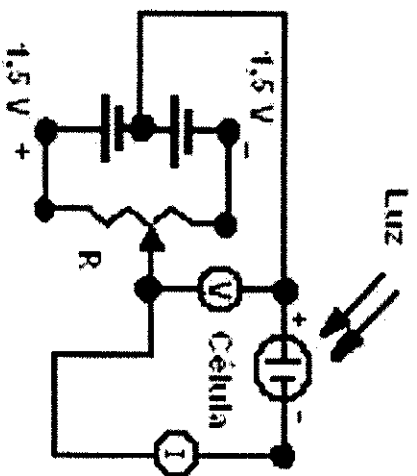


Fig.5 Montagem experimental para obtenção da curva I x V (adaptado de SMESTED et al, 1998).

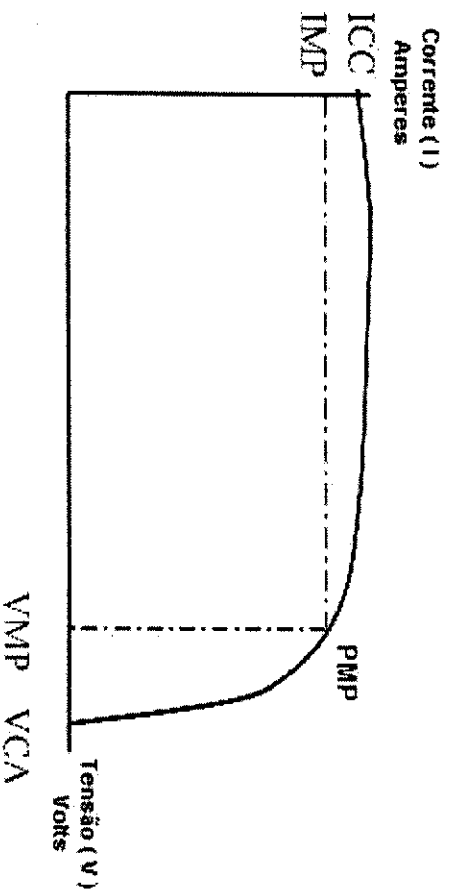


Fig.6 gráfico de curva característica de corrente-tensão

Corrente de curto-circuito (Icc): Máxima corrente que pode entregar um dispositivo sob condições determinadas de radiação e temperatura correspondendo a tensão nula e conseqüentemente a potência nula.

Tensão de circuito aberto (Vca): Máxima tensão que pode entregar um dispositivo sob condições determinadas de radiação e temperatura correspondendo à circulação de corrente nula e conseqüentemente à potência nula.

Potência Pico (Pmp): É o valor máximo de potência que pode entregar o dispositivo. Corresponde ao ponto da curva no qual o produto $V \times I$ é máximo.

Corrente a máxima potência (Imp): corrente que entrega o dispositivo a potência máxima sob condições determinadas de radiação e temperatura. É utilizada como corrente nominal do mesmo.

Tensão a máxima potência (V_{mp}): tensão que entrega o dispositivo a potência máxima sob condições determinadas de radiação e temperatura. É utilizada como tensão nominal do mesmo

9. Configuração de sistemas

9.1 Directamente ligados a uma carga

É o sistema mais simples de todos. O gerador fotovoltaico liga-se directamente à carga, geralmente um motor de corrente contínua. Utiliza-se este modelo sobretudo em bombeamento de água. Por não existirem baterias de acumuladores nem componentes eletrônicos melhora-se a confiabilidade do sistema, mas torna-se difícil manter um desempenho eficiente ao longo do dia.

9.2 Sistema módulo-bateria de acumuladores

Pode-se utilizar um módulo fotovoltaico para repor simplesmente a autodescarga de uma bateria que se utilize para o arranque de um motor, por exemplo. Para isso podem utilizarse os módulos de silício Monocristalino / Policristalino. Outra importante aplicação em que o sistema fotovoltaico se liga de forma direta à bateria é em sistemas de eletrificação rural. de baixa potência. Nesses casos utilizam-se um ou dois módulos de silício Monocristalino/Policristalino de 30 células, cada um ligado em paralelo para alcançar a potência desejada.

9.3 Sistema fotovoltaico, bateria e controlador

É a configuração utilizada com módulos de 33 ou 36 células na qual se liga o gerador fotovoltaico a uma bateria através de um controlador para que esta não se sobrecarregue. As baterias de acumuladores alimentam cargas em corrente contínua

9.4 Bateria, inversor

Quando se necessitar energia em corrente alternada poderá ser incluído um inversor. A potência gerada no sistema fotovoltaico poderá ser transformada integralmente em corrente alternada ou poderão alimentar-se simultaneamente cargas de corrente contínua (DC) e de corrente alternada (AC)

10. Gerador fotovoltaico

10.1. Acumuladores de energia

A função prioritária das baterias num sistema de geração fotovoltaico é acumular a energia que se produz durante as horas de luminosidade a fim de poder ser utilizada à noite ou durante períodos prolongados de mau tempo. Outra importante função das baterias é prover uma intensidade de corrente superior àquela que o dispositivo fotovoltaico pode entregar. É o caso de um motor, que no momento do arranque pode exigir uma corrente de 4 a 6 vezes sua corrente nominal durante uns poucos segundos. Normalmente o banco de baterias de acumuladores e os módulos fotovoltaicos trabalham em conjunto para alimentar as cargas. Durante a noite toda a energia pedida pela carga é fornecida pelo banco de baterias. Utiliza-se principalmente baterias de 12V/150Ah. A eficiência do sistema de energia solar depende diretamente da qualidade e do estado das baterias, e também a capacidade de armazenagem de energia de uma bateria depende da velocidade de descarga. A capacidade nominal que a caracteriza corresponde de uma maneira geral a um tempo médio de descarga de 10 horas. Quanto maior for o tempo de descarga, maior será a quantidade de energia que a bateria fornece.

11. Concentradores

Um concentrador solar é um tipo de colector solar, capaz de concentrar a energia solar em uma área reduzida aumentando a intensidade energética. Similar a uma lupa enfocando sua luz em um ponto, os concentradores refletem a luz solar por meio de um arranjo de espelhos alinhados com finalidade de captar dita energia para seu aproveitamento.

11.1 Concentradores parabólicos Compostos

Existem diversas abordagens possíveis para o formato dos colectores condicionadas pelo tipo de aplicação que se quer ter. O aumento da eficiência total de absorção de calor, especialmente para aplicações em que a diferença de temperaturas entre o fluido e o ambiente é elevada, é bem possível, sem que existe um aumento da complexidade e consequentemente dos custos do colector. Para

aplicações em que apenas são exigidos pequenos aumentos de temperatura é dada maior ênfase ao design deste de maneira a que o retorno de investimento seja o menor possível.

Um Concentrador parabólico é a forma bidimensional mais simples possível e consiste num sistema em que duas parábolas estão adjacentes a um dos lados das células solares. Para um determinado ângulo uma concentração óptima é obtida. Desta forma a eficiência de absorção de radiação difusa é muito maior relativamente aos colectores normais. O suporte físico que sustenta esta afirmação está patente na figura seguinte. Os raios reflectidos no lado direito da parábola são focados na base do lado esquerdo e vice-versa.

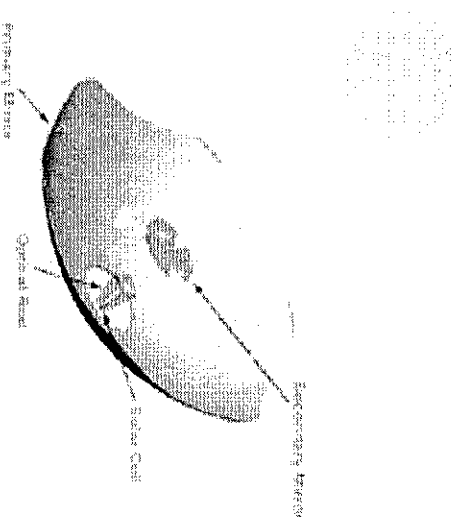


Fig. 7 coletor parabólico

11.2 Colectores em espiral ou "concha"

Outro tipo de superfícies de absorção, que se poderá considerar numa extensão dos concentradores parabólicos, pois cada secção também tem um lado parabólico, diferenciando-se apenas no reflector circular que se encontra no final desta, podem e devem ser considerados. Como o próprio nome indica, um colector em espiral contém uma secção em espiral que impede que a radiação directa que entre nesta seja reflectida para o exterior. Esta é continuamente reflectida até atingir a secção de absorção. A secção de absorção é circular. Este formato foi idealizado de maneira a que a toda radiação reflectida entre no colector pela parte mais exposta, com o formato parabólico e que seja na totalidade captada pelo tubo de absorção, não sendo por isso possível a sua reflexão para o exterior.

11.3 Concentradores parabólicos cilíndricos

Os sistemas mais simples de concentradores parabólicos são os concentradores cuja forma é cilíndrica e diferencia-se dos concentradores planos pela particularidade de concentrar a radiação incidente antes de esta chegar ao absorvedor. Estes são parabólicos somente numa dimensão e usualmente são alongados. Um concentrador parabólico cilíndrico é constituído por uma superfície espelhada encurvada de forma parabólica, que tem a função de encaminhar os raios solares para uma tubo de absorção. Neste tubo circula o fluido, aquecido por convecção natural, sendo que esta circulação é efectuada através uma bomba auxiliar. Este fluido após atravessar o absorvedor é encaminhado para um permutador de calor, que permitir trocas de calor entre o fluido e água que se encontra armazenada num tanque de armazenamento térmico.

A razão pela qual este concentrador é cilíndrico é simples. Uma parábola é uma curva especial descrita pela seguinte equação:

$$Y + A \times 2 + Bx + C \quad (5)$$

e tem um único ponto focal, onde se coloca a placa de absorção, pelo que toda a luz incidente é colectada nesse ponto. No entanto estes concentradores têm uma limitação. Um concentrador parabólico cilíndrico apenas capta radiação directa o que, ao contrário dos restantes colectores, não permite fazer uso da radiação difusa. Entende-se por radiação directa a toda a luz que atinge o reflector paralelamente ao eixo da parábola.

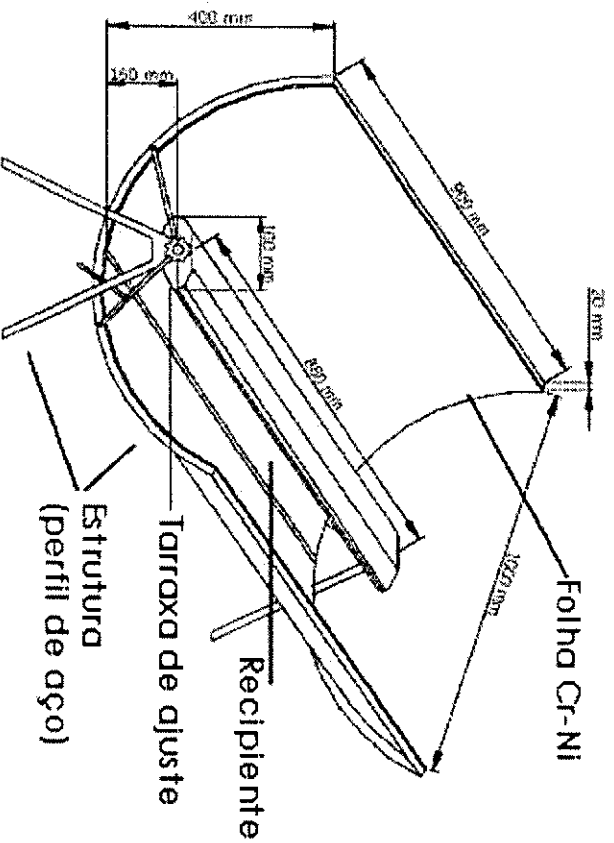


Fig. Concentrador solar parabólico cilíndrico. (ÖSTÜRK, 2004).

Com um seguidor solar, os seus módulos estão durante todo o dia orientados para o sol, aumentando significativamente a produção diária e diminuindo o tempo de retorno do seu investimento.

12. Vantagens e desvantagens de um sistema fotovoltaico

12.1 Vantagens

A energia fotovoltaica é uma das mais promissoras fontes de energia renováveis. A vantagem mais clara é a quase total ausência de poluição. Para além desta vantagem a ausência de partes móveis susceptíveis de partir, não produz cheiros ou ruídos, têm baixa ou nenhuma manutenção, e com tempo de vida elevados para os módulos.

- Alta fiabilidade – não tem peças móveis, o que é muito útil em aplicações em locais isolados;
- A fácil portabilidade e adaptabilidade dos módulos - permite montagens simples e adaptáveis a várias necessidades energéticas. Os sistemas podem ser dimensionados para aplicações de alguns miliwatts ou de kiloWatts;
- O custo de operação é reduzido - a manutenção é quase inexistente: não necessita combustível, transporte, nem trabalhadores altamente qualificados;

- A tecnologia fotovoltaica apresenta qualidades ecológicas pois o produto final é não poluente, silencioso e não perturba o ambiente.

12.2 Desvantagens

No entanto uma das principais limitações dos dispositivos fotovoltaicos é o seu baixo rendimento, isto é, uma baixa conversão da energia solar em energia eléctrica. A razão deste facto reside fundamentalmente na deficiente exploração do espectro da radiação incidente (sol) por parte dos dispositivos.

- O fabrico dos módulos fotovoltaicos necessita tecnologia muito sofisticada necessitando de um custo de investimento elevado;
- O **rendimento** real de conversão dum módulo é reduzido (o limite teórico máximo numa célula de silício cristalino é de 28%), face ao custo do investimento;
- Os geradores fotovoltaicos raramente são competitivos do ponto de vista económico, face a outros tipos de geradores (e.g. geradores a gás/óleo). A excepção restringe-se a casos onde existem reduzidas necessidades de energia
- em locais isolados e/ou em situações de grande preocupação ambiental; Quando é necessário proceder ao armazenamento de energia sob a forma química (baterias), o custo do sistema fotovoltaico torna-se ainda mais elevado

13. Principais aplicações

- **Electrificação:** actualmente uma das principais aplicações da energia fotovoltaica é a possibilidade de fornecer energia eléctrica a lugares remotos, onde os custos da montagem de linhas eléctricas é superior ao sistema fotovoltaico, ou existe a impossibilidade deste tipo de fornecimento;
- **Sistemas autónomos:** bombagem de água para irrigação, sinalização, alimentação de sistemas de telecomunicações;
- **Aplicação de micro-potência:** relógios, máquinas de calcular;
- **Integração em edifícios:** a integração de módulos fotovoltaicos na envolvente dos edifícios (paredes e telhados) é uma aplicação recente, podendo representar reduções de custos construtivos e energéticos. A energia produzida em excesso pode ser vendida à companhia eléctrica, e quando existem insuficiências,

esta pode ser comprada;

- **veículos:** automóveis de recreio providos de células fotovoltaicas, com suficiente potência para movimenta-los.

13. 1 Aplicação de tecnologias fotovoltaico em Moçambique

- **Electrificação de distritos e algumas zonas rurais:**

O sistema de energia com recursos a painéis solares, consiste na electrificação de residências, estabelecimentos comerciais e sistema de bombeamento de água no distrito de Chicualacuala e Posto Administrativo de Mapai, estabelecimentos comerciais, escolas, centro de saúde, etc

- **Projecto 40 Vilas**

A implementação do Projecto 40 Vilas consiste na electrificação, com recurso à painéis solares centralizados, de quarenta vilas das províncias de Cabo Delgado, Niassa, Nampula e Inhambane abrangendo escolas, centros de saúde, posto policial, estabelecimentos comerciais e residências;

- A nível social, as escolas terão o curso nocturno o que possibilita que mais pessoas tenham acesso à educação. Os alunos podem rever a matéria e fazer os deveres de casa à noite e beneficiar de cuidados sanitários a qualquer hora do dia.

Tecnologias de Energia Solar Fotovoltaico

14. Conclusão

A tecnologia de energia solar foto voltaico o elemento básico é a célula. A conversão da energia radiante em electricidade acontece na célula, através do efeito foto voltaico. E é uma forma de produção de electricidade limpa e renovável em franca expansão a nível global. Para melhorar o desempenho das células fotovoltaico é melhor submete-las a sistemas de concentração, que condensam a energia proveniente dos raios solares na superfície da célula. Entretanto, para que células de silício sejam capazes de gerar mais energia em sistemas concentrados elas devem ser fabricadas com um alto nível de dopagem, de modo a permitir a formação do maior número de pares elétrons-buracos possível. Portanto a energia solar fotovoltaico apresenta maiores vantagens na geração de energia eléctrica.

A tecnologia foto voltaica com seguimento da posição solar apresenta um aumento de eficiência em termos de aproveitamento e tem a possibilidade de se mostrar vantajosa em relação a outras tecnologias renováveis. É uma tecnologia com grande fiabilidade e com baixa necessidade de manutenção o que lhe confere baixos custos de operação, além de ser uma grande vantagem para aplicação em locais isolados. Outra grande vantagem é permitir uma montagem modular o que lhe confere pelo menos duas vantagens: permitir que o sistema possa ser montado por fases e permitir ser dimensionado para uma ampla gama de necessidades energéticas; desde pequenas aplicações até grandes centrais foto voltaicas ligadas à rede de energia eléctrica.

15.Referências bibliográficas

S.R. Wenham, M.A. Green e M.E Watt “Applied photovoltaics” edited by National Library of Australia.

Jeffrey Gordon, “Energy Solar” (Published by science publishers Ltd), William Road, London UK
<http://www.solenerg.com.br/conceitos>

www.cresesb.cepel.br

www.ceeta.pt

www.nrel.gov/solar

www.jine.eb.br

www.funae.co.mz

www.azonano.com

www.web.ist.utl.pt

www.energylan.sandia.gov/sunlab

www.eren.doe.gov

www.solarpaces.org.com

www.manoel.pequeira.ifpe.edu.br

www.pernacolectivo.energia.solar