

INSTITUTO FEDERAL
Sul-rio-grandense

Câmpus
Passo Fundo

EDUCAÇÃO
PÚBLICA
100%
GRATUITA

TECNOLOGIA FOTOVOLTAICA: MÓDULOS, ARRANJOS, CÉLULA - II

Alexsander Furtado Carneiro

O EFEITO DO SOMBREAMENTO

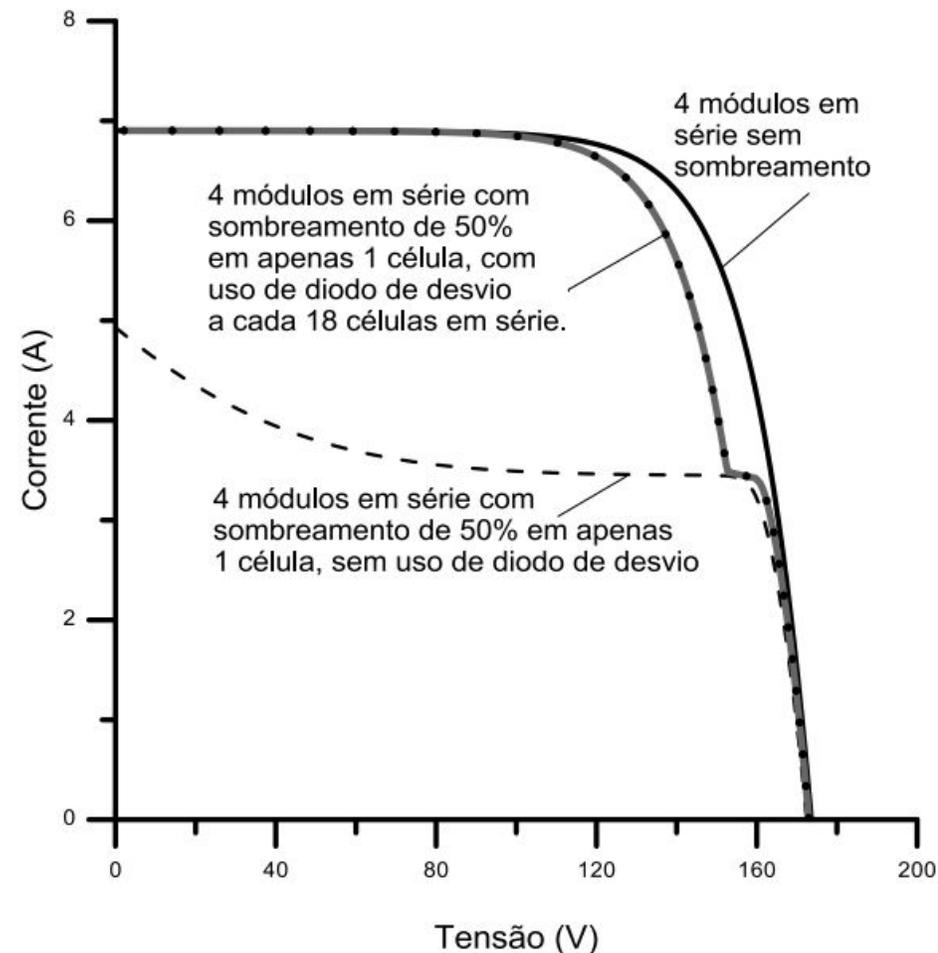
- Ao se associar diversas células e/ou módulos em série, a corrente que circula em todos os elementos da série é igual.
- Caso os módulos possuam as mesmas características, ou seja, sejam do mesmo modelo e fabricante, além de o valor da corrente ser único para cada série, tais valores serão limitados pelas características de uma unidade destes módulos.

O EFEITO DO SOMBREAMENTO

- Quando uma ou mais destas células recebe menos radiação solar do que as outras da mesma associação, sua corrente vai limitar a corrente de todo o conjunto série.
- Essa redução de radiação incidente pode ocorrer por um sombreamento parcial do módulo, depósito de sujeira sobre o vidro, ou algo que tenha caído sobre o módulo, dentre outras possibilidades.
- O efeito de redução de corrente no conjunto de células do módulo acaba sendo propagado para todos os módulos conectados em série.

O EFEITO DO SOMBREAMENTO

- A figura mostra o efeito do sombreamento sobre apenas uma célula de um arranjo com 4 células em série.
- Ao cobrir a metade de uma das células, a corrente daquele módulo é reduzida pela metade. Como consequência, a corrente de todos os módulos no conjunto em série também é reduzida.

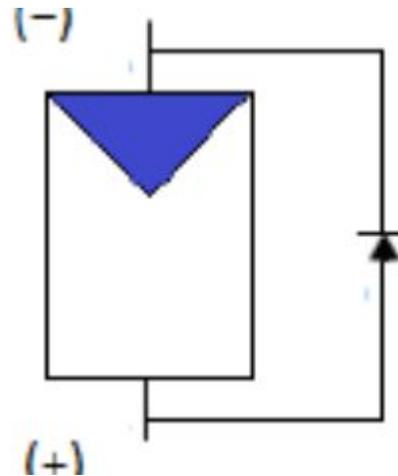


O EFEITO DO SOMBREAMENTO

- Além da perda de potência do gerador fotovoltaico, há o risco de danos ao módulo parcialmente sombreado, uma vez que a potência elétrica gerada que não está sendo entregue ao consumo é dissipada no módulo afetado, às vezes sobre apenas uma de suas células.
- Neste caso pode ocorrer o fenômeno conhecido como “ponte quente” (por vezes referenciado no Brasil pelo termo em inglês “*hotspot*”), que produz intenso calor sobre a célula afetada, com ruptura do vidro e fusão de polímeros e metais.

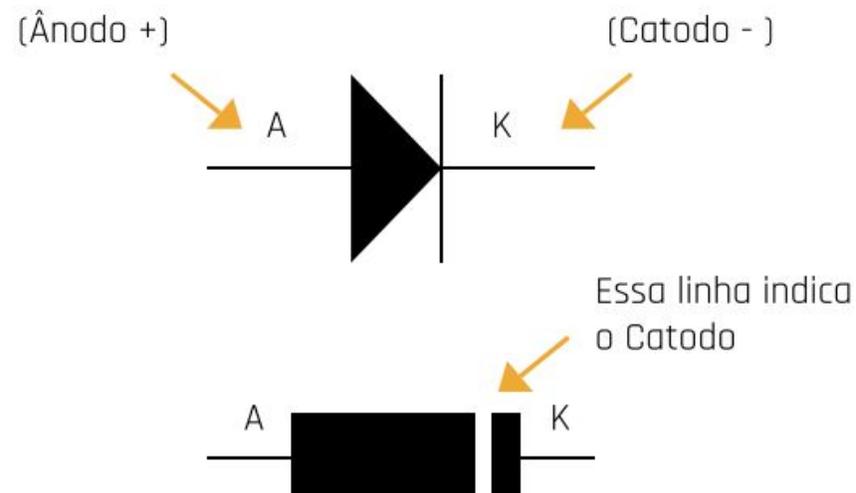
DIODOS DE DESVIO

Para diminuir os problemas causados pelo sombreamento parcial em módulos fotovoltaicos são utilizados diodos semicondutores conectados em antiparalelo a um conjunto de células ou ao próprio módulo fotovoltaico.



DIODOS DE DESVIO

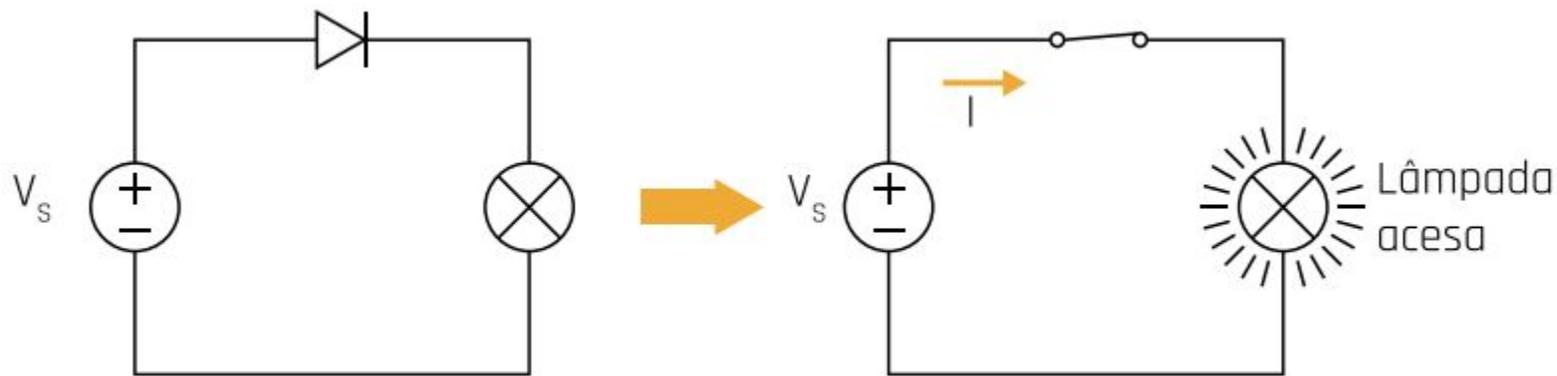
- Diodos são dispositivos eletrônicos que permitem a passagem de corrente elétrica em apenas um sentido.



Note que a seta do seu símbolo indica o sentido que a corrente elétrica pode percorrer.

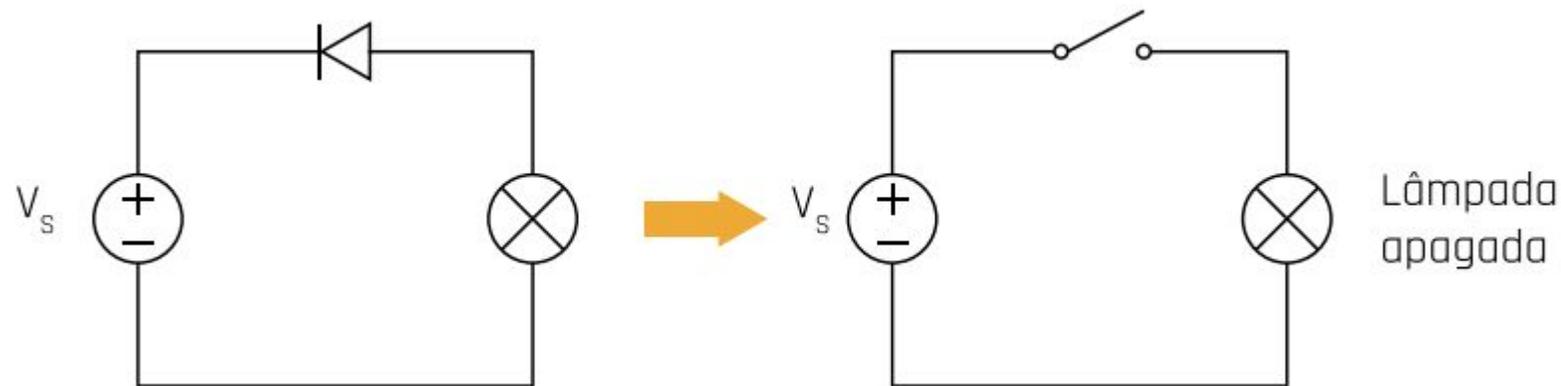
DIODOS DE DESVIO

- Quando o diodo está diretamente polarizado, ou seja, quando existe um potencial positivo entre o seu Ânodo e o seu Cátodo, o mesmo passa a conduzir corrente funcionando como uma chave fechada.



DIODOS DE DESVIO

- Já quando aplicamos um potencial negativo entre o Ânodo e o Cátodo do diodo, dizemos que o mesmo está inversamente polarizado e dessa forma passa a não conduzir corrente, funcionando como uma chave aberta.



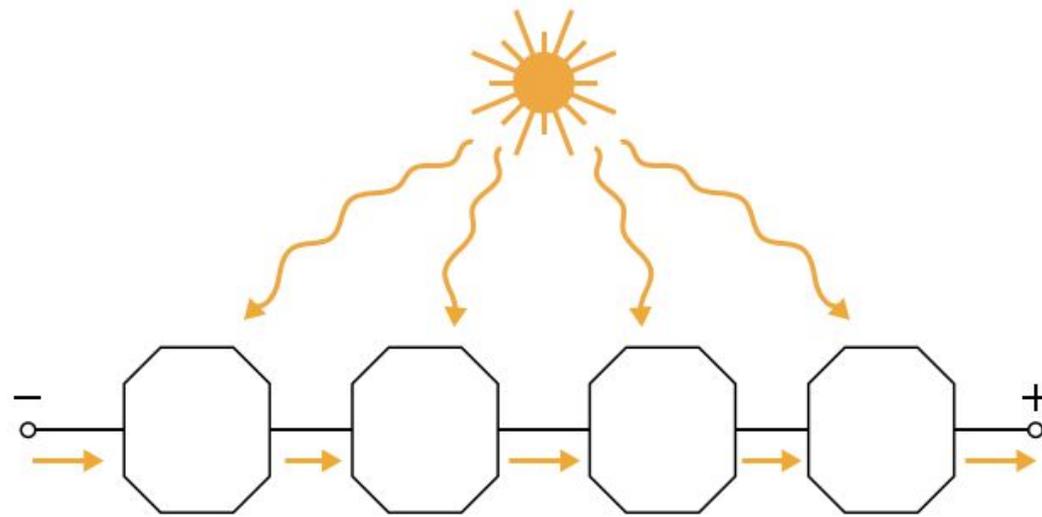
DIODOS DE DESVIO

Agora que entendemos um pouco como funciona um diodo, veremos quatro casos, de forma simples e ilustrada, como é o funcionamento de um conjunto de células em série onde uma delas é sombreada e o que acontece sem a conexão dos diodos e em seguida com a conexão dos diodos.

As setas vermelhas indicam o caminho percorrido pela corrente elétrica.

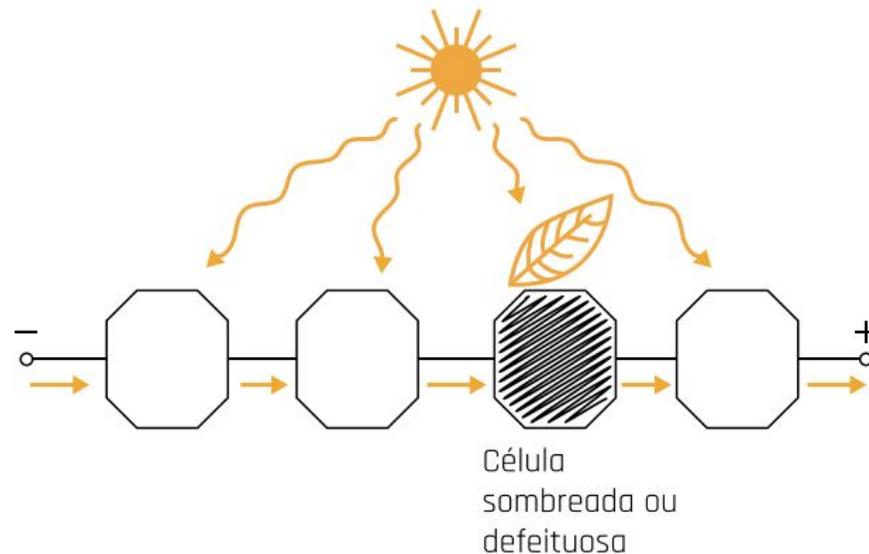
DIODOS DE DESVIO

Caso 1 – Sem sombreamento e sem diodos : Ao incidir radiação solar sobre as células fotovoltaicas as mesmas passam a gerar corrente elétrica se conectadas a uma carga. Nesse caso a geração ocorre de forma natural com boa intensidade de corrente a depender apenas do nível de irradiância incidente.



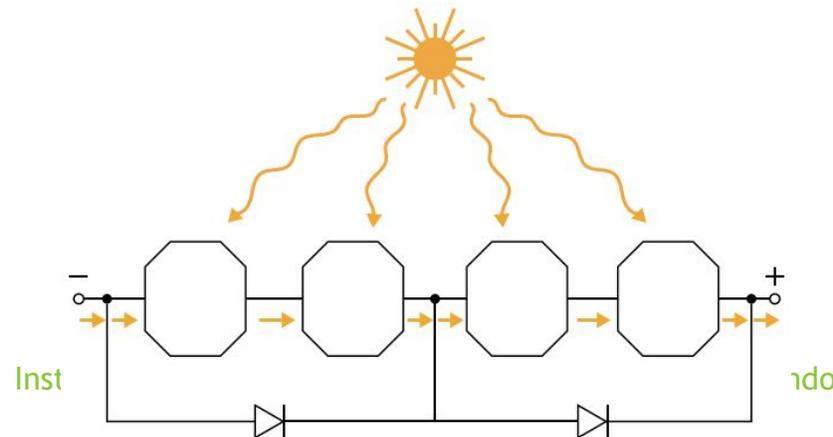
DIODOS DE DESVIO

Caso 2 – Com sombreamento e sem diodos: No momento em que uma das células é sombreada ou danificada a mesma passa a limitar a corrente gerada pelas outras células, gerando aquecimento e diminuindo a quantidade de energia gerada pelo conjunto.



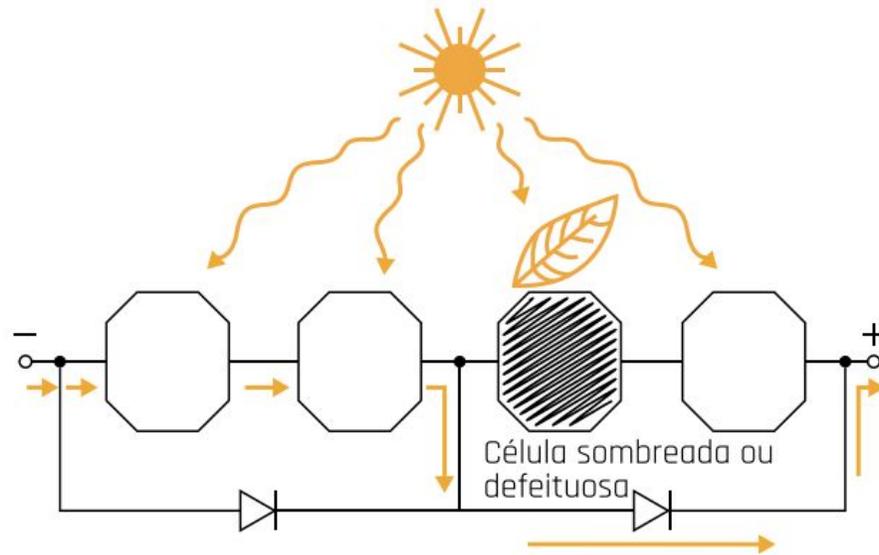
DIODOS DE DESVIO

Caso 3 – Sem sombreamento e com diodos: A partir do momento em que são instalados os diodos de desvio (também chamados de diodos de derivação) a corrente flui normalmente pelas células caso nenhuma delas seja sombreada ou apresente defeito. Assim toda a corrente passará pelas células e os diodos acabam não interferindo no conjunto.

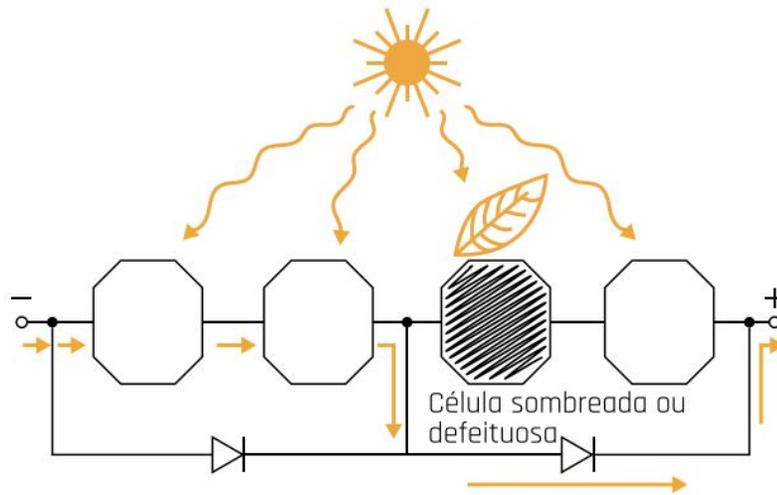


DIODOS DE DESVIO

Caso 4 – Com sombreamento e com diodos: Notamos o efeito dos diodos de desvio quando uma ou mais células são sombreadas ou apresentam defeito, pois a corrente é desviada pelo diodo aproveitando assim a geração das demais células que estão em perfeito funcionamento



DIODOS DE DESVIO



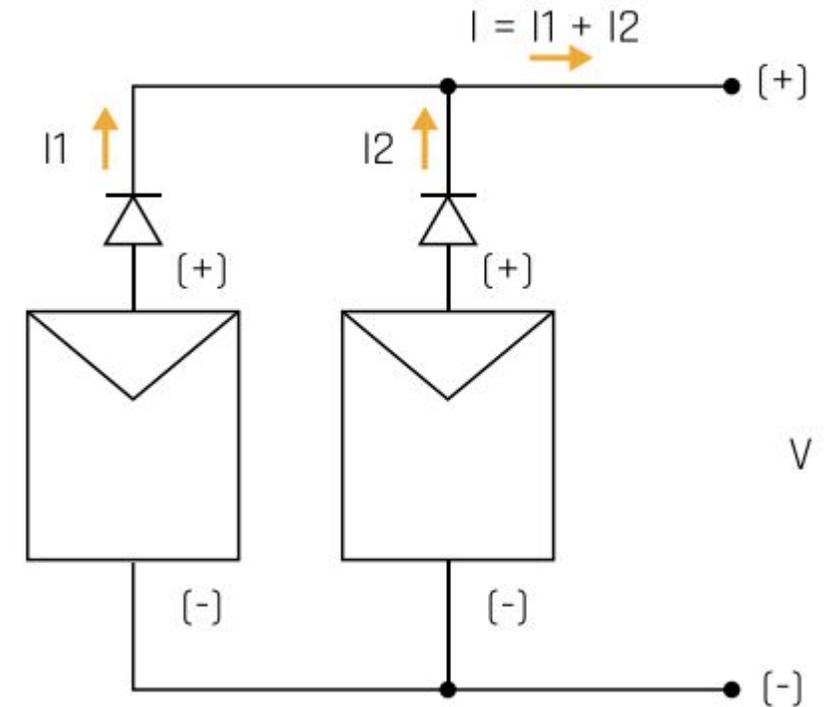
Um detalhe importante é que com o desvio da corrente a célula que estava sombreada evita de dissipar muita energia atuando como uma carga, preservando sua vida útil.

DIODOS DE DESVIO

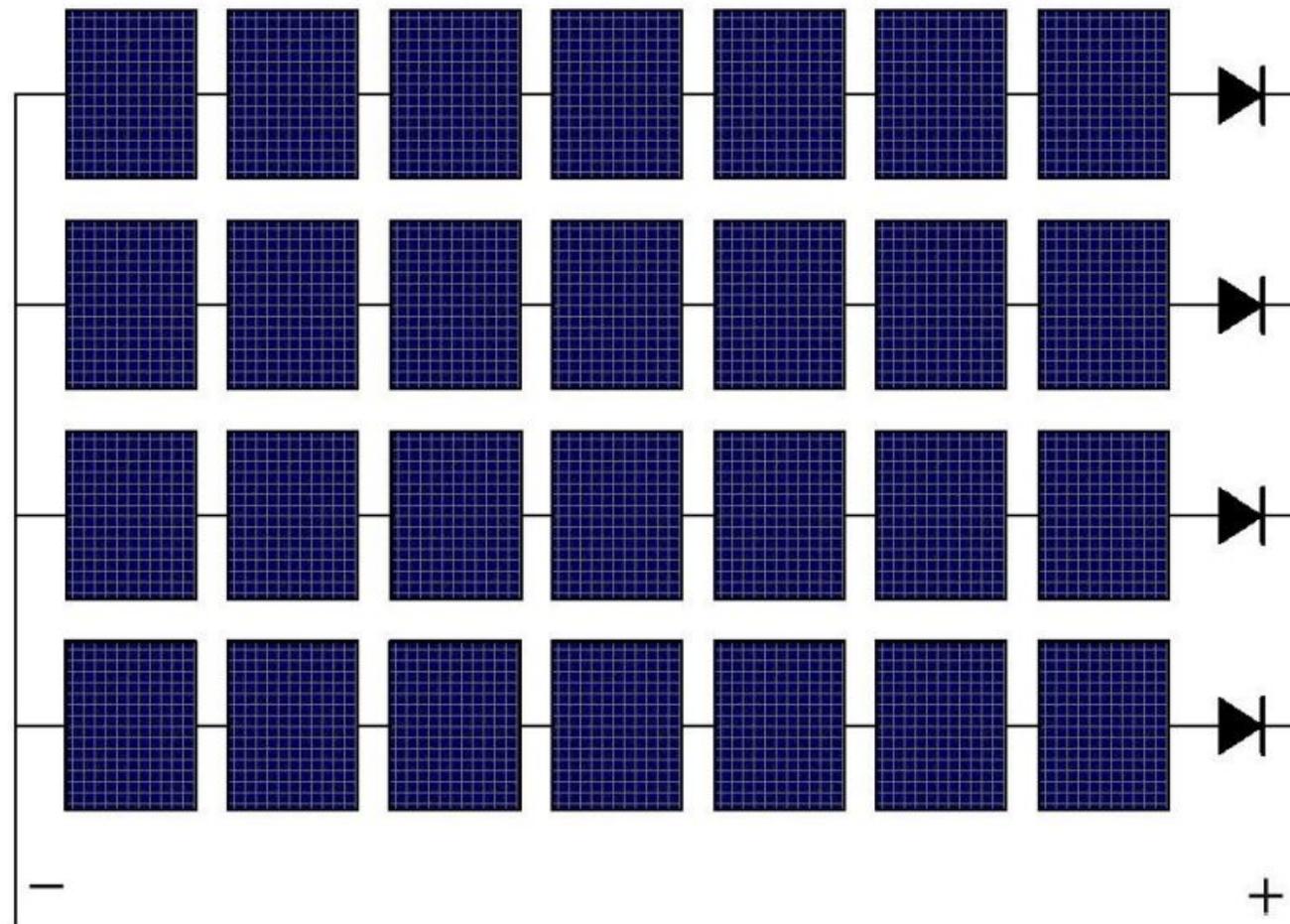
- Os diodos de desvio também são muito úteis quando conectamos módulos fotovoltaicos em série formando strings.
- Caso um módulo seja sombreado ou apresente defeito a corrente gerada pelos demais será desviada pelo diodo aproveitando a energia gerada pelos módulos não sombreados.
- O funcionamento desses diodos é análogo ao explicado anteriormente com as células fotovoltaicas.

DIODOS DE BLOQUEIO

Os diodos também podem ser conectados em série a um módulo fotovoltaico ou string quando há ligações em paralelo para evitar que um módulo (ou string) injete corrente em outro caso as tensões entre eles sejam diferentes. A esse diodo damos o nome de diodo de bloqueio.



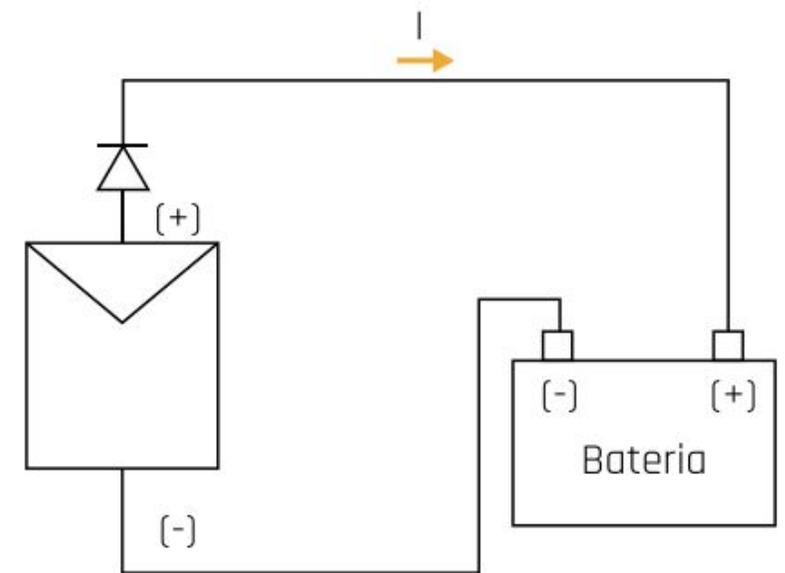
DIODOS DE BLOQUEIO



(a)

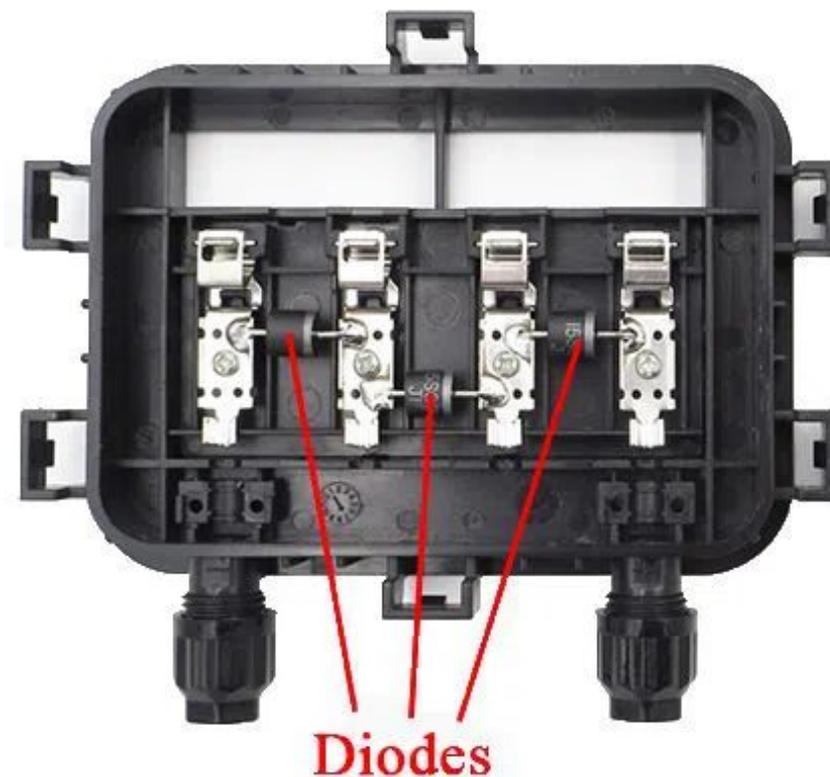
DIODOS DE BLOQUEIO

- Outra vantagem dos diodos de bloqueio ocorre quando são instalados em sistemas fotovoltaicos com armazenamento de energia através de baterias.
- À noite, quando os módulos fotovoltaicos não estão gerando energia, as baterias passam a injetar corrente nos módulos caso a conexão entre eles seja de forma direta.



CAIXA DE JUNÇÃO (JUNCTION BOX)

- Como vimos anteriormente, os diodos de bloqueio são conectados em série ao módulo e os diodos de desvio conectados em antiparalelo ao módulo ou a conjuntos de células.
- Esses diodos geralmente ficam abrigados na caixa de junção que fica na parte traseira do módulo fotovoltaico



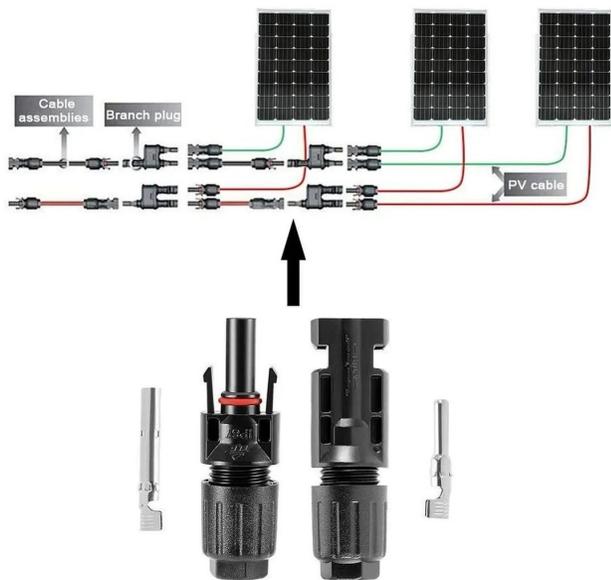
CAIXA DE JUNÇÃO (JUNCTION BOX)

- É da caixa de junção que sai o cabeamento dos módulos fotovoltaicos. Alguns módulos já vêm de fábrica com os cabos conectados e com os plugues próprios para módulos fotovoltaicos.
- Os conectores dos tipos MC3 e MC4 são padronizados para uso fotovoltaico e podem ser encontrados em lojas especializadas.



CAIXA DE JUNÇÃO (JUNCTION BOX)

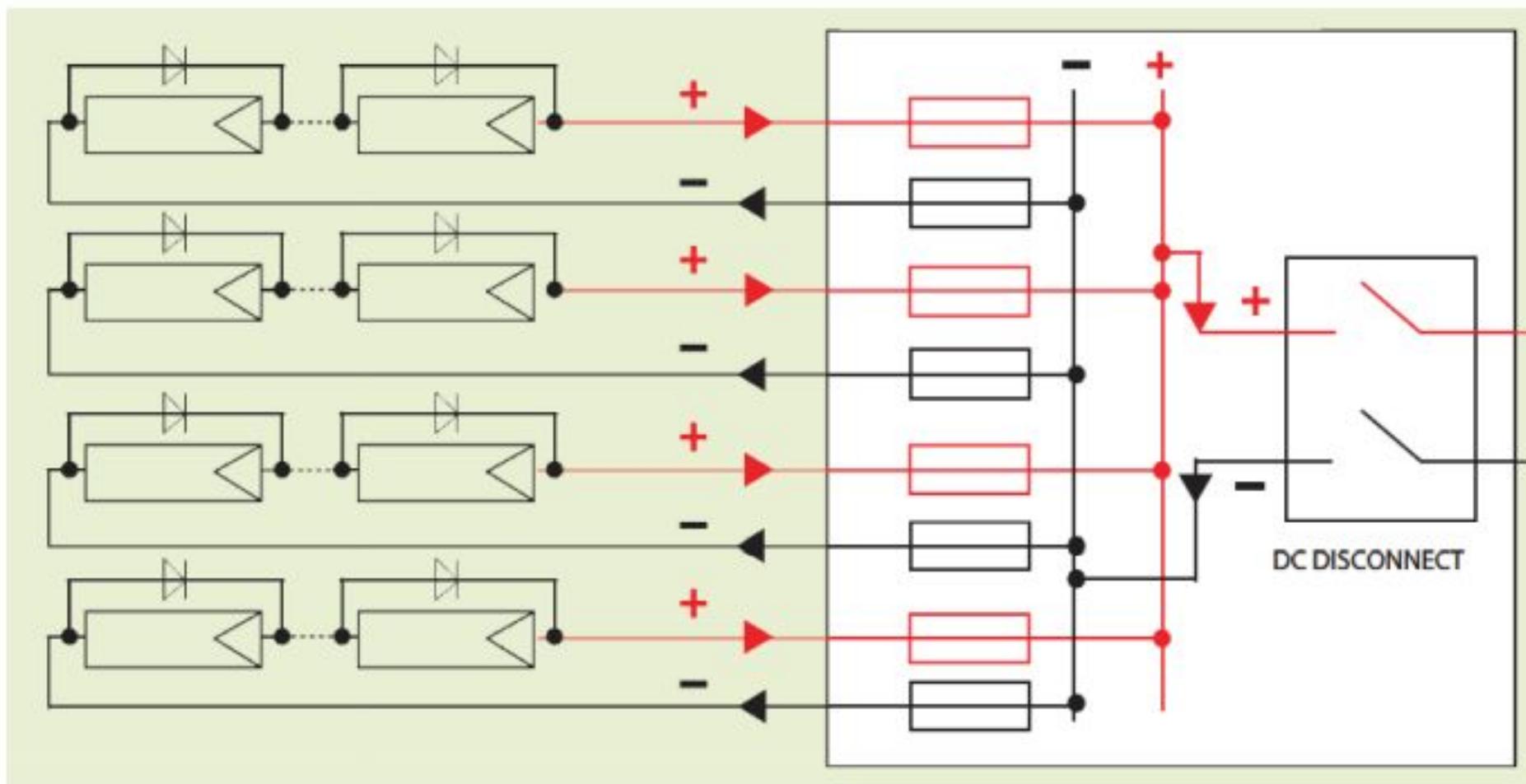
- Existem também conectores apropriados para fazer as conexões em série e em paralelo dos módulos sem a necessidade de solda ou emendas.



FUSÍVEIS DE PROTEÇÃO DA SÉRIE FOTOVOLTAICA

- O fusível fotovoltaico é um componente de proteção que tem a função de proteger a série fotovoltaica (em inglês, string) do fluxo de corrente reversa de um conjunto série com tensão maior para um com tensão menor.
- Deve ser dimensionado para correntes menores que a corrente reversa suportável pelo módulo.
- Os fusíveis devem ser colocados na saída de cada série tanto no polo positivo quanto no polo negativo.

FUSÍVEIS DE PROTEÇÃO DA SÉRIE FOTOVOLTAICA



FUSÍVEIS DE PROTEÇÃO DA SÉRIE FOTOVOLTAICA

O fusível deve ser para corrente contínua, de preferência do tipo gPV (conforme IEC 60269-6), que é apropriado para operação em sistemas fotovoltaicos pois apresenta alta durabilidade.



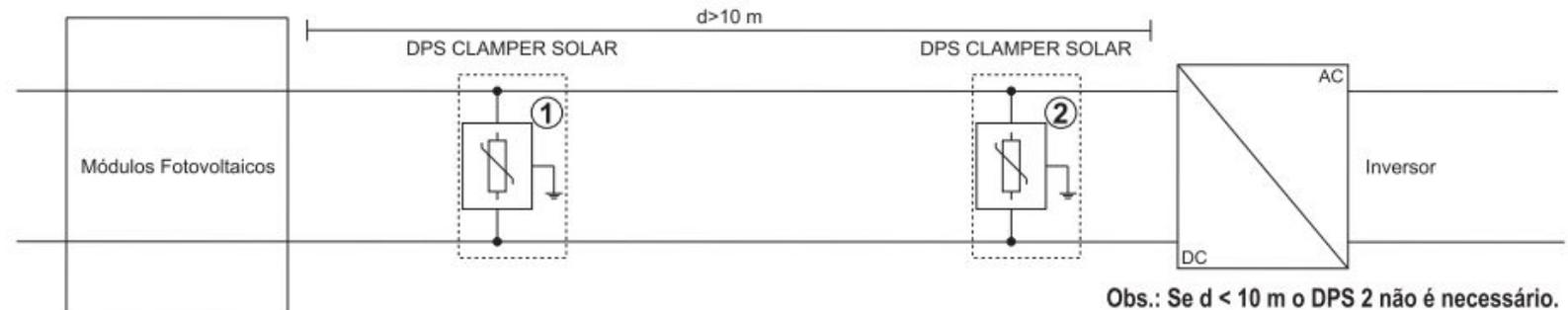
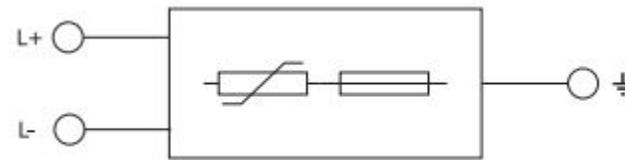
DISPOSITIVOS DE PROTEÇÃO CONTRA SURTOS (DPS)

- Os DPS são incorporados em instalações elétricas para limitar sobretensões transitórias de origem atmosférica (transmitidas pelos sistemas de alimentação, sejam eles em corrente alternada, corrente contínua ou ambos), e surtos decorrentes de manobras.
- Certos inversores possuem alguma forma de DPS embutido, porém, também podem ser necessários dispositivos externos. Nestes casos, a coordenação entre os dois DPS deve ser verificada com o fornecedor do equipamento

DISPOSITIVOS DE PROTEÇÃO CONTRA SURTOS (DPS)

- Para proteger um equipamento específico, os DPS devem ser instalados tão perto quanto possível do equipamento a ser protegido.
- Para a proteção no lado em corrente contínua, os DPS devem estar em conformidade com a EN 50539-11 ou a IEC 61643-31 e ser explicitamente classificados para uso no lado em corrente contínua de um sistema fotovoltaico.
- Se o sistema fotovoltaico estiver conectado a outras redes (como serviços de telecomunicações e de sinalização), um DPS específico deve ser utilizado para proteger o equipamento de tecnologia da informação

DISPOSITIVOS DE PROTEÇÃO CONTRA SURTOS (DPS)



Obs.: Se $d < 10 m$ o DPS 2 não é necessário.

ASPECTOS RELEVANTES PARA A SELEÇÃO DE UM MÓDULO FOTOVOLTAICO

Devido à grande oferta de módulos fotovoltaicos no comércio atual, é de grande importância que os módulos fotovoltaicos escolhidos para os projetos sejam certificados pelo INMETRO e atendam as normas nacionais e internacionais, pois só assim podemos garantir boa qualidade no funcionamento desses módulos e durabilidade por maior tempo.

ASPECTOS RELEVANTES PARA A SELEÇÃO DE UM MÓDULO FOTOVOLTAICO

Veja algumas normas (nacionais e internacionais) e regulamentações que tratam de testes e ensaios de módulos fotovoltaicos:

IEC – 61215 : 2005 – Estabelece ensaios de qualificação para módulos fotovoltaicos de silício monocristalino e policristalino.

IEC – 61701 : 2011 – Estabelece o procedimento de ensaio da resistência de módulos fotovoltaicos à corrosão por névoa salina.

ASPECTOS RELEVANTES PARA A SELEÇÃO DE UM MÓDULO FOTOVOLTAICO

NBR – 11876: 2010 – Estabelece requisitos e critérios de aceitação de módulos fotovoltaicos de uso terrestre.

NBR – 16690: 2019 – Instalações elétricas de arranjos fotovoltaicos — Requisitos de projeto

INMETRO: Portaria n° 004, de 04 de janeiro de 2011 – Especifica os procedimentos de ensaio para etiquetagem de módulos fotovoltaicos (e outros equipamentos)

ASPECTOS RELEVANTES PARA A SELEÇÃO DE UM MÓDULO FOTOVOLTAICO

Outro ponto relevante na escolha de módulos fotovoltaicos é a sua eficiência, pois quanto maior a eficiência dos módulos utilizados, menor será o espaço a ser destinado à instalação para uma dada potência.

IDENTIFICAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

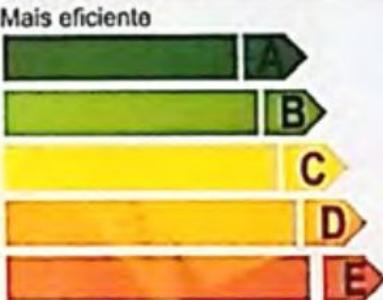
Todo módulo fotovoltaico tem em sua traseira uma etiqueta que apresenta suas características técnicas. Nessa etiqueta temos as seguintes informações:

- | | |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none">• Nome do fabricante• Potência nominal ou potência de pico (Wp)• Tensão de circuito aberto (VOC)• Tensão de máxima potência (VMP)• Corrente de curto circuito (ISC)• Corrente de máxima potência (IMP) | <ul style="list-style-type: none">• Peso• Modelo do módulo• Dimensões• País de origem• Tensão máxima do sistema (Maximum system voltage) – máxima tensão por string |
|---|---|

IDENTIFICAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

- As características elétricas informadas geralmente valem para as condições de teste padrão STC (1000W/m² e 25°C).
- Outras informações adicionais também podem constar na etiqueta.
- Todo módulo fotovoltaico comercializado no Brasil deve apresentar a etiqueta do INMETRO / PROCEL informando a classificação de eficiência energética.
- Essa etiqueta é muito importante, pois garante que o modelo do módulo escolhido tenha passado pelos testes e ensaios realizados em laboratórios credenciados.

IDENTIFICAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

Energia (Elétrica)		MÓDULO FOTOVOLTAICO
Fabricante Marca	Solar Leading Solen Energia Solar	Nome do fabricante Marca comercial (ou logomarca)
Modelo	SLSP60-240W	Modelo do produto
Mais eficiente		Letra A, B, C, D ou E correspondente à eficiência energética do módulo, em alinhamento com a seta correspondente
Menos eficiente		
EFICIÊNCIA ENERGÉTICA (%)	14,7	Eficiência máxima nas condições padrão (STC)
Área Externa do Módulo (m ²)	1,63	Área externa do módulo em m ²
Produção Média Mensal de Energia (kWh/mês)	30,00	Produção média de energia (kWh/mês)
Potência nas condições Padrão (W)	240	Potência nas condições padrão (W)

Regulamento Específico Para Uso de Etiqueta Nacional de Conservação de Energia
Linha de Sistemas de Energia Fotovoltaica - RESPO13/FCU

Instruções de instalação e recomendações de uso, leia o Manual do aparelho

 **PROCEL** PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA 

IMPORTANTE: A REMOÇÃO A DESTA ETIQUETA ANTES DA VENDA ESTÁ EM DESACORDO COM O CÓDIGO DE DEFESA DO CONSUMIDOR

MANUTENÇÃO E CONSERVAÇÃO

Módulos fotovoltaicos são elementos bastante duráveis e de pouca manutenção. Existem fabricantes que dão até 10 anos de garantia contra defeito de fabricação e 25 anos de garantia no rendimento do módulo (garante perda máxima de 20% da potência em 25 anos).

MANUTENÇÃO E CONSERVAÇÃO

Módulos fotovoltaicos são elementos bastante duráveis e de pouca manutenção. Existem fabricantes que dão até 10 anos de garantia contra defeito de fabricação e 25 anos de garantia no rendimento do módulo (garante perda máxima de 20% da potência em 25 anos).

No entanto algumas medidas devem ser tomadas para preservar a geração:

- Limpeza dos vidros
- Conexões elétricas

MANUTENÇÃO E CONSERVAÇÃO

Limpeza dos vidros

- A poeira acumulada sobre os vidros dos módulos fotovoltaicos diminui a quantidade de radiação solar que chega até as células.
- A limpeza dos vidros deve ser realizada periodicamente com água e materiais de limpeza apropriados para vidros.
- Muitas vezes a própria chuva se encarrega de retirar a poeira acumulada.
- Não devem ser utilizados materiais abrasivos, raspantes ou cortantes, pois o uso desses materiais pode levar a perda da garantia do fabricante

MANUTENÇÃO E CONSERVAÇÃO

Conexões elétricas

- Periodicamente devem ser verificadas as conexões elétricas dos módulos.
- Com o tempo algumas conexões podem oxidar ou ficar frouxas e gerar mal contato o que pode ocasionar pontos quentes, faíscas e uma diminuição na geração.
- Portanto, é aconselhável que de ano em ano sejam verificadas todas as conexões elétricas e cabos dos módulos para que seja corrigida qualquer imperfeição

REFERÊNCIAS

NBR 16690 - Instalações elétricas de arranjos fotovoltaicos — Requisitos de projeto

PINHO, João Tavares. GALDINO, Marco Antonio. GRUPO DE TRABALHO DE ENERGIA SOLAR – GTES. CEPEL-DTE-CRESESB. Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos. Rio de Janeiro- Março 2014.

MUITO
OBRIGADO

Alexander Furtado Carneiro

Professor de Eletrotécnica

www.ifsul.edu.br
E-mail de contato
TELEFONE DE CONTATO