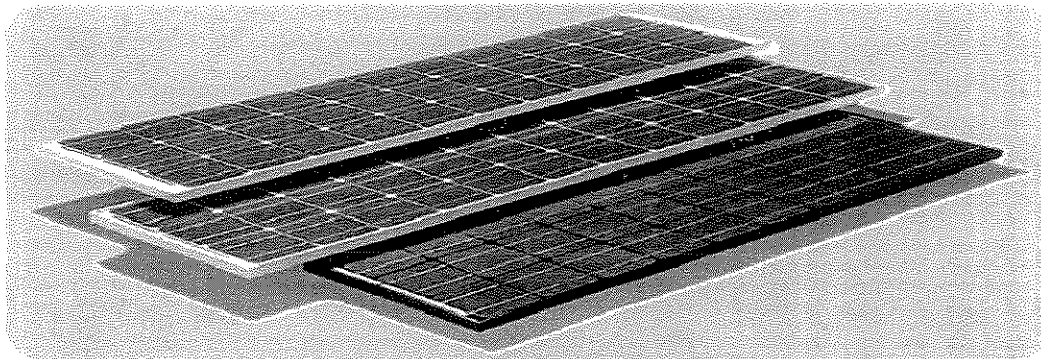


111-111111

República de Moçambique
Instituto Industrial de Maputo
Departamento de Electrotecnicia
ELECTRONICA

TRABALHO DO FIM DO CURSO
ENERGIAS RENOVÁVEIS—SISTEMAS AUTONOMOS



Autores: Josimar Jeremias e Dionildo Mondlane

Supervisor (IIM)

Diniz Timane

(Diniz Timane)

Maputo, Junho 2011

Declaração de Honra

Eu, Josimar Jeremias , estudante finalista do curso de Electrónica do Instituto Industrial de Maputo, declaro por minha honra que o presente trabalho foi de minha inteira autoria ,fruto do meu estudo e investigação com o acompanhamento do meu supervisor do Instituto Industrial de Maputo.

Maputo, Junho de 2011

JOSIMAR JEREMIAS ANGELO

(Josimar Jeremias)

Declaração de Honra

Eu Dionildo Salomão Mondlane, declaro por minha honra que o presente trabalho foi por mim elaborado fruto de investigação e pesquisa por mim realizadas e na base dos conhecimentos científicos adquiridos durante a minha formação, e experiência que obtive durante o estágio, sob o acompanhamento do meu supervisor do Instituto Industrial de Maputo.

Maputo, Junho de 2011

DIONILDO MONDLANE

(Dionildo Modlane)

Dedicatória

O presente trabalho do fim de curso médio técnico, na especialidade de Electrónica dedica especialmente a minha mãe Vizinha Diante, meu pai Jeremias Ângelo e irmãos.

Josimar Jeremias

Dedicatória

Dedico o presente trabalho especialmente a minha mãe, e aos meus irmãos que durante os meus estudos acompanharam os meus passos e a minha evolução e a todas pessoas que ajudaram me para que o sonho se tornasse realidade.

Dionildo Mondlane

Agradecimentos

Vão os meus agradecimentos à Direcção do Instituto Industrial de Maputo, especialmente aos docentes do Departamento de Electrotecnicia que souberam facultar todos os requisitos necessários para a minha formação no Curso de Electrónica. Agradeço de igual modo ao Professor Diniz Timane do Instituto Industrial de Maputo, que permitiu a realização do estágio.

Agradeço de uma maneira especial aos familiares amigos e namorada que directa ou indirectamente contribuíram e prestaram seu apoio na elaboração do presente trabalho, a eles vai uma imensurável e eternal gratidão.

Josimar Jeremias

Índice	
Índice	1
Objectivos gerais.....	4
Objectivos específicos	4
1. Introdução	5
1.1 Energias Renováveis.....	5
2. Tipos de Energias Renováveis	6
3. Vantagens desvantagens das energias renováveis	6
3.1 Vantagens	6
3.2 Desvantagens	7
3.3 Razões para optar pelas energias renováveis	7
4. Energia solar	9
4.1 Energia fotovoltaica.....	9
4.2 Benefícios ambientais da energia solar fotovoltaica	9
4.3 Benefícios económicos da energia solar fotovoltaica	10
4.4. Célula fotovoltaica	10
4.5. Tecnologias das células fotovoltaicas	11
5. Tipo de células.....	12
5.1 Silícios Monocristalino	12
5.3 Silício policristalino	12
5.4 Silícios Amorfo.....	13
5.5 Células de película fina.....	14

5.7 A tabela seguinte apresenta os rendimentos típicos e teóricos obtidos com cada uma destas tecnologias.....	14
6. Módulos fotovoltaicos.....	15
6.1 Vantagens da ligação em paralelo	15
6.2 Vantagens de uma ligação em serie.....	16
6.3. Características eléctricas dos módulos fotovoltaicos.....	17
6.4. Factores que afectam as características eléctricas dos módulos.....	18
6.5 Efeito de temperatura	19
6.6 Efeito da radiação.....	20
7. Categorias dos sistemas fotovoltaicos.	21
7.1. Sistemas Isolados	21
7.2. Sistemas Híbridos	23
8. Vantagens e desvantagens da energia foto voltaica	23
8.1 No entanto esta tecnologia apresenta também algumas desvantagens:.....	23
9. Componentes de um sistema fotovoltaico autónomo.....	24
9.1. Inversores	24
9.2. Baterias, requisitos de carga e carregadores.....	25
9.3. Requisitos de carga e carregadores.....	26
10. Para um bom dimensionamento de um sistema fotovoltaico autónomo é necessário levar em conta os seguintes aspectos.....	26
10.1 Dimensionamentos de um sistema fotovoltaico autónomo para as seguintes cargas...27	
10.2 Cálculo da corrente em cada carga em consumo continuo (12vcc).....	28

10.3 Tabela de dimensionamento	29
10.4 Cálculo de banco de baterias em autonomia	29
10.4 Gerador fotovoltaico.....	30
10.5 Inversor.	31
11. Resumo	32
Bibliografia.....	33

Objectivos gerais

- Fazer uma apresentação teórica, técnica e científica sobre as diversas formas de energias renováveis.
- Apresentar as vantagens e desvantagens das diversas formas de energia renováveis.
- Apresenta a relação entre as energias renováveis e o meio ambiente.

Objectivos específicos

- Apresentar a estrutura de um sistema foto voltaico autónomo e conectado a rede.
- Dimensionar um sistema fotovoltaico autónomo para uma casa distante da rede eléctrica (zona rural).
- Ilustrar todos os componentes de um sistema fotovoltaico.

1. Introdução

1.1 Energias Renováveis

A exploração intensiva de recursos energéticos limitados (como os carvões minerais, o petróleo e o gás natural) tem levado os cientistas a procurar formas de energia que, ao contrário daquelas, não se esgotem.

A energia renovável é aquela que é obtida de fontes naturais capazes de se regenerar e que são, portanto, virtualmente inesgotáveis, ao contrário dos recursos não renováveis.

As energias renováveis são encaradas como decisivas no combate ao efeito de estufa e na redução da dependência de fontes energéticas externas. No entanto, os interesses financeiros de alguns grupos económicos, a falta de incentivos para investigação e desenvolvimento e a inexistência de tecnologias baratas que permitam a sua utilização em grande escala levam a que a sua importância no panorama energético internacional seja ainda reduzida.

Actualmente, a maior parte das necessidades energéticas da África é suprida por produtos importados. Esta fraqueza tem tido consequências económico-financeiras evidentes.

Assim, dada a inexistência de fontes petrolíferas nacionais em larga escala, a dependência energética externa, a forte poluição atmosférica provocada pelo uso massivo de combustíveis petrolíferos e, também, os compromissos assumidos no âmbito do Protocolo de Quioto de diminuição da libertação de gases com efeito de estufa, uma das soluções para o problema passa, inevitavelmente, pelas energias renováveis. Estas têm a vantagem de serem inesgotáveis e pouco agressivas para o meio ambiente.

As energias renováveis também favorecem o desenvolvimento económico local, pois permitem explorar os recursos locais e geram empregos perto dos locais de consumo. As energias renováveis são consideradas como energias alternativas ao modelo energético tradicional, tanto pela sua disponibilidade (presente e futura) garantida (diferente dos combustíveis fósseis que precisam de milhares de anos para a sua formação) como pelo seu menor impacto ambiental.

2. Tipos de Energias Renováveis

Constituem energias renováveis, por exemplo, a solar, a eólica, as ondas e a hidráulica. Todas elas, para além da sua presença ilimitada sobre a Terra e da sua inocuidade face ao meio ambiente, têm uma origem comum: o sol.

Para além destas, são ainda renováveis a biomassa, energia geotérmica e a das marés, que não dependem directamente do sol.

O sol é o responsável directo pela energia solar (fotovoltaica e térmica), mas está também na origem da energia eólica, ao provocar as diferenças de pressão que dão origem ao vento e à energia das ondas. O sol contribui também para o desenvolvimento da matéria orgânica de origem biológica (biomassa) e é o principal agente dos ciclos da água. Deste modo temos a seguinte lista de energias renováveis

- O Sol: energia solar
- O vento: energia eólica
- Os rios e correntes de água doce: energia hidráulica
- Os mares e oceanos: energia maremotriz
- As ondas: energia das ondas
- A matéria orgânica: biomassa, biocombustível

3. Vantagens desvantagens das energias renováveis

3.1 Vantagens

- Podem ser consideradas inesgotáveis à escala humana comparando aos combustíveis fósseis;
- O seu impacto ambiental é menor do que o provocado pelas fontes de energia com origem nos combustíveis fósseis (carvão, petróleo e gás), uma vez que não produzem dióxido de carbono ou outros gases com “efeito de estufa”;
- Oferecem menos riscos do que a energia nuclear;
- Permitem a criação de novos postos de emprego (investimentos em zonas desfavorecidas);

- Permite reduzir as emissões de CO₂, melhor a qualidade de Vida (um Ar mais limpo);
- Reduzem a dependência energética da nossa sociedade face aos combustíveis fósseis;
- Conferem autonomia energética a um país, uma vez que a sua utilização não depende da importação de combustíveis fósseis;
- Conduzem à investigação em novas tecnologias que permitam melhor eficiência energética.

3.2 Desvantagens

- Custos elevados de investimento e infra-estruturas apropriadas;
- Impactos visuais negativos no meio ambiente;
- Energia da Biomassa – o método de combustão da biomassa não é limpa;
- Energia Hidroeléctrica – causa erosão de solos que pode ter impacto na vegetação do local;
- Energia Solar – os custos iniciais muito elevados;
- Energia das Ondas – depende muito da localização e é bastante dispendiosa;
- Energia Eólica – o custo inicial das turbinas é muito elevada.
- Existência muito barulho produzido

3.3 Razões para optar pelas energias renováveis

- A possibilidade de programar um modelo energético descentralizado, promovendo a igualdade no acesso à energia (produção e rendimento próprio), mas também evitando as perdas no transporte de energia a longas distâncias.
- O aproveitamento de recursos endógenos, os únicos que garantem a independências energéticas que permitem reduzir significativamente as importações de energia ou de recursos não renováveis para produção de energia
- A garantia de, em médio prazo, desenvolver um modelo energético sustentável e justo, no sentido em que será possível usufruir da energia com baixo impacto ambiental, mas onde os eventuais impactos negativos daí resultantes afectarão quem usa a energia e não países e povos que em nada beneficiam dos recursos.

- As energias renováveis são muito diferentes entre si e colocam desafios e oferecem soluções também eles diferentes. Moçambique tem óptimas condições para o desenvolvimento de praticamente todas as formas de energia renovável, pelo que deverá encarar este contexto como uma oportunidade, não apenas em termos ambientais, mas também em termos sociais e económicos. A investigação e o desenvolvimento tecnológico nesta área deverão ser uma prioridade e poderão representar um excelente contexto para o desenvolvimento de uma abordagem integrada entre o mundo académico e o mundo empresarial.
- Representam uma enorme oportunidade para a aplicação de tecnologias de aproveitamento de energias renováveis em países onde o aumento do consumo energético começa a ser efectivo e onde, muito frequentemente, os recursos renováveis estão disponíveis e a sua exploração permitirá um desenvolvimento mais sustentável e de baixo custo económico, ambiental e social. Os países em desenvolvimento, particularmente aqueles com quem Moçambique mantém uma relação histórica, poderão obter grandes benefícios de uma abordagem desta natureza.
- Em termos de emissões para a atmosfera, para a água e para o solo as energias renováveis apresentam inúmeras vantagens face a quaisquer outras formas conhecidas de produção de energia. Representam assim a forma mais sustentável de produção energia, uma vez que são as que apresentam um menor impacto ambiental no curto, médio e longo prazo.
- As energias renováveis são também as que apresentam menores emissões de gases com efeito de estufa ao longo do seu ciclo de vida, sendo, portanto a solução mais óbvia, em termos de fontes energéticas, para o cumprimento das obrigações constantes do Protocolo de Quioto e conseqüentemente, para a atenuação do problema das alterações climáticas.
- Muitas das soluções energéticas com maior protagonismo no presente resultam na produção de uma grande quantidade de resíduos, sendo que em alguns casos a perigosidade e longevidade dos mesmos inviabilizam a utilização dessas soluções num contexto de um modelo sustentável de desenvolvimento (como é o caso da energia nuclear). O mesmo não acontece com as energias renováveis que, em geral, considerando o seu ciclo de vida, produzem relativamente poucos resíduos e de baixa perigosidade.

- Uma vez que se trata de formas de produção de energia muito diversificadas e face às possibilidades de descentralização que implicam, podem ser um excelente incentivo para a criação de emprego, particularmente em regiões menos desenvolvidas.

4. Energia solar

Já em 1839, Alexandre Becquerel descobriu efeito fotovoltaico. No ano 1954, o cientista da empresa Bell Telephone nos USA, observou que os componentes electrónicos dos materiais semicondutores de silício produzem tensão eléctrica.

Energia solar é a designação dada a qualquer tipo de captação de energia luminosa (e, em certo sentido, da energia térmica) proveniente do Sol, e posterior transformação dessa energia captada em alguma forma utilizável pelo homem, seja directamente para aquecimento de água ou ainda como energia eléctrica ou mecânica.

4.1 Energia fotovoltaica

A energia eléctrica fotovoltaica tem as mesmas utilidades da energia proveniente dos sistemas convencionais. Sendo assim, ela atende tanto a usuários domésticos quanto empresariais, governamentais ou agrícolas. Com a instalação dos painéis de energia solar fotovoltaica, cada propriedade se transforma em um micro usina de geração de energia – ou seja: o usuário deixa de ser apenas consumidor e passa a ser um auto produtor de energia eléctrica.

4.2 Benefícios ambientais da energia solar fotovoltaica

A inteiração entre o silício e a luz solar, que gera a energia fotovoltaica, não produz resíduos. Por isso, ela é considerada uma fonte de energia limpa ou ecológica. Além disso, a radiação solar é abundante e inesgotável, com grande potencial de utilização, enquanto o silício, principal semiconductor utilizado nos painéis fotovoltaicos, é o segundo elemento mais encontrado na superfície terrestre. Ou seja: é uma solução energética sustentável.

4.3 Benefícios económicos da energia solar fotovoltaica

À parte do investimento inicial, com compra e instalação do equipamento, a energia eléctrica gerada pelo sistema fotovoltaico não tem outros custos, dado que os painéis demandam pouca manutenção. Com a evolução tecnológica, o prazo de retorno deste investimento está cada vez menor.

Além disso, a energia solar fotovoltaica é auto-suficiente e, portanto, mais segura em termos de abastecimento, principalmente para os consumidores corporativos, para quem a falta de energia pode significar perdas de produção. A energia fotovoltaica também é a solução mais barata para a electrificação de grandes propriedades rurais formadas por sistemas eléctricos dispersos.

4.4. Célula fotovoltaica

A célula fotovoltaica é constituída 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, à conversão directa da radiação solar em potência eléctrica produzida em CC.

Uma célula fotovoltaica constituída por cristais de silício puro não produziria energia eléctrica. Para haver corrente eléctrica é necessário que exista um campo eléctrico, isto é, uma diferença de potencial entre duas zonas da célula. Através do processo conhecido como dopagem do silício, que consiste na introdução de elementos estranhos com o objectivo de alterar as suas propriedades eléctricas, é possível criar duas camadas na célula: a camada tipo *p* e a camada tipo *n*, que possuem, respectivamente, um excesso de cargas positivas e um excesso de cargas negativas, relativamente ao silício puro.

O boro é o dopante normalmente usado para criar a região tipo *p*. Um átomo de boro forma quatro ligações covalentes com quatro átomos vizinhos de silício, mas como só possui três electrões na banda de valência, existe uma ligação apenas com um electrão, enquanto as restantes três ligações possuem dois electrões. A ausência deste electrão é considerada uma lacuna, a qual se comporta como uma carga positiva que viaja através do material, pois de cada vez que um electrão vizinho a preenche, outra lacuna é criada. A razão entre átomos de boro e átomos de silício é normalmente da ordem de 1 para 10 milhões. O fósforo é o material usado para criar a região *n*. Um átomo de fósforo tem

cinco electrões na sua banda de valência, pelo que cria quatro ligações covalentes com os átomos de silício e deixa um electrão livre, que viaja através do material.

Ao juntar as camadas n e p dos semicondutores impuros forma-se uma região de transição denominada junção $p-n$, onde é criado um campo eléctrico que separa os portadores de carga que a atingem. Quando uma célula solar é exposta à luz os fotões são absorvidos pelos electrões. Assim, quando o fotão contém energia suficiente a ligação entre os electrões é quebrada e estes movem-se para a banda de condução e são conduzidos através do campo eléctrico para a camada n . As lacunas criadas seguem para a camada p .

Quando se ligam os terminais da célula a um circuito exterior que se fecha através de uma carga irá circular corrente eléctrica. Se a célula não estiver ligado a nenhuma carga, é obtida a tensão em circuito aberto da célula solar.

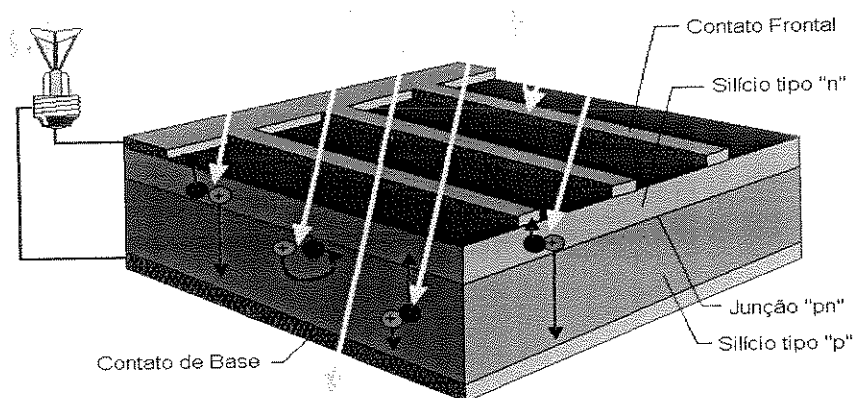


Figura 1. Corte transversal de uma célula fotovoltaica

4.5. Tecnologias das células fotovoltaicas

Dependendo do material utilizado no fabrico das células solares fotovoltaicas, estas podem ser classificadas como células monocristalina, policristalinas e amorfas.

No entanto existem novas tecnologias em fase de desenvolvimento e comercialização. As células que utilizam estas novas tecnologias são denominadas por células de película fina. De seguida é feita uma breve descrição sobre as diferentes tecnologias das células solares fotovoltaicas.

5. Tipo de células

5.1 Silícios Monocristalino

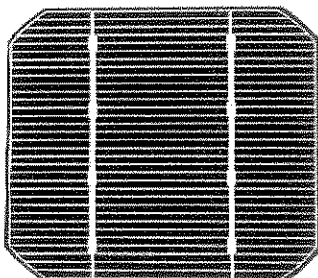


Figura. 2 - Células de silício Monocristalino

O silício monocristalino é o material mais usado na composição das células fotovoltaicas, atingindo cerca de 60% do mercado. A uniformidade da estrutura molecular resultante da utilização de um cristal único é ideal para potenciar o efeito fotovoltaico. As células monocristalinas foram as primeiras a serem elaboradas a partir de um bloco de silício cristalizado num único cristal.

- Preço elevado;
- Elevado período de retorno do investimento.

5.3 Silício policristalino

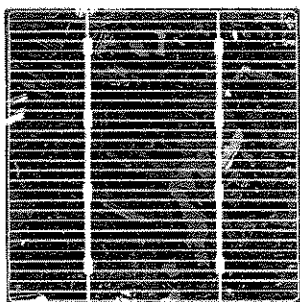


Figura.3 - Célula de silício policristalino

As células de silício policristalino são mais baratas que as de silício monocristalino por exigirem um processo de preparação das células menos rigoroso. A eficiência, no entanto, cai um pouco em comparação as células de silício monocristalino.

O processo de pureza do silício utilizada na produção das células de silíciopolicristalino é similar ao processo do Si monocristalino, o que permite obtenção de níveis de eficiência compatíveis. Basicamente, as técnicas de fabricação de células policristalinas são as mesmas na fabricação das células monocristalina, porém com menores rigores de controlo. Podem ser preparadas pelo corte de um lingote, de fitas ou depositando um filme num substrato, tanto por transporte de vapor como por imersão. Nestes dois últimos casos só o silício policristalino pode ser obtido. Cada técnica produz cristais com características específicas, incluindo tamanho, morfologia e concentração de impurezas. Ao longo dos anos, o processo de fabricação tem alcançado eficiência máxima de 12,5% em escalas industriais.

5.4 Silícios Amorfo

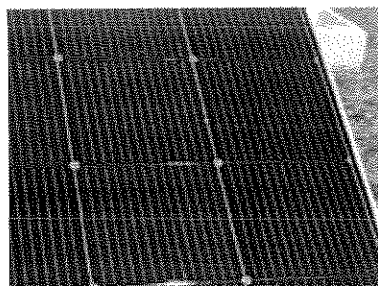


Figura 4. Célula de silício amorfo

Uma célula de silício amorfo difere das demais estruturas cristalinas por apresentar alto grau de desordem na estrutura dos átomos. A utilização de silício amorfo para uso em foto células tem mostrado grandes vantagens tanto nas propriedades eléctricas quanto no processo de fabricação. Por apresentar uma absorção da radiação solar na faixa do visível e podendo ser fabricado mediante deposição de diversos tipos de substratos, o silício amorfo vem se mostrando uma forte tecnologia, para sistemas foto voltaicos de baixo custo. Mesmo apresentando um custo reduzido na produção, o uso de silício amorfo apresenta duas desvantagens: a primeira é a baixa eficiência de conversão comparada às células mono e poli cristalinas de silício; em segundo, as células são afectadas por um processo de degradação logo nos primeiros meses de operação, reduzindo assim a eficiência ao longo da vida útil.

Por outro lado, o silício amorfo apresenta vantagens que compensam as deficiências acima citadas, são elas:

- Processo de fabricação relativamente simples e barato;
- Possibilidade de fabricação de células com grandes áreas;
- Baixo consumo de energia na produção.

5.5 Células de película fina

As células de película fina tais como CIS, CdTe e CiGs, encontram-se em fase de desenvolvimento.

Apesar de possuírem baixas eficiências, as células de película fina apresentam-se como uma alternativa promissora ao silício, por serem muito mais resistentes aos efeitos de sombreamento e a temperaturas elevadas. Estas apresentam custos de produção mais baixos.

Os painéis solares de CIS apresentam, como o a-Si (silício amorfo) e o CdTe, uma agradável aparência estética. Apresentam rendimentos algo inferiores ao do silício, mas em contrapartida encontram aplicações arquitetônicas diversas, devido às vantagens de utilizarem tecnologias de películas finas e permitirem a passagem parcial de luz. No caso do CdTe, a pouca abundância dos elementos envolvidos e a sua toxicidade são aspectos que têm de ser considerados se esta tecnologia atingir quantidades significativas de produção.

5.7 A tabela seguinte apresenta os rendimentos típicos e teóricos obtidos com cada uma destas tecnologias.

Material da célula Solar	Eficiência da Célula
Silício Monocristalino	11-16%
Silício policristalino	10-14%
Silício Cristalino de película fina	6-8%
CIS, CIGS	4-7%

Tabela de rendimentos típicos e teóricos das células fotovoltaicas

6. Módulos fotovoltaicos

Pela baixa tensão e corrente de saída em uma célula foto voltaica, agrupam-se várias células formando um módulo. O arranjo das células nos módulos pode ser feito conectando-as em série ou em paralelo.

Ao conectar as células em paralelo, somam-se as correntes de cada módulo e a tensão do módulo é exactamente a tensão da célula. A corrente produzida pelo efeito fotovoltaico é contínua. Pelas características típicas das células (corrente máxima por volta de 3A e tensão muito baixa, em torno de 0,7V) este arranjo não é utilizado salvo em condições muito especiais.

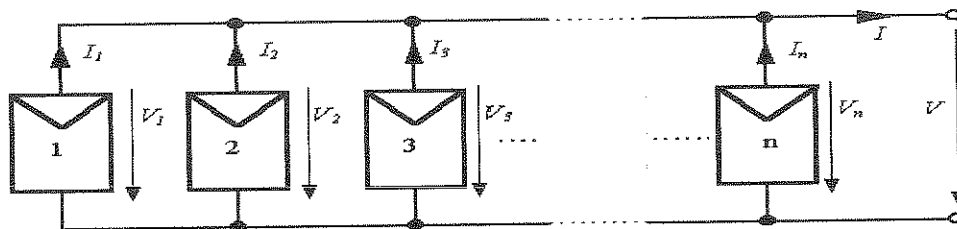


Figura 5 - Conexão de células em paralelo

6.1 Vantagens da ligação em paralelo

A conexão mais comum de células fotovoltaicas em módulos é o arranjo em série. Este consiste em agrupar o maior número de células em série onde soma-se a tensão de cada célula chegando a um valor final de 12V o que possibilita a carga de acumuladores (baterias) que também funcionam na faixa dos 12V

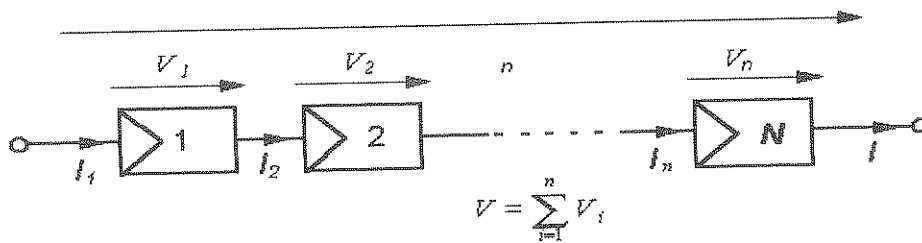


Figura 6 - Arranjo das células em série

$$U = U_1 + U_2 \dots + U_n$$

$$I_t = I_1 = I_2 \dots = I_n$$

6.2 Vantagens de uma ligação em serie

- Os módulos deixam-se montar de uma forma simples e rápida.
- Elevadas tensões eléctrica condicionam pequenas secções de cabos.
- Elevadas tensões eléctrica do sistema resultam pequenas correntes. Disto, resultam pequenas perdas de potência eléctrica.

Quando uma célula foto voltaica dentro de um módulo, por algum motivo, estiver encoberta a potência de saída do módulo cairá drasticamente que, por estar ligada em série, comprometerá todo o funcionamento das demais células no módulo. Para que toda a corrente de um módulo não seja limitada por uma célula de pior desempenho (o caso de estar encoberta), usa-se um diodo de passo ou de “bypass”. Este diodo serve como um caminho alternativo para a corrente e limita a dissipação de calor na célula defeituosa. Geralmente o uso do diodo bypass é feito em agrupamentos de células o que, torna muito mais barato comparado ao custo de se conectar um diodo em cada célula.

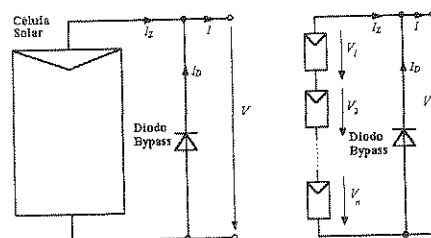


Figura 7 - Possível ligação para um diodo bypass entre células

Outro problema que pode acontecer é quando surge uma corrente negativa fluindo pelas células, ou seja, ao invés de gerar corrente, o módulo passa a receber muito mais do que produz. Esta corrente pode causar queda na eficiência das células e, em caso mais drástico, a célula pode ser desconecta do arranjo causando assim a perda total do fluxo de energia do módulo. Para evitar esses problemas, usa-se um diodo de bloqueio impedindo assim correntes reversas que podem ocorrer caso liguem o módulo directamente em um acumulador ou bateria.

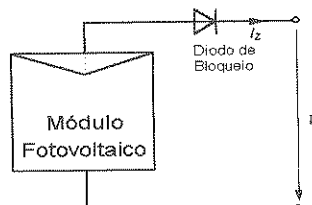


Figura 8 – Diodo de bloqueio

6.3. Características eléctricas dos módulos fotovoltaicos

Geralmente, a potência dos módulos é dada pela potência de pico. Tão necessário quanto este parâmetro, existem outras características eléctricas que melhor caracteriza a funcionalidade do módulo. As principais características eléctricas dos módulos fotovoltaicos são as seguintes:

- Voltagem de Circuito Aberto (V_{oc})
- Corrente de Curto-circuito (I_{sc})
- Potência Máxima (P_m)
- Voltagem de Potência Máxima (V_{mp})
- Corrente de Potência Máxima (I_{mp})

A condição padrão para se obter as curvas características dos módulos é definida para radiação de $1000W/m^2$ (radiação recebida na superfície da Terra em dia claro, ao meio dia), e temperatura de $25^\circ C$ na célula (a eficiência da célula é reduzida com o aumento da temperatura)

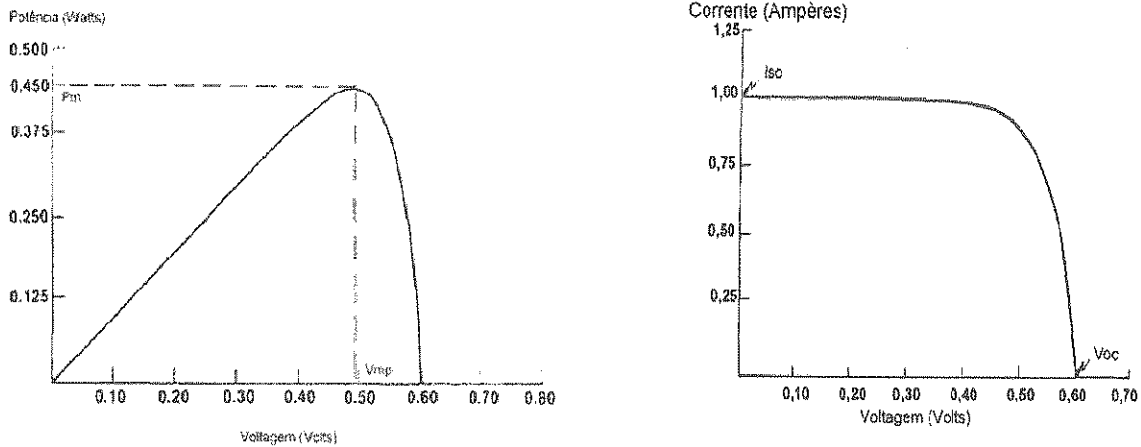


Figura10 - tensão Curva típica de potência

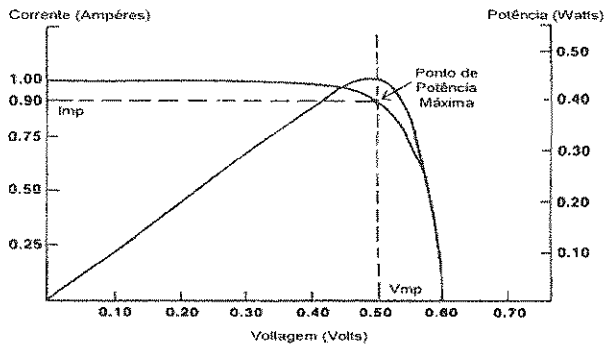


Figura 11 - Parâmetros de potência máxima

6.4. Factores que afectam as características eléctricas dos módulos

Os principais factores que influenciam nas características eléctricas de um painel são a Intensidade Luminosa e a Temperatura das Células. A corrente gerada nos módulos aumenta linearmente com o aumento da Intensidade luminosa. Por outro lado, o aumento da temperatura na célula faz com que a eficiência do módulo caia abaixando assim os pontos de operação para potência máxima gerada.

No verão, as temperaturas do modulo tem 40 até 70 graus Célsius uma ventilação e preciso. Sem a ventilação traseira, as perdas tem 4 até 6% mais, do que com ventilação traseira como temos no exemplo abaixo;

- Temperatura do módulo com 25°C: $P=U \times L$
- Temperatura do módulo com 75°C: $P=U \times L$
- Conclusão: $P_{75^\circ\text{C}} < P_{25^\circ\text{C}}$

6.5 Efeito de temperatura

A temperatura é um parâmetro importante uma vez que, estando as células expostas aos raios solares, o seu aquecimento é considerável. Além disso, uma parte da incidência solar absorvida não é convertida em energia eléctrica, mas sim dissipada sob a forma de calor. Esta é a razão porque a temperatura de uma célula é sempre superior à temperatura ambiente.

Para estimar a temperatura da célula, a partir da temperatura ambiente, pode utilizar-se a equação;

$$T_c = T_a + \frac{Noct - 20}{800} \times (219 + 823 \times kt)$$

Onde

T_c – temperatura da célula em °C

t_a – temperatura ambiente em °C

Kt – índice de claridade

$Noct$ – e a temperatura da célula

A variação da temperatura faz com que os pontos de operação correspondentes à extracção de potência máxima variem. Analisando a figura, verifica-se, que o valor da tensão em circuito aberto baixa com o aumento da temperatura, enquanto que o valor da corrente de curto-circuito pouco varia.

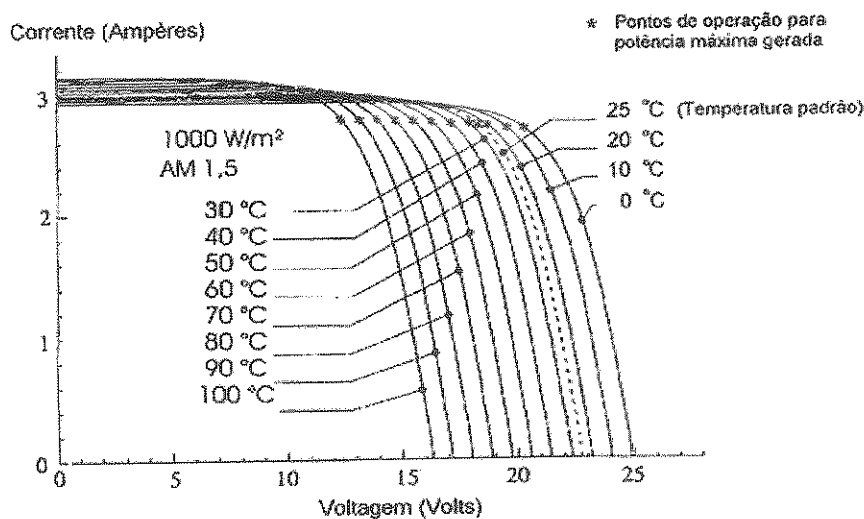


Figura 12 - Efeito causado pela temperatura na célula

6.6 Efeito da radiação

Tal como se pode observar na figura, a potência de saída aumenta com o aumento da radiação incidente. A corrente de curto-circuito aumenta de forma aproximadamente linear com o aumento da radiação incidente ao passo que o valor de tensão de circuito aberto pouco varia com a variação da radiação.

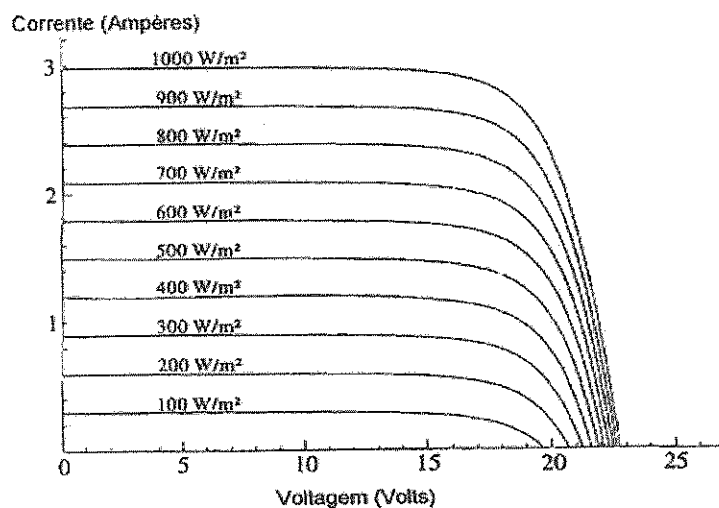


Figura 13 - Efeito causado pela variação de intensidade luminosa.

7. Categorias dos sistemas fotovoltaicos.

Um sistema foto voltaico pode ser classificado em três categorias distintas: sistemas isolados, híbridos e conectados a rede. Os sistemas obedecem a uma configuração básica onde o sistema deverá ter uma unidade de controlo de potência e também uma unidade de armazenamento.

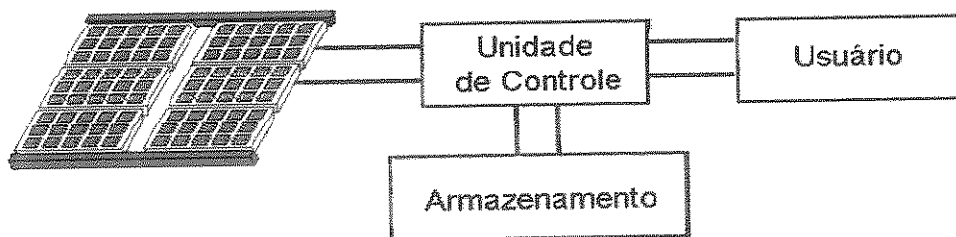


Figura 14 - Configuração básica de um sistema fotovoltaico.

7.1. Sistemas Isolados

Sistema isolado, em geral, utiliza-se alguma forma de armazenamento de energia. Este armazenamento pode ser feito através de baterias, quando se deseja utilizar aparelhos eléctricos ou armazena-se na forma de energia gravitacional quando se bombeia água para tanques em sistemas de abastecimento. Alguns sistemas isolados não necessitam de armazenamento, o que é o caso da irrigação onde toda a água bombeada é directamente consumida ou estocadas em reservatórios.

Em sistemas que necessitam de armazenamento de energia em baterias, usa-se um dispositivo para controlar a carga e a descarga na bateria. O “controlador de carga” tem como principal função não deixar que haja danos na bateria por sobrecarga ou descarga profunda. O controlador de carga é usado em sistemas pequenos onde os aparelhos utilizados são de baixa tensão e corrente contínua (CC).

Para alimentação de equipamentos de corrente alternada (CA) é necessário um inversor. Este dispositivo geralmente incorpora um seguidor de ponto de máxima potência necessário para optimização da potência final produzida. Este sistema é usado quando se deseja mais conforto na utilização de electrodomésticos convencionais.

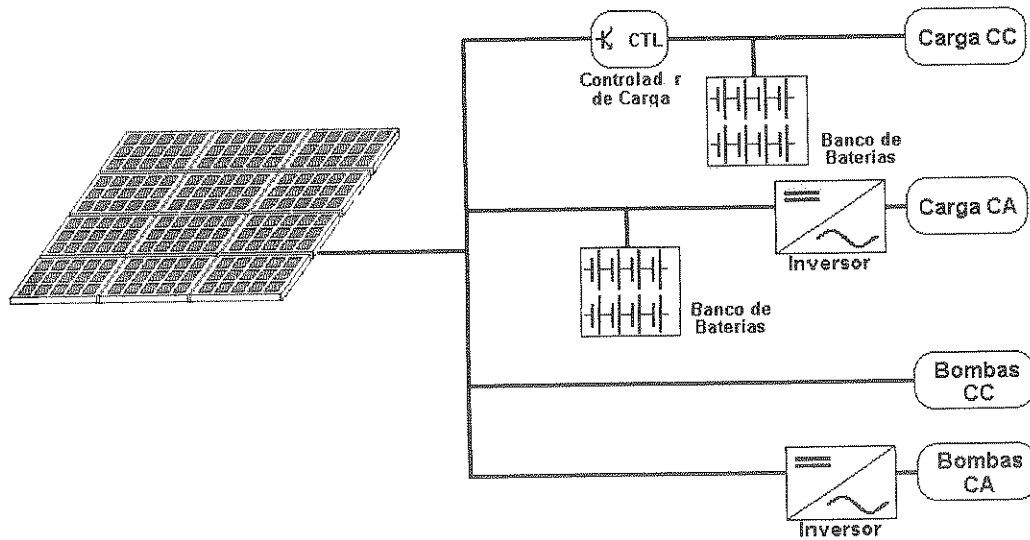


Figura 15- Diagrama de sistemas fotovoltaicos em função da carga utilizada.

7.2. Sistemas Interligados à Rede

Estes sistemas utilizam grandes números de painéis fotovoltaicos, e não utilizam armazenamento de energia pois toda a geração é entregue directamente na rede. Este sistema representa uma fonte complementar ao sistema eléctrico de grande porte ao qual esta conectada. Todo o arranjo é conectado em inversores e logo em seguida guiados directamente na rede. Estes inversores devem satisfazer as exigências de qualidade e segurança para que a rede não seja afectada.

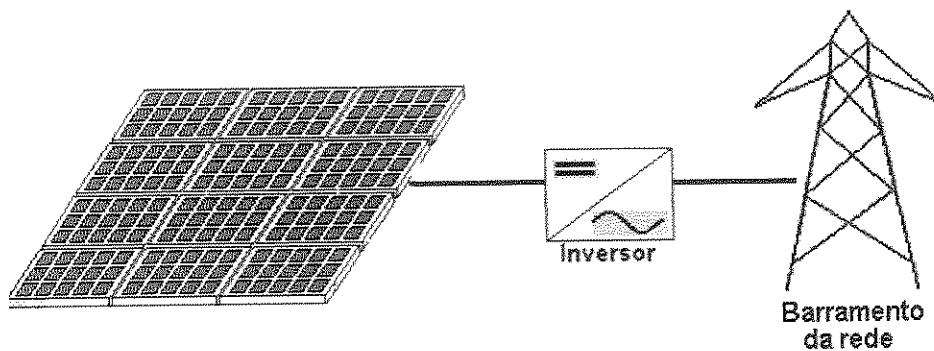


Figura 16. Sistema interligado a rede

7.2. Sistemas Híbridos

Sistemas híbridos são aqueles que, desconectado da rede convencional, apresenta várias fontes de geração de energia como, por exemplo: turbinas eólicas, geração diesel, módulos foto voltaicos entre outras. A utilização de várias formas de geração de energia eléctrica torna-se complexo na necessidade de optimização do uso das energias. É necessário um controle de todas as fontes para que haja máxima eficiência na entrega da energia para o usuário.

8. Vantagens e desvantagens da energia foto voltaica

A tecnologia solar foto voltaica apresenta um grande número de vantagens:

- Alta fiabilidade – não tem peças móveis, o que é muito útil em aplicações em dimensionados para aplicações de alguns miliwatts ou de quilowatts.
- O custo de operação é reduzido - a manutenção é quase inexistente: não necessita combustível, transporte, nem trabalhadores altamente qualificados.
- A tecnologia foto voltaica apresenta qualidades ecológicas, pois o produto final é não poluente, silencioso e não perturba o ambiente.

8.1 No entanto esta tecnologia apresenta também algumas desvantagens:

- O fabrico dos módulos fotovoltaicos necessita uma 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, em face de outros tipos de geradores (e.g. geradores a gás/óleo). A excepção restringe-se a casos onde existam 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 foto voltaico torna-se ainda mais elevado.

9. Componentes de um sistema fotovoltaico autónomo

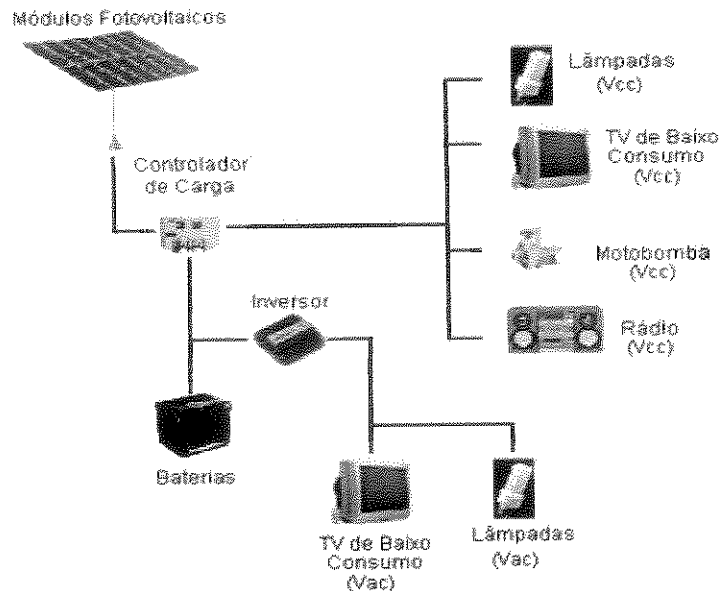


Figura 17. componentes do sistema fotovoltaico autónomo.

9.1. Inversores

Num sistema fotovoltaico isolado o armazenamento de energia nas baterias e o fornecimento de energia para o consumo é feito em CC. Os inversores são utilizados para possibilitar o uso de aparelhos eléctricos convencionais que requerem alimentação em CA ($V=230V$ e $f=50Hz$) a partir da rede em CC.

A escolha de um inversor para um sistema deste tipo é feita tendo em conta a potência do inversor e atendendo a que a potência nominal do inversor deve ser suficiente para alimentar as cargas de forma contínua.

Quando no sistema autónomo existirem motores ou outras cargas que exijam correntes de arranque elevadas, o inversor deverá ter capacidade de fornecer essas correntes de arranque. Por outro lado, os inversores utilizados em sistemas fotovoltaicos autónomos têm que ser eficientes. Estes inversores devem possuir as seguintes características:

- Gerar uma onda de tensão em CA estável;
- A tensão CC de entrada deve acautelar as variações de tensão na bateria;

- Ser dimensionado de modo a ter capacidade de alimentar continuamente todas as cargas;
- Capacidade de fornecer correntes de arranque elevadas;
- Elevada eficiência para diferentes condições de carga;
- Fiabilidade elevada;
- Baixa interferência electromagnética;
- Baixo consumo quando não há carga a ser alimentada.

9.2. Baterias, requisitos de carga e carregadores

Em sistemas fotovoltaicos autónomos, dado que a produção e consumo de energia muitas vezes não coincidem, quer ao longo do dia, quer ao longo dos dias do ano, o armazenamento de energia assume um papel fundamental. Para tal são utilizadas baterias, as quais devem possuir tempos de vida útil longos em condições de carga e descarga diárias, também conhecidas como baterias de alta profundidade de carga.

Outras características importantes são uma elevada eficiência de carga, mesmo para baixas correntes de carga e uma baixa razão de auto-descarga.

As baterias são uma forma de armazenamento de energia, pois são capazes de transformar directamente energia eléctrica em energia potencial química e posteriormente converter, directamente, a energia potencial química em eléctrica. Cada bateria é composta por um conjunto de células electroquímicas ligadas em série de modo a obter a tensão eléctrica desejada.

De modo a proteger as baterias contra sobrecargas são utilizados controladores de carga.

A escolha apropriada da bateria, bem como da sua capacidade, é uma tarefa essencial de modo a assegurar o adequado funcionamento do sistema solar fotovoltaico autónomo e proporcionar à bateria um longo tempo de vida útil.

As baterias podem ser classificadas em duas categorias, primária e secundária. As baterias primárias não podem ser recarregadas, ou seja, uma vez esgotados os reagentes que produzem energia eléctrica, devem ser descartadas. As secundárias podem ser recarregadas através da aplicação de uma corrente eléctrica aos seus terminais. Os

sistemas fotovoltaicos utilizam baterias do tipo recarregáveis sendo as de chumbo ácido e as de níquel-cádmio as mais comuns.

9.3. Requisitos de carga e carregadores

Tal como já foi referido anteriormente, nos sistemas fotovoltaicos autónomos a tensão aos terminais do painel fotovoltaico deverá ser compatível com a tensão nominal da bateria, devendo ser a tensão do painel superior à tensão da bateria.

Tendo em conta a dependência da tensão aos terminais do painel com a temperatura, é conveniente que para temperaturas elevadas a tensão gerada seja suficientemente elevada para possibilitar a carga das baterias e para valores baixos de temperatura é conveniente garantir que a tensão do painel fotovoltaico não supere a tensão de carga da bateria. Assim, o controlador de carga mede a tensão da bateria e protege contra a possibilidade de sobrecarga.

Como as baterias são em geral muito sensíveis tanto a sobrecargas como a descargas profundas, a utilização do controlador de carga contribui significativamente para o aumento do seu tempo de vida útil.

As principais funções atribuídas aos controladores de carga das baterias são:

- Assegurar o carregamento da bateria;
- Evitar a sobrecarga da bateria;
- Bloquear corrente inversa entre a bateria e o painel;
- Prevenir descargas profundas (no caso de baterias chumbo-ácido).

10. Para um bom dimensionamento de um sistema fotovoltaico autónomo é necessário levar em conta os seguintes aspectos.

- Tensão típica das cargas (DC e AC).
- Potência exigida pela carga.
- Perfil da carga (horas de utilização)
- Localização geográfica do sistema.
- Autonomia prevista.

10.1 Dimensionamentos de um sistema fotovoltaico autónomo.

10.2. Colocação do problema.

Um camponês pretende fazer uma instalação fotovoltaica na sua residência de campo, onde não existe disponibilidade de energia eléctrica da rede pública. O tamanho da instalação está condicionado aos seus escassos recursos financeiros.

A instalação vai ocupar uma área restrita, segundo as suas possibilidades financeiras, abrangendo espaços para a satisfação das condições básicas da sua vida, nomeadamente, uma pequena sala, um quarto de dormir e uma pequena varanda.

O sistema vai ter uma demanda, sobretudo no período de noite, durante um tempo típico da vida das populações rurais.

Além da iluminação, o sistema vai alimentar um pequeno receptor de TV e um rádio receptor

10.3. Diagrama de Dimensionamento

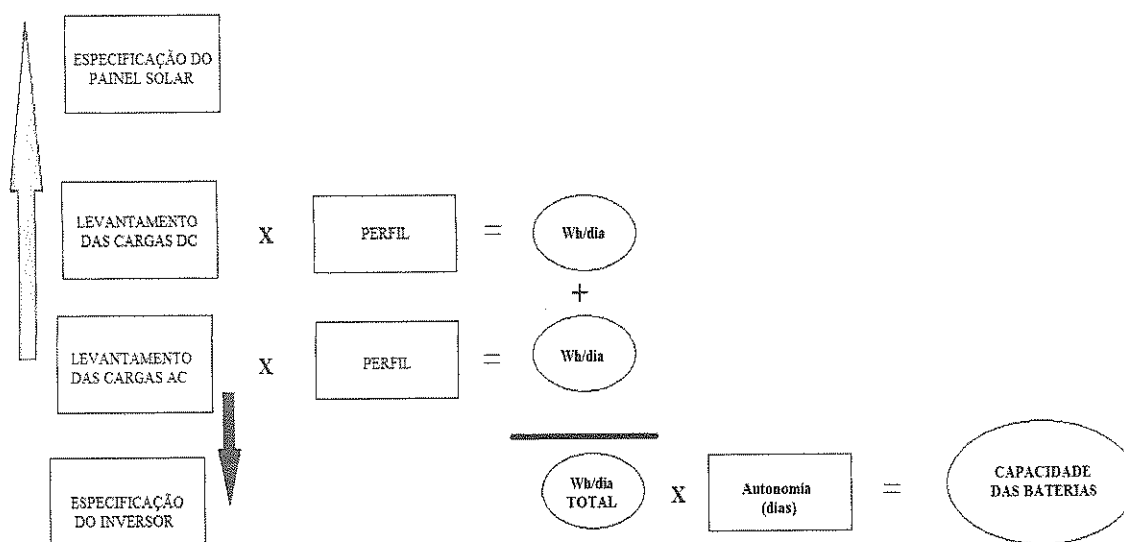


Fig.18. Diagrama de dimensionamento

Teremos no dimensionamento do sistema, cargas de corrente contínua e de corrente alternada (AC), conforme os dados que se seguem em função das potências e das horas de utilização diária.

3 Lâmpada de 9W, 220V, com 6 horas de utilização diária cada uma.

1TV de 100W, 220V com 10 horas de utilização.

Um receptor de rádio de 40W, 220V com 4 horas de utilização diária

10.4. Cálculo da corrente em cada carga em corrente contínuo (12vcc).

- Lâmpadas

$$I = \frac{P}{U} = \frac{9W}{12VCC} = 0,75A$$

Lâmpadas 1;2;3 têm 0,75A de corrente.

- TV

$$I = \frac{P}{U} = \frac{100W}{12VCC} = 8,33A$$

- Receptor de Rádio:

$$I = \frac{P}{U} = \frac{40}{12VCC} = 3,33A$$

10.5. Tabela de dimensionamento

Levantamento do sistema					Consumo em corrente contínua de 12vcc.	
Item	Electrodomésticos	Tensão (v)	Potência (w)	Uso (h/dia)	Corrente (A)	Consumo (Ah/dia)
1	Lâmpada	12vcc	9w	6	0,75	4,5
2	Lâmpada	12vcc	9w	6	0,75	4,5
3	Lâmpada	12vcc	9w	6	0,75	4,5
4	TV	220vca	100w	10	8,34	83,4
5	R. Rádio	220vca	40w	4	3,33	13,32
Perdas no inversor			28w		2,3	73,6
Total					16,22	183,82

Tabela 2. Tabela de dimensionamento de um sistema autônomo.

10.6. Cálculo de banco de baterias em autonomia

$$\text{capacidade do banco} = \frac{\text{consumo(Ah/dia)} \times \text{autonomia}}{\text{profundidade de descarga da autonomia}}$$

O consumo total diário é de 183,82 conforme a tabela considerando a profundidade de descarga de 0,6 e 2 dias de autonomia com esses dados teremos:

$$\text{capacidade do banco} = \frac{183,82 \times 2}{0,6} = 612,8\text{Ah}$$

$$\text{capacidade do banco} = \frac{\text{consumo(Ah/dia)}}{\text{profundidade de descarga a cada noite}}$$

Consumo diário é de 183,82 e a profundidade de descarga no final de cada noite vai considerar 0,15.

$$\text{calculo do numero de modulos} = \frac{320w}{80w} = 4$$

Vamos usar 4 módulos de 80w para o nosso gerador fotovoltaico

$$\text{corrente do módulo} = \frac{\text{carregamento diario}}{\text{N° de horas que o sol aparece por dia}}$$

Vamos considerar o número de sol pleno, 12 horas e o carregamento diário calculado é de 47A.

$$\text{corrente do módulo} = \frac{47}{12} = 3.9Ah$$

$$\text{potência do módulo} = \text{tensão do módulo} \times \text{corrente do módulo}$$

$$\text{potência do módulo} = 17.4 \times 3.9 = 68w$$

10.8. Inversor.

$$\text{potência do inversor} = \text{potência das cargas em CA} + 20\% \text{ das perds}$$

Da tabela 2, a potência CA é de 140w.

$$\text{potência do inversor} = 140w + 28w = 168w$$

Com estes cálculos temos os seguintes dados:

- Banco de baterias **1226 Ah**
- Gerador fotovoltaico **320 W**
- Inversor **168 W**
- 4 Módulos de **80w**

11. Resumo

O sistema é projectado para cargas diversas de baixo consumo tais como lâmpadas de alta eficiência (fluorescentes ou leds), aparelhos electrónicos (rádio, televisor, telefone, alarme, câmara de vídeo, pequenos motores etc.). Recomenda-se o uso de sensor de presença e outros dispositivos para óptimo uso da energia. Não é indicado o uso de energia solar fotovoltaica para suprimento de cargas de alto consumo como aquecimento de água (chuveiros eléctricos, saunas, etc.), ferros eléctricos, ar condicionado, secadores de cabelo, motores, etc. O uso do refrigerador é restrito a modelos de alta eficiência.

12. Conclusão

Este projecto foi desenvolvido no laboratório do Instituto Industrial de Maputo, foram realizados trabalhos práticos e teóricos.

Nos trabalhos práticos foram verificadas as características das células e de módulos fotovoltaicos, no que diz respeito, aos parâmetros eléctricos, nomeadamente, corrente de curto circuito (I_{sc}) e tensão em vazio (U_{oc}), e o variação dos mesmos no funcionamento das células e módulos solares.

Estas e outras tantas experiencias deram-nos todos os conhecimentos necessários para afirmarmos com firmeza que, já estamos capacitados para dimensionar um sistema fotovoltaico autónomo ou isolado e percebermos um pouco mais sobre as energias novas e renováveis em geral e a energia fotovoltaica em particular.