



**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA**

**FACULDADE DE CIÊNCIAS**

**DEPARTAMENTO DE FÍSICA**

**FÍSICA APLICADA**

**Cadeira:**

**USO E APROVEITAMENTO DA ENERGIA SOLAR**

**Tema:**

**SISTEMA FOTOVOLTAÍCO ISOLADO**

**Docente: Prof. Dr. Cuamba**

**Discente: Alberto, Leovigildo Duarte**

Maputo, Dezembro de 2010

## **Resumo**

O estudo dos sistemas fotovoltaicos isolados tem grande importância para o desenvolvimento de algumas regiões isoladas e comunidades rurais. Sendo assim, torna-se necessário o estudo destes para a sua implementação nas respectivas zonas. Os sistemas fotovoltaicos isolados constituídos por módulo fotovoltaico, bateria e cargas (consumidor) são os mais simples que podem ser usados em pequenas residências cuja necessidades energéticas não são maiores. O rendimento de cada módulo depende das tecnologias de fabrico. Neste tipo de sistema as baterias desempenham um papel fundamental pois armazenam a energia para o posterior uso quando não haver radiação solar. Para o sistema fotovoltaico isolado as lâmpadas a usar devem ser eficientes, isto é, devem ser de baixa potencia e baixo consumo.

<b>Índice</b>	<b>Pág</b>
1. Introdução .....	1
1.1. Objectivos do trabalho .....	1
1.1.1. Objectivo geral.....	1
1.1.2. Objectivos específicos .....	1
2. Metodologia.....	2
3. Revisão bibliográfica .....	2
3.1. Sistemas Fotovoltaicos Isolados .....	2
3.1.1. Módulo fotovoltaico ou Gerador .....	2
3.1.2. Controlador de carga.....	10
3.1.3. Baterias .....	10
3.1.4. Cargas .....	13
4. Conclusões e Recomendações .....	18
4.1. Conclusões .....	18
4.2. Recomendações.....	18
5. Referências bibliográficas.....	19

## **1. Introdução**

O estudo dos sistemas fotovoltaicos tem grande importância para o desenvolvimento de algumas regiões isoladas e comunidades rurais onde ainda não existem projectos de instalação da energia eléctrica convencional a curto prazo. Assim torna-se necessário o estudo destes para a sua implementação nas respectivas zonas.

Os sistemas fotovoltaicos podem ser classificados em três categorias principais: isolados, híbridos e ligados a rede (*Freitas, 2008*). A aplicação de cada um destes sistemas depende essencialmente das necessidades energéticas, disponibilidade dos recursos energéticos e financeiros.

Um sistema fotovoltaico isolado composto por gerador, bateria e cargas constitui uma alternativa para a expansão da energia eléctrica, mas para tal, é preciso conhecer as principais características de cada um destes elementos que compõem o sistema.

Neste estudo vai ser discutido o funcionamento de um módulo fotovoltaico tendo em conta o princípio de funcionamento de uma célula solar, vai se analisar o tipo de bateria mais usada neste sistema e por fim vai se analisar os tipos de lâmpadas que são usadas neste tipo de sistemas.

## **1.1. Objectivos do trabalho**

### *1.1.1. Objectivo geral*

- Estudar os sistemas fotovoltaicos isolados compostos por módulo, bateria e carga.

### *1.1.2. Objectivos específicos*

- Analisar o funcionamento de uma célula solar;
- Identificar os tipos de baterias usadas em sistemas fotovoltaicos isolados;
- Analisar o funcionamento das cargas (lâmpadas) usadas em sistemas fotovoltaicos isolados.

## **2. Metodologia**

Neste trabalho o estudante baseou-se em artigos científicos que obteve na internet, literaturas fornecidas pelo professor, trabalhos de dissertação, literaturas da biblioteca e informação fornecida por pessoas experientes na área. Obtida a informação usou-se o método de comparação qualitativa para a elaboração do relatório final.

O gráfico da figura9 foi traçado a partir de dados obtidos no laboratório de energias renováveis em que foi usado um módulo fotovoltaico. Para a sua elaboração usou-se o pacote Excel.

## **3. Revisão bibliográfica**

### **3.1. Sistemas Fotovoltáicos Isolados**

São aqueles que não estão ligados à rede eléctrica e têm uma autonomia na produção da corrente eléctrica. Estes são constituídos por um conjunto de equipamentos necessários para transformar a energia solar em electricidade. Os elementos básicos que constituem são módulo fotovoltaico (gerador), controlador de carga, bateria, inversor (para o caso de uso de equipamentos AC) e cargas (lâmpadas).

#### **3.1.1. Módulo fotovoltaico ou Gerador**

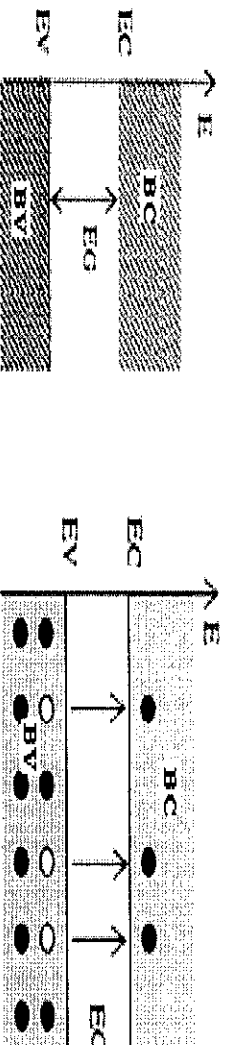
O módulo fotovoltaico é a componente principal de um sistema fotovoltaico e é responsável por captar e transformar a radiação solar corrente eléctrica. Este é por sua vez formado por células solares ligadas em série ou paralelo (*Imhoff, 2007*).

#### *Construção da célula*

As células solares são materiais semicondutores que geram electricidade quando expostas a radiação solar.

Segundo a teoria de bandas semicondutores são materiais com as suas bandas de valência e de condução separadas por uma faixa proibida de energia de valor não muito elevado, sendo que a temperatura absoluta (0K) todos os estados da banda de valência esta ocupado e todos os estados da banda de condução desocupados bastando pequenas elevações da temperatura, isto é, a temperatura ambiente para que os electrões passem à banda de condução (ver figura1).

Chama-se *banda de condução* aquela banda energética originada pelo alargamento do primeiro estado excitado, sendo a *banda de valência* aquela relacionada com os níveis energéticos dos electrões de valência do átomo e a *banda proibida* a região onde não existem níveis energéticos que separe a banda de valência da de condução. Os semicondutores classificam-se em *intrínsecos* e *extrínsecos*.



Figural. Estrutura de um semicondutor segundo a teoria de bandas energéticas.

#### Semicondutores intrínsecos

São aqueles que não tem impurezas ou defeitos na rede cristalina e a concentração dos electrões é igual a concentração das lacunas. Os pares electrão-lacuna só podem ser gerados com excitação térmica.

$$n = p \quad (2)$$

#### Semicondutores extrínsecos

A concentração das impurezas ou defeitos da rede cristalina não admitem ser tratadas como desprezíveis. A concentração dos electrões e das lacunas podem ser encontradas usando as equações<sup>3</sup>.

$$n = N_c \exp\left(-\frac{E_c - E_f}{kT}\right) \quad e \quad p = N_v \exp\left(-\frac{E_f - E_v}{kT}\right) \quad (3)$$

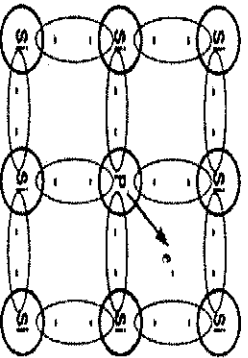
n- concentração dos electrões; p- concentração das lacunas;  $E_f$  – é a energia de Fermi;  $E_c$ - energia da banda de condução;  $E_v$ - energia da banda de valência;  $N_c$  – densidade efectiva de estados na banda de condução;  $N_v$  – densidade efectiva de estados na banda de valência.

Nos semicondutores extrínsecos encontramos dois tipos:

#### a) Semicondutor tipo n

Aquele que a concentração dos electrões é muitas vezes superior à das lacunas, isto é:  $n \gg p$ .

Estes são obtidos, por exemplo, pela dopagem de um átomo de silício ou germânio por átomos do V grupo tal como o fósforo ou arsénio, ambos com cinco electrões de valência. Quatro destes cinco electrões de valência do átomo ficam presos a rede cristalina por ligação covalente. O quinto electrão de valência dirige-se para um nível de energia imediatamente inferior à base da banda de condução do semiconductor (*Olivati, 2000*), como se ilustra na figura2.

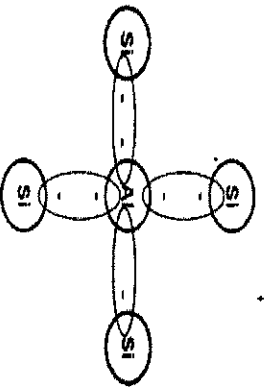


**Figura2.** Exemplo de um semiconductor dopado com impurezas de um elemento do V grupo.

*b) Semiconductor tipo p*

A concentração das lacunas é maior que à dos electrões, isto é:  $p \gg n$ .

Neste, o silício ou germânio são dopados com átomos do III grupo, exemplo boro ou gálio. Os elementos do III grupo têm somente três electrões de valência que quando inseridos no átomo de silício ficaremos com falta de um electrão na rede cristalina para cada átomo da impureza conforme a figura3 abaixo.



**Figura3.** Exemplo de um semiconductor dopado com impurezas de um elemento do III grupo.

Quando os semicondutores, um do tipo n e outro tipo p são ligados forma-se a junção p-n. Os electrões no material tipo n e as lacunas no material tipo p difundem-se através da junção tentando igualar as densidades de electrões livres e lacunas em todo o cristal (*Olivati, 2000*). As lacunas movem-se do semiconductor tipo p para o semiconductor tipo n e os electrões movem-se do semiconductor tipo n para o semiconductor tipo p (ver figura4). Nestes movimentos surgem as correntes de difusão dos electrões e das lacunas representadas pela equação4.

$$I_{dn} = qD_n Vn \quad e \quad I_{dp} = qD_p Vp \quad (4)$$

Onde:  $I_{dn}$ - corrente de difusão dos electrões;  $I_{dp}$ - corrente de difusão das lacunas;  $q$ - carga do electrão;  $D_n$  – constante de difusão do electrão;  $D_p$  – constante de difusão das lacunas;

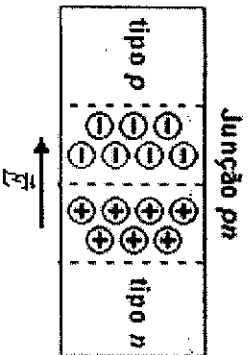


Figura4. Formação da região de depleção numa junção p-n.

Fonte: Rosemback (Modificada)

E surgem também as correntes de deriva que tentam estabelecer o equilíbrio na junção, equação5.

$$I_{sn} = q\mu_n nE \quad e \quad I_{sp} = q\mu_p pE \quad (5)$$

Onde:  $I_{sn}$ - corrente de deriva dos electrões;  $I_{sp}$ - corrente de deriva das lacunas;  $\mu_n$ - mobilidade dos electrões;  $\mu_p$ - mobilidade das lacunas;  $E$  – campo eléctrico.

Como resultado dos movimentos dos portadores, electrões assim como lacunas, surge uma região desprovida de cargas livres que se denomina região de depleção. Nesta região estabelece-se um campo eléctrico com sentido do semiconductor tipo n para o do tipo p (*Aleina, 1997*). Então nesta região teremos uma barreira de potencial que direcciona os electrões num sentido de modo que se ligar um fio a extremidade de cada semiconductor pode fluir uma corrente definida de modo:

$$I_D = I_s \left[ \exp\left(\frac{qV}{KT}\right) - 1 \right] \quad (6)$$

Onde:  $I_s$  - corrente de saturação inversa;  $V$  - é a tensão aos terminais da célula;  $T$  - é a temperatura absoluta da célula em K ( $0^\circ\text{C} = 273,15 \text{ }^\circ\text{K}$ );  $q$  - é a carga eléctrica do electrão ( $1,6.10^{-19} \text{ C}$ ).  $K$  - constante de Boltzman ( $1,38.10^{-23} \text{ J/K}$ )

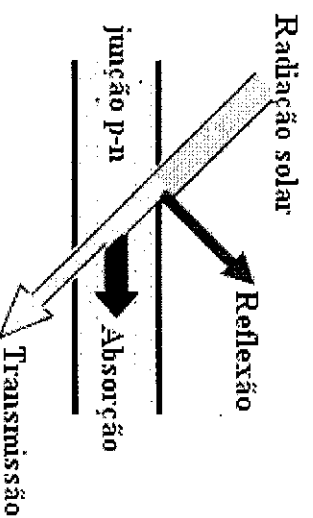


*Funcionamento da célula*

Quando uma junção p-n é iluminada, a radiação pode ser absorvida, transmitida ou reflectida (ver figura5). A radiação transmitida pode ser reflectida no interior da junção o que pode provocar aquecimentos internos (*Tiradentes, 2007*). A radiação absorvida possui uma energia dada por:

$$E = \frac{hc}{\lambda} \quad (7)$$

Onde: E é a energia; h é a constante de Planck ( $6,625 \cdot 10^{-34} \text{J.s}$ ); c é a velocidade da luz no vácuo ( $3 \cdot 10^8 \text{m/s}$ );  $\lambda$  é o comprimento de onda da radiação incidente.



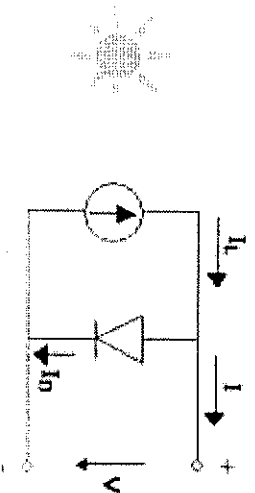
**Figuras.** Processos que ocorrem quando a radiação solar incide sobre a célula.

Fonte: Tiradentes (2007)

Devido a esta energia, electrões da banda de valência podem ser excitados para a banda de condução, deixando lacunas na banda de valência, processo conhecido como formação do par electrão-lacuna. Para que este processo ocorra esta energia deve ser maior que a energia da banda proibida, isto é,  $E > E_g$ . Energias menores que a da banda proibida não conseguem excitar electrões da banda de valência para a de condução, estes quando absorvem a energia são excitados para os níveis superiores e como na banda proibida não existem níveis de energia estes retornam a banda de valência e ocorre assim o processo de-recombinação (*Ohvati, 2000*).

O processo de conversão da radiação em corrente eléctrica é baseado fundamentalmente na criação de pares electrão-lacuna através de absorção dos fótons da radiação solar incidente.

Sob iluminação, lacunas e electrões que foram fotoexcitados no material podem deslocar-se até a região de depleção antes de se recombinarem, sendo acelerados pelo campo eléctrico na interface da junção, contribuindo com uma corrente  $I_L$  que terá o mesmo sentido do da corrente de saturação  $I_s$  (*Freitas, 2008*). A figura6 ilustra o processo de geração de corrente através de uma célula solar quando iluminada.



**Figura6.** Esquema de ilustrativo da iluminação de uma célula solar.

**Fonte:** Freitas (modificada).

Assim, levando em conta fotoexcitação, a corrente total na célula será:

$$I = I_L - I_D = I_L - I_s \left[ \exp\left(\frac{qV}{kT}\right) - 1 \right] \quad (8)$$

Cada célula fotovoltaica isoladamente tem capacidade limitada de produção de energia elétrica e fornece um baixo nível de tensão (0,5V). Portanto para atender a demanda de energia de grande parte dos equipamentos elétricos há necessidade de se associar várias células, através de ligações série e paralelo, formando-se assim um módulo fotovoltaico (Imhoff, 2007).

O funcionamento de um módulo fotovoltaico é comparado com o funcionamento de um diodo, então, para o caso de um módulo fotovoltaico ideal a corrente é dada pela fórmula:

$$I_D = I_L - I_s \left[ \exp\left(\frac{mV}{mV_T}\right) - 1 \right] \quad (9)$$

Onde:  $I_D$ - corrente fornecida pelo módulo;  $V_T$  - é o potencial térmico  $V_T = (kT/q)$ ;  $N$  - é o número de células.  $m$  - é o fator de idealidade do diodo (diodo ideal:  $m = 1$ ; diodo real:  $m > 1$ );  $I_L$  - é a fotocorrente.

Abaixo a figura7 ilustra o circuito respectivo a um módulo fotovoltaico ideal.

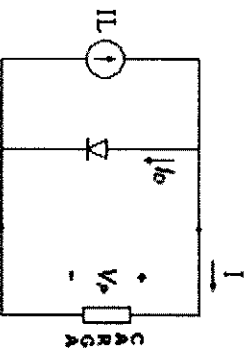


Figura7. Circuito equivalente a um módulo fotovoltaico ideal.

Fonte: Freitas (modificada).

A eficiência de um módulo fotovoltaico real difere do ideal por apresentar alguns factores de perdas. Estas perdas são representadas pelas resistências em série e em paralelo inseridas no modelo ideal. A resistência série tem a sua origem na resistência dos contactos metálicos com o semicondutor e na resistência da grelha metálica que compõe o contacto frontal e posterior. A origem da resistência em paralelo deve-se a fugas de corrente à volta das extremidades da célula, difusão de portadores de carga ao longo da junção e pequenos curto-circuitos metálicos (Olivari, 2000). A Figura8 representa o circuito equivalente de um módulo real onde  $R_s$  representa a resistência em série e  $R_p$  a resistência em paralelo.

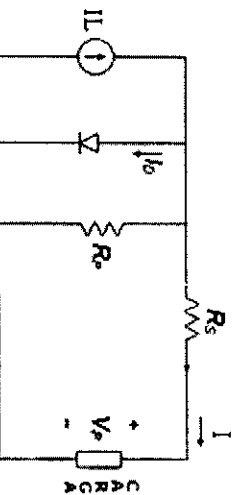


Figura8. Circuito equivalente do módulo fotovoltaico real conectado a uma carga.

Fonte: Freitas (modificada).

Para o caso de um módulo fotovoltaico real a corrente fornecida por este é influenciada por estas resistências série e paralelo, então tendo em conta a forma a equação pode ser escrita na forma:

$$I = I_L - I_s \left\{ \exp \left[ \frac{N(V+I R_s)}{m V_T} \right] - 1 \right\} - \frac{V+I R_s}{R_p} \quad (10)$$

*Um módulo fotovoltaico é de uma forma geral caracterizado por:*

*Intensidade de curto-circuito ( $I_{sc}$ ) representa a máxima corrente que o módulo pode fornecer sob determinadas condições de radiação e temperatura com tensão nula ( $V=V_{oc}=0$ ),*

$$I_{sc} = I_L.$$

*Voltagem de circuito aberto ( $V_{oc}$ ) representa a máxima tensão que o módulo pode fornecer sob determinadas condições de radiação e temperatura com corrente nula ( $I_L=I_{sc}=0$ ),*

$$V_{oc} = mV_T \ln \left( \frac{I_L}{I_s} + 1 \right) \quad (11)$$

*Intensidade do ponto de máxima potência ( $I_{mp}$ ) é a corrente relativa ao ponto de máxima potência e que é utilizado para definir o valor da corrente nominal do dispositivo, dada por:*

$$I_{mp} = I_s - \frac{V_{mp}}{V_T} \exp \left( \frac{V_{mp}}{V_T} \right) \quad (12)$$

*Voltagem do ponto de máxima potência ( $V_{mp}$ ) é a tensão relativa ao ponto da máxima potência que é utilizado para definir o valor da tensão nominal do dispositivo, dada por:*

$$V_{mp} = V_{oc} - mV_T \ln \left( \frac{V_{mp}}{mV_T} + 1 \right) \quad (13)$$

*Potência máxima ( $P_{mp}$ ) é o ponto de máxima potência e corresponde ao ponto da curva no qual o produto da tensão pela corrente é máximo, isto é:*

$$P_{mp} = V_{mp} I_{mp} \quad (14)$$

A figura9 ilustra a curva de corrente-tensão ( $I-V$ ) de um módulo traçada durante os estudos. Nesta são representadas todas as características do módulo fotovoltaico traçada a partir de dados obtidos no laboratório de energias renováveis durante um ano.

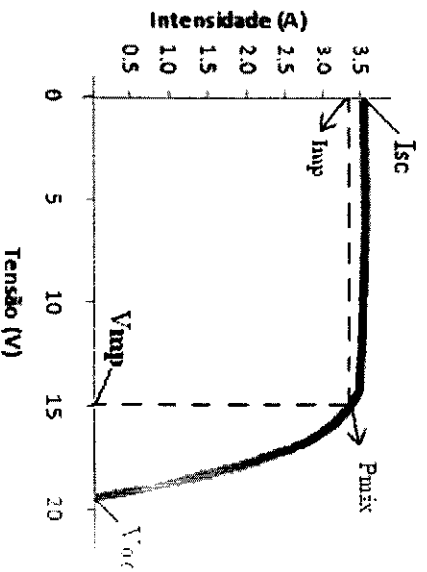


Figura9. Curva característica de corrente-tensão de um módulo fotovoltaico.

O rendimento dos módulos fotovoltaico depende da tecnologia de fabrico das células e neste caso por exemplos silício cristalino com uma eficiência laboratorial de 24% e eficiência comercial no intervalo de 14-17%, silício amorfo com eficiência laboratorial 15% e eficiência comercial de 8-9%, telureto de cádmio (CdTe) com uma eficiência laboratorial de 16% e eficiência comercial de 7-9% e finalmente dissulfureto de cobre e índio com eficiência laboratorial de 18,8% e eficiência comercial de 9-10% (Tiradentes, 2007).

### 2.1.2. Controlador de carga

É um dispositivo que controla e monitora o processo de carga e de descarga das baterias, evitando sobrecargas e descargas profundas que possam danificar e diminuir a sua vida útil. Para além disto, este serve ainda para bloquear corrente reversa entre a bateria e o painel e protege as cargas DC.

### 2.1.3. Baterias

São dispositivos electroquímicos que convertem a energia eléctrica em química e posteriormente em energia eléctrica, usando a célula galvânica (Santos, 1997). De acordo com o processo de carga e descarga as baterias são classificadas em *baterias primárias* e *baterias secundárias*.

*Baterias primárias* são aquelas que, uma vez descarregadas os reagentes que produzem a energia eléctrica, são descartadas, pois não podem ser reutilizadas.

*Baterias secundárias* podem ser recarregadas, isto é, através da aplicação de uma corrente eléctrica nos seus terminais pode-se reverter às reacções responsáveis pela geração de energia eléctrica e assim recarregar novamente a bateria (Freitas, 2008).

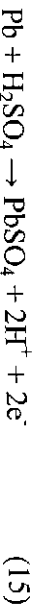
Os sistemas fotovoltaicos de geração de energia eléctrica utilizam baterias secundárias. Entre inúmeros tipos de baterias secundárias as mais comuns são: chumbo-ácido, níquel-cádmio, baterias de gel (Gelled batteries) e baterias de vidro absorvedor (absorbed glass mat, AGM). Neste trabalho vai se estudar com mais profundidade as baterias de chumbo-ácido por serem as mais usadas em sistemas fotovoltaicos isolados e sua disponibilidade no mercado dos países subdesenvolvidos.

#### *Bateria Chumbo-ácido*

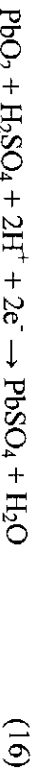
São assim denominadas porque a sua matéria activa é o chumbo e o electrolito é uma solução aquosa de ácido sulfúrico. A bateria é composta por elementos ou células, esses elementos são constituídos por duas placas de polaridades opostas, isoladas entre si, banhadas pelo electrolito. Os elementos são interligados convenientemente no interior da bateria de forma a definir sua tensão e capacidade nominal. A tensão nominal de um elemento de uma bateria Chumbo-ácido é 2V (Freitas, 2008).

O processo químico de geração de electricidade através de reacções químicas tem o nome de Oxidação e Redução. Os átomos possuem electrões de valência, ou seja, aqueles que vão ser trocados ou compartilhados com outros átomos para formação de compostos durante as reacções químicas. Quando o elemento da reacção perde electrões ele se oxida e é chamado de Agente Redutor e o processo é chamado de Redução. Por outro lado, o elemento da reacção que ganha electrões é chamado de Agente Oxidante e o processo de Oxidação (Russel, 1929).

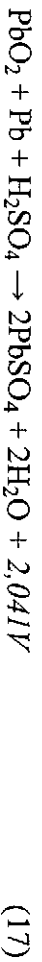
Durante os processos de descarga e carga de uma bateria chumbo-ácido, ocorre tanto o processo de Oxidação quanto o de Redução. Na oxidação o chumbo (Pb) que compõe a placa de polaridade negativa reage com o ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) formando sulfato de chumbo (PbSO<sub>4</sub>) e catião de Hidrogénio (H<sup>+</sup>), conforme a equação 15.



Na redução o dióxido de chumbo (PbO<sub>2</sub>) que compõe a placa de polaridade positiva reage com o ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) mais o catião de Hidrogénio (H<sup>+</sup>) tendo como produto final dessa reacção sulfato de chumbo (PbSO<sub>4</sub>) mais água (H<sub>2</sub>O), conforme a equação:



A reacção química completa durante a descarga da bateria e o potencial eléctrico produzido pela reacção são dados por:



Toda reacção química cujo potencial eléctrico é positivo ocorre espontaneamente, ou seja, fechando-se um circuito através dos pólos da bateria haverá circulação de corrente. Para regeneração do potencial electroquímico da bateria ocorre a reacção inversa onde o sulfato de chumbo reage com a água durante a passagem de uma corrente eléctrica no sentido oposto, obtendo-se novamente dióxido de chumbo, chumbo puro e ácido sulfúrico (Russel, 1929). A reacção química completa e o seu potencial eléctrico produzido durante o processo de carga da bateria são dados por:



Os processos de descarregamento e carregamento das baterias podem ser resumido segundo a equação 19. A figura10 mostra a constituição de uma bateria e os processos químicos que nela ocorrem.

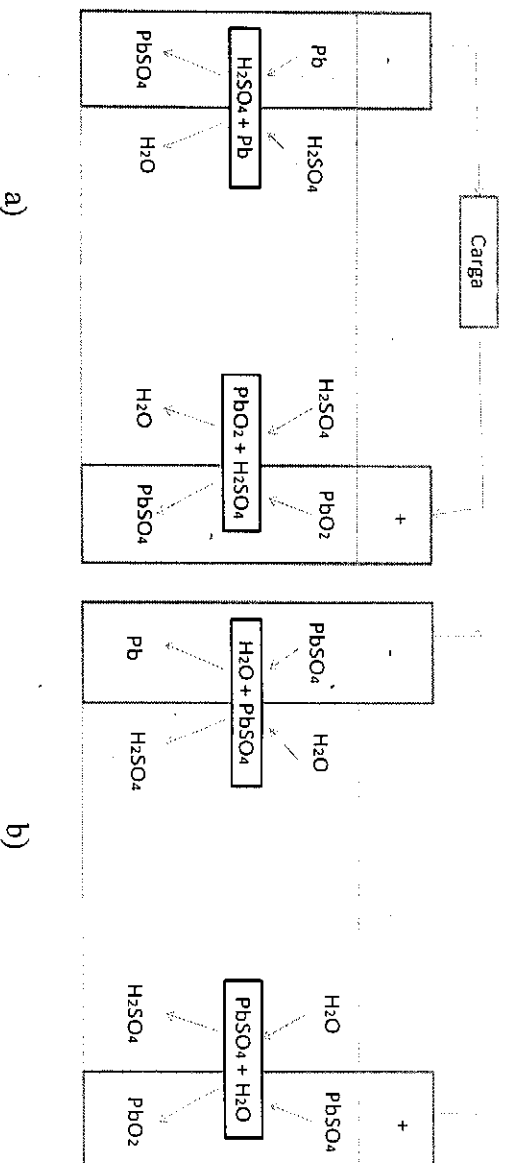
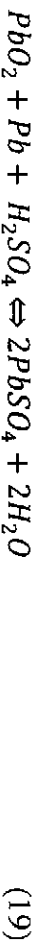


Figura10. a) Diagrama simplificado da descarga de uma bateria chumbo-ácido. b) Diagrama simplificado de carregamento de uma bateria chumbo-ácido.

Um parâmetro importante na escolha de uma bateria chumbo-ácido é sua profundidade de descarga. A profundidade de descarga define a percentagem em relação a sua de capacidade nominal que uma bateria pode fornecer sem que seja comprometida sua vida útil. Existem baterias chumbo-ácido de baixa profundidade de descarga, empregadas principalmente em automóveis, e baterias de alta profundidade de descarga, que são as mais indicadas para aplicação nos sistemas fotovoltaicos de geração de energia eléctrica (Freitas, 2008).

#### *Processos que ocorrem nas baterias*

*Sulfatação* é um processo nas baterias chumbo-ácido como resultado de operação prolongada. Este é um processo que envolve o desenvolvimento de cristais de  $PbSO_4$  na placa positiva reduzindo a área activa e capacidade da célula.

*Estratificação* o ácido deposita-se no fundo da bateria ficando em cima agitado. Este processo pode causar curto-circuito nas células e corrosão das baterias.

#### 2.1.4. Cargas

São os consumidores que serão ligados ao sistema fotovoltaico isolado e que dependem da energia produzida para o seu funcionamento. Entre inúmeras, para este tipo de sistema geralmente nas comunidades rurais usam lâmpadas DC, rádio, geleiras e carregador de telefones. Neste caso vai se discutir apenas o funcionamento das lâmpadas e neste caso há que conhecer conceitos como:

*Fluxo Luminoso* indica o poder radiactivo emitido por uma fonte luminosa, em todas as direcções. A unidade de Fluxo Luminoso é o lúmen (lm).

*Eficácia Luminosa* indica a eficiência com a qual o poder eléctrico consumido é convertido em luz. A unidade é lm/W.

*Intensidade Luminosa* indica o fluxo luminoso emitido por uma fonte de luz numa determinada direcção. A unidade de intensidade luminosa é candelas (cd).

#### *Lâmpadas incandescentes*

Este tipo de lâmpada, figura 1, tem sido muito usada nas habitações devido ao seu baixo preço. No entanto é a lâmpada com menos eficiência luminosa (15 lm/W) e com o menor tempo de vida



média (cerca de 1.000 horas). A sua baixa eficiência em relação aos restantes tipos de lâmpadas deve-se ao facto de converterem a maior parte da electricidade (90 a 95%) em calor e apenas uma percentagem muito reduzida (5 a 10%) em luz.

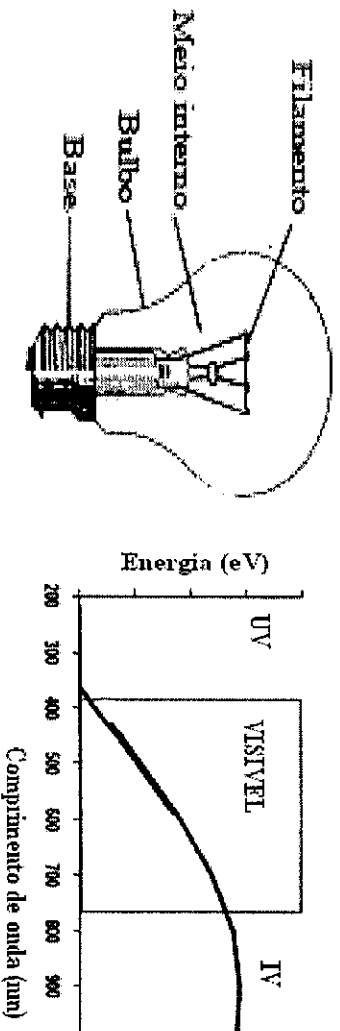


Figura11. Esquema de uma lâmpada incandescente e o seu espectro.

Fonte: Perreira e Souza (2005)

#### Funcionamento das lâmpadas fluorescentes

As lâmpadas fluorescentes são constituídas por um tubo de vidro revestido por uma camada fina de fósforo que contém vapor de mercúrio e argon na forma de gás e as pontas tem eléctrodos, ver figura12. Quando a lâmpada é ligada a corrente eléctrica excita os electrões nos eléctrodos e estes provocam a vaporização do mercúrio produzindo a emissão de radiações ultravioletas. Esta radiação ultravioleta interage com os átomos de fósforo contidos no revestimento do tubo emitindo assim uma radiação visível em forma de luz.

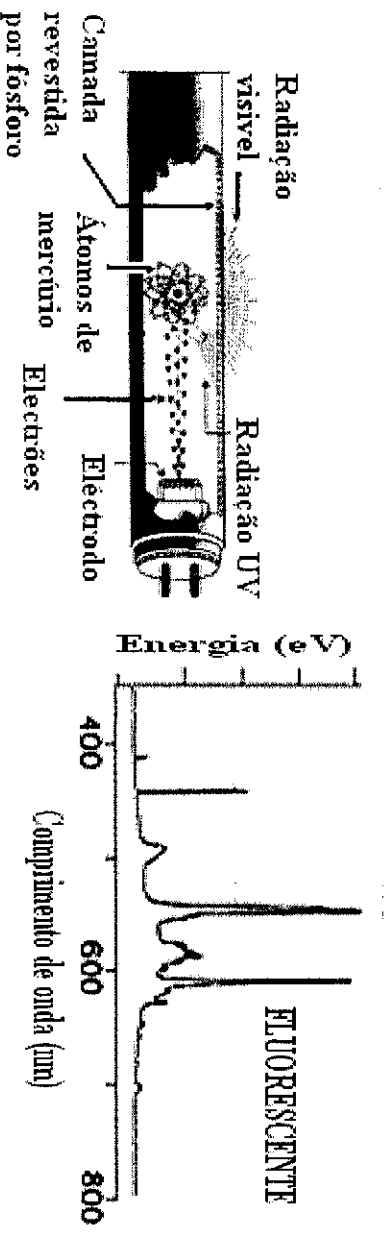
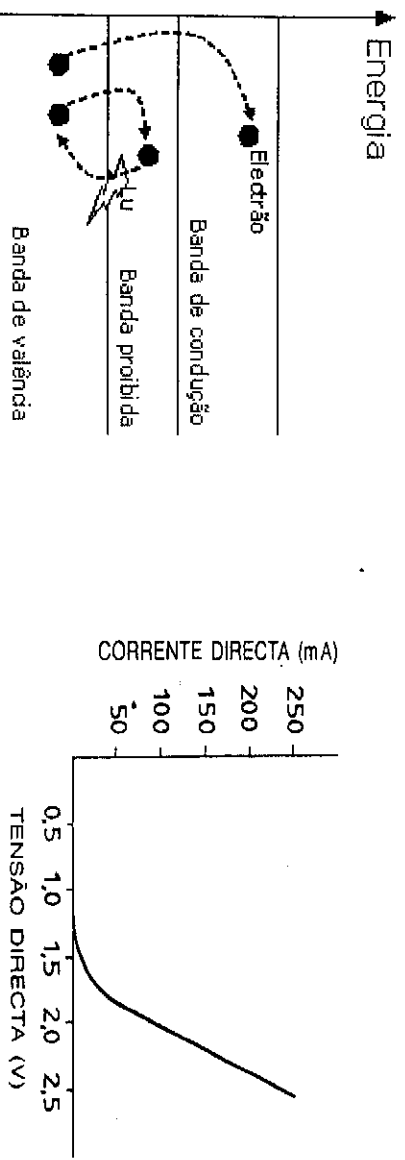


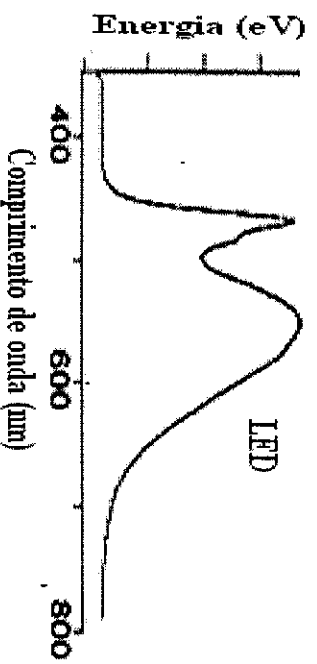
Figura12. Esquema de uma lâmpada fluorescente e o seu espectro.

Fonte: Perreira e Sousa (2005)



**Figura13.** À esquerda: esquema de funcionamento de um LED e à direita: curva característica de um LED.

Fonte: <http://www.prof2000.pt/users/lpa>



**Figura14.** Espectro de um LED.

#### *Curva característica de um LED*

A curva da figura13 mostra a corrente directa em função da tensão directa num diodo LED. Observa-se nesta curva que enquanto não se atinge um determinado valor da tensão directa não inicia a circulação de corrente, e que, ultrapassando o cotovelo da curva a corrente directa aumenta rapidamente de valor ao aumentar ligeiramente a tensão directa. Ao aumentar a corrente directa a intensidade luminosa do led também aumenta.

*Vantagens e desvantagens*

Tem a vantagem de simples instalação, os equipamentos são portáteis podendo ser ampliado conforme as necessidades quando comparado com a energia convencional.

Tem a vantagem de permitir o aumento de cargas bastando para isso aumentar uma bateria ou fazer um dimensionamento, em relação a energia convencional.

Tem a vantagem de não produzir contaminação ambiental quando em funcionamento e não precisa de combustível se comparado com os grupos geradores a diesel.

Entre as desvantagens possuem custo inicial de investimento elevado.

#### **4. Conclusões e Recomendações**

##### **4.1. Conclusões**

O rendimento dos módulos fotovoltaicos depende da tecnologia de fabrico das células e neste caso por exemplos silício cristalino com uma eficiência laboratorial de 24% e eficiência comercial no intervalo de 14-17%, silício amorfo com eficiência laboratorial 15% e eficiência comercial de 8-9%, telureto de cádmio (CdTe) com uma eficiência laboratorial de 16% e eficiência comercial de 7-9% e finalmente dissulfureto de cobre e índio com eficiência laboratorial de 18,8% e eficiência comercial de 9-10%.

As baterias chumbo-ácido de baixa profundidade de descarga são empregadas principalmente em automóveis e baterias de alta profundidade de descarga são as mais indicadas para aplicação nos sistemas fotovoltaicos de geração de energia eléctrica.

As baterias de níquel-cádmio tem a vantagem em relação as de chumbo-ácido de aceitar sobredescarregamento, aceitar sobrecarregamento e tem vida longa. Uma das desvantagens é que tem eficiência de tensão de carga baixo.

Entre as lâmpadas estudadas as mais eficientes são as LED com uma eficiência energética de 90lm/W seguida das fluorescentes com 60lm/W, estando abaixo as incandescentes com 10 a 17lm/W. As lâmpadas incandescentes são pouco aconselhadas para sistemas fotovoltaicos devido a sua baixa eficiência, apenas 10% da energia é consumida e 90% é desperdiçada em forma de calor. O custo das lâmpadas LED é um problema que se pode enfrentar, então neste caso as lâmpadas aconselhadas são as fluorescentes.

##### **4.2. Recomendações**

Em caso de necessidade de instalação de um sistema fotovoltaico isolado numa comunidade rural deve-se conhecer a temperatura média da região e o equipamento deve ser dimensionado segundo a energia necessária.

## 5. Referências bibliográficas

1. Aido, Alcina et al (1978). *Física para o 2º ano do Curso Complementar do Ensino Secundário*. Livraria Sá da Costa Editora. 3ª edição.
2. Freitas, S. S. A.(2008). *Dimensionamento de sistemas fotovoltaicos*. Dissertação de Mestrado. Instituto Politécnico de Bragança. 104pp.
3. Imhoff, J.(2007). *Desenvolvimento de Conversores Estáticos para Sistemas Fotovoltaicos Autônomos*. Dissertação de Mestrado. Centro de Tecnologia-Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, Brasil. 146pp.
4. Lasnier, F. and Ang, T. G.(1990). *Photovoltaic Engineering Handbook*. IOP Publishing Ltd. Wenhan, S. R., Green, M. A., Watt, M. E., and Corkish, R.(2007). *Applied Photovoltaic's*. First edition published by Earthscan in U.K. and U.S.A.
5. Moraes, G. R., Moehlecke, A., Zanescio, I. e Andrade, A. C. (2009). *Sistemas fotovoltaicos isolados*. Faculdade de Física, PUQRS.
6. Olivati, C. A.(2000). *Efeito Fotovoltaico e Fotocondutividade em Dispositivos Poliméricos*. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo. 126pp.
- Perreira, F. O. R. e Souza, M. B.(2005). *Iluminação*. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis.SC.
7. Rosemback, R. H.(2004). *Conversor CC-CC Bidirecional Buck-Boost Actuando como Controlador de Carga de Bateria em um Sistema Fotovoltaico*. Dissertação submetida ao corpo docente da Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Juiz de Fora como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências em Engenharia Elétrica. Brasil. 139pp.
8. Russel, J. B.(1929). *Química Geral*. São Paulo. Makron Books, 1994. 2ªedição. Volume 2.
9. Tiradentes, A. A. R.(2007). *Uso da Energia Solar para Geração de Electricidade e para Aquecimento de Água*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Lavras. Minas Gerais. 54pp.

Entre os desenvolvimentos recentes das lâmpadas fluorescentes destacam-se as:

*Compactas*

As lâmpadas fluorescentes compactas apresentam as mesmas vantagens que as tubulares e têm uma instalação compatível com os casquilhos usados para as lâmpadas incandescentes. São especialmente recomendadas quando se necessita de utilização contínua por períodos de tempo superiores a pelo menos 1 hora.

Existem lâmpadas indicadas para zonas de descanso (branco quente) e outras adequadas para zonas de actividade (branco frio). Estas lâmpadas têm um número elevado de horas de utilização, de 6 a 15 mil horas.

*Lâmpadas de halogéneo*

Estas lâmpadas têm um funcionamento semelhante ao das lâmpadas incandescentes. No entanto, apresentam a vantagem de conseguirem recuperar o calor libertado pela lâmpada, reduzindo a necessidade de electricidade para manter a sua iluminação. Estas lâmpadas emitem uma claridade constante. Outra vantagem deste tipo de lâmpadas, quando comparadas com as lâmpadas incandescentes, é a possibilidade de orientação da emissão de luz segundo diversos ângulos de abertura.

*Princípio de funcionamento de um LED*

Quando o LED é percorrido por uma corrente eléctrica os electrões na banda de valência são excitados para níveis superiores. Acontece que nem todos os electrões têm energia suficiente para passarem da banda de valência à banda de condução ficando nos estados meta-estáveis na zona proibida. Como os electrões não podem permanecer nesses estados voltam à banda de valência tendo para esse efeito de perder energia, o que fazem emitindo luz (energia). A figura 3 mostra um esquema de funcionamento de um LED.