

**MARINHA DO BRASIL**  
**CENTRO DE INSTRUÇÃO ALMIRANTE GRAÇA ARANHA**  
**CURSO DE APERFEIÇOAMENTO PARA OFICIAIS DE MÁQUINAS**  
**APMA 2015.2**

**ENERGIA SOLAR: APLICAÇÕES E APROVEITAMENTO EM EMBARCAÇÕES.**

**CARLOS RAFAEL SILVEIRA SANTOS**

**RIO DE JANEIRO - RJ**

**2015**

**CARLOS RAFAEL SILVEIRA SANTOS**

**ENERGIA SOLAR: APLICAÇÕES E APROVEITAMENTO EM EMBARCAÇÕES**

Monografia apresentada ao curso de aperfeiçoamento para oficiais de máquinas, APMA, ministrado pelo CIAGA como pré-requisito para obtenção do certificado de competência STCW III/2.

Orientador: MSc. Luiz Otavio Ribeiro Carneiro

**RIO DE JANEIRO**

**2015**

**CARLOS RAFAEL SILVEIRA SANTOS**

**ENERGIA SOLAR: APLICAÇÕES E APROVEITAMENTO EM EMBARCAÇÕES**

Monografia apresentada ao curso de aperfeiçoamento para oficiais de máquinas, APMA, ministrado pelo CIAGA como pré-requisito para obtenção do certificado de competência STCW III/2.

Data da aprovação \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

Nota: \_\_\_\_\_

Orientador: MSc. Luiz Otavio Ribeiro Carneiro

---

Assinatura do Orientador

**RIO DE JANEIRO**

**2015**

Dedico este trabalho a pessoas muito especiais e que sempre estiveram ao meu lado ao longo da minha caminhada. Meus Pais, Luizélia e Carlos, por seu incondicional amor, paciência, carinho e dedicação, que nos momentos de desânimo e dificuldades, foram responsáveis pelos meus sucessos. Assim como à minha esposa Karla e ao nosso filho Davi, por serem meus guias neste caminho e acreditarem em meu potencial, sempre me incentivando durante esta árdua caminhada profissional.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a *DEUS*, por sempre ser a luz do meu caminho e por colocar as pessoas certas nos momentos certos da minha vida. Aos professores e orientadores do CIABA, durante minha formação na EFOMM , assim como aos professores e orientadores do CIAGA durante o APMA, pois estes sim, foram os grandes responsáveis pela minha formação acadêmica e profissional. Agradeço de forma especial à família SILVEIRA pelo acolhimento e estadia na cidade do Rio de Janeiro, sempre sendo tratado como um filho. E, finalmente, à minha família, minha esposa Karla Ribeiro e nosso filho Davi Luiz, que com dedicação e amor me incentivaram a prosseguir na carreira e a concluir este curso.

“Eu investiria meu dinheiro em energia solar.  
Aliás, espero que não aguardemos o fim do petróleo  
e do carvão para fazermos isso.”

**(Thomas Edison,)**

## RESUMO

Nas últimas décadas temos extraído a energia que move o mundo de algumas fontes que um dia foram ditas como inesgotáveis, por exemplo, os combustíveis fósseis. Devido à crise energética que o país enfrenta e que o mundo poderá enfrentar nos próximos anos com a diminuição do petróleo, estão sendo consideradas algumas fontes de energia renovável. Este estudo mostrará a relevância do uso da energia solar e o seu aproveitamento em embarcações e instalações marítimas. O uso desta fonte de energia contribuirá com o meio ambiente, através da não emissão de CO<sub>2</sub>, com a redução de custos operacionais e com a sociedade, mostrando às gerações atuais e futuras que é possível gerar e usar energia limpa. De acordo com Di Souza (2012), “são incontestáveis as vantagens da energia solar fotovoltaica, pois sua fonte é inesgotável, assim como a matéria prima para construção de células para a captação da radiação solar”. Não há emissão de poluentes e podemos aproveitar o potencial solar que chega a terra todos os dias de forma gratuita. Portanto este trabalho contribuirá com o meio ambiente, com a sociedade e com as empresas que adotarem este tipo de tecnologia, de forma direta ou indireta, pois além de redução de custos e elevação da autonomia serão vistas como ambientalmente corretas.

## **ABSTRACT**

In the last decades we have extracted the energy that moves the world from some sources that were once said to be inexhaustible, for example, fossil fuels. Due to the energy crisis facing the country and the world could face in the coming years with the decline of oil, are being considered some sources of renewable energy. This study shows the importance of the use of solar energy and its use in ships and offshore facilities. The use of this energy source will contribute to the environment through non-CO2 emissions by reducing operating costs and to society, showing the current and future generations that it is possible to generate and use clean energy. According with Di Souza (2012), are indisputable the advantages of photovoltaic solar energy because its supply is inexhaustible, as well as the raw material for building cells to capture solar radiation. There are no pollution emissions and can harness the solar potential that comes to earth every day for free. Therefore this work will contribute to the environment, with society and with companies that adopt this kind of technology, directly or indirectly, as well as cost savings and increased autonomy will be seen as environmentally friendly.

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 – Níveis de aproveitamento da radiação Solar pelas células de Silício ..... cristalino.	10
Tabela 2 – Eficiência dos diferentes tipos de células fotovoltaicas.....	18
Tabela 3 – Estado de carga de uma bateria pela densidade do eletrólito.....	30

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – O Sol.....	04
Figura 2 – Espectro da radiação eletromagnética do Sol .....	06
Figura 3 – Gap de energia.....	07
Figura 4 – Cristal de Silício intrínseco.....	08
Figura 5 – Silício dopado com Boro.....	09
Figura 6 – Corte transversal de uma célula fotovoltaica .....	10
Figura 7 – Células de Silício Monocristalino.....	13
Figura 8 – Células de Silício Policristalino.....	14
Figura 9 - Representação de uma célula de Silício amorfo.....	15
Figura 10 - Célula de CIS.....	16
Figura 11 – Módulo de CdTe.....	17
Figura 12 - Conexão de células fotovoltaicas em série.....	19
Figura 13 – Módulo fotovoltaico.....	20
Figura 14 - Corte transversal de um módulo fotovoltaico.....	21
Figura 15 – Conexão de células em série.....	21
Figura 16 – Conexão de células em paralelo.....	22
Figura 17 - Diagrama de ligação à rede de um sistema ON-GRID.....	24
Figura 18 - Diagrama de Sistema Isolado com cargas CC.....	26
Figura 19 - Sistema isolamento com armazenamento e MPPT.....	26
Figura 20 - Painel fotovoltaico 24V de sistema autônomo.....	27
Figura 21- Bateria de chumbo ácido.....	30
Figura 22- Controlador de Carga.....	33
Figura 23- Esquema de funcionamento de um controlador de carga.....	34
Figura 24- Inversores Autônomos.....	35
Figura 25- Esquema de Ligação Simplificado.....	38
Figura 26- MS TURANOR, da Planet Solar.....	41
Figura 27- Navio AURIGA LEADER.....	42
Figura 28- Desafio Solar universitário do Brasil.....	43
Figura 29- Barco Solar de transporte da Amazônia.....	44
Figura 30- Perspectiva do Barco Solar de transporte da Amazônia.....	44
Figura 31- Barco Solar GIRASOL.....	45
Figura 32- Barco Solar inflável.....	46
Figura 33- Célula e módulo fotovoltaico flexível.....	47
Figura 34- Tinta de Silício da Dupont/InnovaLight.....	48

## SUMÁRIO

<b>I. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>01</b>
<b>II. O SOL.....</b>	<b>03</b>
<b>III. ENERGIA SOLAR.....</b>	<b>05</b>
3.1. Efeito fotovoltaico, princípio de funcionamento.....	06
3.2. Células fotovoltaicas.....	11
3.3. Silício cristalizado.....	11
3.3.1. Silício monocristalino.....	12
3.3.2. Silício policristalino.....	13
3.4. Células de película fina.....	14
3.4.1. Silício amorfo.....	14
3.4.2. Disseleneto de Cobre e Índio (CIS).....	15
3.4.3. Telureto de Cádmio (CdTe).....	17
3.5. Eficiência fotovoltaica.....	18
3.6. Módulos fotovoltaicos.....	19
3.6.1 Associação em série dos módulos fotovoltaicos.....	21
3.6.2 Associação em paralelo dos módulos fotovoltaicos.....	22
<b>IV. CLASSIFICAÇÃO SISTEMAS FOTOVOLTAICOS.....</b>	<b>23</b>
4.1. Sistemas conectados à rede (SFCR – uso em terra).....	23
4.2. Sistemas fotovoltaicos autônomos.....	25
4.2.1. Carcas CC com armazenamento.....	25
4.2.2. Cargas CA com armazenamento.....	26
<b>V. COMPONENTES DE UM SISTEMA ISOLADO.....</b>	<b>27</b>
5.1. Painel fotovoltaico para sistema autônomo.....	27
5.2. Banco de baterias.....	28
5.3. Controlador de cargas.....	32
5.4. Inversores autônomos.....	35
<b>VI. EMBARCAÇÕES A ENERGIA SOLAR.....</b>	<b>39</b>
6.1. Formas de aproveitamento da energia solar em embarcações.....	39
6.2. Apresentação de caso do “MS TURANOR e “AURIGA LEADER”.....	40
6.3. Embarcações de pequeno porte movidas à energia solar.....	42
6.4. Futuro da energia solar.....	46
<b>VII. CONCLUSÃO.....</b>	<b>49</b>
<b>VIII. REFERÊNCIAS.....</b>	<b>50</b>

## I. INTRODUÇÃO

Há alguns séculos, a humanidade conseguia suprir suas necessidades energéticas com a força muscular, ou dos animais. Comumente acrescentava a estas forças a energia térmica da lenha, da água ou dos ventos. Conforme afirma Tiradentes (2009), o “homem sempre dispôs do sol a aquecer o planeta e favorecer as colheitas na agricultura; dos ventos que graças à engenhosidade humana foi muito bem aproveitado como energia eólica, principalmente em moinhos e no transporte marítimo e fluvial; das águas dos rios desviadas” e represadas para a recente geração de energia elétrica. A civilização teve sua evolução e desenvolvimento baseado inicialmente na força física. Os animais foram utilizados no transporte de cargas, na tração de veículos e de algumas máquinas rústicas, como alguns tipos de engenhocas.

A criatividade humana foi se desenvolvendo ao longo dos séculos e o homem aprendeu, através da curiosidade e da necessidade, utilizar a energia presente em outras fontes independentes dessa força física dos animais. As primeiras máquinas criadas para substituir os animais foram as rodas hidráulicas e os moinhos de vento, que significaram um avanço importante na época com capacidade de produzir trabalho – ou potência – mesmo que até então o objetivo fosse apenas conseguir produzir mais com menor esforço.

“A partir dos séculos XVII e XVIII, com o desenvolvimento da máquina a vapor e do motor de combustão interna” Tiradentes (2007), houve então um aumento na eficiência do trabalho a ser realizado. Com o uso intenso dos motores de combustão interna e observado que esta era a melhor solução energética presente à época o consumo de combustíveis fósseis, aumentou de forma acelerada. “Um crescimento exponencial desse consumo se iniciou com a Revolução Industrial do século XVIII, e como bem sabemos, não parou e nem dá sinais de que possa diminuir” (Tiradentes, 2007). Recentemente a evolução tecnológica levou o homem a um consumo cada vez maior de energia em todas as formas disponíveis, com apreciável crescimento do consumo dos combustíveis fósseis, definindo uma matriz energética mundial amplamente baseada no petróleo. O consumo atual de combustíveis fósseis responde por algo em torno de 97% de toda energia consumida no planeta. Sabemos que as reservas desses combustíveis são finitas e já se pode prever sua total exaustão, considerando as reservas conhecidas e o ritmo de crescimento do consumo.

Frente às previsões de exaustão das fontes de energia baseadas no petróleo, a ciência novamente torna o seu foco para a natureza tentando aproveitar os recursos disponíveis, que são abundantes, limpos e renováveis. Basicamente, as fontes de energia renováveis mais

conhecidas são a energia eólica, solar, biomassa e hidráulica. Dentre todas as alternativas já estudadas e testadas, o aproveitamento da energia do sol se mostra como uma das mais adequadas no cenário atual, pois o sol é a fonte primária de energia, sendo responsável por outras fontes energéticas, renováveis ou não renováveis. A sustentabilidade e a preocupação na redução de agentes poluentes e impactos ambientais são assuntos que ganharam espaço em todos os setores, tanto na indústria quanto na sociedade, e a geração de eletricidade através da luz solar, mostrou-se uma alternativa sustentável e de grande potencial aplicado ao dia a dia em terra.

O foco deste trabalho é estudar e entender como a energia solar é transformada em energia elétrica, utilizando células fotovoltaicas e como estão sendo aplicadas atualmente em embarcações de pequeno porte, assim como poderemos aproveitar este potencial energético em larga escala em embarcações mercantes e de grande porte, analisando casos de sucesso e projetos em andamento.

## II. O SOL

Toda a energia que utilizamos na Terra vem do Sol, este enorme reator atômico nos fornece a energia para todos os processos, desde a existência da vida na Terra, até o desenvolvimento humano, Blue Sol (2009).

A energia liberada pelo Sol em um segundo (cinco milhões de toneladas de matéria transformada) seria suficiente para suprir todo o consumo da humanidade, do seu aparecimento na Terra até os dias de hoje. É claro que toda essa energia não chega à Terra, mas o potencial que chega anualmente é muito superior à soma de todas as formas de energia e consumo humano no mesmo período.

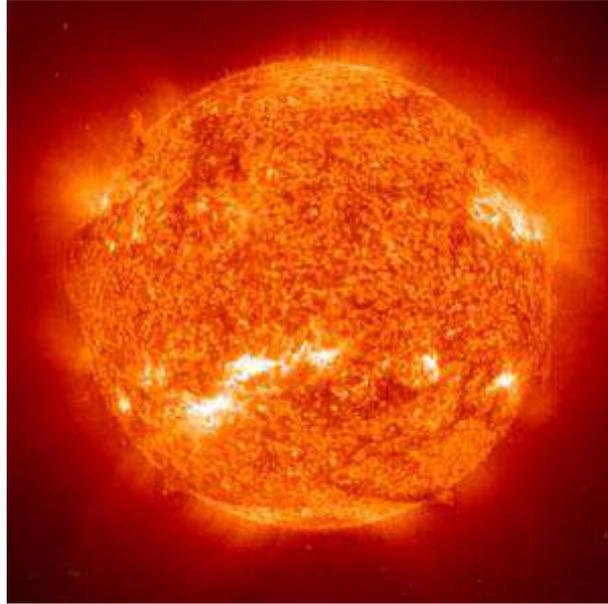
O Sol é um corpo gasoso, um imenso reator atômico, composto por aproximadamente 80% de hidrogênio, 20% de hélio e apenas 0,01% de outros materiais.

Dentro do Sol, acontecem várias reações envolvendo núcleos atômicos, sendo que a reação de fusão é a principal delas. No núcleo do Sol, onde a temperatura e pressão fornecem o ambiente adequado às reações nucleares, quatro núcleos atômicos (prótons) de hidrogênio se fundem, formando uma partícula alfa (núcleo de hélio). A partícula alfa mantém 70% da massa dos prótons de hidrogênio, enquanto que os 30% restantes da massa inicial são liberados na forma de energia. Essa energia viaja do núcleo do Sol, por um processo de convecção, passando por todas as camadas do astro, transformando-se em luz e calor.

As camadas do Sol são:

- **Fotosfera:** parte do Sol que esse se torna visível, com a aparência granular causada pelos Grânulos;
- **Cromosfera:** onde a energia vinda do núcleo provocam chamas e *fáculas*;
- **Coroa:** constituída de plasma com temperatura de aproximadamente dois milhões de graus Celsius.

**Figura 1 – O Sol**



**Fonte: Blue Sol**

A Unidade Astronômica é a distância média entre o Sol e a Terra, equivalente a 149.598.550 km, servindo para medir as distâncias entre corpos celestes. A Radiação Solar viajando à velocidade da luz (299.792.458 m/s) leva aproximadamente oito minutos para alcançar a superfície da Terra, que recebe, anualmente, a quantia aproximada de 170 milhões de Gigawatts (170.000.000 GW) de energia do Sol. Esta quantia de energia é apenas uma fração do potencial energético dissipado pelo Sol, mas é milhões de vezes superior ao consumo de energia de toda a população da Terra.

### III. ENERGIA SOLAR

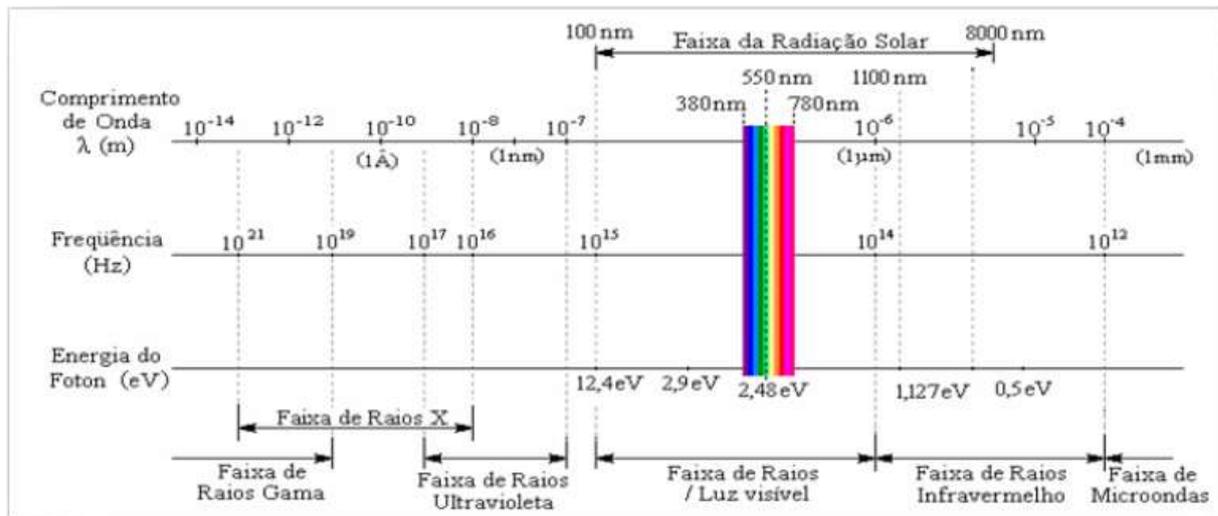
Antes de entrarmos no tópico propriamente dito, devemos compreender o que vem a ser energia. Energia pode ser definida como a capacidade de realizar trabalho ou produzir uma ação. A energia pode se apresentar das seguintes formas: Energia potencial, energia cinética, energia mecânica, energia térmica e energia luminosa. A energia não pode ser simplesmente criada, a partir do zero, a energia sempre será transformada em outro tipo de energia que venha a satisfazer as necessidades do equipamento ou sistema. Durante a transformação, uma parte da energia é convertida em energia útil e uma parte é convertida em energia não aproveitável. No exemplo de uma vela acesa, temos a energia potencial da parafina sendo transformada em luz e calor; mas apenas a luz é desejável. O calor, no caso da vela, representa uma grande parcela da energia potencial que é dissipada, não realizando um trabalho útil. Ou seja, em toda transformação energética há perdas, fazendo com que um sistema de conversão de energia seja mais ou menos eficiente de acordo à quantidade de trabalho útil que realiza com a quantidade de energia que recebe.

A energia utilizada para transformar em outra é chamada de energia primária e é aí que o sol entra, pois bem sabemos que o sol é considerado como fonte primária para a natureza. É a energia irradiada pelo Sol que altera o estado físico da água, fazendo com que esta migre, possa ser represada e aproveitada nas usinas hidrelétricas. O aquecimento das massas de ar provoca os ventos, que são aproveitados pelos aero-geradores dos parques eólicos. É a energia solar, absorvida na fotossíntese, que dá vida aos vegetais utilizados como fonte de biomassa. Até mesmo o petróleo, que vem de restos de vegetação e animais pré-históricos, também é derivado indiretamente do Sol, pois este forneceu energia para os seres que um dia estiveram vivos.

O Sol emite radiação a todo o momento e grande parte desta chega a Terra. Podemos aproveitar tanto o calor fornecido pelo Sol, através de coletores solares para aquecimento de água, ou usinas CSP (*Concentrating Solar Power*) sendo esta uma tecnologia de geração de energia elétrica renovável que transforma irradiação solar direta em energia térmica e subsequentemente em energia elétrica, através da concentração de raios solares diretos. Podemos também aproveitar a luz do Sol, através do efeito fotovoltaico, este em particular será o fruto de nosso estudo mais adiante.

A energia solar é considerada renovável, pois o Sol só se extinguirá daqui a bilhões de anos, muito acima da escala da vida humana. A radiação solar é radiação eletromagnética que tem distribuição espectral conforme a figura abaixo:

Figura 2 - Espectro da radiação eletromagnética do Sol.



Fonte: Blue Sol

### 3.1. EFEITO FOTOVOLTAICO, PRINCÍPIOS DE FUNCIONAMENTO.

O termo fotovoltaico significa a transformação da radiação solar diretamente em corrente elétrica, utilizando as células fotovoltaicas, também chamadas de células solares.

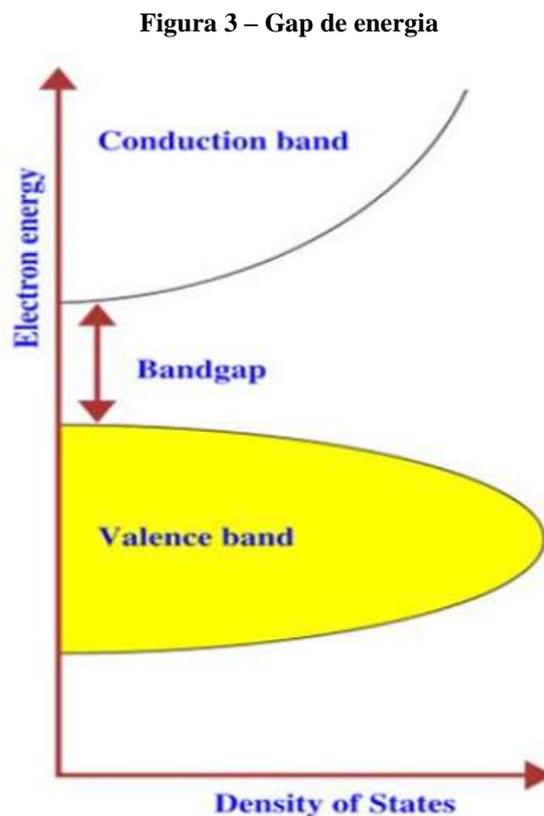
O efeito fotovoltaico foi observado pela primeira vez em 1839 pelo físico francês Edmund Becquerel, numa solução de selênio. Becquerel notou o aparecimento de uma tensão entre os eletrodos de solução condutora, quando esta era iluminada pela luz solar. Mais tarde, por volta do ano 1870, o efeito fotovoltaico foi estudado em sólidos, tal como o selênio e, por volta de 1880, a primeira célula fotovoltaica foi construída utilizando-se o selênio. A eficiência desta célula girava em torno de 2%.

Pesquisas em aplicações práticas para a tecnologia fotovoltaica foram iniciadas nos Estados Unidos da América na década de 1950. Em 1954, o laboratório Bell produziu a primeira célula fotovoltaica de junção PN. A partir de então se trabalhou na obtenção de um sistema realizável e de longa duração para sistemas de alimentação de satélites.

Com a crise energética mundial de 1974, a preocupação em estudar novas formas de produção de energia fez com que a produção de células fotovoltaicas não se restringisse somente à programas espaciais, mas que fosse intensamente estudada e utilizada no meio terrestre e marítimo afim de suprir as demandas de energia elétrica.

As células fotovoltaicas são constituídas de materiais semicondutores como: silício, arseneto de gálio, telureto de cádmio ou disseleneto de cobre e índio (gálio). O silício cristalino é o mais utilizado, mas as tecnologias de película fina ganharam mercado com a produção em larga escala.

Os semicondutores possuem a banda de valência totalmente preenchida e a banda de condução totalmente vazia a temperaturas muito baixas. A separação entre as duas bandas de energia, chamada de gap de energia, é em torno de 1 eV.



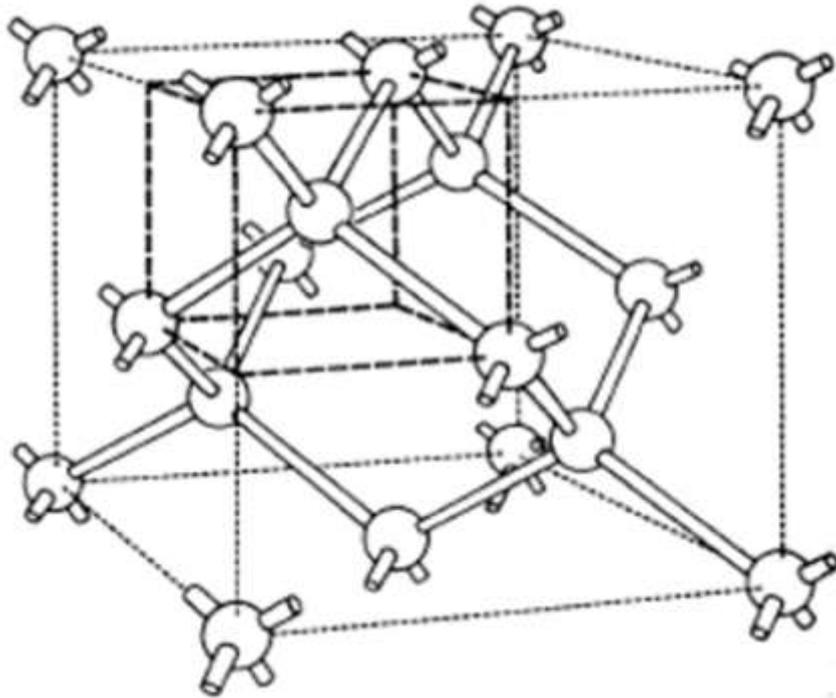
Fonte: Blue Sol

Os semicondutores apresentam determinadas características especiais, como o aumento da sua condutividade com o aumento da temperatura, devido à excitação dos elétrons da banda de valência para a banda de condução. Outra característica importante é a possibilidade de fótons, na faixa do visível e com energia suficiente, excitarem os elétrons. Esse efeito que

acontece nos semicondutores puros, chamados de intrínsecos (i), por si só não permite o funcionamento do material como célula fotovoltaica, pois a maioria dos elétrons volta a se recombinar.

Cada átomo de silício tem quatro elétrons de valência e para atingir uma configuração estável se ligam a quatro átomos vizinhos, formando uma rede cristalina. Nesse caso, não há elétrons livres.

**Figura 4 - Cristal de Silício intrínseco.**



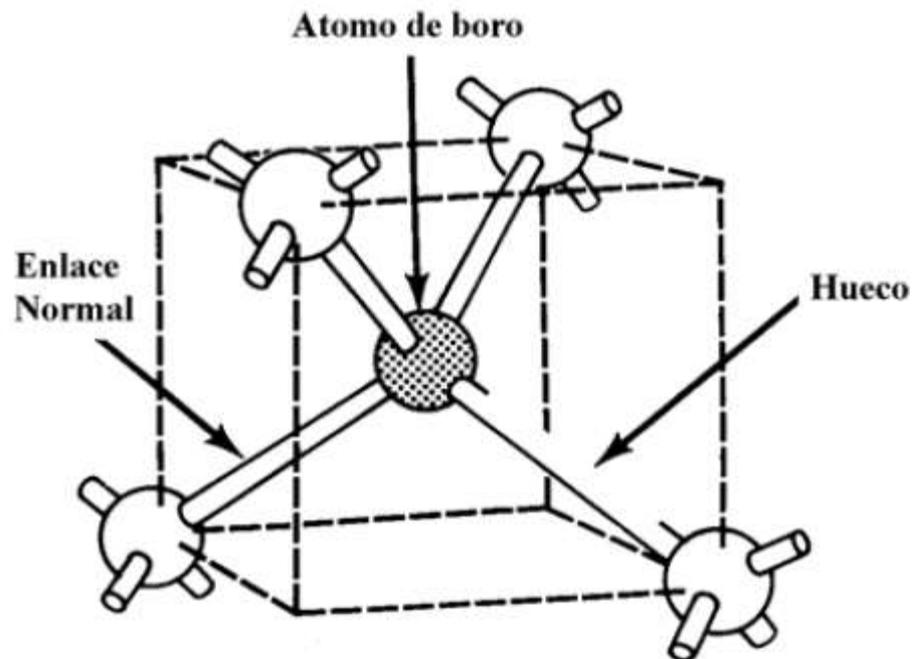
**Fonte: Blue Sol**

Para potencializar o efeito fotovoltaico o cristal de silício é dopado com substâncias que alteram a sua rede cristalina. Se ao silício forem misturados átomos de Arsênio ou de Fósforo que possuem cinco (05) elétrons de valência, um desses elétrons ficará livre, permitindo que com pouca energia térmica esse elétron *salte* para a banda de condução. Esse tipo de “impureza” é chamado de doadora de elétrons, ou *dopante n*.

Se doparmos o silício com materiais como o Alumínio ou Boro, que possuem três (03) elétrons de valência faltará um elétron para criar uma ligação covalente. Esse buraco se comporta como uma carga positiva, já que com pouca energia térmica um elétron vizinho vem

ocupar esse buraco, deixando um buraco onde estava fazendo com que haja uma movimentação do buraco. Esse tipo de “impureza” é chamado de dopante P.

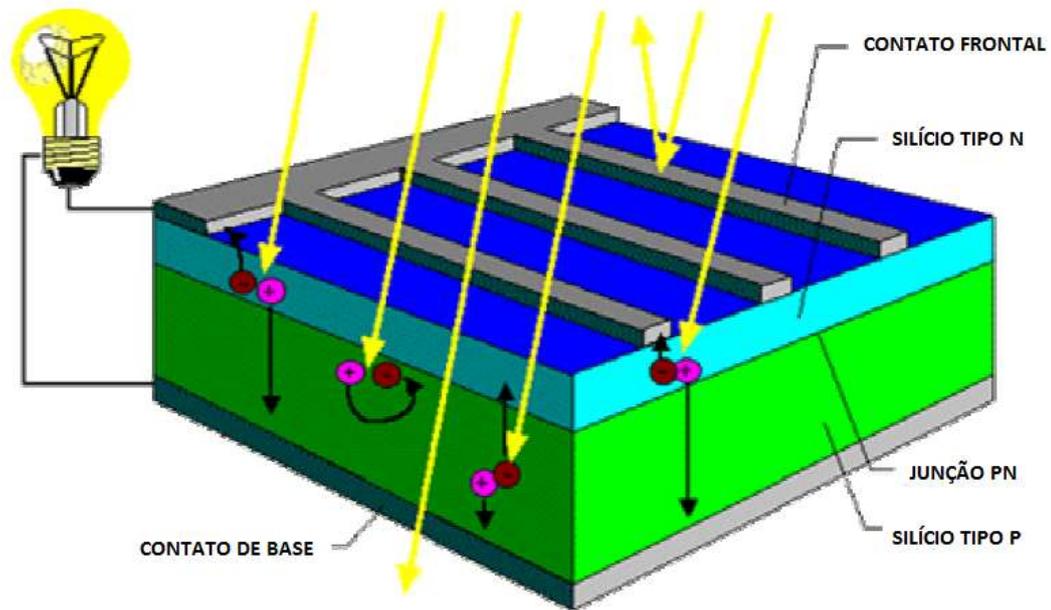
**Figura 5- Silício dopado com Boro.**



Fonte – Blue Sol

Se combinarmos as duas impurezas no mesmo cristal intrínseco de silício, formamos uma Junção *P-N*. Na área de contato da junção, os elétrons livres do semiconductor Tipo-N fluem para os buracos do semiconductor Tipo-P até que se forme um campo elétrico que impede o fluxo permanente de elétrons. Se a Junção *P-N* for exposta à radiação solar, os fótons com energia superior ao gap liberam mais buracos-elétrons livres que criam uma corrente elétrica na área da junção. Alguns dos elétrons liberados são recombinados, se não forem capturados. Além disso, nem todo o espectro da radiação é aproveitado.

Figura 6 - Corte transversal de uma célula fotovoltaica.



Fonte: Dados da internet

Fótons com energia superior ou inferior à necessidade geram calor desnecessário, que diminui a eficiência da célula fotovoltaica. Veja na tabela abaixo o balanço energético de uma célula fotovoltaica de silício cristalino:

Tabela 1 – Níveis de aproveitamento da radiação Solar pelas células de Silício cristalino.

100%	Irradiação Solar Total
-3,0%	Reflexão e sombreamento dos contatos frontais
-23,0%	Fótons com energia insuficiente na Irradiância de ondas compridas
-32,0%	Fótons com energia excedente na Irradiância de ondas curtas
-8,5%	Recombinação de elétrons
-20,0%	Gradiente elétrica, especialmente na região do campo elétrico
-0,5%	Resistência em série (perdas térmicas na condução elétrica)
= 13,0%	Energia elétrica utilizável.

Fonte: Blue Sol.

### **3.2. CÉLULAS FOTOVOLTAICAS.**

Uma célula fotovoltaica é a unidade básica de um sistema fotovoltaico. É a responsável pela conversão da radiação solar em eletricidade. Como uma única célula não é suficiente para gerar potências elétricas elevadas, os fabricantes associam várias células, e as encapsulam para proteção, formando assim um módulo fotovoltaico.

Dos vários materiais semicondutores encontrados na Terra, o mais utilizado é o Silício (Si), pois seus átomos possuem quatro elétrons na camada de valência, que fazem ligação com os elétrons do átomo vizinho, formando assim uma rede cristalina. A essa rede cristalina, são adicionados elementos com cinco elétrons de ligação e elementos com três elétrons de ligação. Os primeiros possuem um elétron que está ligado fracamente ao seu átomo de origem, facilitando, ao utilizar pouca energia térmica, que ele se desligue do átomo. Já os elementos com três elétrons na camada de valência necessitam de um elétron para satisfazer as ligações com os átomos de silício e, com pouca energia térmica, um elétron passa a ocupar essa posição.” Esse movimento de elétrons gera uma diferença de potencial, onde o acúmulo de elétrons de um lado se torna negativo e do outro lado positivo devido à falta de elétrons e, também, gera um campo elétrico que mantém os elétrons afastados”, CRESESB (2006).

### **3.3. SILÍCIO CRISTALIZADO**

O silício é o segundo material mais abundante na natureza, perdendo apenas para o oxigênio. Entretanto, o silício está naturalmente combinado a outros materiais, e se apresenta como dióxido de silício e silicatos. A areia e o quartzo são as formas mais comuns. A areia contém demasiado teor de impurezas para ser processada, já os depósitos de quartzito chegam a possuir 99% de Si. É essa areia sílica que é processada para a obtenção da matéria pura.

Para a utilização do silício como matéria prima para a fabricação das células fotovoltaicas, este deve ser purificado.

São dois, os graus de purificação do silício:

1 – Silício metalúrgico, onde se combina ao quartzito quantidades controladas de carbono a altas temperaturas. O oxigênio presente no quartzito é removido na forma de  $\text{CO}_2$  e, depois de outros processos, serão obtidas barras de silício com pureza de 98%.

2 – Silício grau semiconductor (eletrônico e solar), onde o silício é convertido através de ácido clorídrico (HCl) a Triclorosano:  $\text{Si} + 3 \text{HCl} \Rightarrow \text{SiHCl}_3 + \text{H}_2$ . Devido ao seu baixo ponto de ebulição (31,8 °C), este pode ser purificado pelo método de destilação fracionada, processo semelhante ao utilizado em refinarias de petróleo. Com a adição de  $\text{H}_2$  acontece a seguinte reação química:  $\text{SiHCl}_3 + \text{H}_2 \Rightarrow \text{Si} + 3 \text{HCl}$ .

Após essa purificação, teremos criado um cristal de silício com até 99,9999% de pureza, que é um dos materiais mais puros produzidos pelo homem. É justamente esse processo de purificação que encarece a criação das células fotovoltaicas.

### 3.3.1. SILÍCIO MONOCRISTALINO

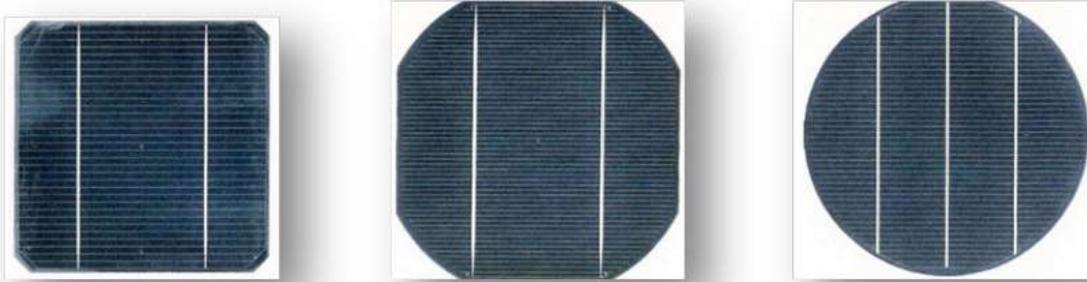
Uma das formas de se obter o *cristal único* de silício, é através do método Czochralski. Durante esse processo, uma *semente* de cristal de silício é inserida numa caldeira com silício policristalino e, enquanto o conjunto gira lentamente, essa *semente* é erguida. A semente de silício *orienta* os átomos do *mosto* que se cristaliza em uma única formação cristalina, por isso o nome: monocristal.

Após o corte do cristal em pastilhas, é depositado o fósforo, através de difusão de vapor a temperaturas entre 800-1200°C, e criada na rede de contatos frontais e traseiras que recolherão os elétrons liberados pelo efeito fotovoltaico. Também é feito um tratamento antirreflexo na parte posterior. As células monocristalinas apresentam as seguintes características:

- Eficiência: 15 – 18% (Czochralski)
- Forma: Geralmente arredondadas, ou em formato de *fatia de pizza*.
- Tamanho: geralmente 10x10 cm<sup>2</sup> ou 12,5x12,5 cm<sup>2</sup>; diâmetro 10, 12,5 ou 15 cm.
- Espessura: 0,3 mm

- Cor: geralmente azul-escuro ou quase preto (com antirreflexo), cinza ou azul-acinzentado (sem antirreflexo).

**Figura 7 – Células de Silício Monocristalino.**



**Fonte: Blue Sol.**

### **3.3.2. SILÍCIO POLICRISTALINO**

Um dos processos de criação de silício policristalino mais utilizado é o de fundição de lingotes, onde o silício em estado bruto é aquecido no vácuo até uma temperatura de 1.500°C e depois resfriado até uma temperatura de 800°C. Pode-se aproveitar o processo de purificação do silício, e já adicionar o Boro. Nesse processo é utilizado menos energia. Serão criados blocos de silício de 40x40 cm<sup>2</sup> com altura de 30 cm. O processo segue como o do silício monocristalino, com o corte, tratamento antirreflexo e criação dos contatos frontais. As células policristalinas apresentam as seguintes características:

- Eficiência: 13 – 15% (com antirreflexo)
- Forma: geralmente quadrada.
- Tamanho: 10x10 cm<sup>2</sup>, 12,5x12,5 cm<sup>2</sup>, 15x15 cm<sup>2</sup>.
- Espessura: 0,3 mm.
- Estrutura: durante o resfriamento, formam-se vários cristais de silício com orientações diversas. Essa formação multicristalina é facilmente reconhecida.
- Cor: azul (com antirreflexo), cinza prateado (sem antirreflexo).

**Figura 8- Células de Silício Policristalino.**



**Fonte: Blue Sol.**

### **3.4. CÉLULAS DE PELÍCULA FINA**

O desenvolvimento das células fotovoltaicas de película fina vem desde a década de 90. O material semiconductor é aplicado em um substrato, geralmente vidro, através de deposição por vaporização, deposição catódica ou banho eletrolítico. Os semicondutores mais utilizados são o silício amorfo (a-Si), o disseleneto de cobre e índio (gálio) (CIS-CIGS) e o telureto de cádmio (CdTe). Devido à alta absorção luminosa, camadas de menor espessura (0,001 mm) são, em teoria, suficientes para converter a luz solar em eletricidade. Além disso, esses materiais são mais facilmente dopados e requerem menores temperaturas (entre 200°C e 500°C) para sua fabricação, o que, combinado com a capacidade de automação para produção em larga escala, pode baratear o preço final dos módulos. As células de película fina não têm o tamanho e o formato restrito, como as células de silício cristalizado.

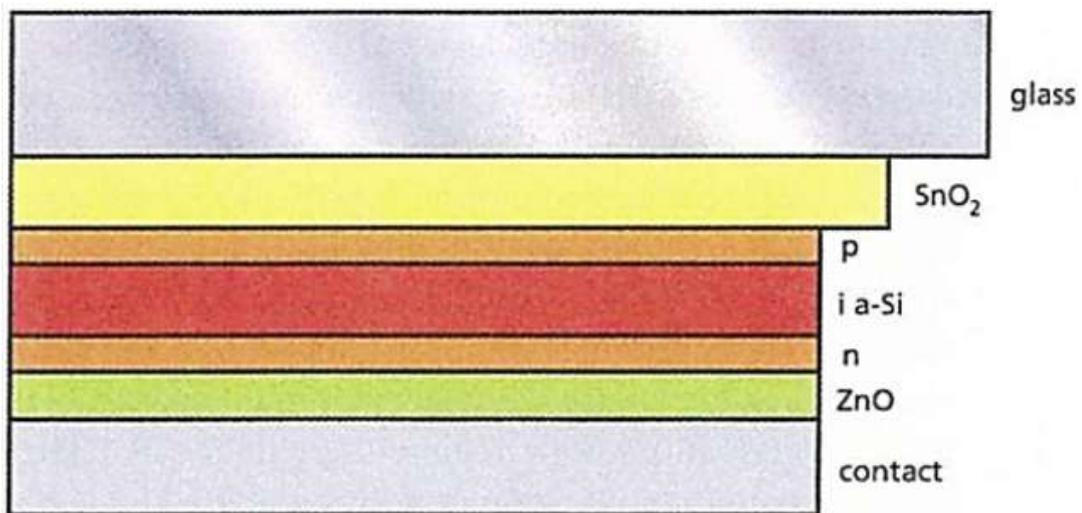
#### **3.4.1. SILÍCIO AMORFO**

O silício amorfo (sem forma) não possui uma estrutura cristalina, mas sim, uma rede irregular. Por isso se formam ligações livres que absorvem hidrogênio até a saturação. Esse silício amorfo hidrogenado (a-Si:H) é criado em reatores plasmáticos, através de vaporização química de silano gasoso (SiH<sub>4</sub>), que requer temperaturas relativamente baixas, em torno de 200°C a 250°C.

A grande desvantagem das células de a-Si é a sua baixa eficiência, que diminui nos primeiros 6 a 12 meses de funcionamento, devida à degradação provocada pela luz, pelo chamado *Efeito "Staebler-Wronski"*, até atingir um valor estável.

- Eficiência: entre 5% a 9% de eficiência do módulo.
- Forma: formato livre.
- Tamanho: módulo standard 0,77x2,44 m<sup>2</sup>; módulos especiais 2x3 m<sup>2</sup>.
- Espessura: 1-3 mm para o substrato (plástico, vidro, etc.), com um revestimento de silício amorfo de aproximadamente 0,001 mm.
- Cor: castanho avermelhado a azul escuro.

**Figura 9 - Representação de uma célula de Silício amorfo.**



Fonte: Blue Sol.

### 3.4.2. DISSELENETO DE COBRE E ÍNDIO

Para se fabricar as células CIS o substrato é revestido com uma fina camada de molibdênio através de deposição catódica, e a camada CIS do tipo P pode ser fabricada através da vaporização simultânea do cobre, índio e selênio, numa câmara de vácuo a 500°C, ou através da deposição camada a camada dos materiais. O óxido de zinco contaminado com

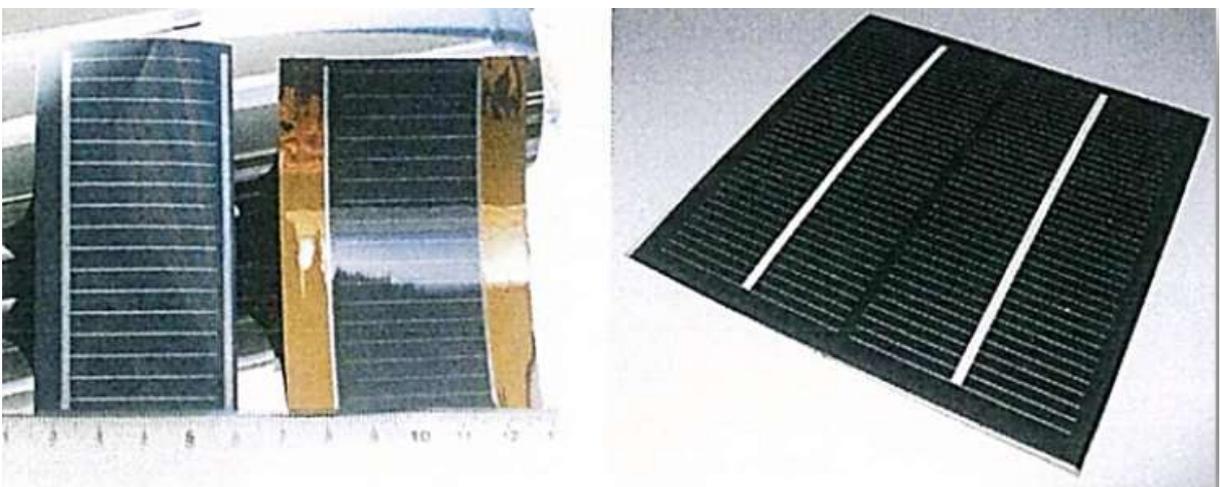
alumínio (ZnO:Al) é utilizado como contato frontal transparente. Esse material é do tipo N e é depositada uma camada intermediária de óxido de zinco intrínseco (i-ZnO). Uma camada de sulfato de cádmio (CdS) do tipo N é utilizada para reduzir as perdas causadas combinação inadequada das redes cristalinas das camada de CIS e ZnO.

Diferentemente do silício amorfo, células CIS não são susceptíveis à degradação causada pela luz, mas apresentam problemas de estabilidade em ambientes quentes e húmidos. Por isso, os módulos fabricados com esse tipo de célula tem que ter boa selagem.

Os módulos CIS são os mais eficientes, dentre os mostrados aqui, e é provável que a produção em massa torne os seus preços mais atrativos que os de silício amorfo. Infelizmente as reservas de índio estão cada vez mais *reservadas* à produção das telas touch-screen dos smartphones e tablets, comprometendo o uso desse material para a indústria fotovoltaica.

- Eficiência: 7,5% a 9,5 % de eficiência do módulo.
- Forma: formato livre.
- Tamanho: geralmente entre 1,2 x 0,6 m<sup>2</sup>.
- Espessura: 3 mm para o substrato com revestimento de 0,003 mm.
- Cor: preto.

**Figura 10 - Célula de CIS.**



**Fonte: Blue Sol.**

### 3.4.3. TELURETO DE CADMIO (CdTe)

As células de CdTe são fabricadas sobre um substrato de vidro, com uma camada de óxido de estanho índio (OTI) como contato frontal, que é revestido com uma camada transparente de sulfato de cádmio (CdS) do tipo N, e depois com a camada de telureto de cádmio (CdTe) do tipo P. Podem ser fabricados por “silk screen”, deposição galvânica ou pirólise pulverizada. Assim como o CIS, a tecnologia de fabricação do CdTe pode ficar ainda mais barata com o aumento da produção em escala. A desvantagem está na toxicidade do cádmio. O CdTe é um composto atóxico estável, mas pode apresentar um risco para o ambiente e a saúde na condição de gás. Felizmente o estado gasoso só ocorre durante a sua fabricação, em centros de produção controlados.

- Eficiência: 6 – 9% de eficiência dos módulos.
- Forma: formato livre.
- Espessura: 3 mm para o substrato com 0,008 mm de revestimento.
- Tamanho: geralmente 1,2 x 0,6 m<sup>2</sup>.
- Cor: verde-escuro a preto

**Figura 11 - Módulo de CdTe.**



**Fonte: Blue Sol**

### 3.5. EFICIÊNCIA

Tendo em vista os vários tipos de células fotovoltaicas, assim como seus pontos positivos e negativos, adotaremos em nosso estudo as células de silício cristalino, pois este estão atualmente sendo comercialmente mais viáveis, levando em consideração a eficiência alcançada e os custos de fabricação dos mesmos.

Quando falamos em eficiência fotovoltaica, estamos falando em porcentagem (%), estamos falando na porcentagem de energia do sol que atinge a superfície do painel fotovoltaico e é transformada em energia elétrica. Quanto maior é a eficiência do painel fotovoltaico, mais Watts por metro quadrado o seu sistema vai gerar. Assumindo que 1000 Watts atinja o painel solar fotovoltaico por hora, um painel fotovoltaico (placa fotovoltaica) com eficiência de 14,5% vai produzir 145Watt / hora / m<sup>2</sup> (em condições de laboratório) Na vida real existem outros fatores a se considerar, como, temperatura, posicionamento angular do painel, etc.

**Tabela 2 – Eficiência dos diferentes tipos de células fotovoltaicas**

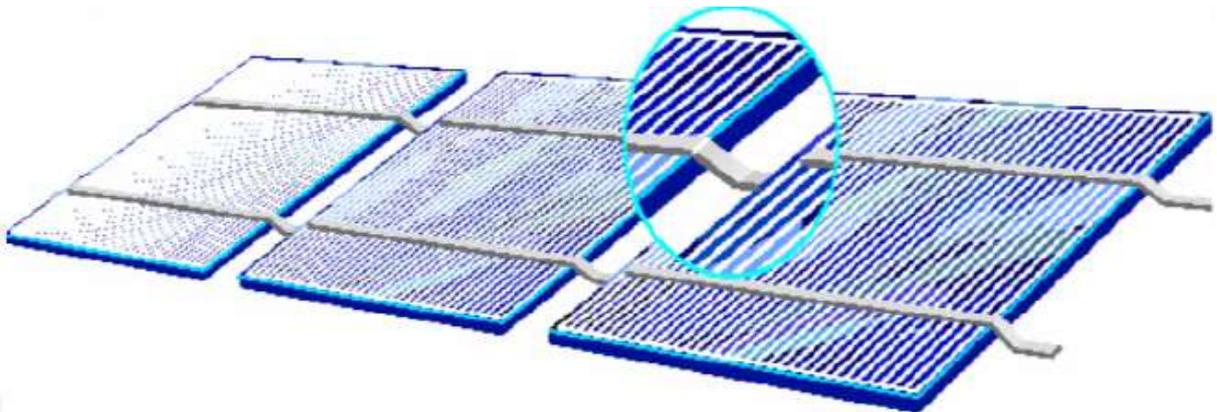
<b>MATERIAL</b>	<b>EFICIÊNCIA EM LABORATÓRIO</b>	<b>EFICIÊNCIA EM PRODUÇÃO</b>	<b>EFICIÊNCIA EM PRODUÇÃO EM SÉRIE</b>
Silício Monocristalino	24,7%	18%	14%
Silício Policristalino	19,8%	15%	13%
Silício Amorfo	13%	10,5%	7,5%
CIS, CIGS	18,8%	14%	10%
CdTe	16,4%	10%	9%

**Fonte: Atlas brasileiro de Energia Solar.**

### 3.6. MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

Uma célula fotovoltaica de silício cristalizado produz uma tensão de aproximadamente 0,46 a 0,56 volts e uma corrente aproximadamente 30 mA/cm<sup>2</sup>. As células comerciais geram em torno de 1A, 2,5A, 3A, 5A e 7A. Para alcançar as potências comerciais, os fabricantes de módulos fotovoltaicos conectam células fotovoltaicas entre si, geralmente em série, em um processo de conexão que é feito soldando os terminais da parte frontal de uma célula à parte traseira da seguinte, e assim por diante. Para construir um módulo de tensão nominal em 12 volts, serão conectadas entre 30 e 40 células (geralmente 33, 36 ou 40).

**Figura 12- Conexão de células fotovoltaicas e série.**



**Fonte: Blue Sol**

Após a conexão, as células serão encapsuladas na seguinte ordem: Uma lâmina de vidro temperado, um material orgânico, como o EVA (etileno-vinil-acetato), mais uma lâmina de EVA (ou similar) e uma cobertura, que pode ser vidro, tedlar, PVC, ou outros polímeros. O conjunto será levado a uma máquina laminadora, que finaliza a laminagem, dando estanqueidade ao conjunto.

Por fim o conjunto será emoldurado (utilizando geralmente alumínio anodizado), serão inseridas as caixas de conexão (e cabos/conectores) e o módulo será levado a um simulador solar. Além do simulador solar, os módulos passam por testes mecânicos como: Variação de temperatura entre -40°C até + 85°C, testes de isolamento sob humidade e congelamento, carga mecânica, resistência a granizo e torções, resistência de terminais, etc.

Os testes mecânicos determinam a capacidade dos módulos resistirem às intempéries, os testes de isolamento são para os elementos condutores e moldura. Os testes de torção detectam defeitos que possam aparecer em caso de montagem de módulos em estrutura inadequada.

**Figura 13 - Módulo fotovoltaico**

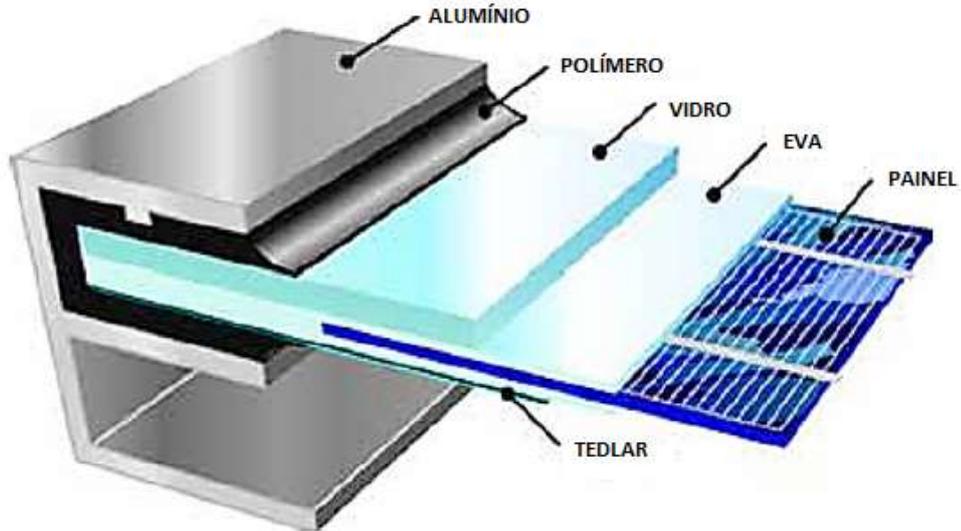


**Fonte: dados retirados da internet**

Cada tipo de módulo, de acordo com a tecnologia utilizada na célula, tem suas características particulares. Apresentaremos aqui, as características dos módulos de silício cristalizado, pois são os mais utilizados atualmente, conforme já citamos um pouco mais acima.

Os módulos são classificados no mercado de acordo à sua potência-pico (Wp), e ao tipo de célula. Mas, existem outras características a serem consideradas. Os módulos fotovoltaicos comerciais tem forma quadrada ou retangular. A espessura, sem a moldura, não costuma ultrapassar quatro centímetros. Não são muito pesados e, apesar da aparência rígida, suportam ligeiras deformações, adaptando-se a esforços mecânicos.

Figura 74 - Corte transversal de um módulo fotovoltaico



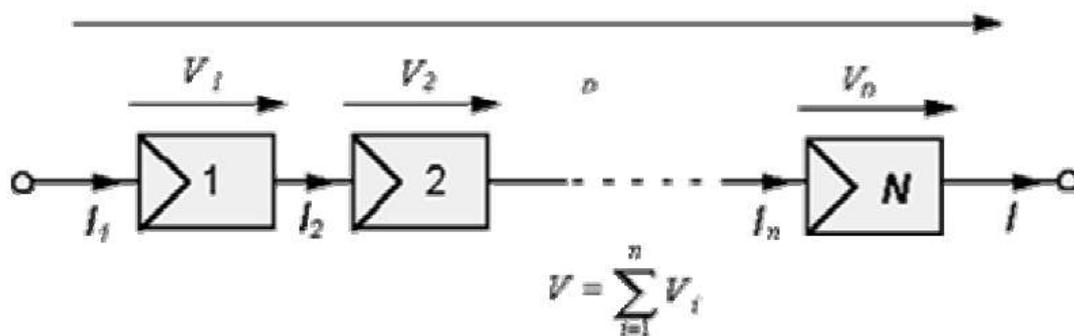
Fonte: Dados da Internet

### 3.6.1. ASSOCIAÇÃO EM SÉRIE DOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

Na associação em série, cuja representação pode ser observada na Figura 14, logo abaixo, o terminal positivo de um módulo é ligado ao terminal negativo de outro.

Neste caso a corrente será igual às correntes individuais, mas a tensão total será o resultado do somatório das tensões de cada módulo.

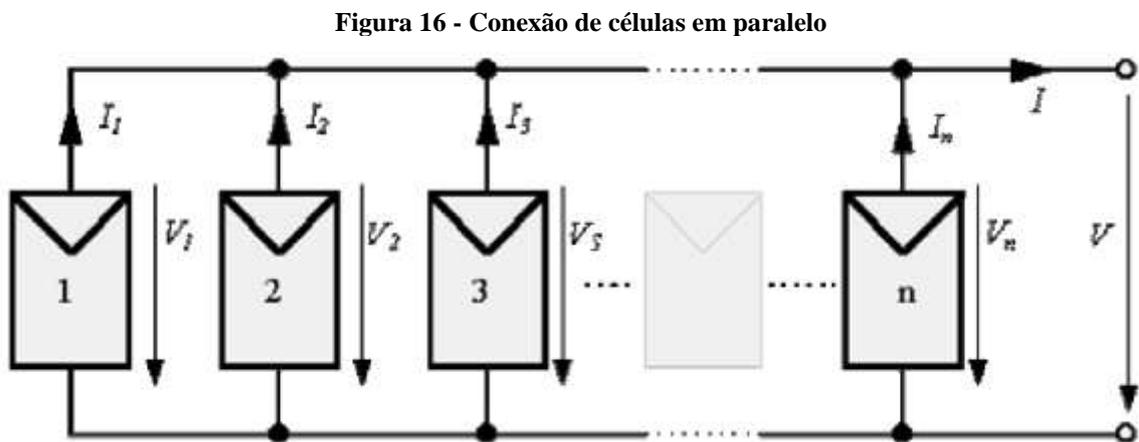
Figura 15 - Conexão de células em série



Fonte: Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos

### 3.6.2 ASSOCIAÇÃO EM PARALELO DOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

Células fotovoltaicas associadas em paralelo apresentam terminais do mesmo tipo ligados a ponto em comum. Assim sendo, os terminais positivos são todos ligados a um mesmo ponto, enquanto os terminais negativos ligam-se a outro ponto. Embora a tensão permaneça a mesma, a corrente total é a soma das correntes individuais de cada célula. A conexão de células fotovoltaicas é representada da Figura.



Fonte: Manual de Engenharia para Sistemas fotovoltaicos.

## IV. CLASSIFICAÇÃO SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Basicamente os sistemas fotovoltaicos classificam-se em dois tipos, os sistemas fotovoltaicos isolados e os sistemas fotovoltaicos conectados à rede (SFCR). Os SFCR serão aqui citados, pois atualmente estão em crescimento acelerando para o uso em terra, no mundo e no Brasil, através da resolução RN 482/2012, onde permite que o cidadão gere a sua própria energia elétrica através de sistemas fotovoltaicos instalado em seus telhados ou em outro local de sua escolha. Tal resolução permite e regulariza o uso deste tipo de sistema, assim como trabalha com a geração de créditos, que será abatido na conta de energia elétrica junto à concessionária do mesmo. Os sistemas fotovoltaicos isolados, em particular os com armazenamento, serão abordados com mais especificidade nos tópicos a seguir pois são os que mais interessam no desenvolvimento deste trabalho pois podem ser aplicados ao meio marítimo.

### 4.1. SISTEMAS CONECTADOS À REDE (SFCR – Aplicados em terra)

Nos sistemas fotovoltaicos conectados à rede, a energia elétrica gerada é entregue diretamente à rede, os dispositivos de condicionamento de potência devem se adequar ao modo como a eletricidade está fluindo nas linhas de distribuição, copiando esse padrão e fornecendo o mesmo tipo de sinal elétrico. Para a conexão à rede, utilizamos dispositivos e configurações específicas para tal.

O dispositivo responsável pela injeção de energia na rede é o inversor grid-tie. Devido ao seu alto grau de sofisticação, os inversores grid-tie não são comparáveis aos inversores autônomos. Estes não podem ser ligados diretamente às redes de distribuição, pois não possuem o mesmo controle sobre a tensão, fase e frequência que os inversores *grid-tie* possuem..

Para fornecer o máximo de energia à rede, o inversor grid-tie deve operar no ponto de máxima potência (MPP) do arranjo fotovoltaico. Como o *MPP* muda de acordo às condições climatológicas, o inversor deve possuir um sistema de seguimento do ponto de máxima

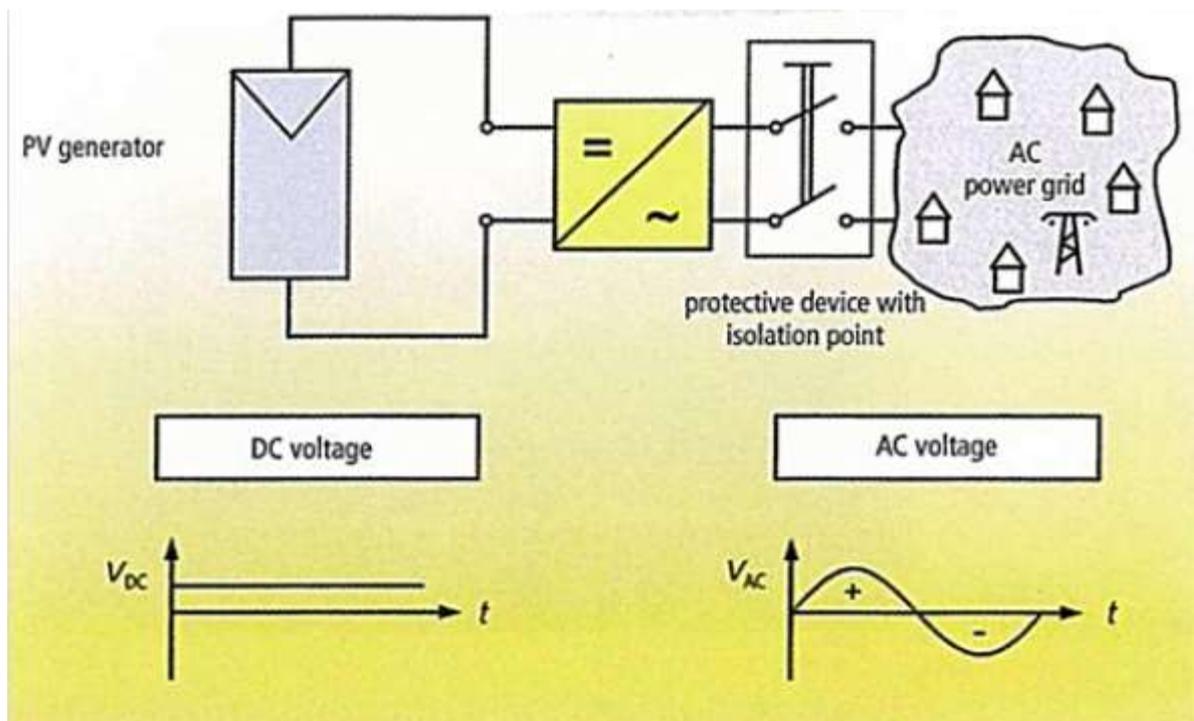
potência (MPPT), sigla em inglês de Maximum Power Point Tracker), que ajusta automaticamente a tensão de entrada do inversor, de acordo à tensão MPP a cada instante.

São funções do inversor grid-tie:

- Converter a corrente contínua, gerada pelo arranjo fotovoltaico, em corrente alternada, de acordo com funcionamento da rede de distribuição;
- Ajustar-se ao ponto de máxima potência (MPP) do arranjo fotovoltaico, conseguindo o seu maior rendimento;
- Registro Operacional, guardando/transmitido os dados durante o seu funcionamento, através de displays, cartões de memória, transmissão direta a computador, etc.
- Possuir dispositivos de proteção em CC e CA, como por exemplo: proteção contra curtos-circuitos (CC/CA), proteção contra inversão de polaridade, proteção contra sobrecargas e sobre tensões, proteção para a conexão com a rede.

De acordo ao seu modo de operação, os inversores grid-tie podem ser classificados em inversores controlados/chaveados pela rede e inversores autocontrolados.

**Figura 17 - Diagrama de ligação à rede de um sistema ON-GRID**



## 4.2. SISTEMAS FOTOVOLTAICOS AUTÔNOMOS

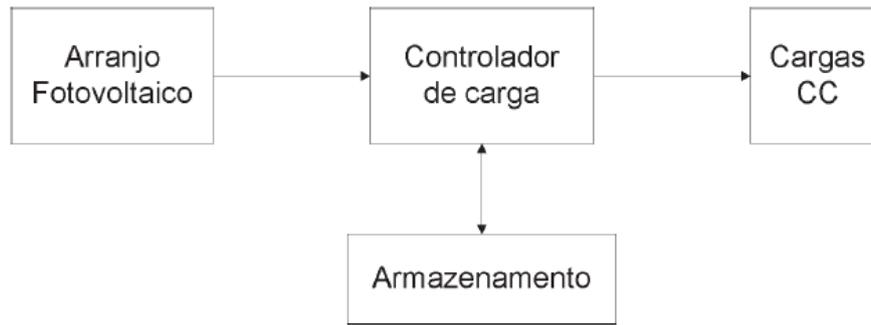
Também conhecidos como sistema isolado (off-grid). É aquele que não está em contato com a rede elétrica da concessionária. O “*isolado*” do nome diz respeito também ao afastamento da rede elétrica. Estes sistemas podem ou não utilizar algum tipo de armazenamento de energia, assim como podem alimentar apenas cargas em corrente contínua, corrente alternada ou em ambos os tipos. Aplicado ao meio marítimo o mesmo requer uma forma de armazenamento da energia.

Independente do tipo de carga final a ser utilizada, no sistema isolado os fótons presentes na luz solar serão convertidos em energia elétrica na forma de corrente contínua através do módulo fotovoltaico compatível para sistemas isolados, a partir daí será enviada ao banco de baterias que é o sistema de armazenamento, sendo assim disponibilizadas às cargas CC ou se as cargas forem em CA, a corrente contínua passará por um inversor de frequência para que seja convertida em corrente alternada e possa alimentar as cargas em CA. Explicaremos mais detalhadamente cada uma dessas opções, assim como será disponibilizada o diagrama básico destes sistemas.

### 4.2.1. CARGAS CC COM ARMAZENAMENTO

É o caso em que se deseja utilizar equipamentos elétricos em corrente contínua, independente de haver ou não geração fotovoltaica simultânea. Para que tal fato ocorra, a energia deverá ser, então, armazenada em baterias. O uso de controladores também se faz necessário visto que tal dispositivo promoverá a proteção da bateria contra danos causados por sobrecarga ou descarga profunda. A Figura 18 mostra um esquema desse tipo.

**Figura 18- Diagrama de Sistema Isolado com cargas CC**

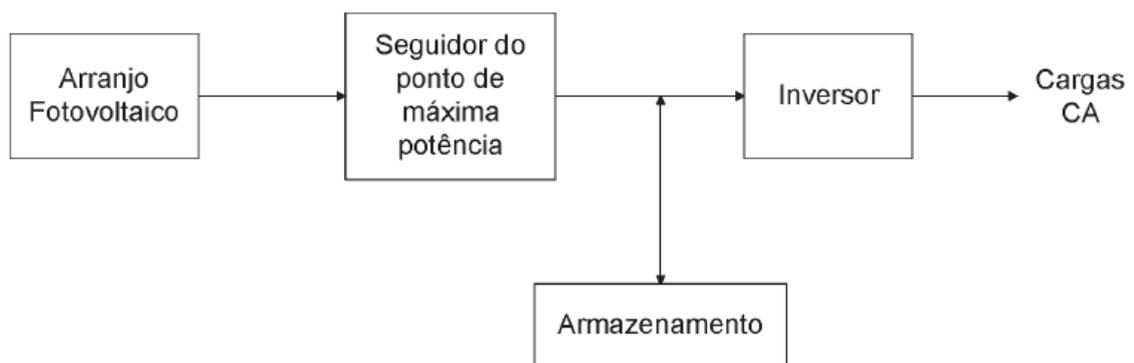


**Fonte: Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos.**

#### **4.2.2. CARGAS CA COM ARMAZENAMENTO**

Para alimentação de cargas que operem sob corrente alternada é preciso utilizar um inversor. Incorpora-se ao sistema, ainda, um dispositivo chamado “seguidor do ponto máxima potência – MPPT/Maximum Power Point Tracking, que será responsável por aumentar a eficiência do sistema. Uma representação gráfica dessa configuração pode ser feita na Figura 19.

**Figura 19 – Sistema isolamento com armazenamento e MPPT**



**Fonte: Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**

## V. COMPONENTES DE UM SISTEMA ISOLADO

Neste capítulo abordaremos os principais componentes de um sistema fotovoltaico isolado, suas principais funções e como eles integram-se entre si. Considerado como o sistema mais adequado a ser incorporado em embarcações.

### 5.1. PAINEL FOTOVOLTAICO PARA SISTEMA ISOLADO

O painel fotovoltaico para sistemas autônomos é configurado para fornecer tensões entre 12 e 48 volts, sendo as tensões de 12 volts e 24 volts as mais comuns, enquanto a tensão de 48 Volts é utilizada em sistemas maiores. O painel é dimensionado para fornecer o potencial elétrico para um dia médio de uso. Essa energia será armazenada em baterias ou utilizada imediatamente, no caso dos sistemas fotovoltaicos sem armazenamento, mas como aqui aplicamos ao meio marítimo, obrigatoriamente deverá ter um banco de baterias para armazenamento da energia.

Geralmente são utilizados módulos de 36 ou 72 células, que tem as tensões nominais adequadas para os controladores de carga sem MPPT. Além disso, os módulos para sistemas isolados, não possuem, em sua grande maioria, cabos de conexão com conectores padrão.

**Figura 20 - Painel fotovoltaico 24V de sistema autônomo**



**Fonte: Blue Sol**

## 5.2. BANCO DE BATERIAS

Um banco de baterias é constituído por uma quantidade calculada de elementos conectados em serie e/ou paralelo, que fornecerão a potência demandada pelas cargas, no período de autonomia em que devem funcionar sem receber recarga do arranjo fotovoltaico nos dias sem insolação.

Em sistemas isolados, as baterias tem as seguintes funções:

- **Autonomia:** essa é a função mais importante, que é suprir a energia para os consumos, quando o painel não é capaz de gerar energia suficiente. Isso acontece todas as noites, e também nos períodos chuvosos ou nublados, que podem varia durante o dia.
- **Estabilizar a tensão:** os módulos fotovoltaicos tem uma grande variação de tensão, de acordo à irradiância recebida. A conexão de cargas de consumo diretamente aos módulos pode expô-los a tensões muito altas ou muito baixas para o seu funcionamento. As baterias possuem uma faixa de tensões mais estreita que os módulos fotovoltaicos, e garantirão uma faixa de operação mais uniforme para as cargas.
- **Fornecer correntes elevadas:** a bateria opera como um buffer, fornecendo correntes de partida elevadas. Alguns dispositivos (como motores) requerem altas correntes (de 4 até 9 vezes a corrente nominal) para iniciar o seu funcionamento, estabilizando e utilizando correntes mais baixas depois de alguns segundos. Outros dispositivos mais *vorazes* entrarão em funcionamento por curto período de tempo, mas consumirão muita potência. As baterias fornecerão essa alta potência momentânea, e serão carregadas lentamente pelo painel fotovoltaico durante o dia.

As baterias para uso fotovoltaico costumam ser de chumbo-ácido ou de níquel-cádmio. As baterias de níquel-cádmio suportam descargas maiores e tem maior vida-útil, mas seu alto custo e baixa disponibilidade as tornam viáveis em sistemas muito específicos que necessitam de alta confiabilidade, sendo este o mais indicado para aplicações navais.

Outros tipos de baterias, como as de Íons de Lítio, não são viáveis para sistemas fotovoltaicos, devido à capacidade dos bancos de baterias para essa aplicação. É a relação custo-benefício que faz com que as baterias de chumbo-ácido sejam as escolhidas para a

maioria dos sistemas PV isolados de uso em terra. É importante fazermos essa comparação entre o uso de terra e o mais indicado a ser aplicado ao meio naval, para que tenhamos um bom entendimento das aplicações para bordo.

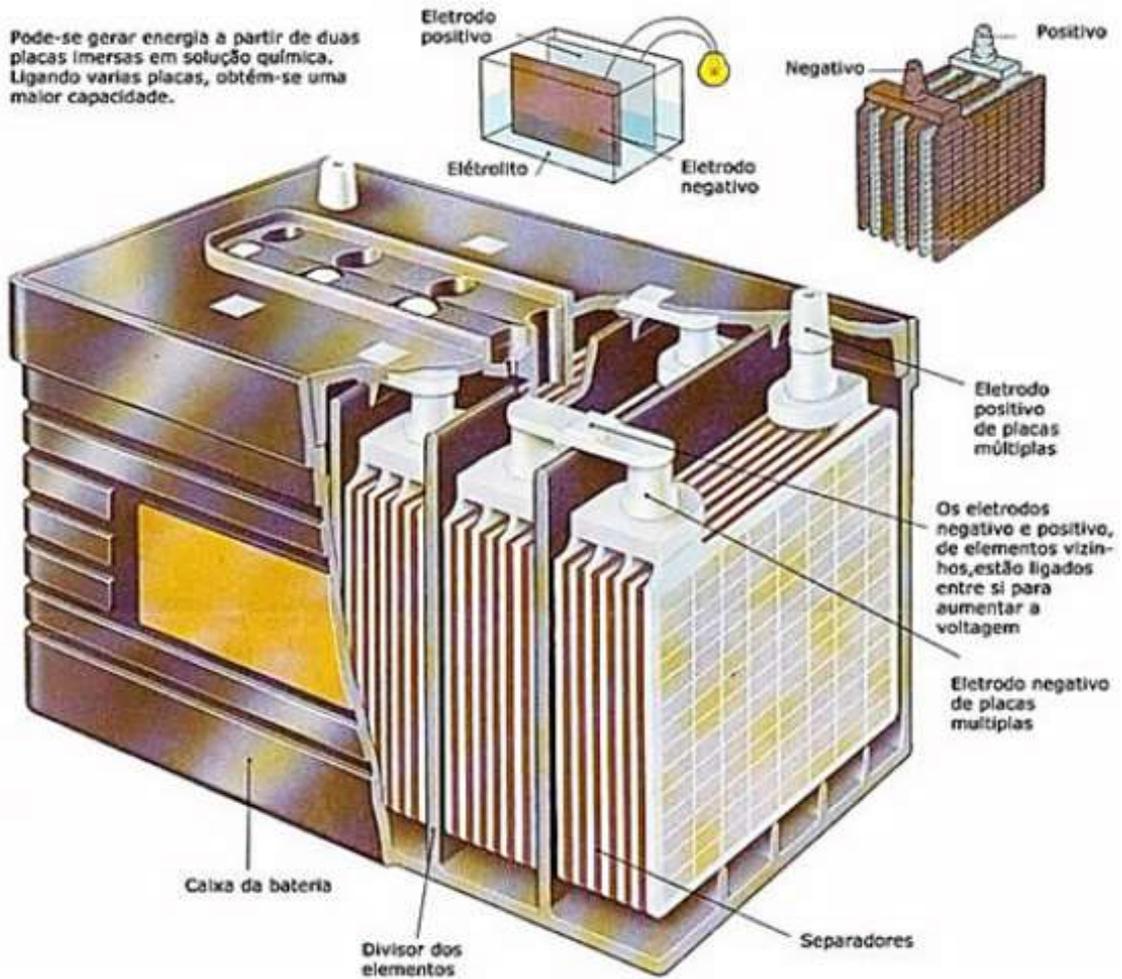
Baterias de chumbo-ácido são constituídas de células individuais – também chamadas de pilhas – com tensão nominal de 2 V cada uma, que nas baterias em monobloco são ligadas em série para alcançar a tensão nominal.(6 células constituem uma bateria de 12 volts).

Cada célula é constituída basicamente por duas placas de metais diferentes (uma positiva, outra negativa) isoladas por separadores e imersas em uma solução aquosa de ácido sulfúrico ( $H^2SO^4$ ). As placas são eletrodos de chumbo em formato de grade com a função de segurar a *matéria ativa* e conduzir a corrente elétrica. É a matéria ativa porosa que armazena a energia, com sua estrutura esponjosa fornecendo área de superfície para a reação eletroquímica. Na bateria carregada, a matéria ativa da placa negativa é o chumbo (Pb) e a matéria ativa da placa positiva é o dióxido de chumbo (PbO<sub>2</sub>).

Ao se fechar um circuito, os elétrons fluem do polo negativo para o polo positivo, provocando uma reação química entre as placas e o ácido sulfúrico, que leva à formação de sulfato de chumbo (PbSO<sub>4</sub>) nas duas placas – reação chamada de dupla sulfatação – que consome o ácido, tornando o eletrólito mais aquoso, processo que pode ser medido com um densímetro.

Quando o sistema PV recarrega a bateria, os elétrons fluem em sentido contrário – do polo positivo para o polo negativo – revertendo a reação química. O processo não é totalmente reversível, pois pequenas quantidades de sulfato de chumbo não se dissolvem, processo chamado de sulfatação que aumenta à medida que os ciclos de carga e descarga acontecem, diminuindo a capacidade da bateria. Quanto maior for a profundidade de descarga – o nível de reação química que acontece durante a descarga, antes que a bateria volte a ser carregada – maior será a perda de capacidade. Com profundidades de descarga menores, mais ciclos de carga e descarga a bateria suportará.

Figura 21 - Bateria de Chumbo-Ácido



Fonte: Blue Sol.

Tabela 3 – Estado de carga de uma bateria pela densidade do eletrólito.

Estado de Carga	Densidade do Eletrólito
100% (plena carga)	1,225 g/cm <sup>3</sup>
90%	1,216 g/cm <sup>3</sup>
80 %	1,207 g/cm <sup>3</sup>
70 %	1,198 g/cm <sup>3</sup>
60 %	1,189 g/cm <sup>3</sup>
50 %	1,180 g/cm <sup>3</sup>
40 %	1,171 g/cm <sup>3</sup>
30 %	1,162 g/cm <sup>3</sup>
20 %	1,153 g/cm <sup>3</sup>
10 %	1,144 g/cm <sup>3</sup>
0% (descarga total)	1,135 g/cm <sup>3</sup>

Fonte: Dados da internet

Para uma maior vida útil do banco de baterias, alguns cuidados devem ser tomados:

- Evitar descargas diárias maiores que 30% de profundidade.
- Evitar descargas no fim da autonomia maiores que 60%.
- Sempre instalar as baterias em locais ventilados (exceto as de eletrólito imobilizado) e de acesso restrito.
- Conferir periodicamente o nível de eletrólito das baterias úmidas, pois a secagem do eletrólito determina o fim da bateria.
- Manter os terminais limpos e apertados, evitando aumento de resistência ou possibilidade de curto-circuito causado pelo acúmulo de sujeira úmida.
- Usar EPI durante o trabalho com as baterias. As baterias são a maior fonte de perigo numa instalação PV autônoma. As medidas de segurança são aplicadas tanto as partes elétrica, quanto à parte química, pois o ácido sulfúrico é nocivo para seres humanos e para o meio ambiente, podendo provocar sérias queimaduras em contato com a pele. Os olhos e narinas devem estar protegidos durante o manuseio das baterias. As baterias de eletrólito imobilizado têm a vantagem serem menos críticas quanto à segurança.
- Fazer manutenção periódica, no mínimo a cada 6 meses, ao utilizar baterias de eletrólito úmido. Nas baterias de eletrólito imobilizado é recomendável a manutenção anual.
- Evitar baterias automotivas para a concepção do banco de baterias, pois não são adequadas e terão que ser substituídas em períodos muito curtos.
- Quanto à reciclagem, o Brasil já tem legislação que exige que o fabricante recolha uma bateria para cada unidade vendida.

O chumbo e a carcaça podem ser reciclados para a criação de uma nova unidade, enquanto os restos de ácido podem ser tratados antes de serem depositos. Esses procedimentos minimizam o impacto ambiental de se utilizar as baterias de chumbo para acumular energia em instalações fotovoltaicas de bordo. Estes procedimentos devem ser seguidos, principalmente quanto ao descarte e reciclagem das baterias, pois um dos focos do uso da energia fotovoltaica em embarcações é a segurança e o respeito ao meio ambiente.

### 5.3. CONTROLADOR DE CARGAS

Em um sistema fotovoltaico autônomo, a tensão do arranjo fotovoltaico deve ser compatível com a tensão nominal do banco de baterias, que costuma ser de 12 volts, 24 volts, ou 48 volts.

O controlador (ou regulador) de carga/descarga aumenta o rendimento do sistema fotovoltaico e a vida útil (quantidade de ciclos) das baterias. As tensões de carga e equalização devem ser maiores que a tensão nominal, podendo ser em torno de 14,4 V numa bateria com tensão nominal de 12 V. Módulos standard, com 36 a 40 células fotovoltaicas de silício cristalizado, geram tensões nominais entre 15 V e 18 V. Com o aumento da temperatura, a tensão dos módulos fotovoltaicos diminui, mas ainda assim deve ser maior que a tensão de carga das baterias. Quando a temperatura é menor, a tensão em ponto de máxima potência do módulo citado acima será de aproximadamente 21 V e a tensão em circuito aberto será de 25 V, ultrapassando o limite máximo de tensão para recarga das baterias. Um controlador de carga mede a tensão das baterias e as protege de sobrecargas indevidas, de uma das seguintes formas:

- Desconectando o arranjo fotovoltaico quando sua tensão ultrapassa a tensão limite para recarga, como fazem os controladores em série.
- Aplicando um *curto-circuito* no arranjo PV através de um controlador shunt.
- Ajustando a tensão do arranjo, como fazem os controladores com *MPPT*.

Quando o nível de irradiância é baixo, o nível de tensão do arranjo fotovoltaico será inferior a das baterias, fazendo com que as baterias se descarreguem nos módulos. Para evitar isto, os controladores possuem diodos de bloqueio integrados. Logo abaixo podemos ver alguns tipos de controladores de carga, os mesmos variam quanto à aplicação assim como quanto à capacidade suportada.

**Figura 22 - Controlador de Carga**



**Fonte: Blue Sol.**

As funções fundamentais de um controlador de carga são:

- Controle da perfeita recarga do banco de baterias.
- Proteção contra sobrecargas indevidas.
- Proteção contra descarga excessiva (acima de 80%, ou ajustável).
- Informação do nível de carga do banco de baterias.

O melhor funcionamento das baterias para um longo período de vida requer certa inteligência dos controladores de carga, que devem se adequar as tensões de carga, ao nível de carga, idade, temperatura de operação e tipo (gel, eletrólito líquido, etc.) de bateria.

Como a tensão de recarga deve variar em função da temperatura, os controladores de carga devem possuir um sensor, que se for integrado ao controlador, esse deve ser instalado

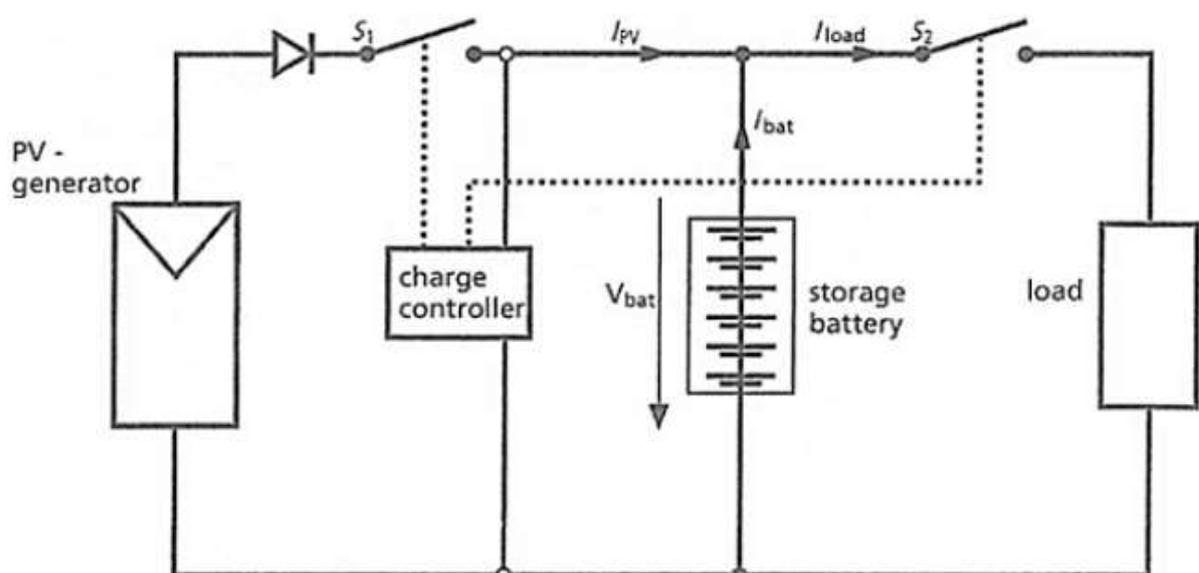
próximo ao banco de baterias. Em alguns modelos o sensor é externo, permitindo sua instalação sobre as baterias.

Os controladores de carga e descarga possuem um sistema de desconexão em baixa Tensão (LVD — *Low Voltage Disconnect*), que protegem as baterias de descargas excessivas que evitam profundidades de descarga maiores que 80%. Essa proteção é ativa quando a tensão do banco de baterias cai para abaixo de determinado valor, e pode ser ajustado em alguns modelos de controladores.

Os controladores suportam correntes limitadas, tanto de entrada (do arranjo fotovoltaico), quanto de saída (das cargas CC). Possuem fusíveis de proteção para os componentes sensíveis contra o excesso de corrente e, geralmente possuem o mesmo limite tanto na entrada quanto na saída. Os controladores comerciais tem capacidade que vão de 5 A até 60 A. Para arranjos fotovoltaicos maiores, podem ser utilizados vários controladores em paralelo, ou o arranjo é dividido em *painéis* menores ligados ao mesmo banco de baterias. Esta última configuração dá mais segurança e flexibilidade ao sistema, pois, no caso de falha de um dos painéis, os demais continuam fornecendo potencial. Nos dois casos, não é recomendado o uso de controladores diferentes.

De acordo à forma como controlam a carga do banco de baterias, os controladores podem ser classificados em: controladores série, controladores shunt ou controladores com *MPPT*.

Figura 23- Esquema de funcionamento de um controlador de carga



Fonte: Manual de Engenharia para sistemas fotovoltaicos.

#### 5.4. INVERSORES AUTÔNOMOS.

Nos sistemas fotovoltaicos, a geração, armazenamento e disponibilização da eletricidade é na forma de corrente contínua (CC). Para a utilização de aparelhos que funcionam com corrente alternada (CA) é necessário um conversor que transforme a corrente contínua com tensões entre 12 V e 48 V, em corrente alternada com tensões de 127 V ou 240 V. Essa é a função dos Inversores Autônomos, utilizados em sistema fotovoltaicos isolados.

Figura 24 - Inversores Autônomos



Fonte: Dados da Internet

As características desejáveis para a escolha de um bom inversor para um sistema fotovoltaico autônomo são listadas abaixo:

- **Boa eficiência na conversão elétrica:** É recomendado que o(s) inversor(es) tenha(m) eficiência acima de 80%. A eficiência máxima de um inversor acontece, geralmente, quando este está fornecendo entre 50% e 70% de sua capacidade nominal contínua. Inversores mais sofisticados conseguem altas eficiências mesmo quando parcialmente carregado, ou com carga próxima à máxima nominal.
- **Alta capacidade de sobrecarga:** um inversor deve ser capaz de fornecer uma potência instantânea bem maior que a potência nominal, o que permitirá a partida de dispositivos elétricos que consumam alta corrente de partida (ex.: motores), sem a necessidade de super dimensionar o inversor na fase de projeto.
- **Tolerância para as flutuações de tensão das baterias:** durante os processos de carga e descarga, a tensão das baterias varia de tal maneira, que pode ser nociva a dispositivos mais sensíveis.

- **Baixo autoconsumo:** (quando em *stand-by*) e detecção automática de cargas.
- **Proteção contra curto-circuito na saída CA.**
- **Alta proteção eletromagnética.**
- **Baixa distorção harmônica:** se refere à qualidade da forma de onda de saída da corrente alternada. Quanto menor a distorção, mais qualidade tem a corrente de saída.
- **Proteção contra surtos.**

Alguns inversores possuem um sistema de controle que lhes permite carregar o banco de baterias por uma fonte de energia elétrica em corrente alternada. Esses inversores, chamados de inversor-carregador, não são inversores grid-tie e não podem ser utilizados em sistema on-grid.

Os inversores dividem-se de acordo ao formato de onda de saída, podendo ser classificados em:

- **Inversores de onda quadrada:** São os mais baratos. A onda de saída tem uma grande quantidade de *harmônicos* indesejados, que geram interferências em alguns aparelhos, e também perdas de potência. Costumam ser utilizados com cargas pequenas (ex.: tv's, notebooks, etc.) e não são adequados para motores. Tem distorção harmônica que pode chegar a até 40%, e rendimentos em torno de 60%.
- **Inversores de onda senoidal modificada:** São os que apresentam a melhor relação custo-benefício. O formato da onda de saída não é uma senóide pura, mas se aproxima muito. Podem alimentar quase todo tipo de carga, mas não são recomendados para aparelhos eletrônicos mais delicados. Tem distorção harmônica em torno de 20%, e rendimentos em torno de 90%.
- **Inversores de onda senoidal pura:** São os que têm formato de onda de saída igual à rede elétrica das concessionárias. São indicados pra alimentar dispositivos eletroeletrônicos mais sensíveis e atualmente estão sendo mais utilizados que os outros tipos de inversores. Não apresentam problemas quanto a distorções harmônicas ou estabilidade da tensão. São mais caros que os inversores de onda quadrada ou senoidal modificada.

Fontes de energia em corrente contínua de 12 volts ou 24 volts alcançam seus limites quando é necessário alimentar cargas mais poderosas ou quando é necessário um segmento de cabo muito comprido. Baixas tensões requerem altas correntes para fornecerem o mesmo potencial elétrico, e isso determina o uso de cabeamento com grande seção transversal. Somase a estes fatores a não disponibilidade da maioria dos eletrodomésticos e outros aparelhos em corrente contínua. Em alguns casos, até mesmo os sistema de iluminação fica mais eficiente, se alimentado por um inversor.

Em sistemas fotovoltaicos autônomos (isoladas) o inversor é conectado diretamente à bateria, desde que possua sistema de desconexão por baixa tensão (LVD). Esses inversores são, geralmente, monofásicos em tensão de 110/115 volts (padrão americano) com frequência de 60 Hz, e tensão nominal de entrada de 12 e 24 volts. Temos no mercado grande disponibilidade de inversores em várias potências, que vão desde alguns Watts até Quilowatts.

Os inversores para potencias maiores que 500 W geralmente possuem tensão de entrada de 24 V. Inversores acima de 5 kW de potência, geralmente, tem tensões de entrada igual ou maior que 48 V. Os inversores influenciam diretamente a tensão nominal d sistema fotovoltaico, pois não é recomendável utilizar um conversor CC/CC, o que baixaria o rendimento global do sistema PV.

Para a escolha da potência nominal do inversor, utilizamos a seguinte equação:

$$P_I = \sum W_{AC} * F_S$$

Onde:

***PI*** = Potência nominal do inversor

***WAC*** = Potência das cargas CA ligadas simultaneamente

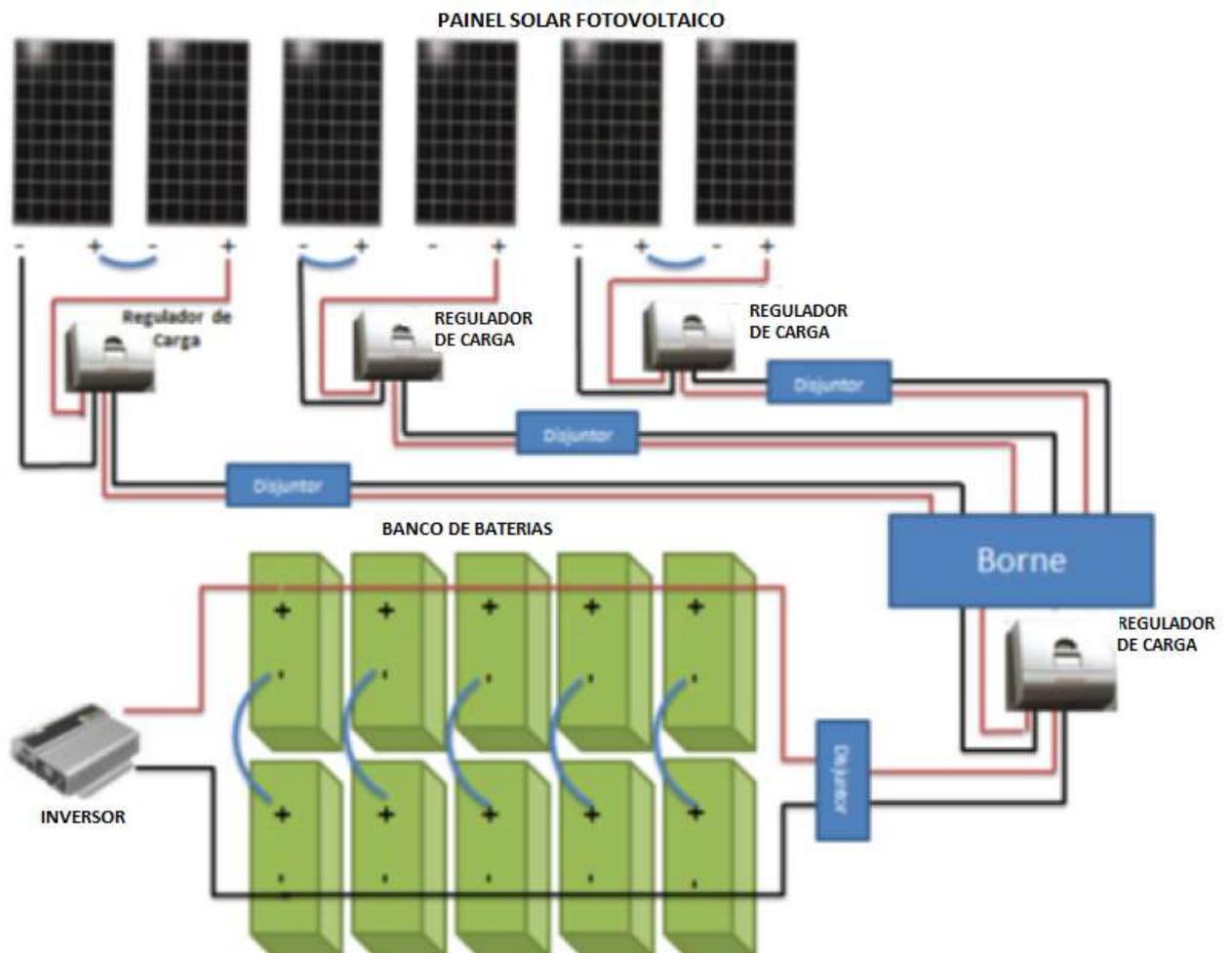
***FS*** = Fator de segurança.

O fator de segurança será dimensionado de acordo à quantidade de cargas com altas potências de partida, como geladeira, lavadora de roupas, ferramentas e outros motores.

Sistemas fotovoltaicos autônomos residenciais podem se beneficiar do uso de vários inversores, dividindo as cargas de acordo ao perfil de uso e simultaneidade. Como exemplo, poderia todo o circuito do sistema de iluminação estar concentrado em um inversor de menor capacidade, os aparelhos eletrônicos comuns às salas de estar poderiam ser ligados a outro inversor, a geladeira poderia ter um inversor devidamente calculado para as suas necessidades, enquanto os pequenos eletrodomésticos comuns à cozinha poderia fazer uso do inversor dedicado à lavadora de roupas e micro-ondas, que não são ativados simultaneamente.

Tal configuração pode tornar o sistema mais confiável, além de mais barato em alguns casos, pois um inversor que suportasse todas as cargas seria mais caro que vários inversores menores.

**Figura 25 - Esquema de Ligação Simplificado**



Fonte: Blue Sol

## **VI. EMBARCAÇÕES MOVIDAS A ENERGIA SOLAR.**

Atualmente, além de muitos protótipos já testados e ainda em fase de testes alguns navios já foram lançados ao mar, inclusive dando a volta ao mundo, como foi o caso do MS TURANOR, com a maior parte da sua propulsão alimentada somente por energia Solar. O navio cargueiro AURIGA LEADER também é prova disto, considerado um navio híbrido, pois a energia gerada através de seus painéis solares divide espaço no barramento principal com a energia gerada a bordo por seus geradores a diesel. Tantas outras aplicações, principalmente as auxiliares são possíveis utilizando-se da energia solar. Veremos de forma mais detalhada e segregada algumas delas logo abaixo, assim como a descrição completa destes navios que já utilizam desta tecnologia.

### **6.1. APROVEITAMENTO DA ENERGIA SOLAR EM EMBARCAÇÕES.**

A energia solar pode ser aproveitada de diversas maneiras a bordo de embarcações, independente do porte e ao fim a que se destina. A maior aplicabilidade é na propulsão da embarcação, alimentando motores elétricos responsáveis pela propulsão e governo utilizando-se de Thrusters. Paralelamente temos o uso da energia solar em embarcações de salvamento e sobrevivência dos navios, nas baleeiras e nas lanchas rápidas já vemos pequenos painéis solares alimentando bancos de baterias das embarcações, dando autonomia e pronta resposta em caso de sinistro, não tendo que desconectar o cabo do carregador de baterias que fica conectado à embarcação como nas embarcações convencionais. Pode-se ver ainda sistemas auxiliares, como o de iluminação e principalmente iluminação de emergência utilizando energia solar fotovoltaica.

Mesmo que o sistema de energia solar não alimente o navio em cem por cento com este tipo de energia limpa, pode-se optar por um mix de energia, mesclando-a com a convencional diesel elétrica. Mesmo que de forma híbrida, certamente haverá um percentual de economia na embarcação assim como a contribuição, em parte, com o meio ambiente.

Logo abaixo, serão apresentados casos de embarcações que são movidas totalmente por energia solar, assim como as híbridas e também as aplicações já existentes em embarcações de pequeno porte.

## **6.2. APRESENTAÇÃO DO “MS TURANOR” e do “AURIGA LEADER”**

O catamarã MS TURANOR, da empresa Planet Solar, foi construído na Alemanha e é considerado o maior navio movido à energia solar do mundo, foi lançado em março de 2010 e tornou-se o primeiro veículo movido à energia solar a navegar ao redor do mundo, desde Maio de 2012 quando iniciou sua primeira missão.

Com uma plataforma expansível, coberta com 512 metros quadrados de painéis solares, o navio de 89 toneladas é totalmente alimentado pelo sol. Mais de 800 painéis solares com 29.124 células alimentam e carregam as enormes baterias de lítio-íon instaladas nos cascos gêmeos do catamarã, além do poder de dois motores elétricos na parte de trás do navio, que o impulsionam a uma rotação de 600 RPM.

O navio movido à energia solar tem autonomia ilimitada, possui um comprimento de 35 metros e 23 metros de altura, atinge uma velocidade máxima de 14 nós, o que equivale a 26 quilômetros por hora, com a bateria completamente cheia consegue funcionar de 72 horas sem a existência de sol. Possui seis camarotes e nove camas, ao contrario dos navios movidos a diesel, o catamarã MS TURANOR navega silenciosamente sem liberar quaisquer poluentes na água ou no ar.

Atualmente, o navio encontra-se atracado próximo a cidade de La voile em Lorient na França, aberto para visitas guiadas com o intuito de apresentar ao público o projeto do TURANOR, assim como as expedições que o navio já realizou, aumentando assim a divulgação e mostrando que é possível sim utilizar a energia solar.

**Figura 26 – MS TURANOR, da Planet Solar**



**Fonte: Dados da internet**

O Navio “AURIGA LEADER”, teve sua obra concluída no final de 2008, e é o primeiro navio de carga do mundo a ser parcialmente impulsionado por energia solar.

Possui 656 pés e é um rollon-rolloff de 60.000 toneladas, inicialmente, concebido para o transporte de veículos a serem exportados, pela montadora japonesa Toyota Motor Corporation.

O sistema de geração de energia solar fotovoltaica do navio é parte de um projeto de demonstração organizado pelo porto de Long Beach, na Califórnia, pela Toyota e pela empresa de transportes NYK Line. O objetivo do projeto é diminuir a dependência dos navios no diesel, um combustível fóssil e nocivo ao meio ambiente.

Enquanto outros navios já utilizavam energia solar fotovoltaica para alimentar pequenos dispositivos eletrônicos, como as luzes auxiliares, o AURIA LEADER é o primeiro navio a ligar esta energia limpa e sustentável ao barramento principal do navio. Os 328 painéis instalados no navio, são capazes de gerar 40 kW de eletricidade e ajudam a fornecer energia aos propulsores, sistema hidráulico e leme do navio, totalizando certo de 10% da energia total do navio o que percentualmente gera uma redução no consumo de diesel do navio e, conseqüentemente, suas emissões de gases do efeito estufa.

**Figura 27 - Navio AURIGA LEADER**



**Fonte: Dados da internet**

### **6.3. EMBARCAÇÕES DE PEQUENO PORTE MOVIDAS A ENERGIA SOLAR**

Vários incentivos estão sendo criados, a fim de estimular o uso da energia solar como um todo. Há uma competição mundial de barcos solares, a DONG – Energy Solar Challenge, que é conhecida como a maior competição de barcos solares do mundo.

Anualmente no Brasil há o desafio solar, uma competição entre universidades que tem o objetivo de projetar, construir e operar barcos movidos somente à energia solar fotovoltaica, vencendo o barco que completa a prova em menos tempo. As competições servem como banco de provas para o desenvolvimento de tecnologias que permitam a aplicação da energia solar fotovoltaica para a propulsão de barcos.

**Figura 28 – Desafio Solar universitário do Brasil.**



**Fonte: Dados da Internet**

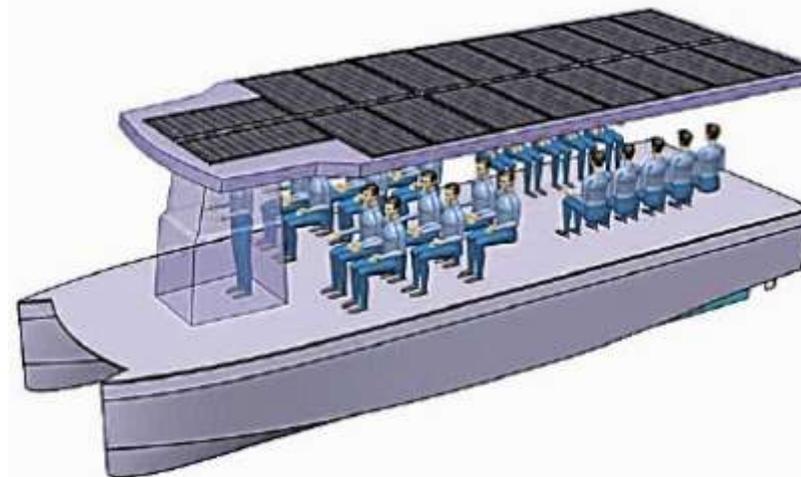
Destes projetos surgiu o primeiro barco de transporte fluvial na Amazônia, concebido pela UFSC e operado pela UFPA atualmente está atracada na lagoa Rodrigo de Freitas-RJ, foi financiado pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, WEG e pelo CNPq, o barco foi projetado considerando as condições climáticas e geográficas da Amazônia. O objetivo principal do projeto será transportar estudantes para a escola, no município de Santa Rosa, próximo a Belém-PA. A embarcação tem capacidade para 22 pessoas com potência de 4 Kwp, 2 motores elétricos de 9,5 HP, responsáveis pela propulsão, dois inversores de frequência e banco de baterias com autonomia de navegação de 5 horas sem sol. O barco também poderá ser empregado para o auxílio às comunidades ribeirinhas.

**Figura 29 – Barco Solar de transporte da Amazônia**



**Fonte: Dados da internet**

**Figura 30 – Perspectiva do Barco Solar de transporte da Amazônia**



**Fonte: Dados da internet**

Alguns rebocadores de apoio marítimo no offshore já utilizam da energia solar fotovoltaica. Em suas embarcações de resgate e salvamento, no caso do AHTS Reedbuck, da BRAM Offshore que possui um painel flexível de células fotovoltaicas, responsável por carregar o banco de baterias composto de duas baterias, uma principal e uma de emergência, dispensando assim o tradicional carregador de baterias, proveniente do barramento de 220V da embarcação. Logo abaixo alguns exemplos de embarcações que se aproximam, de forma grosseira, das embarcações de salvamento e resgate, porém totalmente alimentadas por energia solar fotovoltaica, principalmente seu sistema de propulsão.

**Figura 31 – Barco Solar GIRASOL.**



**Fonte: Dados da Internet**

O barco da figura 31 teve cerca de um ano de pesquisa do Sr. Josué Cipriano de Oliveira, um pernambucano que é encantado por fontes alternativas e a favor da sustentabilidade.

Batizado com o nome de Girassol, o veículo é composto basicamente por um bote inflável, um motor elétrico que o impulsiona e um painel que converte a energia do sol em energia elétrica, alimentando uma bateria utilizada em caminhões de 12 volts.

O barco está exposto no Espaço Ciência, em Olinda-PE e foi construído com pouco menos de R\$ 10 mil e é ecologicamente correto, ou seja, sem risco nenhum de haver vazamento de gasolina ou óleo diesel nos rios ou no mar.

**Figura 32 – Barco Solar inflável**



**Fonte: Dados da Internet**

O barco solar inflável da Figura 32 é o que mais se aproxima de um barco de salvamento e resgate empregado a bordo de rebocadores e navios offshore, porém ainda não se consegue uma boa autonomia e altas velocidades aliados a espaços reduzidos, infelizmente os painéis solares fotovoltaicos ocupam bastante espaço devido às suas dimensões e estruturas rígidas.

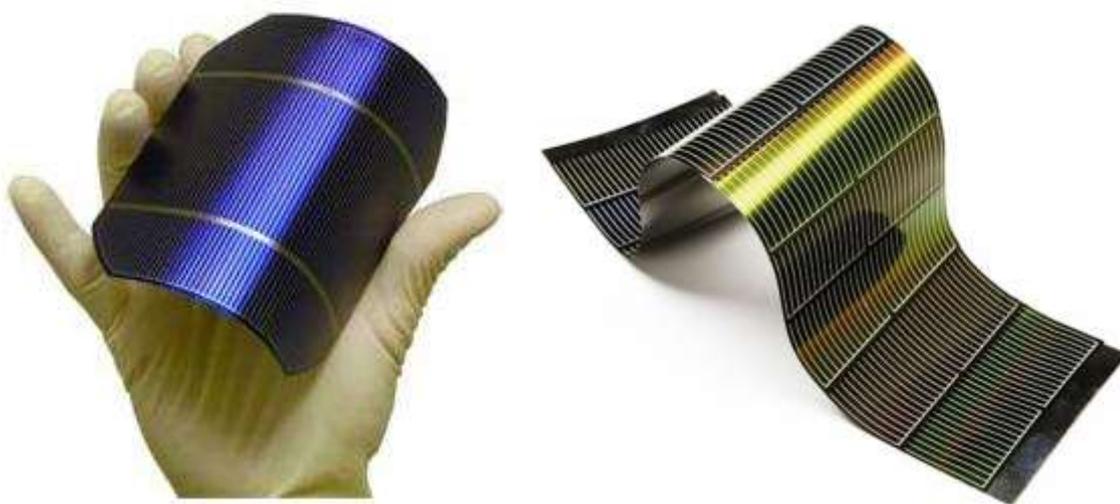
#### **6.4. FUTURO DA ENERGIA SOLAR**

Dentre as fontes de energia renováveis, a energia solar é a mais contada a dar certo, por isso tem recebido mais investimentos em pesquisas, justamente por sua ampla aplicabilidade, seja em casas, carros, no espaço (satélites) ou no meio marítimo. Diversos tipos de células já foram testados, mas o mais utilizado sem dúvidas é o Silício policristalino, devido ao seu custo benefício e por sua matéria prima estar sem abundância na terra.

Painéis solares fotovoltaicos, atualmente possuem dimensões robustas, são pesados e sua eficiência ainda não os torna de fato a melhor escolha quando se fala demandas elevadas de energia. Mesmo com o apelo ecológico e sustentável as indústrias necessitam de eficiência, problema este que a ciência vem tentando resolver junto à energia solar fotovoltaica.

Uma das novidades já em uso são as películas fotovoltaicas flexíveis, maleáveis elas conseguem acompanhar vários formatos, no caso de embarcações, poderiam acompanhar as curvas estruturais de um navio.

**Figura 33 – Célula e módulo fotovoltaico flexível**



**Fonte: Dados da Internet**

Outra novidade que promete aquecer ainda mais o setor de energia solar são as tintas com propriedades fotovoltaica, a empresa Dupont que comprou a grande Innovalight, já possui uma tinta de silício que é capaz de oferecer um incremento na eficiência das células fotovoltaicas de silício, porém os estudos baseados na química e na nanotecnologia não param de avançar e prometem de fato chegar a uma “ tinta fotovoltaica”, capaz de ser aplica a qualquer estrutura ou superfície, com capacidade de transformar a energia solar em energia elétrica através do efeito fotovoltaico.

No Centro de Investigação de Energia Sustentável do País de Gales, os investigadores usaram técnicas de revestimento para cobrir edifícios com esta tinta composta por nano

partículas. É uma tinta em spray produzida a partir de nano materiais, que aproveitam os raios do sol. Este revestimento capta a energia solar utilizando nanoestruturas de óxido de titânio, com células semicondutoras que imitam a fotossíntese de uma planta.

Na sua forma mais simples, pode-se usar grafite de carbono, que é encontrada nas minas dos lápis e que é um bom condutor, mas temos de colocar outros materiais como prata, pode-se fazer uma tinta prateada, que é condutora em estado seco. É usada uma máquina de aquecimento para experimentar o grau de secagem de diferentes materiais condutores. Este revestimento especial, aplicado em paredes e telhados, funcionaria como os painéis solares, que podem gerar e armazenar energia renovável.

**Figura 34 – Tinta de Silício da Dupont/InnovaLight**



**Fonte: Dados da Internet**

## VII. CONCLUSÃO

A corrida pela busca de novas fontes de energia renovável e que venham a estar ao patamar dos hidrocarbonetos continuará. Investimentos em tecnologia estão sendo cada vez mais intensificado afim de que tais fontes como o Sol, possam ser altamente aproveitadas e venham a alcançar altos níveis de rendimento de forma que se possa chegar perto da eficiência dos hidrocarbonetos como o petróleo, sendo possível em um futuro próximo vir a substituído.

Apesar das várias aplicabilidades da energia solar e dos casos de sucesso em residências e carros, vemos um avanço significativo do seu uso em aviões e em barcos e navios. Certamente a tecnologia que aproveita o sol e o converte em energia elétrica através do efeito fotovoltaico ainda tem muito a evoluir, de tal forma que se possa diminuir o espaço físico necessário que hoje os painéis solares ocupam. Tornar seu preço mais atrativo e acessível, assim como, aumentar o seu rendimento, o que atualmente gira em torno de 18% no máximo, é um dos maiores desafios.

Países precursores com Alemanha, Japão, Itália, EUA e China estão à frente no domínio da tecnologia em pesquisas e concepção de células fotovoltaicas. Certamente estamos no caminho certo, pois casos de sucesso como o navio solar TURANOR e o navio cargueiro híbrido “AURIGA LEADER” mostraram que é possível, mesmo diante das atuais limitações da tecnologia.

Muito em breve a tecnologia de geração de energia fotovoltaica estará alinhada em termos de preço e eficiência com os atuais e “insubstituíveis” hidrocarbonetos, com a vantagem de ser uma forma de energia alternativa, sustentável e que ajudará o planeta a diminuir o seu alto índice de degradação ambiental, que atualmente afeta a humanidade em termos de mudança e alteração climática.

## REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR-5410: Instalações Elétricas de Baixa Tensão. Rio de Janeiro, 2004.

Tiradentes, A. A. R. do Uso da energia solar para geração de eletricidade e para aquecimento de água, Lavras/MG – 2007. Monografia apresentada ao Departamento da Universidade Federal de Lavras - UFLA, 2007.

Di Suza, Ronilson.; BLUE SOL, INTRODUÇÃO A SISTEMAS DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA, 2009.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE; Balanço Enerético Nacional (BEM); 2007

TIBA, Chigeru. Atlas Solarimético Brasileiro: Banco de Dados Solarimétricos. Recife: CRESESB, 2000. Disponível em: <http://bit.ly/qcrQB8> .

LUKE, A, HEGEDUS, S.; Handbook of Photovoltaic Science and Engineering; Wiley, 2002.

SCHERR, H., Economia Global Solar. Estratégias Para a Modernidade Ecológica. Rio de Janeiro: CRESESB-CEPEL, 2002.

BRAGA, RENATA; Energia Solar Fotovoltaica Fundamentos e Aplicações.

GREENPRO. Energia Fotovoltaica- Manual de Tecnologias, Projecto e Instalação. Disponível em: <http://greenpro.de/po/fotovoltaico.pdf>. 2004.

CERAGIOLI, Paulo César. Manual de Energia Solar Fotovoltaica. Disponível em: <http://rf.com.br/sites/rf.com.br/files/docs/SolarMan97.pdf>. 1997.

NBR-11877: Sistemas Fotovoltaicos. Rio de Janeiro, 1991.

NBR-11704: Sistemas Fotovoltaicos – Classificação. Rio de Janeiro, 2008.

NBR-11876: Módulos Fotovoltaicos – Especificação. Rio de Janeiro, 2010.

NBR-14298: Sistemas Fotovoltaicos – Banco de Baterias – Dimensionamento. Rio de Janeiro, 1999.

<http://www.portalsolar.com.br/tipos-de-painel-solar-fotovoltaico.htm>, acessado em 26/08/2015

[http://www.planetsolar.org/boat/sections/the\\_boat](http://www.planetsolar.org/boat/sections/the_boat), acessado em 05/09/2015.

<http://www.ecoassist.com.br/>, acessado em 05/09/2015.

<http://energiasbr.webnode.com.br/products/primeiro-cargueiro-a-energia-solar/>, acessado em 08/09/2015.

<http://www.inovacaotecnologica.com.br/noticias/noticia.php?artigo=barco-solar-transportar-estudantes-amazonia&id=010125130708#.Ve7asflVikp>, acessado em 08/09/2015.

<http://pedesenvolvimento.com/2011/06/09/pernambucano-cria-primeiro-barco-do-estado-movido-a-energia-solar/>, acessado em 08/09/2015

<http://www.boatstogo.com/images/inflatable-boats-SD330/solar-inflatable-boat.jpg>, acessado em 08/09/2015

<http://www.portalsolar.com.br/tipos-de-painel-solar-fotovoltaico.htm>, acessado em 26/08/2015