

## + Sol + Luz

Guia prático para implementação de  
sistemas fotovoltaicos em projetos de  
infraestrutura social

Edição especial para o Brasil

Mauro Passos  
Arturo Alarcon  
Wilhelm Dalaison

Sector de  
Infraestrutura e Energia

Sector Social

NOTAS  
TÉCNICAS Nº  
IDB-TN-1581

+ Sol + Luz

Guia prático para implementação de sistemas fotovoltaicos em  
projetos de infraestrutura social  
Edição especial para o Brasil

Mauro Passos  
Arturo Alarcon  
Wilhelm Dalaison

Dezembro 2018

## Catálogo na fonte fornecida pela Biblioteca Felipe Herrera do Banco Interamericano de Desenvolvimento

Passos, Mauro.

+ SOL + LUZ: Guia prático para implementação de sistemas fotovoltaicos em projetos de infraestrutura social. Edição especial para o Brasil / Mauro Passos, Arturo Alarcón, Wilhelm Dalaison.

p. cm. — (Nota técnica do BID ; 1581)

Inclui referências bibliográficas.

1. Infrastructure (Economics)-Social aspects-Brazil. 2. Photovoltaic power systems-Brazil-Guidebooks. 3. Climate change mitigation-Brazil. 4. Solar energy-Brazil. I. Alarcón, Arturo. II. Dalaison, Wilhelm. III. Banco Interamericano de Desenvolvimento. Setor de Infraestrutura e Energia. Setor social. IV. Título. V. Série. IDB-TN-1581

Códigos JEL:I00, O13, O18, Q42

Palavras chave: infraestrutura social, sistemas fotovoltaicos, energias renováveis, saúde e educação.

<http://www.iadb.org>

Copyright © 2018 Banco Interamericano de Desenvolvimento. Esta obra está licenciada sob uma licença Creative Commons IGO 3.0 Atribuição-NãoComercial-SemDerivações (CC BY-NC-ND 3.0 IGO) (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/igo/legalcode>) e pode ser reproduzida com atribuição ao BID e para qualquer finalidade não comercial. Nenhum trabalho derivado é permitido.

Qualquer controvérsia relativa à utilização de obras do BID que não possa ser resolvida amigavelmente será submetida à arbitragem em conformidade com as regras da UNCITRAL. O uso do nome do BID para qualquer outra finalidade que não a atribuição, bem como a utilização do logotipo do BID serão objetos de um contrato por escrito de licença separado entre o BID e o usuário e não está autorizado como parte desta licença CC-IGO.

Note-se que o link fornecido acima inclui termos e condições adicionais da licença.

As opiniões expressas nesta publicação são de responsabilidade dos autores e não refletem necessariamente a posição do Banco Interamericano de Desenvolvimento, de sua Diretoria Executiva, ou dos países que eles representam.



Contatos: Arturo Alarcón, [arturoal@iadb.org](mailto:arturoal@iadb.org)

Wilhelm Dalaison, [wilhelmd@iadb.org](mailto:wilhelmd@iadb.org)

# + S + luz

**Guia prático para implementação de sistemas fotovoltaicos  
em projetos de infraestrutura social**

**Edição especial para o Brasil**

**Mauro Passos – Arturo Alarcon – Wilhelm Dalaison**



# Índice

Antecedentes .....	3	<b>Módulo 6:</b> Onde instalar os componentes dos sistemas fotovoltaicos? .....	32
Introdução .....	4	<b>Módulo 7:</b> Como dimensionar os sistemas fotovoltaicos?... 37	
<b>Módulo 1:</b> O que são os sistemas fotovoltaicos? .....	7	<b>Módulo 8:</b> Como instalar os sistemas fotovoltaicos?.....	61
<b>Módulo 2:</b> Como funcionam os sistemas fotovoltaicos? .....	12	<b>Módulo 9:</b> Como eu opero e mantenho os sistemas fotovoltaicos? .....	73
<b>Módulo 3:</b> Por que utilizar sistemas fotovoltaicos? .....	18	<b>Módulo 10:</b> Aplicação de sistemas fotovoltaicos no Brasil..	78
<b>Módulo 4:</b> Como calcular o custo dos sistemas fotovoltaicos? .....	22		
<b>Módulo 5:</b> O que é preciso para implantar um sistema fotovoltaico? .....	27		

# Antecedentes

No ano de 2017, a gerência do Setor de Infraestrutura e Energia (INE/INE) e a gerência do Setor Social, (SCL/SCL) do Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID) acordaram em criar a Unidade de Infraestrutura Social para buscar apoio técnico especializado nos programas e projetos financiados pela SCL/SCL que tenham componentes de infraestrutura.

A Unidade de Infraestrutura Social tem os seguintes objetivos: (i) Fortalecer as equipes do setor social, e através delas, as unidades executoras, oferecendo conhecimento técnico para a preparação, execução e supervisão dos componentes de infraestrutura incluídos na carteira de operações; e (ii) gerar conhecimento dirigido para fomentar as boas práticas de planejamento, aquisições, desenho, construção e supervisão de infraestrutura social.

Uma das dificuldades encontradas durante a execução de projetos de infraestrutura social era que, em muitos casos, a única forma de resolver a falta

de energia elétrica se dava por meio de sistemas fotovoltaicos, mas se carecia de um sistema simples e integral que permitisse uma rápida análise e uma avaliação da solução mais apropriada, no momento de se tomar uma decisão.

+ SOL + LUZ põe na mão de qualquer pessoa, numa linguagem e formato simples, as respostas a muitas das inquietudes em relação ao que são sistemas fotovoltaicos, como funcionam, por que utilizá-los, como calcular seu custo, onde é possível implantá-los, o que se precisa para iniciá-los, como dimensioná-los, como instalá-los, como operá-los e mantê-los.

+ SOL + LUZ se organiza em uma série de módulos dirigidos a diferentes atores interessados em conhecer e implantar sistemas fotovoltaicos em edificações, incluindo diretores em infraestrutura, administradores, técnicos em arquitetura, engenharia e eletricidade, docentes, padres, alunos e usuários em geral.

+ SOL + LUZ surge por iniciativa de Cristian Santelices e é um trabalho

colaborativo entre a Divisão de Energia (INE/ENE) e a Unidade de Infraestrutura Social (INE/INE).

O guia foi desenvolvido com base nos conteúdos elaborados pelo engenheiro Mauro Passos com o apoio de Katlen Schneider e André Cechinel, a supervisão técnica de Arturo Alárcon (INE/ENE) e a coordenação e edição geral de Wilhelm Dalaisón (INE/INE).

Também contou com a inestimável colaboração de Virginia Snyder (INE/ENE) e dos integrantes da Unidade de Infraestrutura Social: Marcos Camacho, Livia Minoja, Iciar Hidalgo Roca e Juliana de Moraes (INE/INE), que colaboraram na revisão e complementação do documento.

Os autores agradecem a colaboração de Luiz Lopes, nos aportes no módulo adicional para a edição especial para o Brasil.

Este Guia foi originalmente escrito em espanhol. A tradução ao português foi realizada por Fabiana Santos com a revisão de Janaina Goulart.

# Introdução

A energia gerada através de fontes consideradas inesgotáveis e que se reproduzem é conhecida como renovável. Dentro desse grupo se encontram a energia solar, a eólica, a hidrelétrica, a geotérmica, a maremotriz e a da biomassa.

A energia solar é, ademais, considerada energia limpa, porque não gera resíduos (ou gera muito pouco em relação a outros sistemas) ao se implantar e produzir.



Figura 1: Energias limpas e renováveis. Fonte: BID.

A energia solar é aproveitada principalmente com duas finalidades: por um lado, para aquecer a água e prover calefação, a qual se conhece como energia solar térmica; e por outro lado, para gerar eletricidade diretamente da luz solar, conhecida como energia solar fotovoltaica.

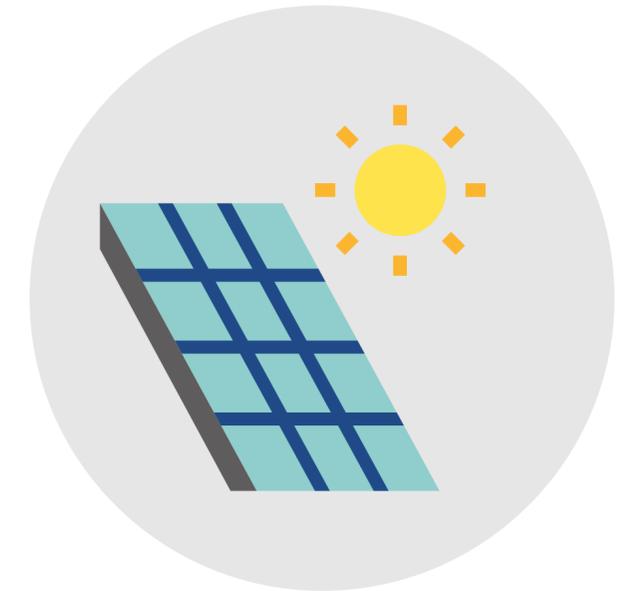
Além do fornecimento de um insumo essencial para o funcionamento de uma edificação, como é o caso da energia elétrica, o uso da energia solar fotovoltaica pode trazer resultados econômicos ao reduzir o custo do fornecimento de energia e proteger o meio ambiente, e ao substituir uma fonte contaminante por energia limpa.

Por outro lado, em escolas, por exemplo, o uso de sistemas fotovoltaicos pode servir também como instrumento para transmitir às novas gerações princípios e conceitos básicos sobre o uso das energias renováveis e como estas podem mudar vidas na América Latina e Caribe (ALC). Por esse motivo, o emprego de sistemas fotovoltaicos em escolas vai muito além do que apenas gerar energia.

Os diferentes módulos temáticos que este guia abrange envolvem diferentes necessidades de conhecimento básico que qualquer pessoa interessada em conhecer e implantar sistemas tem, e inclui exemplos de aplicação e normas de referência.

É necessário advertir que os conteúdos dos módulos são informativos e foram produzidos com o objetivo de introduzir o tema aos diferentes usuários, a fim de facilitar a tomada de decisão. As atividades específicas de desenho, instalação, manutenção e operação devem ser realizadas por um profissional capacitado para esse tipo de sistema, a fim de garantir procedimentos seguros e ótimos resultados.

Por último, é importante mencionar que os conteúdos e, principalmente, os exemplos estão dirigidos a instalações de sistemas fotovoltaicos em escolas, mas a metodologia é aplicável a qualquer outro tipo de infraestrutura social de baixo nível de complexidade, incluindo casas.



**M1: O que são?**

**M2: Como funcionam?**

**M3: Por que utilizar?**

**M4: Como calcular os custos?**

**M5: O que é necessário para a instalação?**

**M6: Onde os componentes devem ser instalados?**

**M7: Como dimensionar?**

**M8: Como instalar?**

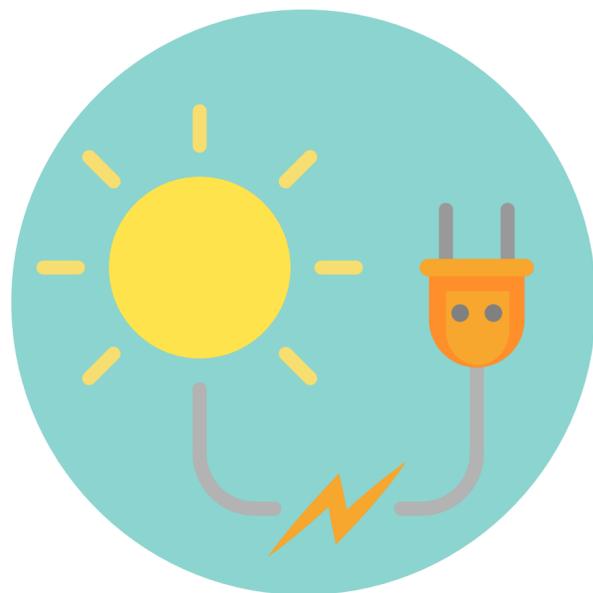
**M9: Como operar e fazer a manutenção?**

**M10: Como funcionam suas aplicações no Brasil?**

The logo consists of the letters 'M' and '1' stacked vertically. The top half of both letters is yellow, and the bottom half is white. The '1' has a diagonal hatching pattern on its right side. This logo is centered within a large orange circle, which is set against a background of thin, radiating orange lines that resemble sun rays.

M1

O que são os Sistemas Fotovoltaicos?



O sol tem uma constante presença em nossas vidas e o aproveitamento de sua energia radiante é acessível e relativamente simples. A energia solar é limpa, renovável, praticamente infinita e pode ser aplicada de várias maneiras.

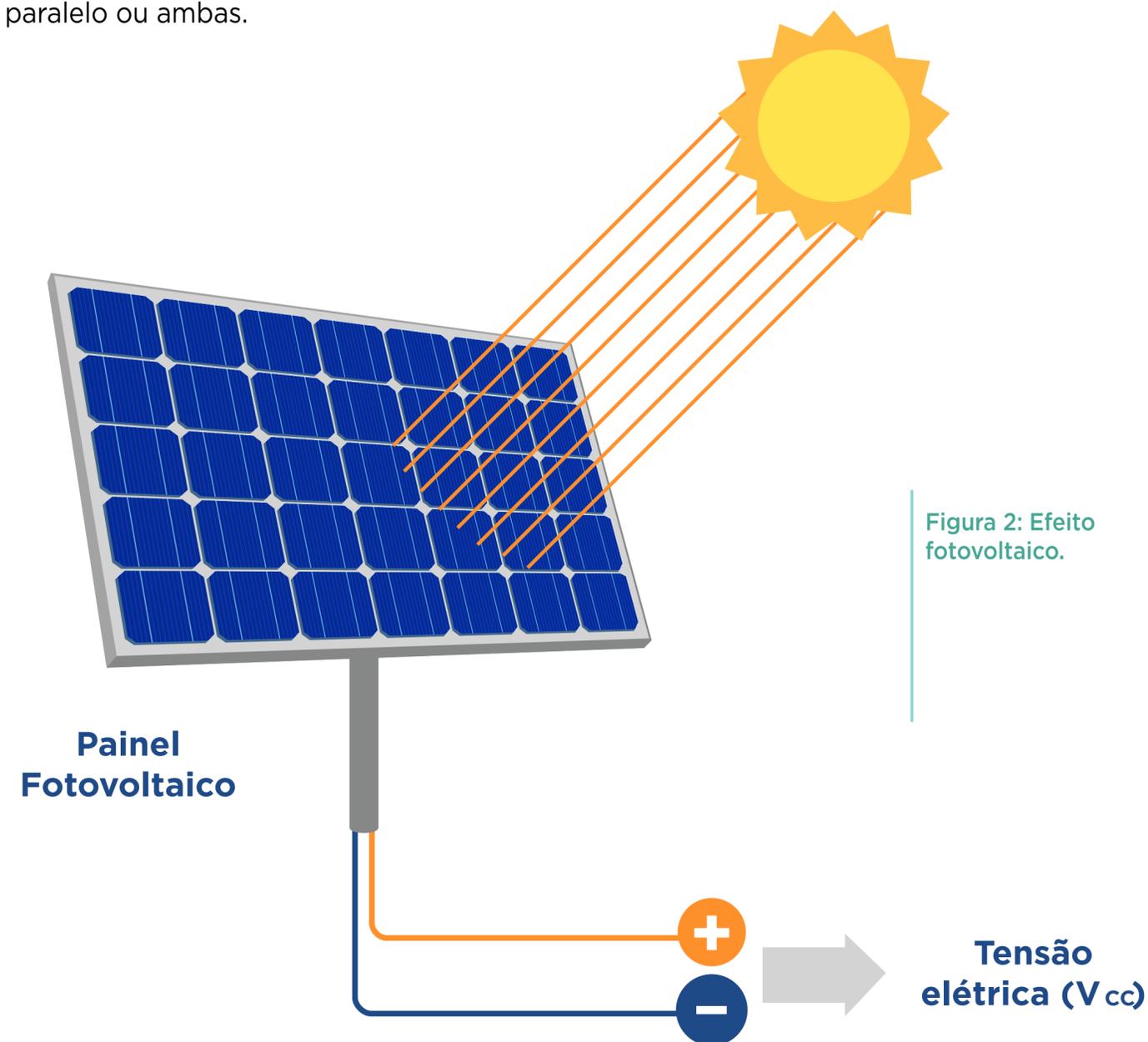
A conversão de energia solar fotovoltaica em eletricidade é possível devido ao efeito fotovoltaico, que ocorre quando materiais semicondutores recebem a luz do sol, fazendo com que os fótons de luz energizem os elétrons dos semicondutores, gerando eletricidade em forma de corrente contínua.

A **célula fotoelétrica** foi criada usando estes materiais semicondutores e é a base da geração solar fotovoltaica. Para aproveitar totalmente as células fotoelétricas é necessário conectá-las dentro de um gabinete, chamado **painel fotovoltaico**<sup>1</sup>, de forma a se gerar mais energia de uma maneira mais confiável. Os painéis podem também se conectar entre si, para criar um **arranjo de painéis** (em inglês array)<sup>2</sup>, o que aumenta consideravelmente a potência de saída, ao

<sup>1</sup> Painéis também podem ser conhecidos como módulos fotovoltaicos.

<sup>2</sup> Arranjo de painéis é o conjunto de painéis fotovoltaicos individuais interconectados entre si para formar o sistema fotovoltaico que gera a energia.

somar individualmente a potência de cada painel. Os arranjos dos painéis podem se formar com conexões em série, em paralelo ou ambas.



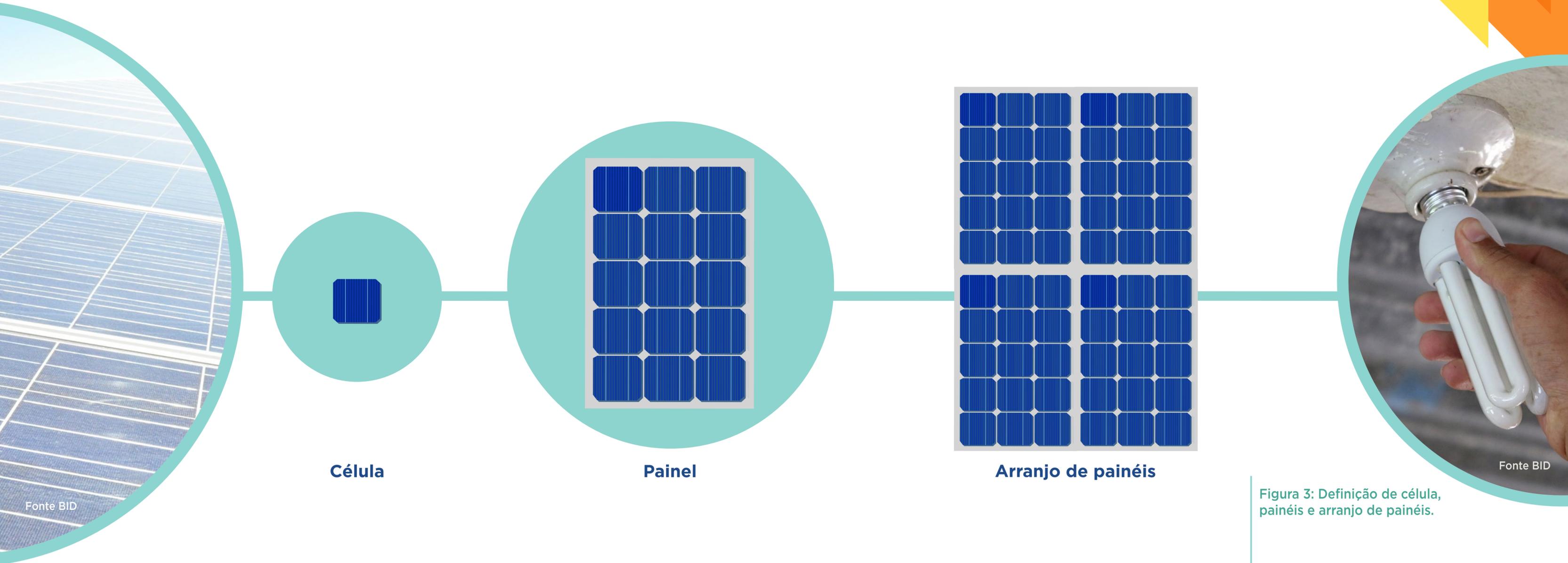


Figura 3: Definição de célula, painéis e arranjo de painéis.

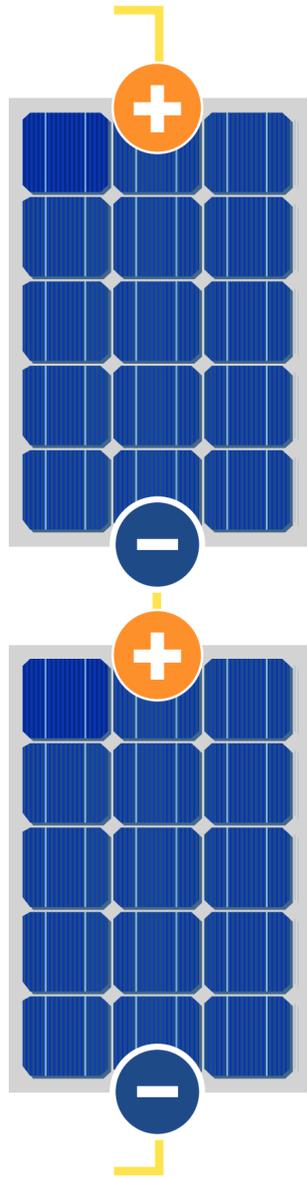
Embora as células, painéis e arranjos de painéis sejam os responsáveis por converter a luz em eletricidade, são necessários outros dispositivos eletrônicos para poder adequar a eletricidade ao seu uso.

O conjunto de painéis fotovoltaicos e esses dispositivos são conhecidos como um **Sistema Fotovoltaico**, o qual pode

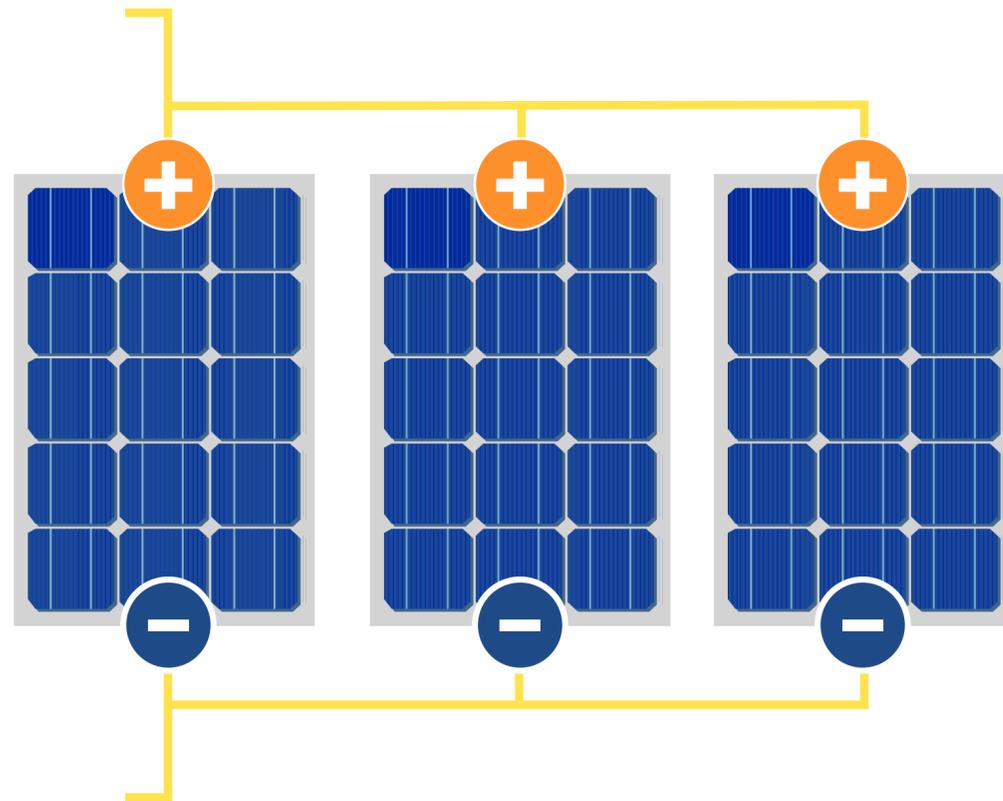
ter diferentes configurações, embora basicamente existam dois tipos: (i) os sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica (*em inglês: on-grid*); e (b) los sistemas fotovoltaicos sem conexão à rede elétrica (*em inglês: off-grid*).

Ver **Tabela 1**.

Conexão em série



Conexão Paralela



Conexão Mista

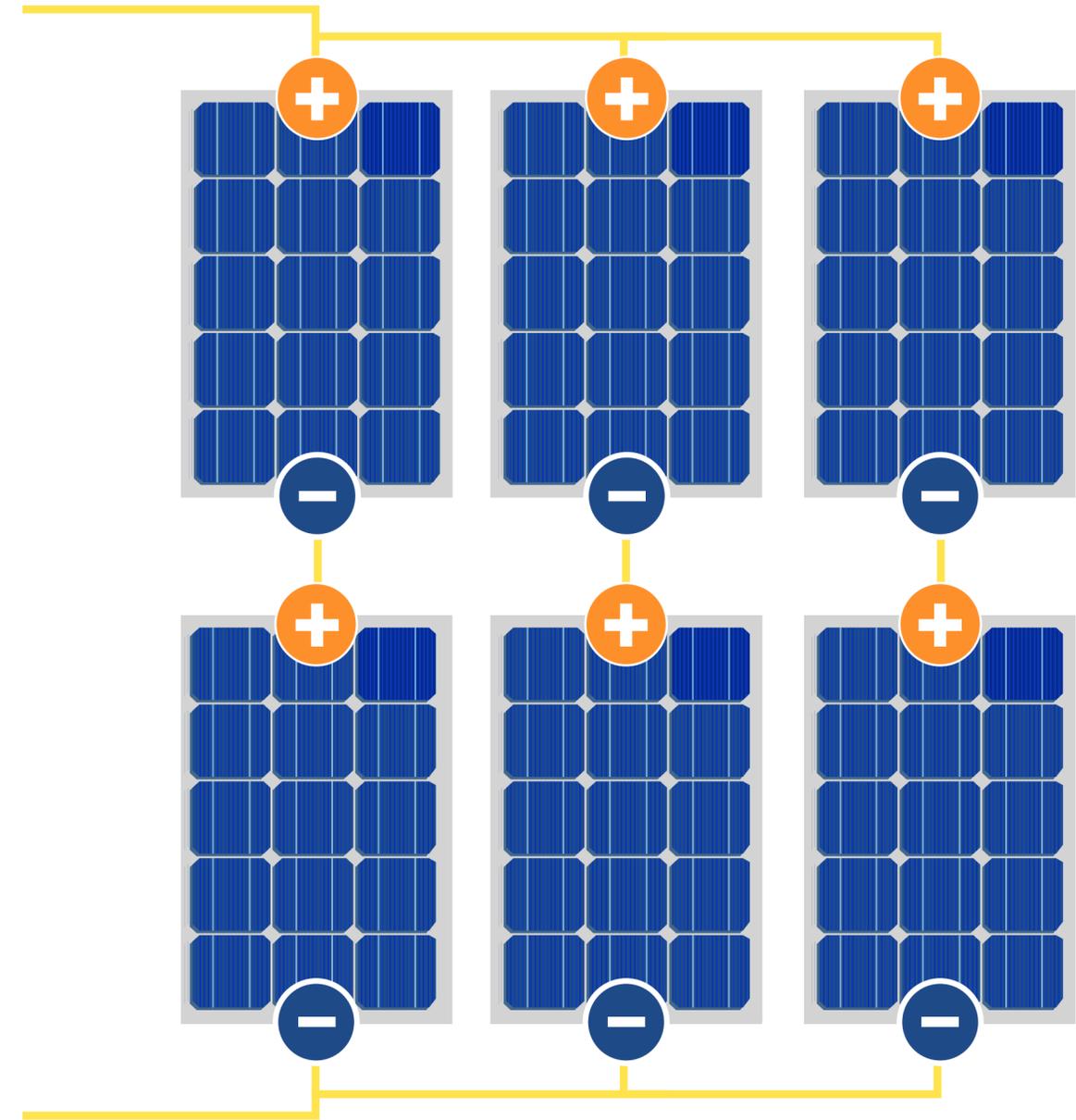


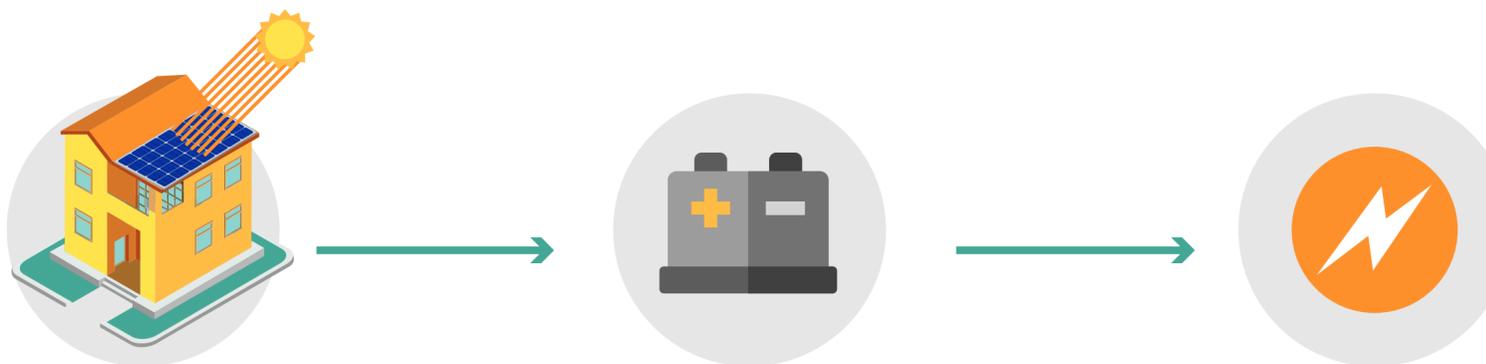
Figura 4: Conexão em série, paralela e mista.

## Sistema Fotovoltaico conectado à rede elétrica



Normalmente este tipo de sistema é uma fonte de energia complementar e é utilizado para reduzir o gasto com eletricidade. Neste caso, não são necessários sistemas de armazenamento de energia.

## Sistema Fotovoltaico sem conexão a uma rede elétrica



Normalmente este tipo de sistema é utilizado em zonas remotas onde a rede elétrica pública é inexistente ou disponível por poucas horas.

O sistema fotovoltaico sem conexão à rede elétrica pública também é útil, em alguns casos, como complemento ou substituição da energia gerada, principalmente, por geradores que utilizam combustíveis fósseis (por exemplo diesel) para seu funcionamento.

Para assegurar ter sempre um serviço de eletricidade são necessários sistemas de armazenamento de energia (baterias).



Como funcionam os Sistemas Fovoltaicos?

Já se disse que os sistemas fotovoltaicos podem ter diferentes tipos de configurações, dependendo da conexão ou não a uma rede elétrica.

Como se indicou na **Tabela 1**, os sistemas podem ser classificados em:

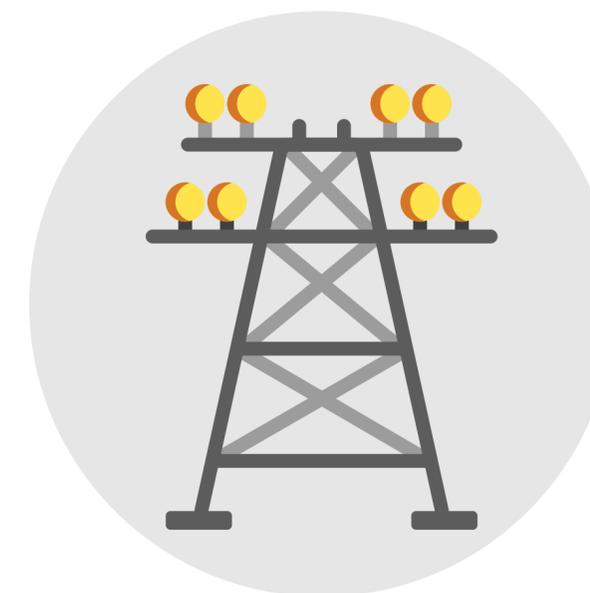
- A.** Sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica
- B.** Sistemas fotovoltaicos sem conexão à rede elétrica

## Sistemas Fotovoltaicos conectados à rede elétrica

Os sistemas, quando conectados à rede elétrica, podem operar como uma fonte de energia complementar. Devido à presença da rede, não é necessário armazenar a energia, e toda a energia produzida pelo sistema se consome diretamente, o que reduz o uso a partir da rede convencional e, portanto, os gastos por consumo de energia da rede elétrica. O excedente de energia pode também ser exportado para a rede elétrica<sup>3</sup>.

Os componentes deste sistema são principalmente dois: os painéis fotovoltaicos e o inversor. Entretanto, o sistema fotovoltaico também requer dispositivos de segurança, como fusível e disjuntores (igual a qualquer outro sistema elétrico) para dar segurança ao usuário e ao equipamento.

<sup>3</sup> Em alguns países, o excesso de energia produzida acima das necessidades do proprietário pode ser vendido ao sistema elétrico, o que não é o caso do Brasil.



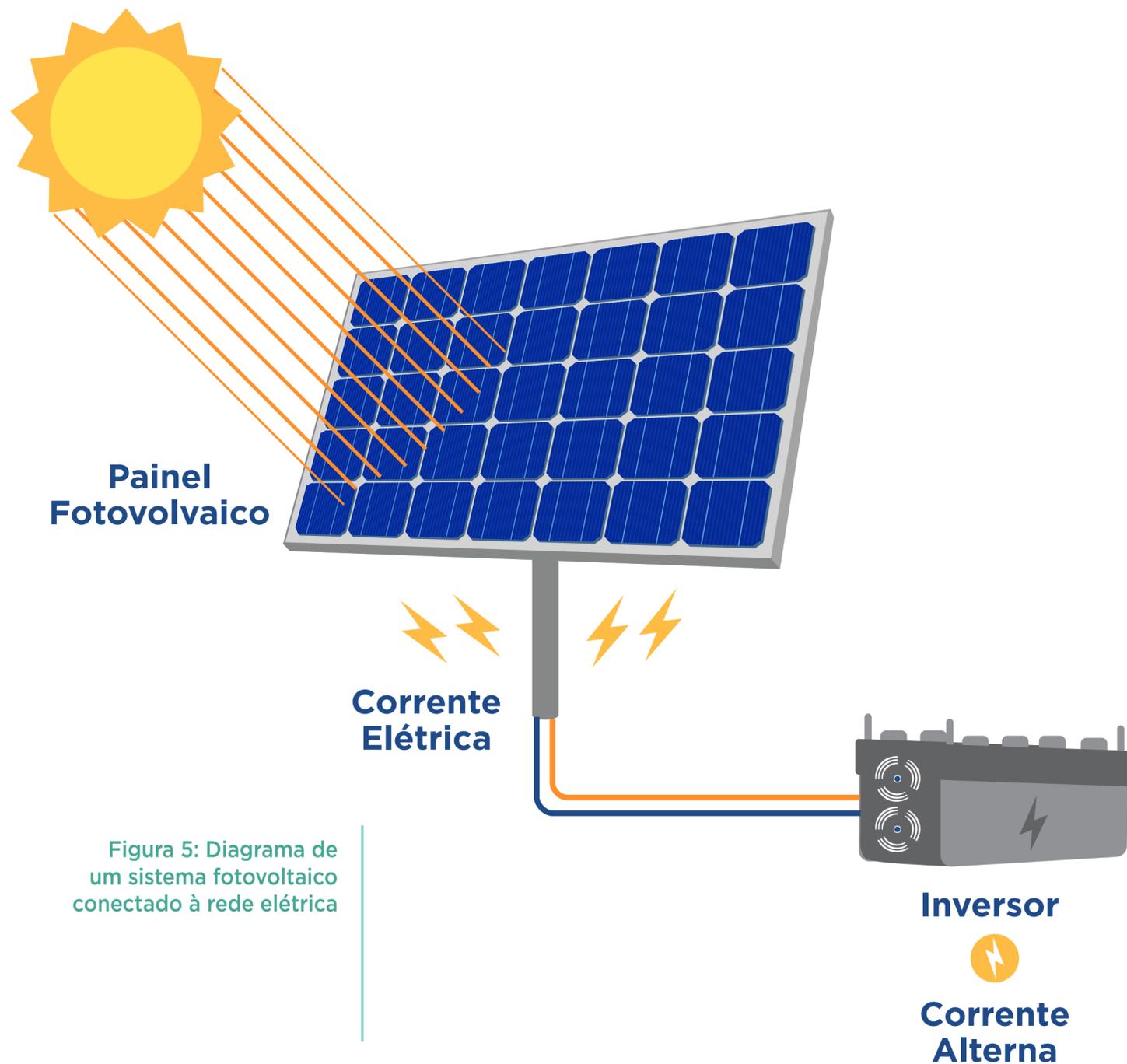


Figura 5: Diagrama de um sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica

## Principais componentes

### 1 - Painéis Fotovoltaicos:

Os painéis fotovoltaicos são dispositivos planos onde as células fotovoltaicas estão montadas mecanicamente e conectadas eletricamente, o que provoca maior conversão da luz solar em eletricidade em relação às células individuais. Os painéis fotovoltaicos, como as células fotovoltaicas individuais, podem se conectar uns aos outros para aumentar a saída de potência.

Existem vários tipos de painéis fotovoltaicos, que podem se diferenciar pelo tipo e pela quantidade de células ou sobre o arranjo que pode se realizar. Atualmente, os painéis fotovoltaicos de células de silício são os comercialmente mais difundidos devido à sua grande eficiência. Os fabricantes garantem um ciclo de vida de, pelo menos, 25 anos.

A potência nominal de um painel fotovoltaico se mede em Wp (Watt-peak, pico em Watts) e significa a saída de potência máxima de um painel em condições de pico (estimada em função da temperatura e radiação solar). A potência de todo o sistema fotovoltaico também se expressa em Wp, assumindo

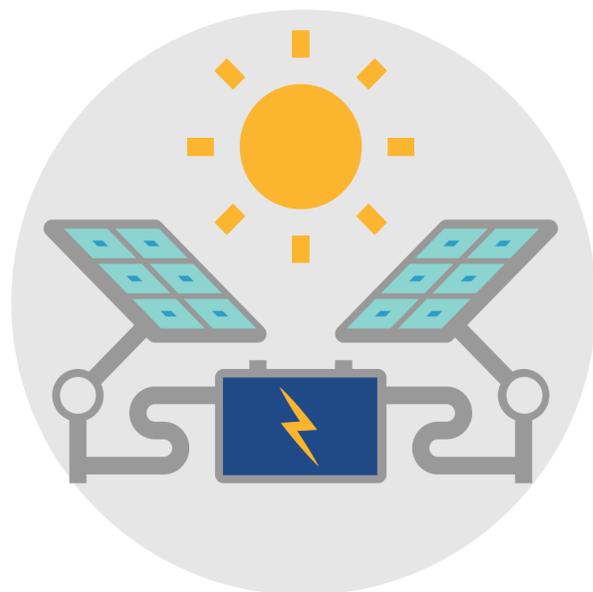
que cada painel esteja funcionando em condições de pico.

### 2 - Inversor:

O inversor é responsável por assegurar que a energia fotovoltaica gerada possa ser utilizada da mesma maneira que a energia fornecida pela rede, transformando a corrente contínua (CC), gerada pelos painéis fotovoltaicos, em corrente alternada (CA).

Os inversores têm diferentes parâmetros elétricos e modos operacionais. Portanto, requerem um correto dimensionamento por parte de pessoal técnico capacitado antes de serem utilizados. Seu ciclo de vida é de, aproximadamente, 10 anos.

Além dos painéis e do inversor, o sistema vai requerer também sistemas de proteção (fusíveis, relés, e etc.), que deverão ser dimensionados por um técnico capacitado.



## Sistemas Fotovoltaicos sem conexão à rede elétrica

Os sistemas fotovoltaicos sem conexão a uma rede elétrica são também chamados de sistemas “isolados”, devido à ausência de conexão com a rede elétrica, no que converte o sistema fotovoltaico na principal fonte de energia local ou em uma fonte complementar, se houver geradores ou outras fontes de energia.

Os principais componentes deste sistema são quatro: os painéis fotovoltaicos, as baterias, o controlador de carga e o inversor, embora também requeira a instalação de dispositivos de proteção para dar segurança ao usuário e ao equipamento, como fusíveis e disjuntores.

Quando não conectados à rede, os sistemas fotovoltaicos usam as baterias como uma forma de armazenar a energia gerada, o que assegura autonomia elétrica nos períodos em que não se tem a luz solar.

Entretanto, em alguns casos, os sistemas fotovoltaicos sem conexão a uma rede podem funcionar sem baterias (se a edificação funcionar somente de dia e não houver necessidade de armazenar energia) ou sem inversor (se os aparatos elétricos utilizados estiverem alimentados com uma voltagem de corrente contínua baixa).

### Principais componentes

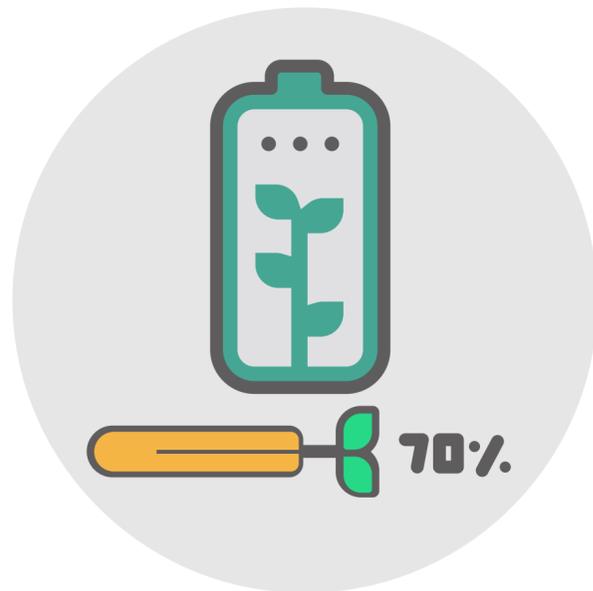
#### 1 - Painéis Fotovoltaicos:

Os painéis fotovoltaicos deste sistema apresentam as mesmas características e as mesmas funções descritas no sistema fotovoltaico conectado à rede.

#### 2 - Controlador de Carga:

O controlador de carga, como seu próprio nome diz, regula a carga da bateria, assegurando que exista carga e que não ocorra sobrecarga, com o que se evita danificar a bateria e reduzir seu ciclo de vida. Dado que as baterias são equipamentos perigosos, o controlador de carga é um artigo de segurança essencial, que protege os usuários e o próprio sistema.

Os controladores de carga têm várias configurações diferentes, baseadas nas propriedades elétricas do sistema e se deve dimensioná-los corretamente. O controlador de carga somente é necessário se o sistema tem baterias, caso contrário, o arranjo de painéis pode ser conectado diretamente ao inversor.



### 3 - Baterias:

As baterias são utilizadas para armazenar a energia elétrica gerada. Aquelas utilizadas neste tipo de aplicação são de ciclo profundo, capazes de suportar profundas descargas com considerável ciclo de vida. Atualmente, se recomenda o uso de baterias de íons de lítio, que se carregam mais rápido e se descarregam lentamente, tendo mais capacidade de armazenamento e um ciclo de vida consideravelmente mais longo, se comparadas com outros tipos de baterias.



### 4 - Inversor:

Os inversores dos sistemas sem conexão a uma rede têm a mesma função que os inversores de sistemas conectados à rede, porém como têm outras características elétricas, cumprem a mesma função, mas não são o mesmo tipo de inversores.

Uma das particularidades que os inversores têm, e que se emprega nos sistemas sem conexão à rede, é que eles possuem uma entrada auxiliar para outras fontes geradoras de energia que lhes permite funcionar em paralelo com duas fontes. Estes sistemas se denominam **híbridos**.

Os inversores de sistemas sem conexão a uma rede também têm diferentes configurações elétricas e nem sempre são necessários. Se os equipamentos utilizados na instalação que supre o sistema estão alimentados com uma voltagem de corrente contínua (CC) baixa (normalmente de 12 a 48 Volts), estes podem ser alimentados por baterias ou com a disposição de painéis, desde que entre os dispositivos e os painéis esteja o controlador de carga.

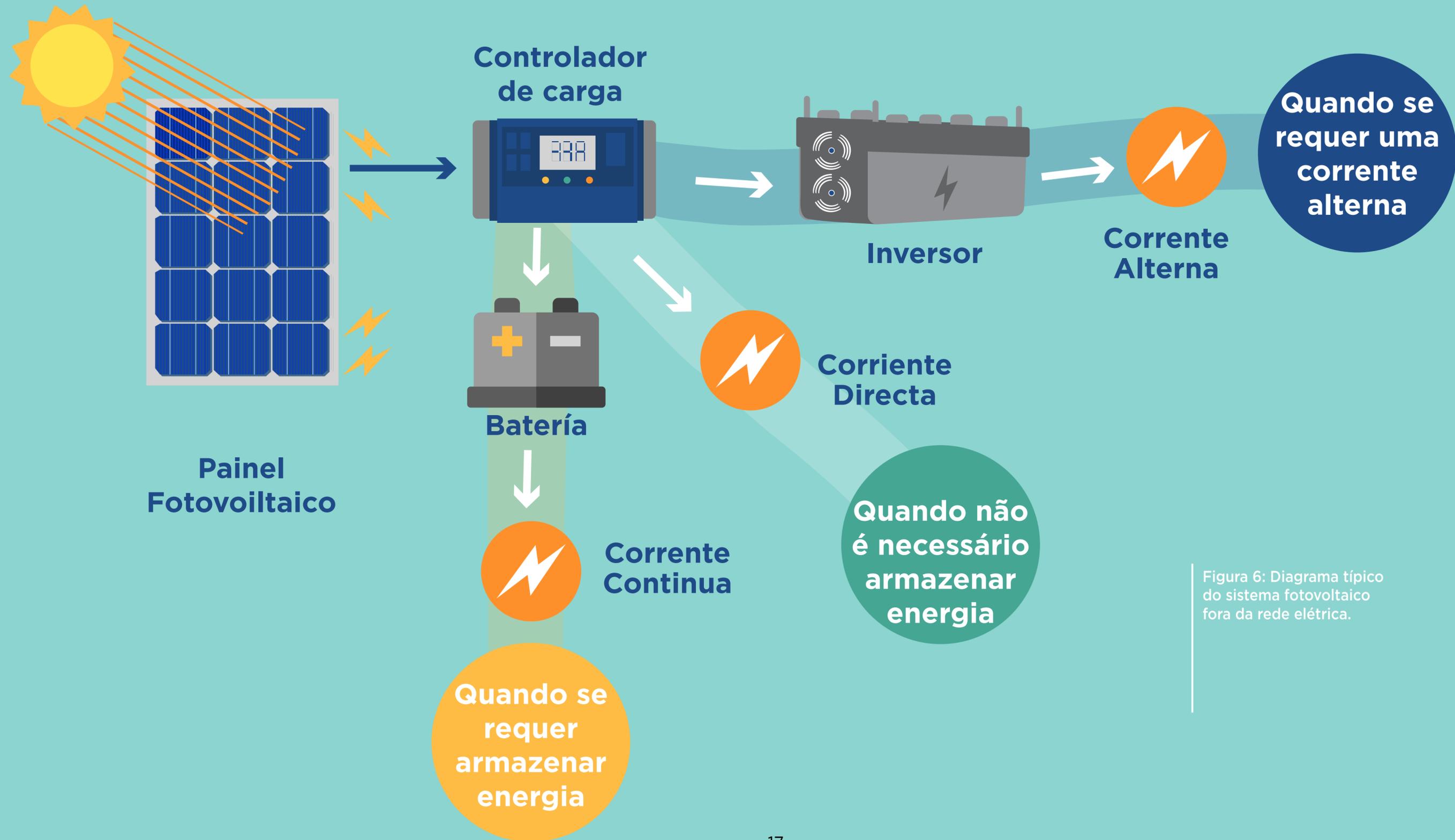


Figura 6: Diagrama típico do sistema fotovoltaico fora da rede elétrica.

The logo consists of the letters 'M3' in a bold, sans-serif font. The top half of the letters is yellow, and the bottom half is white. The '3' has a diagonal hatching pattern. The logo is centered within a large orange circle that is part of a sunburst graphic with thin orange lines radiating from its top-left edge.

**M3**

Por que utilizar Sistemas Fotovoltaicos?



Uma das principais vantagens dos sistemas fotovoltaicos é que eles permitem gerar eletricidade em lugares afastados, onde os sistemas convencionais de rede não chegam ou sua cobertura não é suficiente.

Até há pouco tempo, uma das maiores limitações da instalação de sistemas fotovoltaicos era o custo do investimento; no entanto, ao longo do tempo, esse custo foi continuamente reduzido, chegando a um ponto em que você pode encontrar benefícios econômicos de tal investimento.

Outro aspecto que torna o uso de painéis fotovoltaicos particularmente atraente é a possibilidade de instalá-los de forma modular e no mesmo local onde a energia é consumida. Isso não é possível com outras tecnologias, que devem ser instaladas centralmente (como geração termoelétrica) ou no local onde o recurso está localizado (como usinas hidrelétricas ou eólicas).

## Quando existe rede elétrica

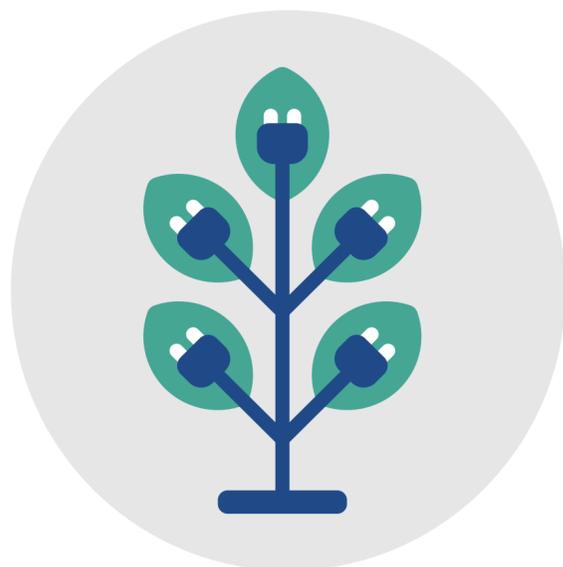
Em lugares onde existem redes de eletricidade, em muitos casos, se opta por instalar estes sistemas como complemento da eletricidade gerada pela rede, como forma de reduzir o volume consumido de eletricidade da rede, e por consequência, o montante que se paga pelo consumo.

## Quando não existe rede elétrica

A cobertura do serviço de energia elétrica em lugares afastados ou que não contem com serviços da rede elétrica pública começou a ser resolvida utilizando-se sistemas fotovoltaicos projetados para cada edifício, com base em suas necessidades específicas.

Graças à geração de energia fotovoltaica, no caso das escolas, por exemplo, os alunos têm melhores instalações e podem acessar equipamentos e recursos pedagógicos que antes não podiam.

Embora esta seja uma solução que possa ser mais limitada que a conexão à rede (em termos de potência e confiabilidade), ela fornece uma solução até a chegada da conexão à rede.



## Benefícios dos Sistemas Fotovoltaicos

Independentemente do tipo de sistema fotovoltaico utilizado - com ou sem conexão a uma rede elétrica - este tipo de sistema oferece múltiplos benefícios econômicos, ambientais e de conscientização.

### 1 - Benefícios econômicos

A geração de energia fotovoltaica é o segmento de mercado de eletricidade que cresce mais rapidamente no mundo, particularmente nos últimos 10 anos, e, ao contrário de outras tecnologias convencionais de geração de energia, o custo da tecnologia fotovoltaica vem diminuindo consideravelmente.

**Historicamente, os custos do sistema fotovoltaico diminuíram 100 vezes desde 1950 e 10 vezes nos últimos 10 anos, mais do que qualquer outra tecnologia durante o mesmo período (NEMET, 2006)<sup>4</sup>.** Entre 2010 e 2016, o custo total do sistema médio instalado, incluindo

<sup>4</sup> Cf. NEMET, G. F. Beyond the learning curve: factors influencing cost reductions in photovoltaics. Energy Policy, v. 34, n. 17, p. 3.218-3.232, 2006.

todos os componentes de hardware e equilíbrio do sistema (custo de mão de obra por instalação, permissões, inspeções etc.), diminuiu em 65%.

Os painéis fotovoltaicos e as baterias são os componentes mais caros de um sistema fotovoltaico, porém os preços diminuíram significativamente nos últimos anos.

A redução dos custos dos painéis solares se deve ao progresso tecnológico, à produção em massa, ao desenvolvimento da cadeia de suprimentos local, à redução dos custos financeiros e à crescente maturidade do setor. No caso das baterias, o avanço tecnológico permitiu melhorar os tipos de baterias e aumentar sua capacidade de armazenamento, o que tornou o investimento mais rentável.

Em alguns países, a legislação permite que o excedente de energia gerada pelo sistema fotovoltaico seja reinjetado na rede elétrica e vendido ao sistema público que se utiliza, para obter créditos de energia. Isto significa que, quando não existe demanda de energia fotovoltaica gerada pelos painéis (por exemplo, quando todos saem para almoçar), a energia gerada pelo sistema fotovoltaico é exportada à rede (nesse caso é necessário

permissão da concessionária).

A energia exportada é medida através de um medidor bidirecional, que mede quando se consome energia e quando se exporta energia. Dependendo da legislação: (i) a energia exportada pode ajudar a reduzir a tarifa mensal (subtrair o total exportado do total consumido); (ii) pode ser convertida em “créditos” de energia (para uso noturno, por exemplo, ou em períodos de alta demanda); ou (iii) pode ser comercializada diretamente.

Este tipo de legislação para “geração distribuída” é cada vez mais comum, e efetivamente permite que o proprietário do sistema fotovoltaico se torne um gerador, bem como um consumidor. A existência desse tipo de legislação é fundamental para determinar se se deve ou não usar um sistema para seu dimensionamento, principalmente em áreas urbanas, pois isso pode melhorar a viabilidade financeira da instalação, sem a necessidade de se usar baterias para armazenar o excedente.

## 2 - Mitigação e adaptação à mudança climática

A energia solar fotovoltaica, por se tratar de uma energia renovável, é uma das principais medidas para mitigar a mudança climática. A substituição gradual de fontes de energia fósseis e poluentes por energia renovável e limpa gera um impacto direto na redução da quantidade de gases de efeito estufa que é descartada no meio ambiente.

Por outro lado, também provê uma alternativa de geração que não é impactada pela mudança climática, como seria o caso das hidrelétricas, sujeitas a secas e variações dos regimes hidrológicos. Nesse contexto, cada vez mais, o investimento em energia solar fotovoltaica é um investimento social e ambientalmente responsável.



## 3 - Conscientizar as novas gerações

A conversão de energia solar em fotovoltaica em uma escola, por exemplo, representa uma grande oportunidade para poder compartilhar com os alunos, pais e toda a comunidade o funcionamento, os componentes e os benefícios do sistema. Portanto, a presença do sistema pode ser utilizada para fins mais ambiciosos, além da geração de energia.

É possível fazer com que os sistemas instalados na própria escola sejam utilizados como amostra prática e sejam integrados como parte do processo de ensino em várias disciplinas, desde sistemas fotovoltaicos como tal, até exemplificação em outros temas comuns como: sol, energia limpa, radiação, inclinação, latitudes, poluição etc. O restante dos módulos deste documento inclui muitas informações, gráficos e tabelas que podem ser utilizados para fortalecer o processo de ensino nessas áreas.

Os alunos podem tornar-se os principais promotores do emprego de tecnologias sustentáveis para gerar energia e do potencial uso dos sistemas fotovoltaicos não somente nas escolas, mas também em suas casas e comunidades.



Adicionalmente, ao criarem consciência de como a energia é gerada, as pessoas prestam maior atenção ao seu uso, o que pode ajudar a fomentar a eficiência energética.

O Banco Interamericano de Desenvolvimento tem desenvolvido algumas experiências interessantes que podem ser aplicadas pelos docentes para fortalecer o ensino da importância das energias renováveis na vida das crianças

Exemplo disto pode ser a **iniciativa Súbete**, que inclui conteúdos audiovisuais.



Como calcular o custo dos Sistemas Fotovoltaicos?

Para calcular o custo dos sistemas fotovoltaicos, é necessário realizar uma análise do investimento inicial necessário, assim como do investimento futuro que será preciso para que o sistema funcione em ótimas condições, o que implica uma análise financeira.



## Investimiento inicial

O investimento inicial, o custo do sistema fotovoltaico, varia em função da tecnologia, do fabricante, da potência nominal, do país e do momento em que se calcula. Por isso é muito difícil apresentar um custo detalhado de um sistema fotovoltaico válido para todos os países da América Latina e Caribe que possa se manter atualizado.

Para poder determinar o custo do sistema, é preciso dimensioná-lo, como se indica no **Módulo 7**.

Cada componente do sistema fotovoltaico – como os painéis, o inversor, as baterias, o suporte dos arranjos de painéis e o restante do sistema<sup>5</sup> – representa um valor diferente no custo total do sistema fotovoltaico. Estes valores vêm evoluindo nos últimos anos.

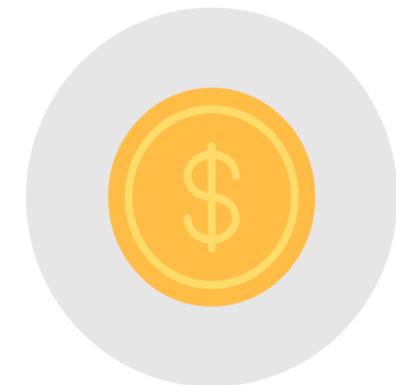
Por exemplo, no contexto brasileiro, em 2017, os custos relativos (em %) dos componentes dos sistemas fotovoltaicos conectados à rede e sem conexão a

<sup>5</sup> Em inglês BOS, balance of system, que inclui qualquer outro componente elétrico complementar, eletrônica de potência, trabalho de instalação, licenças, permissões e qualquer outra coisa necessária para o Sistema Fotovoltaico.

uma rede foram aproximadamente os seguintes **Figuras 7 y 8**<sup>6</sup>.

Os sistemas fotovoltaicos sem conexão a uma rede são geralmente mais caros que os sistemas conectados à rede, principalmente devido à necessidade do sistema de armazenamento em baterias.

Além disso, ao avaliar o custo de um sistema fotovoltaico sem conexão a uma rede, também é importante considerar não apenas os componentes do sistema fotovoltaico, mas também os custos de logística, mão de obra e transporte, já que esses sistemas são geralmente utilizados em lugares afastados.



<sup>6</sup> Este exemplo corresponde ao Brasil em 2017, no entanto, o custo relativo desses componentes pode variar de acordo com os contextos locais em que o projeto é desenvolvido, uma vez que cada país possui diferentes custos, volumes de produção, regimes de importação e impostos.

## Análise financeira

Além do investimento inicial nos componentes e instalação do sistema, é importante realizar uma análise financeira dos mesmos, considerando o investimento de longo prazo, para o qual o custo de operação, manutenção e substituição de seus componentes deve ser analisado considerando seu prazo de vida útil.

No caso de sistemas conectados à rede, os aspectos financeiros mais importantes que devem ser considerados na instalação de um sistema fotovoltaico são a tarifa de energia e os custos iniciais do sistema fotovoltaico. Quanto maior a tarifa de energia e menor o custo do sistema fotovoltaico, mais rápido será o retorno do investimento.

Para sistemas fotovoltaicos sem conexão a uma rede, a análise financeira deve considerar a economia que o sistema fotovoltaico fornecerá ao substituir os geradores existentes que usam combustíveis fósseis (se eles existirem). Se não houver nenhum tipo de fornecimento de energia, a mesma análise deve ser feita, mas comparando as possíveis alternativas de solução.

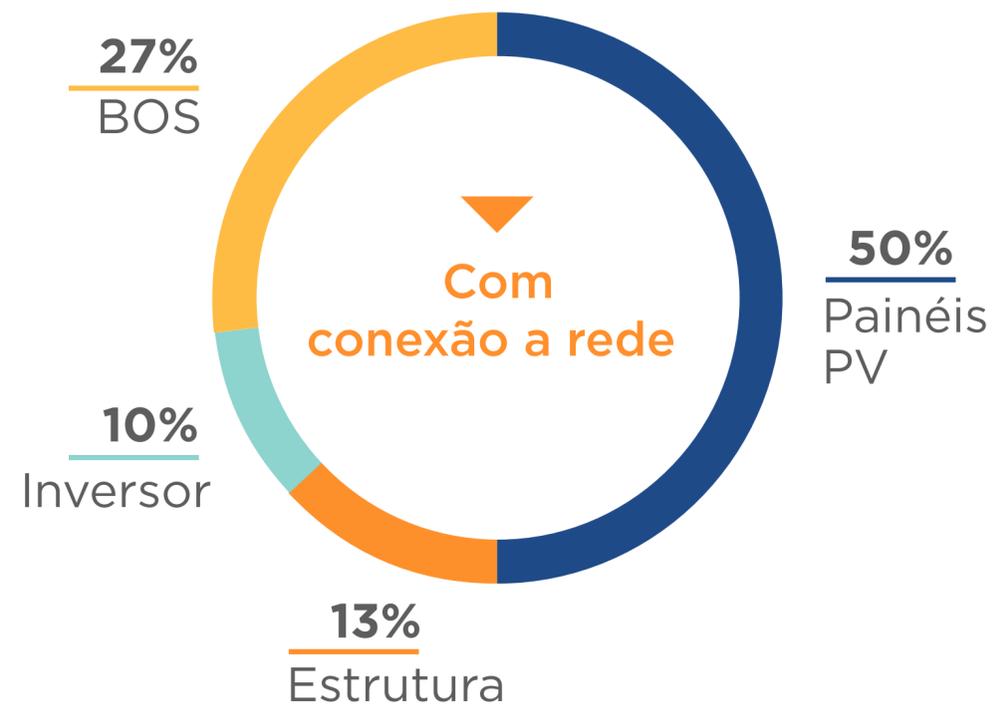


Figura 7: Custos relativos aos componentes de um sistema fotovoltaico conectado à rede no Brasil em 2017. Fonte: Elaboração própria.



Figura 8: Custos relativos dos componentes de um sistema fotovoltaico sem conexão a uma rede no Brasil em 2017. Fonte: Elaboração própria.

Além disso, para realizar uma análise financeira, é importante considerar que, durante o **ciclo de vida do Sistema Fotovoltaico**, alguns componentes devem ser substituídos (como o inversor, as baterias e o controlador de carga).

La Tabela 2 mostra o ciclo de vida dos principais componentes do sistema.

Também se deve considerar os custos da operação de manutenção (O&M), os quais são baixos, mas imprescindíveis. Para a análise financeira, se pode estimar que os custos anuais de O&M em sistemas conectados à rede de um sistema fotovoltaico **geralmente estão em torno de 1 a 2% por ano, e devem ser incluídos nos custos de instalação inicial.**

Nos sistemas fotovoltaicos fora da rede, em particular os que se encontram em áreas afastadas, os custos de manutenção podem ser maiores, porque geralmente, serão utilizadas baterias, que têm uma vida útil mais curta do que o restante dos componentes.

Ao avaliar os aspectos financeiros deste tipo de investimento, também é interessante considerar que o ciclo de vida de um sistema fotovoltaico como um todo é de 25 a 30 anos. Portanto, os custos de energia economizados por um

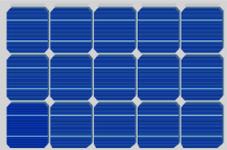
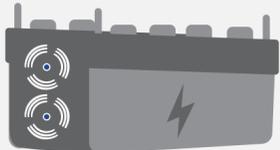
sistema fotovoltaico são um investimento de longo prazo.

A análise financeira mais comum e simples<sup>7</sup> que pode ser feita é a estimativa de um período de retorno simples. O período de retorno calcula em quantos anos o investimento inicial será pago (considerando-se uma taxa de juros zero). O investimento de um sistema fotovoltaico é considerado financeiramente viável quando o período de retorno é inferior a 10-15 anos, uma vez que a maioria dos componentes do sistema deve ser substituída dentro desse período, conforme indicado na Tabela 2.

<sup>7</sup> Existem também outros métodos de avaliação que podem ser utilizados para calcular a viabilidade financeira ou econômica de um sistema fotovoltaico. Nomeadamente: Valor Líquido Corrente (VNA), Taxa Interna de Retorno (TIR) e Tempo de Retorno Descartado (TRD). O VPL pode ser utilizado para mostrar a diferença líquida entre os benefícios e custos de um sistema de energia e é calculado pela diferença entre o valor presente dos benefícios e o valor presente dos custos. A TIR é calculada por um processo iterativo para selecionar a Taxa de Desconto (TD) para a qual o valor líquido dos benefícios e os custos descontados são zero. O período de TRD é o tempo mínimo necessário para recuperar os custos de investimento considerando um DT.

**Tabela 2**

**Ciclo de vida esperado dos diferentes componentes do sistema fotovoltaico.**

Componente do Sistema Fotovoltaico		Ciclo de vida
 <b>Painel fotovoltaico</b>		<b>25 a 30</b> anos
 <b>Inversor</b>		<b>5 a 15</b> anos
 <b>Baterías</b>	<i>Plomo-ácido</i>	<b>3 a 5</b> anos
	<i>Ion litio</i>	<b>8 a 10</b> anos
 <b>Controlador de carga</b>		<b>10 a 15</b> anos

Para calcular o período de retorno de um sistema fotovoltaico, recomenda-se realizar as seguintes etapas:

### **ETAPA 1: Calcular os custos iniciais do sistema fotovoltaico**

Para estabelecer o custo do sistema, é necessário inicialmente conhecer a sua potência nominal.

Os custos dos painéis fotovoltaicos se apresentam em preço/potência nominal (USD/Wp, por exemplo) e os preços podem variar de acordo com o lugar e o fornecedor. O custo dos demais componentes do sistema fotovoltaico não têm, necessariamente, uma relação direta com a potência nominal do sistema.

Ao calcular os custos, é importante incluir todos os custos de instalação, transporte, alfândega e impostos etc.

### **ETAPA 2: Calcular a economia de energia**

Uma vez conhecida a produção de eletricidade fotovoltaica por ano, pode-se calcular a economia anual.

Para sistemas conectados à rede, a quantidade de energia que um sistema produz durante um ano inteiro é a quantidade de energia convencional que não precisou ser comprada da rede. No caso de existir no país regulamentação

sobre geração distribuída que permita obter créditos de energia ou vender a energia gerada, pode-se considerar que toda a energia produzida pode ser creditada e, portanto, a tarifa de energia local deve ser multiplicada pela energia gerada no local e, assim, a economia anual é determinada. Caso não haja possibilidade de se vender o excedente de energia, será necessário estimar o percentual que pode ser considerado como uma economia da energia produzida, uma vez que o excedente seria transferido para a rede sem benefício.

Para sistemas sem conexão a uma rede, e que possuem um sistema de geração baseado em combustíveis fósseis, as economias estão relacionadas à redução do consumo de combustível. Portanto, uma vez identificada a quantidade de energia que o sistema fotovoltaico pode produzir, pode-se saber qual é a redução do consumo de combustível em um ano e traduzi-lo em economia. No caso de sistemas isolados que não possuam geração existente, a comparação de economias deve ser feita comparando-se os custos de geração da próxima alternativa viável (por exemplo, um gerador a diesel).

### **ETAPA 3: Calcular o período de retorno simples**

A última etapa é muito simples: o custo inicial do sistema fotovoltaico deve ser dividido pela economia anual. O valor resultante indicará o número de anos que serão necessários para pagar o investimento inicial. Quanto menos anos forem necessários, será mais atrativo, do ponto de vista financeiro, usar um sistema fotovoltaico.

É importante lembrar que o período de retorno simples é uma estimativa aproximada da realidade. No entanto, este procedimento pode ser muito eficaz na obtenção de uma análise preliminar rápida que forneça uma ideia geral do período de retorno que pode ser esperado.

**Tabela 3** | Etapas necessárias para calcular o período de retorno de um sistema fotovoltaico

Etapa 1	Etapa 2	Etapa 3
Calcular os custos iniciais de um sistema fotovoltaico	Calcular a economia de energia	Calcular o período de retorno simples

M5

O que é preciso para implantar um Sistema Fotovoltaico?

Sistemas fotovoltaicos podem ser utilizados em qualquer lugar do planeta (com exceção dos dois polos), no entanto, algumas áreas geográficas têm melhores condições do que outras, seja devido à intensidade da radiação solar ou ao número de horas de exposição ao sol.

Na América Latina e Caribe os níveis de irradiação são muito altos, devido à posição geográfica da região, o que torna os sistemas fotovoltaicos viáveis, mesmo em períodos de inverno ou em estações chuvosas.

Além disso, para usar sistemas fotovoltaicos, você deve considerar outros aspectos, como ter superfície solar suficiente para instalar os painéis e dar a eles uma boa orientação e inclinação.

Como quando se instala qualquer outro sistema, ao instalar sistemas fotovoltaicos em edifícios existentes, será necessário assegurar que a instalação elétrica interna do edifício esteja em boas condições e que a estrutura possa suportar o peso dos painéis fotovoltaicos.

## Irradiação solar da região

O principal critério que deve ser considerado para definir a instalação do sistema fotovoltaico é a irradiação solar da área em que o projeto está localizado, uma vez que a produção de energia de um sistema fotovoltaico está diretamente relacionada à quantidade de radiação solar que incide sobre o arranjo de painéis.

Há muita bibliografia e ferramentas na internet para saber o que é irradiação e qual seu nível em certas áreas, e assim quantificar a média de radiação solar que pode existir no arranjo de painéis por dia em um ano. A irradiação solar é a energia do sol incidente numa superfície horizontal por unidade de área e é normalmente expressa usando uma unidade de kWh/m<sup>2</sup>.

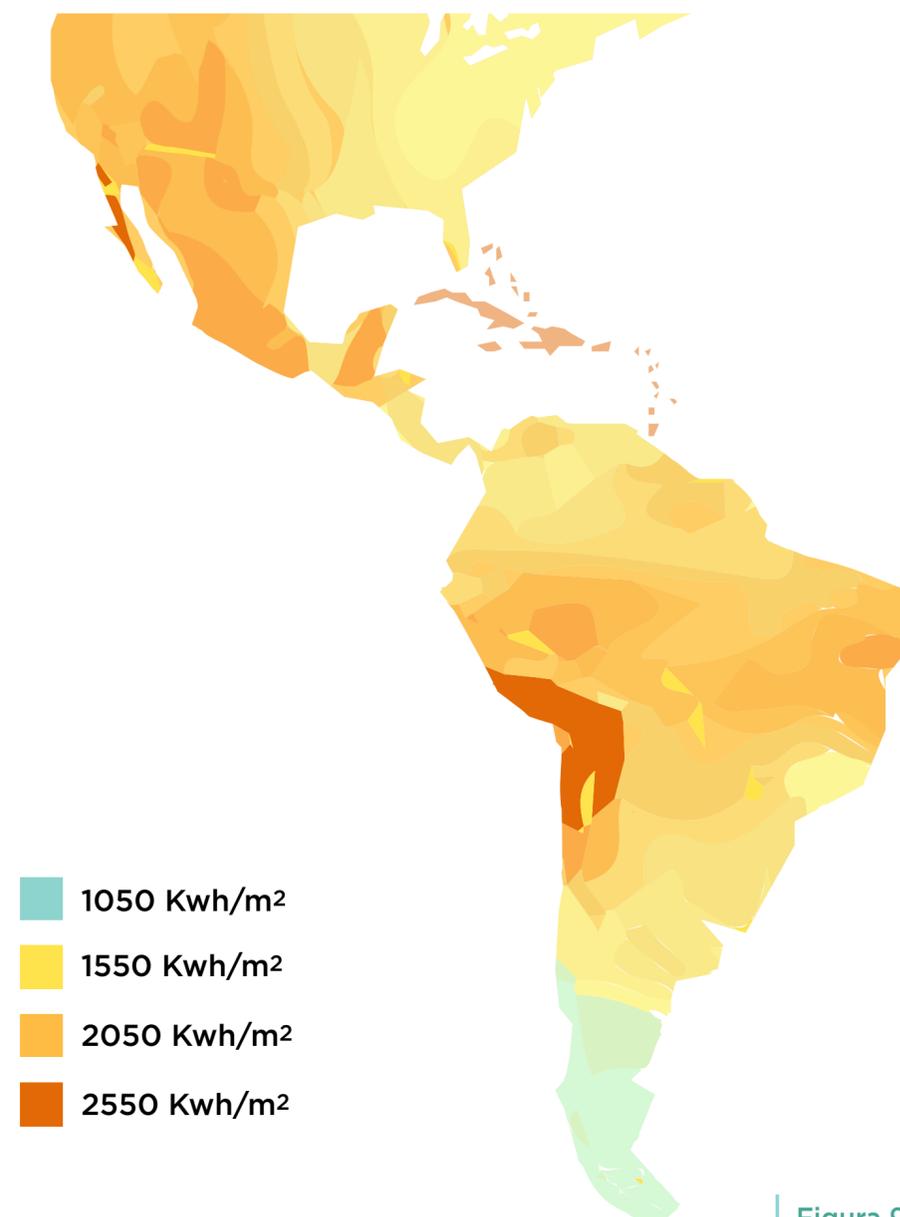


Figura 9: Mapa de Irradiação solar da América Latina e Caribe  
Fonte: International Renewable Energy Agency (IRENA).

A tabela a seguir mostra a média anual de irradiação solar horizontal de acordo com a inclinação por latitude em algumas cidades da América Latina e Caribe. Estes valores indicam a irradiação solar incidente em um arranjo de painéis montados sob condições ótimas de orientação e ângulo de inclinação para a latitude dessa cidade<sup>8</sup>.

País	Cidade	(KWh/m <sup>2</sup> /dia)
Argentina	Buenos Aires	5,34
	Córdoba	5,77
	Mendoza	6,14
Belize	Belmopán	5,01
Bolívia	La Paz	5,91
	Santa Cruz de la Sierra	5,58
Brasil	Belo Horizonte	5,60
	Brasília	5,83
	Curitiba	4,72
	Florianópolis	4,95
	São Paulo	4,87
	Rio de Janeiro	5,26
Chile	Calama	7,18
	Concepción	5,46
	Santiago	6,03
	Valparaíso	5,30
Colômbia	Bogotá	5,01
	Cali	4,94
	Medellín	4,96
Costa Rica	San José	5,01
Cuba	La Habana	5,30
Rep. Dominicana	Santo Domingo	5,24

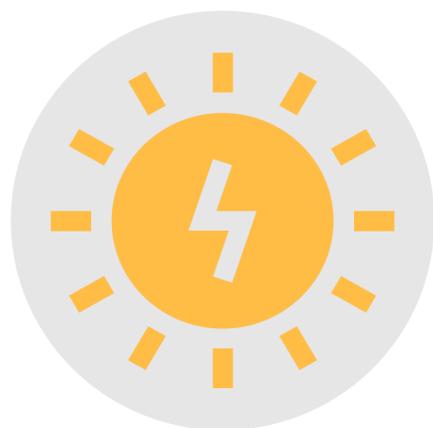
**Tabela 4**

Média anual de irradiação solar segundo a inclinação por latitude em algumas cidades da América Latina e Caribe

País	Cidade	(KWh/m <sup>2</sup> /dia)
Equador	Quito	5,12
El Salvador	San Salvador	6,11
Guatemala	Cidade da Guatemala	5,67
Honduras	Tegucigalpa	5,21
Jamaica	Kingston	5,51
México	Cidade do México	5,33
	Guadalajara	5,87
	Hermosillo	6,43
Nicarágua	Manágua	5,61
Panamá	Cidade do Panamá	5,59
Paraguai	Assunção	5,76
Perú	Arequipa	6,63
	Cuzco	5,76
	Lima	4,88
Porto Rico	San Juan	5,34
Suriname	Paramaribo	4,80
Uruguai	Montevidéu	5,11
Venezuela	Caracas	5,30

Fonte: Estes valores anuais de irradiação solar foram fornecidos pela base de dados de resolução moderada do NREL (Laboratório Nacional para Energias Renováveis), disponível no site do [SWERA \(Avaliação dos Recursos de Energia Solar e Eólica\)](#).

<sup>8</sup> Esta informação está disponível na internet. Um exemplo de uma fonte on-line é o mapa interativo de irradiação solar e uma compilação de dados da [Avaliação de Recursos de Energia Eólica e Solar \(SWERA\)](#).



## Superfície ensolarada

Deve-se contar com área suficiente e livre em parte do terreno para instalar painéis solares, e estes precisam receber total incidência solar, pelo menos das 9 às 17 horas.

É necessário levar em conta que os objetos que causem sombras, como as construções vizinhas, árvores, postes, rede elétrica, chaminés, tanques de água e, inclusive, outras partes de painéis, podem reduzir significativamente a geração de energia de um sistema fotovoltaico.

Portanto, o ideal é o arranjo de painéis estar livre de qualquer tipo de sombreamento das 9 às 17 horas durante o ano inteiro, pois neste horário é que a radiação solar está mais intensa, e, em consequência, ocorre a máxima produção de energia fotovoltaica.

A acumulação de terra sobre a superfície dos painéis fotovoltaicos também causa sombra. Em razão disso, a superfície dos painéis deve estar sempre limpa.

### Cálculo da superfície necessária

A superfície necessária para o arranjo de painéis depende, principalmente, da demanda de energia da edificação ou do que se pretenda produzir (o que se explicará com mais detalhes no **Módulo 7**), as características do painel fotovoltaico (potência nominal e dimensões), a potência máxima do sistema fotovoltaico e a separação entre os painéis fotovoltaicos.

Por exemplo, se o painel fotovoltaico selecionado tiver uma potência nominal de 250 Wp e uma superfície de 1,6 m<sup>2</sup> (estes dados se encontram na ficha de especificação do painel fotovoltaico), a potência por superfície para cada painel fotovoltaico é calculada da seguinte maneira:

$$\frac{\text{Potência nominal}}{\text{superfície do painel}} = \text{potência por superfície de painel}$$
$$\frac{250 \text{ Wp}}{1,60 \text{ m}^2} = 156,25 \text{ Wp/m}^2$$

Se o arranjo de painéis tem uma potência máxima de 4.000 Wp, a superfície total necessária dos painéis fotovoltaicos será:

$$\frac{\text{Potência máxima}}{\text{potência por superfície do painel}} = \text{superfície necessária}$$
$$\frac{4000 \text{ Wp}}{156,25 \text{ Wp/m}^2} = 25,6 \text{ m}^2$$

Também se pode considerar o espaço entre os painéis fotovoltaicos, informação que se obtém consultando o fabricante do painel fotovoltaico. Em geral, se pode considerar um espaço de 0,20 m entre os painéis fotovoltaicos, que se deve somar à superfície total do arranjo de painéis.



## Orientação e inclinação adequada da superfície

A superfície para receber os painéis fotovoltaicos deve ter a maior incidência de radiação solar durante todo o ano. Em razão disso, os painéis devem estar orientados em direção à linha do Equador para receber a máxima quantidade de radiação solar disponível. Por isso, no caso do hemisfério Sul, a orientação ótima é o hemisfério Norte.

Se a superfície (do telhado) não tem a orientação adequada ou é muito inclinada, é possível que os suportes dos arranjos dos painéis sejam desenhados para que tenham uma orientação adequada. Neste caso, é necessário que os suportes não gerem sombras nos painéis vizinhos.

Além da orientação adequada, os arranjos dos painéis devem ser instalados com a inclinação adequada em função do seu posicionamento geográfico, como se indica no **Módulo 7**.

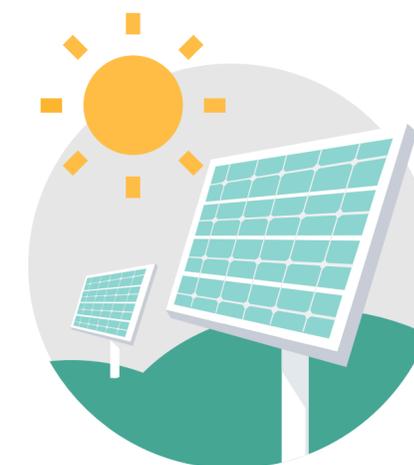
## Boas condições na instalação elétrica interna

Caso se trate de uma instalação de um sistema fotovoltaico em uma construção existente, é necessário verificar se o restante da instalação elétrica está em boas condições. Do contrário, o sistema de painéis fotovoltaicos não trabalhará de forma eficiente e, obviamente, sua instalação pode sofrer consequências e riscos das condições das instalações anteriores.

Nesse caso, antes de se decidir por instalar um sistema fotovoltaico, é recomendável consultar um profissional para que ele avalie o estado da instalação elétrica interna existente e a necessidade ou não de se fazer alguma modificação.

Nos casos em que se instale sistema fotovoltaico conectado à rede, é importante verificar que o medidor de eletricidade seja bidirecional (isto normalmente é feito pela empresa distribuidora de eletricidade). Dessa maneira, será possível medir a energia

que entra do sistema fotovoltaico para a rede, e também a energia que a rede está repassando.





MG

Onde instalar os componentes dos Sistemas Fotovoltaicos?

A localização dos diferentes componentes do sistema deve estar prevista na etapa inicial do projeto do edifício, no caso de construções novas. Quando o sistema é instalado em edificações existentes, deve-se assegurar que existam áreas onde estes componentes dos sistemas fotovoltaicos possam ser colocados, já que, em alguns casos, as possibilidades de instalação são limitadas.



## Painéis fotovoltaicos

Os painéis fotovoltaicos ou os arranjos de painéis podem ser montados no solo ou em telhados. Em ambos os casos, devem-se selecionar suportes adequados que ofereçam proteção, apoio e acesso solar para os painéis fotovoltaicos.

Geralmente, os telhados são os lugares mais propícios para instalar os arranjos de painéis porque estão em posições altas e normalmente fornecem uma melhor exposição solar para os painéis. Além do que, o telhado também é uma boa opção quando não há disponibilidade de espaço no solo (isso, geralmente, ocorre quando a edificação está em zona urbana).

Entretanto, os telhados inclinados representam um grande perigo de deslocamento de placas e, portanto, é muito importante considerar medidas de proteção durante os procedimentos de instalação e manutenção do arranjo de painéis.

Os arranjos de painéis montados sobre o solo são uma boa solução quando a instalação em telhado não é possível, ou quando há bastante disponibilidade de

espaço no solo (geralmente, em zonas mais afastadas).

A principal vantagem dos arranjos de painéis montados no solo é que sua inclinação e orientação são menos restritivas do que quando se utiliza os telhados. Além disso, não há perigo de riscos com altura durante os procedimentos de instalação e manutenção. Entretanto, os painéis montados no solo são mais acessíveis ao vandalismo, ao crescimento da vegetação no entorno, à acumulação de pó e ao sombreamento sobre a instalação causado por novas construções que possam surgir no futuro.

Também se deve considerar outros detalhes nos arranjos de painéis no solo: restrições de zoneamento e do uso da terra, o tipo de solo e requisitos mecânicos para instalação dos suportes, zonas de inundação e drenagem adequada, cercas e equipamentos de segurança, assim como o aterramento das instalações.



**1** Sistema de montagem em telhado

Utiliza suportes de metal ou madeira que se fixam na cobertura para apoiar barras sobre as quais se fixam os painéis fotovoltaicos.



**2** Sistema de montagem em poste

Utiliza suportes montados na parte superior de um poste. Este sistema é comum em sistemas isolados.



**3** Sistemas de montagem no solo

Utiliza, normalmente, suportes colocados no nível do terreno. Os painéis fotovoltaicos se fixam sobre um suporte de metal ou de madeira.

Figura 10: Tipos de sistemas de montagem dos arranjos dos painéis.

### Capacidade de sustentação do telhado

No caso de o lugar escolhido ser o telhado, é importante assegurar-se de que a estrutura (seja nova ou existente) possa suportar o peso do arranjo dos painéis e seus suportes metálicos, assim como o peso das pessoas responsáveis pela sua instalação e manutenção.

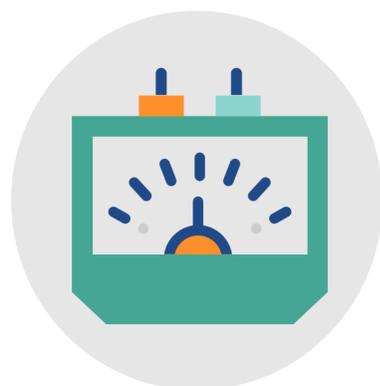
Portanto, é muito importante avaliar as condições estruturais do telhado e determinar se pode suportar a carga adicional. Nos casos em que se está instalando sobre construções existentes, deve-se consultar um profissional capacitado para avaliar as condições estruturais do telhado. Geralmente, um arranjo de painéis com seus suportes adicionará aproximadamente 20 kg/m<sup>2</sup> de carga no telhado.

Por outro lado, para zonas de condições climáticas extremas, com fortes ventos e furacões, por exemplo, se deve considerar e calcular algum tipo de reforço para os arranjos e os suportes. Essa preocupação é importante também quando se trata de instalar sistemas montados sobre postes ou suportes do solo.

## Tabela 5

Vantagens e desvantagens de cada tipo de sistema de montagem

Sistemas de montagem	Vantagens	Desvantagens
<b>Telhado</b>	Menos possibilidade de sombra; Proteção contra animais e vandalismo.	Risco de queda durante a instalação e manutenção; As condições estruturais do telhado que devem suportar o peso adicional permanente do arranjo de painéis e seus suportes e o peso transitório dos instaladores e responsáveis pela manutenção; A instalação e a manutenção são mais difíceis por estar em um lugar elevado.
<b>Poste</b>	Fácil de instalar; Menos possibilidade de sombreamento; Proteção contra animais e vandalismos.	Adequado somente para pequenos sistemas fotovoltaicos; A instalação e a manutenção são mais difíceis por estar em um lugar elevado.
<b>Terreno</b>	Fácil de instalar; Fácil manutenção; Adequado para qualquer tamanho de sistema fotovoltaico; Suporte estrutural robusto.	Possibilidade de sombreamento futuro; Mais vulnerável a situações de vandalismo.



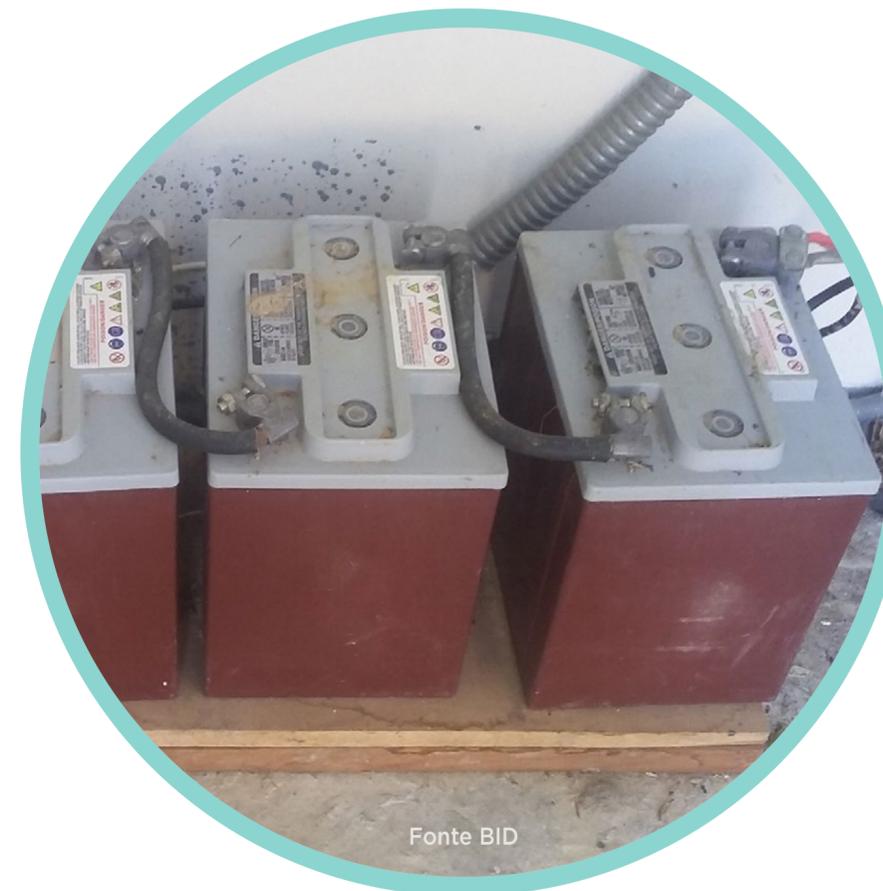
## Outros componentes

O restante dos componentes elétricos do sistema fotovoltaico, incluindo inversores, controladores de carga, baterias e qualquer outro equipamento elétrico relacionado com o sistema devem ser instalados o mais perto possível do arranjo de painéis para minimizar o comprimento dos cabos e as consequentes perdas elétricas, os custos de instalação e, também, para fornecer acessibilidade durante os procedimentos de instalação e manutenção de todo o sistema fotovoltaico.

Outras considerações que se deve ter por conta da localização do restante do sistema:

- » Evitar instalar equipamentos elétricos em lugares expostos a altas temperaturas, raios solares, chuva e umidade;
- » Permitir adequada ventilação e/ou sistema de refrigeração artificial aos equipamentos que gerem calor, como inversores, baterias e sistemas de carga;

- » Proteger todos os componentes elétricos contra pó, chuva, umidade, produtos químicos e outros fatores ambientais;
- » Lembrar que alguns equipamentos têm condições especiais que devem ser verificadas no manual de instrução do fabricante. Todo o dimensionamento e instalação do sistema fotovoltaico deverá ser feito por pessoal técnico capacitado.



Fonte BID

M7

Como dimensionar os Sistemas Fotovoltaicos?



Para dimensionar o tamanho do sistema fotovoltaico e de seus componentes, é necessário realizar alguns cálculos, além de conhecer as condições de demanda e as características da rede a ser utilizada e dos componentes.

O cálculo deve ser realizado por um profissional especializado. Entretanto, abaixo apresentamos alguns cálculos básicos adequados para uma avaliação preliminar da viabilidade de um sistema fotovoltaico.



## Sistemas Fotovoltaicos conectados à rede elétrica

Antes de dimensionar o sistema, é necessário entender como funcionam em cada país as regulamentações para se conectar um sistema fotovoltaico à rede, em razão de existirem requisitos específicos. Da mesma maneira, é preciso confirmar as regulações em relação à possibilidade de se obter receita ou crédito pelo excedente de energia gerada. No caso do Brasil, não se comercializa energia excedente, mas se acumula crédito por cinco anos.

Também se deve investigar a qualidade das condições da rede para assegurar-se de que o sistema fotovoltaico pode funcionar corretamente quando está conectado a ela.

### ETAPA 1: Identificação das condições ideais para a instalação do sistema fotovoltaico

As condições ótimas para instalação de sistemas fotovoltaicos consideram a orientação (azimut) e a inclinação (ângulo de inclinação) do arranjo de painéis, de forma a maximizar a incidência da radiação solar sobre os painéis durante todo o ano. As estruturas fotovoltaicas devem estar orientadas em direção à linha do Equador para receber a quantidade máxima de irradiação solar disponível na região. Quer dizer, para uma orientação ótima no hemisfério Sul, caso do Brasil, as instalações devem estar voltadas para o Norte.

O ângulo de inclinação do arranjo de painéis é o ângulo entre a superfície dos painéis e um plano horizontal. Geralmente, o ângulo de inclinação ótimo para o arranjo dos painéis é igual à latitude local.

Na **Tabela 7** mostra-se a latitude e, por conseguinte, a orientação e o ângulo de inclinação recomendado para o arranjo de painéis em algumas cidades da região.

Por exemplo, as condições ótimas para um arranjo de painéis instalados em Brasília, capital do Brasil (Latitude = 15.48° S), devem ter um ângulo de inclinação de aproximadamente 15° e orientação Norte.

É importante destacar que os fabricantes de painéis fotovoltaicos não recomendam estruturas fotovoltaicas instaladas com

ângulos de inclinação menores que 10°. Portanto, se a escola estiver localizada a uma latitude menor que 10°, o ângulo de inclinação recomendado para a arranjo de painéis é 10°.

### ETAPA 2: Identificação da demanda de energia do edifício

Calcular o consumo de energia de uma edificação é um fator importante para dimensionar o sistema fotovoltaico. Os sistemas fotovoltaicos conectados à rede podem ser dimensionados para satisfazer uma parte ou a totalidade do consumo da edificação. Esta decisão dependerá das necessidades de energia e das expectativas em relação ao sistema fotovoltaico.

Além disso, o tempo de consumo deve ser verificado. Por exemplo, uma escola pode ter a maior parte do seu consumo durante o dia e os sistemas fotovoltaicos podem ajudar a reduzir o consumo da rede durante o dia. Uma escola noturna, por outro lado, terá seu consumo à noite, quando não há radiação solar e geração, para a qual a energia gerada durante o dia é desperdiçada. Neste último caso, se houvesse regulamentações sobre a geração distribuída no país, ter sistemas fotovoltaicos permitiria ganhar créditos de energia ou vender a energia gerada.

**Tabela 6** | Etapas necessárias para dimensionar um sistema fotovoltaico conectado à rede.

Etapa 1	Etapa 2	Etapa 3	Etapa 4	Etapa 5	Etapa 6
Identificação das condições ideais para a instalação do sistema fotovoltaico	Identificação da demanda de energia do edifício	Avaliação da quantidade de irradiação solar	Definição da potência nominal do sistema fotovoltaico	Definição da quantidade de painéis fotovoltaicos necessários	Definição do tamanho do inversor

País	Cidade	Latitude local	Orientação e ângulo de inclinação recomendados para o arranjo de painéis					
Argentina	Buenos Aires	34°36'S	34° orientação norte	Equador	Quito	0°15'S	10° orientação norte	
	Córdoba	31°25'S	31° orientação norte	El Salvador	San Salvador	13°41'N	13° orientação sul	
	Mendoza	32°53'S	32° orientação norte	Guatemala	Cidade da Guatemala	14°37'N	14° orientação sul	
Bahamas	Nassau	25°4'N	25° orientação sul	Haití	Porto Príncipe	8°32'N	10° orientação sul	
Barbados	Bridgetown	13°06'N	13° orientação sul	Honduras	Tegucigalpa	14°06'N	14° orientação sul	
Belize	Belmopán	17°12'N	17° orientação sul	Jamaica	Kingston	17°59'N	17° orientação sul	
Bolívia	La Paz	16°30'S	16° orientação norte	México	Cidade do México	19°26'N	19° orientação sul	
	Santa Cruz de la Sierra	17°48'S	17° orientação norte		Guadalajara	20°40'N	20° orientação sul	
Brasil	Belo Horizonte	19°55'S	19° orientação norte		Hermosillo	29°06'N	29° orientação sul	
	Brasília	15°48'S	15° orientação norte		Manágua	12°08'N	12° orientação sul	
	Curitiba	25°25'S	25° orientação norte		Panamá	Cidade do Panamá	8°59'N	10° orientação sul
	Florianópolis	27°50'S	27° orientação norte		Paraguai	Assunção	25°17'S	25° orientação norte
	São Paulo	23°33'S	23° orientação norte	Perú	Arequipa	16°24'S	16° orientação norte	
	Rio de Janeiro	22°55'S	22° orientação norte	Rep. Dominicana	Cuzco	13°32'S	13° orientação norte	
Chile	Calama	22°28'S	22° orientação norte		Lima	12°03'S	12° orientação norte	
	Concepción	36°50'S	36° orientação norte		Trujillo	8°6'S	10° orientação norte	
	Santiago	33°27'S	33° orientação norte		Santo Domingo	18°28'N	18° orientação sul	
	Valparaíso	33°03'S	33° orientação norte		Santiago de los Caballeros	19°28'N	19° orientação sul	
Colômbia	Bogotá	4°36'N	10° orientação sul	Suriname	Paramaribo	5°52'N	10° orientação sul	
	Cali	3°25'N	10° orientação sul	Trinidad y Tobago	Puerto España	10°40'N	10° orientação sul	
	Medellín	6°14'N	10° orientação sul	Uruguai	Montevidéu	34°53'S	34° orientação norte	
Costa Rica	San José	9°56'N	10° orientação sul	Venezuela	Caracas	10°30'N	10° orientação sul	

**Tabela 7** Latitude e ângulo de inclinação recomendado para arranjo de painéis em algumas cidades da América Latina e Caribe

**Tabela 8** | Consumo de energia de aparelhos domésticos mais utilizados.

Equipamentos	Potência (w)	Tempo de operação (h/dia)	Energia (kwh/dia)
Condicionador de ar	600	8	<b>4,8</b>
Ventilador de teto	73	8	<b>0,584</b>
Computador	62,5	8	<b>0,5</b>
Chuveiro elétrico	5500	0,5	<b>2,75</b>
Lâmpada fluorescente	23	5	<b>0,115</b>
Congelador/Freezer	75	24	<b>1,8</b>
Estufa elétrica	1600	8	<b>12,80</b>
Modem de Internet	8	8	<b>0,064</b>
Micro-ondas	1200	0,5	<b>0,6</b>
Monitor	55	8	<b>0,440</b>
Laptop	20	8	<b>0,160</b>
Impressora	15	1	<b>0,015</b>
Projeter	24	1	<b>0,024</b>
Rádio	5	10	<b>0,05</b>
Geladeira	55	24	<b>1,32</b>
Roteador	6	8	<b>0,048</b>
Escaner	9	1	<b>0,009</b>
Caixa de som	110	3	<b>0,33</b>
TV 32"	95	5	<b>0,457</b>
Telefone sem fio	3	24	<b>0,072</b>

### Para construções existentes

Esta etapa pode ser realizada revisando as faturas de eletricidade do último ano. Ler a fatura de eletricidade da edificação pode mostrar o perfil de consumo de energia mensal do estabelecimento e ajudar a calcular a quantidade total de energia a ser consumida durante todo o ano.

O tamanho do sistema fotovoltaico será baseado no consumo de energia anual.

Por exemplo, uma escola consome em média 1000 kWh por ano. Se o objetivo é dimensionar o sistema fotovoltaico para atender à metade de sua demanda, deve-se dimensioná-lo para gerar 500 kWh por ano.

De qualquer modo, ao determinar a energia necessária, é importante considerar também a expansão futura do consumo de energia.

### Para construções novas

Para construções novas, pode-se calcular o uso de energia a partir da escolha dos equipamentos e dos perfis de uso de carga esperada (potência) x horas de uso anual.

Para isso, deve-se fazer um levantamento de todos os equipamentos elétricos que serão utilizados, sua potência e seu tempo de operação por dia em horas. Ao multiplicar a potência dos equipamentos, expressada em Watts, por seu tempo de operação se obtém o consumo de energia diária em Watts-hora.

Se este procedimento for realizado com todos os aparelhos elétricos e seu consumo for adicionado, um cálculo estimado da demanda diária pode ser obtido. Não é necessário que os valores obtidos sejam exatos, mas grandes diferenças podem causar distorções nos cálculos do tamanho do sistema; portanto, recomenda-se ser conservador. Na Tabela 8 mostram-se alguns valores de referência para esta etapa.

### ETAPA 3: Avaliação de irradiação solar

A irradiação solar é a energia do sol incidente sobre uma superfície por área de unidade em um período de tempo, e se expressa normalmente em kWh/m<sup>2</sup>/dia.

A quantidade de irradiação solar que brilha sobre o conjunto de painéis está diretamente relacionada com a produção de energia de um sistema fotovoltaico. Portanto, é muito importante considerar a instalação dos arranjos de painéis sem nenhum tipo de objeto que possa lhes causar sombra. Sempre que possível, as condições ótimas de orientação e inclinação devem ser observadas segundo o explicado na **ETAPA 1**.

A esta altura do processo de definição do tamanho do sistema fotovoltaico, o objetivo é quantificar o valor médio da irradiação solar que brilha sobre o arranjo de painéis por um dia em um ano.

Na **Tabela 4** mostra-se a irradiação média anual segundo a inclinação por latitude em algumas cidades da América Latina e Caribe<sup>9</sup>. Esses valores indicam a irradiação

<sup>9</sup> Informações semelhantes de várias cidades podem ser encontradas gratuitamente na Internet. Um exemplo de fonte on-line é o mapa interativo de irradiação solar e uma compilação de dados da **Avaliação de Recursos de Energia Solar e Eólica (SWERA)**.

## Tabela 9

Potência nominal (em Wp) necessária para suprir uma determinada demanda de energia. Abaixo, as correspondentes condições de irradiação solar.

		Média anual de irradiação solar segundo a latitude (Wp/m <sup>2</sup> /DIA)								
		2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0
Demanda de Energia Anual (KWh/ano)	1000	1,83	1,46	1,22	1,04	0,91	0,81	0,73	0,66	0,61
	1500	2,74	2,19	1,83	1,57	1,37	1,22	1,10	1,00	0,91
	2000	3,65	2,92	2,44	2,09	1,83	1,62	1,46	1,33	1,22
	2500	4,57	3,65	3,04	2,61	2,28	2,03	1,83	1,66	1,52
	3000	5,48	4,38	3,65	3,13	2,74	2,44	2,19	1,99	1,83
	3500	6,39	5,11	4,26	3,65	3,20	2,84	2,56	2,32	2,13
	4000	7,31	5,84	4,87	4,17	3,65	3,25	2,92	2,66	2,44
	4500	8,22	6,58	5,48	4,70	4,11	3,65	3,29	2,99	2,74
	5000	9,13	7,31	6,09	5,22	4,57	4,06	3,65	3,32	3,04
	5500	10,05	8,04	6,70	5,74	5,02	4,46	4,02	3,65	3,35
	6000	10,96	8,77	7,31	6,26	5,48	4,87	4,38	3,99	3,65
	6500	11,87	9,50	7,91	6,78	5,94	5,28	4,75	4,32	3,96
	7000	13,70	10,23	8,52	7,31	6,39	5,68	5,11	4,65	4,26
	7500	12,79	10,23	8,52	7,31	6,39	5,68	5,11	4,65	4,26
	8000	14,61	11,69	9,74	8,35	7,31	6,49	5,84	5,31	4,87
	8500	15,53	12,42	10,35	8,87	7,76	6,90	6,21	5,65	5,18
9000	16,44	13,15	10,96	9,39	8,22	7,31	6,58	5,98	5,48	
9500	17,35	13,88	11,57	9,92	8,68	7,71	6,94	6,31	5,78	
10 000	18,26	14,61	12,18	10,44	9,13	8,12	7,31	6,64	6,09	

Fonte: Grupo de Pesquisa Estratégica em Energia Solar da Universidade Federal de Santa Catarina - **FOTOVOLTAICA-UFSC**.

solar incidente sobre um arranjo de painéis montado em condições ótimas de orientação e inclinação para a latitude de cada cidade.

#### **ETAPA 4: Definição da potência nominal do sistema fotovoltaico**

Nesta etapa, deve-se conhecer a demanda de energia anual da escola, como também a irradiação solar anual incidente sobre o arranjo de painéis. **Tabela 9** mostra-se uma aproximação da potência nominal que um sistema fotovoltaico pode ter para suprir a necessidade de energia de uma escola nas condições de irradiação solar correspondente.

Na segunda coluna da **Tabela 9** mostra-se o valor da demanda de energia anual da escola<sup>10</sup>. Ao comparar esta demanda de energia com o nível de irradiação do lugar, mostrado na parte superior da tabela, se obterá um primeiro cálculo aproximado da potência nominal necessária para o sistema fotovoltaico em kWp.

Este é um cálculo muito aproximado, mas dará uma boa percepção do tamanho do sistema fotovoltaico requerido para suprir a necessidade de energia anual da escola.

<sup>10</sup> Para sistemas com conexão à rede, geralmente se emprega a demanda de energia anual através da somatória das faturas mensais. De todo modo, alguns profissionais realizam o cálculo com base em um dia médio, porém empregando outra tabela.

#### **ETAPA 5: Definição da quantidade de painéis fotovoltaicos necessários**

Para saber quantos painéis fotovoltaicos serão necessários para fornecer essa potência nominal, será preciso conhecer a potência nominal de cada painel disponível. A quantidade de painéis necessários é o resultado da divisão da potência nominal total do sistema fotovoltaico pela potência nominal de um painel.

$$\frac{\text{Potência nominal requerida}}{\text{Potência nominal de um painel}} = \text{Quantidade de painéis necessários}$$

Na maioria dos casos, o resultado será um número decimal, o que significa que deve ser arredondado para cima ou para baixo. Geralmente, o arredondamento é a opção mais segura, pois garante o fornecimento de toda a energia necessária.

Para um sistema fotovoltaico de 1975 Wp que utiliza painéis fotovoltaicos com uma classificação de 275 Wp por painel, o resultado é igual a 7,18. Como o resultado é muito próximo de 7, ele pode ser arredondado para baixo.

Para um sistema com os mesmos 1975 Wp que utiliza painéis fotovoltaicos de 110 Wp por painel, o resultado é de 17,95, que é muito próximo de 18. Neste caso, seria recomendado arredondar excessivamente, pois seria um risco escolher qualquer coisa para abaixo desse número.

Quando o resultado não é claro, normalmente o arredondamento é a melhor opção.



Fonte BID

## ETAPA 6: Definição do tamanho do inversor

O tamanho do inversor dependerá da potência nominal do sistema fotovoltaico e das características elétricas dos painéis fotovoltaicos adotados.

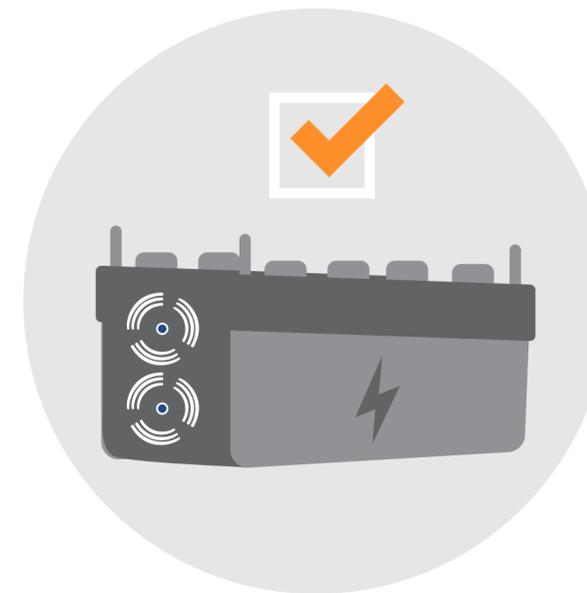
Como regra geral, para dimensionar o inversor, a potência deste deve fornecer o total da potência nominal do sistema fotovoltaico. Às vezes, será necessário mais de um inversor, e essa decisão dependerá das tecnologias de conversão disponíveis no mercado.

A definição do tamanho do inversor dependerá também de outras características elétricas, como a tensão de entrada/saída e a variação de tensão do inversor escolhido. É muito importante considerar que o lado da corrente alternada do inversor deverá ter as mesmas características elétricas da rede local, como, por exemplo, tensão e frequência.

Como o inversor é diretamente responsável por determinar a saída da potência máxima do sistema, também é importante considerar o que acontece com o excesso de energia em situações de demanda zero. Se a potência do

sistema for muito maior que a demanda de energia, o excesso de energia é injetado na rede.

Existem outros aspectos adicionais que devem ser considerados para definir o tamanho apropriado do inversor. Portanto, a definição do tamanho e seleção do inversor deve ser feita por um profissional.



## Exemplo 1: Sistemas Fotovoltaicos conectados à rede elétrica

Este exemplo considera uma escola existente localizada em Florianópolis, na região Sul do Brasil. A escola quer ter um sistema fotovoltaico que supra 100% da sua demanda de energia. Para executar os cálculos, siga as etapas na **Tabela 6**.

### ETAPA 1: Identificação das condições ideais para a instalação do sistema fotovoltaico

De acordo com a **Tabela 7**, Florianópolis está localizada no hemisfério Sul, na Latitude de 27°. Portanto, as condições ótimas para instalar um sistema fotovoltaico que maximize a incidência de radiação solar no arranjo de painéis devem ser uma inclinação de aproximadamente 27° orientada para o norte.

### ETAPA 2: Identificação da demanda de energia do edifício

A figura a seguir mostra o consumo de energia mensal da escola mostrado na conta de energia. Adicionando o consumo mensal apresentado é possível calcular o consumo anual de energia da escola, que, no caso, é de aproximadamente 5010 kWh/ano.

A escola quer ter um sistema fotovoltaico que forneça 100% do seu consumo de energia. Além disso, pretende-se que o sistema preveja um aumento no consumo de 20% para o futuro. Portanto, sua demanda de energia para dimensionar o sistema fotovoltaico é de 6012 kWh/ano.

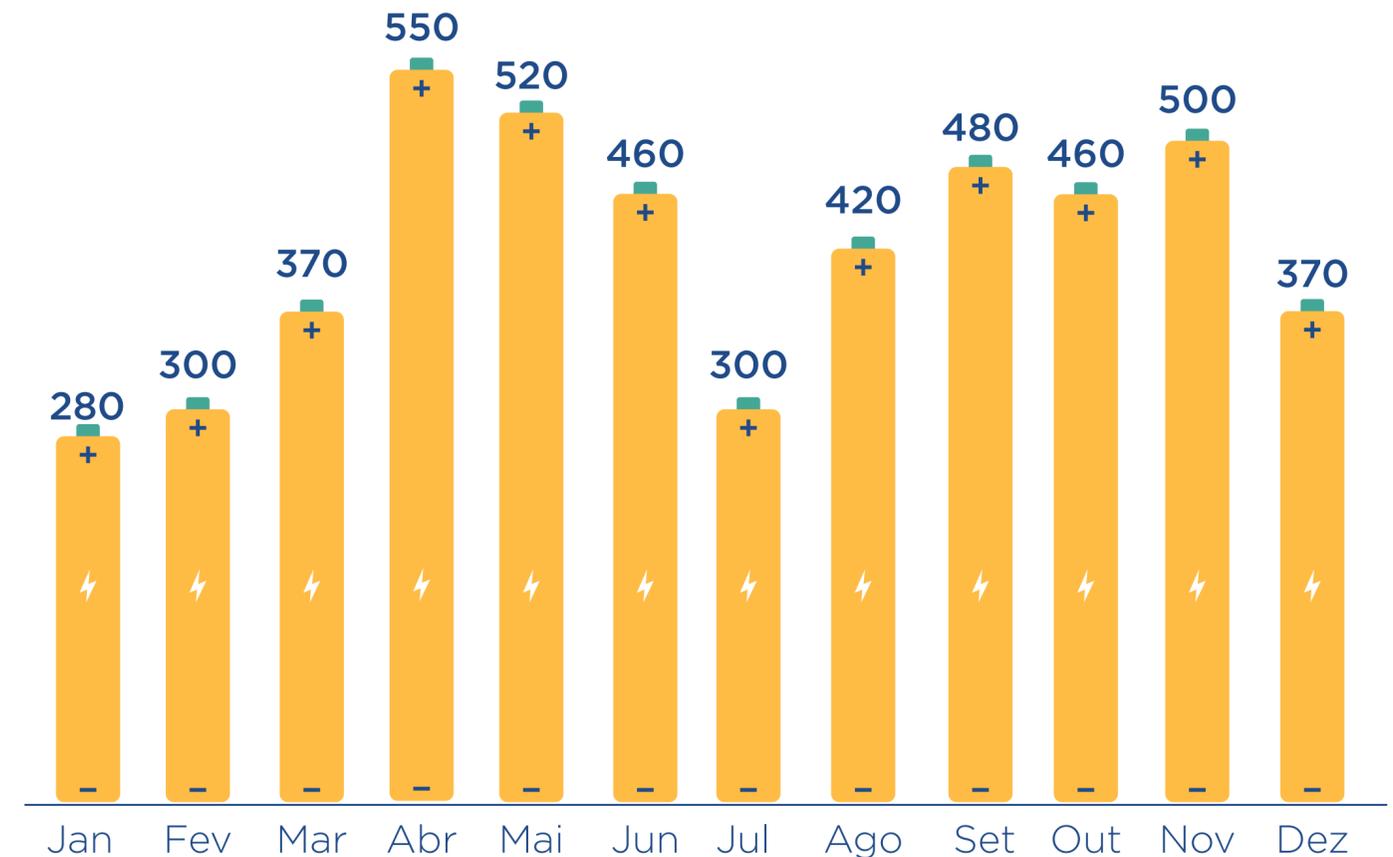
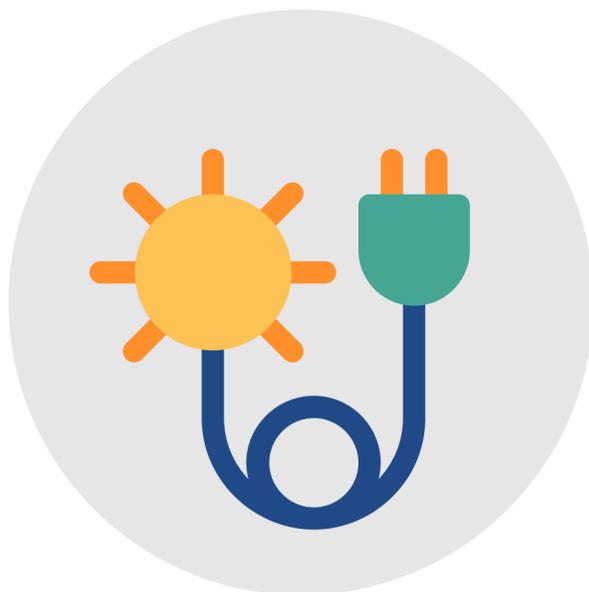


Figura 11: Consumo mensal de energia da escola de acordo com a conta de energia elétrica.



### **ETAPA 3: Avaliação de irradiação solar**

Com base na **Tabela 4**, a irradiação solar média anual, de acordo com a latitude de inclinação para Florianópolis, é de 4,95 kWh/m<sup>2</sup> por dia. Isto significa que uma média anual de 4,95 kWh/m<sup>2</sup> por dia é a quantidade de irradiação solar que receberá uma superfície inclinada a 27° e orientada para o norte.

### **ETAPA 4: Definição da potência nominal do sistema fotovoltaico**

Neste momento, sabe-se que a demanda anual de energia da escola é de 6012 kWh/ano e a média anual de irradiação solar, de acordo com a latitude de inclinação para Florianópolis, é de 4,95 kWh/m<sup>2</sup> por dia.

Como a **Tabela 9** não inclui os valores exatos de 6012 kWh/ano para a demanda de energia e 4,95 kWh/m<sup>2</sup> por dia para a irradiação solar, é aconselhável usar os números aproximados. Portanto, estima-se que para suprir uma escola com demanda anual de energia de 6000 kWh/ano, com 5,00 kWh/m<sup>2</sup> por dia de irradiação solar média anual, de acordo com a inclinação por latitude, um sistema fotovoltaico deve ter aproximadamente 4,38 kWp de potência nominal instalada.

### **ETAPA 5: Definição da quantidade necessária de painéis fotovoltaicos**

A instalação da potência nominal é definida pela potência nominal dos painéis fotovoltaicos selecionados e, com base nisso, é definido o número de painéis fotovoltaicos necessários. Esta informação pode ser encontrada na folha de dados do painel fotovoltaico.

Assumindo que os painéis disponíveis tenham uma potência nominal de 265 Wp para fornecer 4,38 kWp (4380 Wp), o sistema deve ter pelo menos 17 painéis.

### **ETAPA 6: Definição do tamanho do inversor**

O tamanho do inversor depende das características elétricas dos painéis fotovoltaicos adotados e das características elétricas dos inversores disponíveis no mercado.

Como regra geral, para dimensionar o inversor, a potência deste deve fornecer a potência nominal do sistema fotovoltaico. Portanto, neste caso, o inversor (ou inversores) deve atingir aproximadamente entre 4 e 5 kW.

## Sistemas Fotovoltaicos sem conexão a uma rede elétrica

O processo para definir o tamanho dos sistemas fotovoltaicos sem conexão a uma rede é mais complexo do que nos sistemas fotovoltaicos conectados à rede. Essa complexidade surge devido à intermitência do recurso solar, fator que deve ser considerado para garantir a autonomia do sistema.

Portanto, deve-se dimensionar e especificar a infraestrutura adequada de armazenamento da energia.

Frequentemente, os geradores de combustível são utilizados como fonte de energia complementar para a rede. O uso de energia fotovoltaica permite que os usuários parem de usar geradores para fornecimento de energia; no entanto, haverá casos em que a energia fotovoltaica não seja suficiente, e o gerador deverá ser utilizado em conjunto com a energia fotovoltaica.

### ETAPA 1: Identificação das condições ideais para a instalação do sistema fotovoltaico

A identificação das condições ótimas do arranjo de painéis deve ser realizada da mesma forma indicada na **ETAPA 1** do sistema com conexão à rede.

### ETAPA 2: Identificação da demanda de energia do edifício

A identificação do consumo de energia do edifício deve ser realizada conforme indicado na **ETAPA 2** do sistema com conexão à rede. Para o caso de novas

construções, os dados da **Tabela 7** podem ser utilizados.

Se você trabalha com um sistema que usa qualquer outra fonte de energia como um complemento à energia fotovoltaica, deve subtrair a energia diária produzida por essa fonte adicional da demanda de energia necessária. Por exemplo, se você tem um sistema com uma demanda diária de energia de 10 kWh e um gerador a diesel que produz 3 kWh/dia, e caso decida parar de usar o gerador, deve usar o valor de 10 kWh para estimar a energia fotovoltaica requerida. Mas se você deseje

Tabela 10

Etapas necessárias para dimensionar um sistema fotovoltaico sem conexão a uma rede

Etapa 1	Etapa 2	Etapa 3	Etapa 4	Etapa 5	Etapa 6	Etapa 7	Etapa 8	Etapa 9
Identificação das condições ideais para a instalação do sistema fotovoltaico	Identificação da demanda de energia do edifício	Avaliação de irradiação solar	Definição da potência nominal do sistema fotovoltaico	Definição da quantidade de painéis fotovoltaicos necessários	Definição do tamanho do banco de baterias	Definição da configuração elétrica do sistema	Definição do tamanho do controlador de carga	Definição do tamanho do inversor

continuar usando o gerador, deve usar o valor de 7 kWh/dia para as próximas etapas (10 - 3 = 7). Para determinar a potência de saída do gerador, recomenda-se consultar o distribuidor original.

Em qualquer caso, ao determinar a energia necessária, também é importante considerar as previsões futuras e a maior carga que pode ser necessária, especialmente considerando o impacto da incorporação de tecnologia e eletrodomésticos em edifícios.

### ETAPA 3: Avaliação de irradiação solar

A avaliação da irradiação solar deve ser realizada da mesma forma indicada na **ETAPA 3** do sistema com conexão à rede.

### ETAPA 4: Definição da potência nominal do sistema fotovoltaico

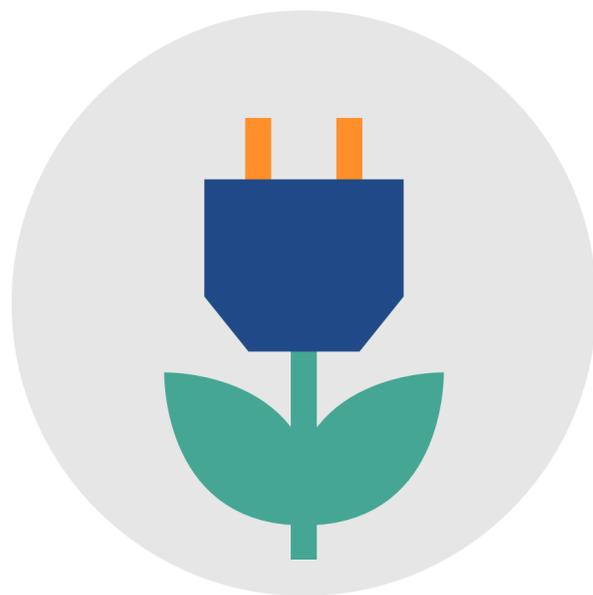
Com os dados de irradiação solar e demanda de energia é possível conhecer a potência nominal necessária

## Tabela 11

Potência nominal (em Wp) necessária para suprir uma determinada demanda de energia nas condições correspondentes de irradiação solar.

		Média anual de irradiação solar de acordo com a latitude (KWh/m <sup>2</sup> /dia)								
		2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0
Demanda diária de energia (kWh/dia)	0,25	250	200	167	143	125	111	100	91	83
	0,5	500	400	333	286	250	222	200	182	167
	0,75	750	600	500	429	375	333	300	273	250
	1	1000	800	667	571	500	444	400	364	333
	5	5000	4000	3333	2857	2500	2222	2000	1818	1667
	10	10 000	8000	6667	5714	5000	4444	4000	3636	3333
	15	15 000	12 000	10 000	8571	7500	6667	6000	5455	5000
	20	20 000	16 000	13 333	11 429	10 000	8889	8000	7273	6667
	25	25 000	20 000	16 667	14 286	12 500	11 111	10 000	9091	8333
	30	30 000	24 000	20 000	17 143	15 000	13 333	12 000	10 909	10 000
	35	35 000	28 000	23 333	20 000	17 500	15 556	14 000	12 727	11 667
	40	40 000	32 000	26 667	22 857	20 000	17 778	16 000	14 545	13 333
	45	45 000	36 000	30 000	25 714	22 500	20 000	18 000	16 364	15 000
	50	50 000	40 000	33 333	28 571	25 000	22 222	20 000	18 182	16 667
	55	55 000	44 000	36 667	31 429	27 500	24 444	22 000	20 000	18 333
	60	60 000	48 000	40 000	34 286	30 000	26 667	24 000	21 818	20 000
	65	65 000	52 000	43 333	37 143	32 500	28 889	26 000	23 636	21 667
	70	70 000	56 000	46 667	40 000	35 000	31 111	28 000	25 455	23 333
	75	75 000	60 000	50 000	42 857	37 500	33 333	30 000	27 273	25 000
80	80 000	64 000	53 333	45 714	40 000	35 556	32 000	29 091	26 667	
85	85 000	68 000	56 667	48 571	42 500	37 778	34 000	30 909	28 333	
90	90 000	72 000	60 000	51 429	45 000	40 000	36 000	32 727	30 000	
95	95 000	76 000	63 333	54 286	47 500	42 222	38 000	34 545	31 667	
100	100 000	80 000	66 667	57 143	50 000	44 444	40 000	36 364	33 333	

Grupo de Pesquisa Estratégica em Energia Solar da Universidade Federal de Santa Catarina - **FOTOVOLTAICA-UFSC**.



A **Tabela 11** mostra a demanda diária de energia com os níveis de irradiação, conduzindo a energia fotovoltaica necessária para o sistema<sup>11</sup>. Esses valores são aproximados. Se o valor da demanda de energia não estiver na tabela, um valor aproximado pode ser obtido usando o próximo valor mais alto ou uma interpolação entre os dois valores mais próximos.

Na maioria dos casos, o resultado não é um número inteiro, o que significa que deve ser arredondado para cima ou para baixo. Normalmente, a opção mais segura é arredondar para cima, especialmente em sistemas fotovoltaicos fora da rede. Por exemplo, se uma escola com uma demanda de 25 kWh/dia está localizada em algum lugar com um nível de irradiação de 4 kWh/m<sup>2</sup>/dia, a potência fotovoltaica recomendada deve ser de pelo menos 12 500 Wp (ou 12,5 kWp).

<sup>11</sup> A **Tabela 11**, para sistemas sem conexão à rede emprega a demanda de energia diária, enquanto que, como se viu anteriormente na **Tabela 9**, para sistemas com conexão à rede, emprega-se a demanda de energia anual. Isso se deve ao fato de que nos sistemas isolados não existem contas mensais de energia, e é mais comum trabalhar com base em dias. Nos sistemas conectados à rede se faz o cálculo com base em anos, somando as contas mensais, ainda que também se possa fazer com base em uma média do dia.

## ETAPA 5: Definição da quantidade de painéis fotovoltaicos necessários

A energia fotovoltaica mostrada na **Tabela 11** é a potência total do sistema em Wp. Para obter o número necessário de painéis, é preciso dividir a potência fotovoltaica obtida pela potência de um único painel fotovoltaico.

$$\frac{\text{Potência nominal requerida}}{\text{Potência nominal de um painel}} = \text{Quantidade de painéis necessários}$$

Para um painel fotovoltaico com uma potência nominal de 320 Wp, o número de painéis requeridos é 40 (12 500 / 320 = 39,06).

Mesmo que o resultado seja muito próximo de 39, em sistemas fotovoltaicos sem conexão à rede, é melhor arredondar para cima, ou seja, usar mais painéis para garantir que a energia necessária seja entregue.

## ETAPA 6: Definição do tamanho do banco de baterias<sup>12</sup>

Para dimensionar o banco de baterias, o principal fator que deve ser considerado é a autonomia do sistema, ou seja, por quantos dias a bateria pode fornecer energia se não houver sol.

Obviamente, quanto maior a autonomia e o banco de baterias, maior o tempo de recarga e, principalmente, o custo. A Tabela 12 mostra a demanda de energia com diferentes níveis de autonomia, o que leva à carga mínima necessária para o banco de baterias<sup>13</sup>. Se o valor da demanda de energia não estiver na **Tabela 12**, um valor aproximado pode ser obtido usando o próximo valor mais alto ou uma média dos dois valores mais próximos.

<sup>12</sup> Se, por algum motivo, o usuário não quiser ter um sistema de armazenamento de energia, esse estágio pode não ser considerado. Isso pode acontecer, por exemplo, quando o consumo de energia coincide com o momento de geração do mesmo. Por exemplo, se a escola funciona de dia e de noite não funciona, não é necessário armazenar energia. Ou se o sistema fotovoltaico é utilizado para uma bomba que enche um tanque de água, ele pode funcionar quando há sol, portanto, nenhum armazenamento de energia é necessário.

<sup>13</sup> Esta tabela é apenas referencial e válida para baterias convencionais de ácido de chumbo de 12 V. Para outras tecnologias ou outras tensões, recomenda-se consultar um técnico especializado. No caso das baterias de lítio, os valores do cálculo equivalem a um quarto dos valores indicados na Tabela 12.

A carga da bateria mostrada na Tabela 12 é a carga bancária total em Ah (Ampere-hour). Para obter a quantidade necessária de baterias, você deve dividir o valor obtido pelo valor da carga de uma única bateria e arredondar o resultado.

$$\frac{\text{Carga nominal de baterias requerida}}{\text{Potência nominal de uma bateria}} = \text{Quantidade de baterias necessárias}$$

Por exemplo, considera-se que uma escola com demanda de 10 kWh/dia deve ter autonomia energética de cinco dias. Para garantir essa condição, a escola precisa de um sistema de baterias de 5787 Ah. Se a bateria escolhida for de 165 Ah, o sistema precisará de pelo menos 36 baterias ( $5787 \div 165 = 35,07$ ).

## Tabela 12

Valor aproximado da carga nominal das baterias chumbo-ácidas (em Ah) necessárias para suprir uma determinada demanda de energia sob as correspondentes condições de autonomia.

		Autonomia do sistema (días)		
		3	4	5
Demanda diária de energia (kWh/dia)	0,25	98	116	145
	0,5	196	231	289
	0,75	294	347	434
	1	392	463	579
	5	1961	2315	2894
	10	3922	4630	5787
	15	5882	6944	8681
	20	7843	9259	11 574
	25	9804	11 574	14 468
	30	11 765	13 889	17 361
	35	13 725	16 204	20 255
	40	15 686	18 519	23 148
	45	17 647	20 833	26 042
	50	19 608	23 148	28 935
	55	21 569	25 463	31 829
	60	23 529	27 778	34 722
	65	25 490	30 093	37 616
	70	27 451	32 407	40 509
	75	29 412	34 722	43 403
	80	31 373	37 037	46 296
85	33 333	39 352	49 190	
90	35 294	41 667	52 083	
95	37 255	43 981	54 977	
100	39 216	46 296	57 870	

### ETAPA 7: Definição da configuração elétrica do sistema<sup>14</sup>

Depois de definir os tamanhos do sistema fotovoltaico e do banco de baterias, o próximo passo é especificar sua configuração elétrica. As baterias para este tipo de aplicação costumam ter uma voltagem nominal de 12 V, mas você pode formar correntes de baterias e obter bancos de baterias de 24, 36 ou 48 V.

Esses valores são as tensões operacionais, mas a carga da bateria ocorre com tensões mais altas (aproximadamente 20% mais altas que a tensão de operação).

Embora essa voltagem possa variar dependendo do fabricante e da potência do painel, os painéis com o mesmo número de células geralmente têm tensões muito semelhantes. A **Tabela 13** sugere a melhor maneira de conectar os painéis fotovoltaicos com 36, 60 e 72 células para cada valor de tensão das baterias.

É importante notar que a tensão do sistema fotovoltaico é definida pelo técnico que faz o seu dimensionamento,

<sup>14</sup> Se o sistema não incluir baterias e os dispositivos não usarem tensão CC de 12 a 48 V, esta etapa poderá ser omitida. Neste caso, a configuração elétrica do sistema dependerá das características elétricas do inversor.

enquanto as células por painel dependem do fabricante. Em seguida, o técnico deve definir quantos painéis usar, dependendo da voltagem do sistema e das células por painel disponíveis no mercado.

A **Tabela 13** mostra as dimensões da cadeia recomendada. Isso significa que todas as outras cadeias de painéis fotovoltaicos devem ser conectadas em paralelo. Se não houver painéis suficientes para completar algumas cadeias, recomenda-se aumentar o número de painéis fotovoltaicos no sistema.

Se alguma configuração não puder ser usada, a voltagem do banco de baterias deve ser aumentada ou ser utilizado um painel fotovoltaico menor. A **Tabela 13** também mostra que, na maioria das vezes, o arranjo de painéis tem cadeias com um número par de painéis fotovoltaicos. Consequentemente, pode-se supor que, na maioria das vezes, é melhor arredondar o número de painéis fotovoltaicos do sistema para cima, até o próximo número par.

Se os aparelhos do sistema usarem tensão de corrente contínua (CC) de 12 a 48 V e não houver sistema de bateria, o arranjo de painéis suprirá as cargas

diretamente pelo controlador<sup>15</sup>. Para definir a configuração elétrica do arranjo dos painéis, a Tabela 13 também deve ser consultada, mas deve ser lida como se a voltagem da bateria fosse a voltagem desejada. Portanto, se, por exemplo, os dispositivos de uma instalação usam 48 V, as configurações recomendadas são cadeias de 4 painéis de 36 células, 2 painéis de 60 células ou 2 painéis de 72 células.

#### ETAPA 8: Definição do tamanho do controlador de carga

Os controladores de carga limitam a tensão com a qual o arranjo de painéis fornece a energia. Esta etapa é utilizada para determinar qual controlador de carga é necessário.

Existe uma grande variedade de controladores de carga para diferentes configurações elétricas disponíveis no mercado. Os controladores de carga são classificados de acordo com os valores de tensão, corrente e potência, mas, em geral, tensão e potência são os fatores mais importantes, já que as outras propriedades geralmente têm limites muito superiores aos valores que serão observados no sistema. Os controladores

<sup>15</sup> Os dispositivos nunca podem ser conectados diretamente aos painéis fotovoltaicos. Deve sempre haver um controlador de carga.

de carga disponíveis no mercado são tipicamente de 10A, 20A, 40A, etc.

De acordo com tais dados, o controlador deve ter a tensão nominal igual à tensão nominal do banco de baterias ou dos dispositivos, se eles usarem tensão CC. Sugere-se ter a assistência de um profissional para avaliar corretamente.

#### ETAPA 9: Definição do tamanho do inversor<sup>16</sup>

Como o controlador de carga, o inversor também é classificado pelos valores de tensão, corrente e potência, mas neste caso, sua potência é tão importante quanto sua voltagem (novamente, a corrente normalmente tem limites mais altos que os valores) que se observa no sistema.

A potência do inversor corresponde à potência que é fornecida aos aparelhos elétricos, portanto, o ideal é igual ou maior que a demanda máxima (ou seja, o inversor é responsável por definir a saída real de energia do sistema). Em relação à tensão, dois valores devem ser observados: a tensão de entrada (CC) e a tensão de saída (CA).

A entrada do inversor corresponde ao lado CC, ou seja, ao lado que possui

<sup>16</sup> Se os dispositivos usarem tensão CC, o inversor não é necessário, e esta etapa pode ser desconsiderada.

### Tabela 13

Configurações recomendadas com base na voltagem das baterias e no número de células fotovoltaicas por painel.

Quantidade de células no painel fotovoltaico escolhido				
Tensão do banco de baterias (V)		36 células	60 células	72 células
	12	1 painel por string	Não se pode usar	Não se pode usar
	24	2 painéis por string	1 painel por string	1 painel por string
	36	3 painéis por string	Não se pode usar	Não se pode usar
	48	4 painéis por string	2 painéis por string	2 painéis por string

a energia do sistema fotovoltaico, enquanto a saída corresponde ao lado CA, que possui a energia que deve ser distribuída para seu uso. A tensão de entrada deve ser igual à tensão nominal do banco de baterias e do controlador de carregamento, enquanto a tensão de saída deve ser igual à tensão de alimentação dos dispositivos elétricos conectados ao sistema.

Na América Latina e Caribe, esse valor é 110 ou 220 V (consulte uma tabela de especificações de rede por país). Atenção: se os dispositivos utilizados no local utilizam 12, 24, 36 ou 48V CC, não é necessário utilizar um inversor e o equipamento pode ser conectado diretamente ao controlador de carga.

## Exemplo 2: Sistema Fotovoltaico fora da rede elétrica com armazenamento de bateria

Este exemplo considera uma escola na Ilha de Santa Catarina, onde está localizada Florianópolis, na região Sul do Brasil. Nesta região, a rede tem um valor de 220V e todos os dispositivos da escola usam essa mesma voltagem, portanto, um inversor é necessário. Os usuários querem trocar seus geradores a diesel por energia fotovoltaica e usar baterias para armazenar energia. Conforme a **Tabela 10**, seguem as etapas:

### ETAPA 1: Identificação das condições ideais para a instalação do sistema fotovoltaico

O primeiro passo no dimensionamento de um sistema fotovoltaico fora da rede é garantir que o local onde o sistema está instalado receba luz solar suficiente. A escola é alta o suficiente para que as árvores não produzam sombra no telhado, o que a torna um local ideal para o arranjo dos painéis. Como indicado na **Tabela 7**, a latitude local é de 27°50'S, portanto, o arranjo de painéis deve ser orientado para o norte com uma inclinação de 27°.

### ETAPA 2: Identificação da demanda de energia da edificação

Para identificar o consumo de energia da escola, todos os aparelhos elétricos devem ser especificados em uma lista com sua potência e tempo de uso diário. Neste exemplo, a escola possui apenas os seguintes dispositivos: 1 ventilador de teto, 1 lâmpada fluorescente, 1 modem para Internet, 1 laptop, 1 projetor, 1 rádio e 1 telefone sem fio.

Após verificar a potência de cada dispositivo e avaliar o seu uso diário, pode-se obter o consumo diário de cada um, multiplicando-se a potência e o tempo de operação, conforme à tabela a seguir, com os dados da **Tabela 8**.

Somando-se todo o consumo de energia, obtém-se um total de 1,069 kWh/dia, mas prevendo-se um aumento de carga futura de 20%, a carga é estimada em 1,283 kWh/dia.

**Tabela 14** | Consumo de energia dos aparelhos da escola.

Equipamento	Potência (W)	Tempo de operação (h/dia)	Energia (KWh/dia)
Ventilador de teto	73	8	0,584
Lâmpada fluorescente	23	5	0,115
Modem de Internet	8	8	0,064
Laptop	20	8	0,160
Projetor	24	1	0,024
Rádio	5	10	0,05
Telefone sem fio	3	24	0,072
<b>TOTAL</b>			<b>1,069</b>

### **ETAPA 3: Avaliação da irradiação solar**

A seguir, você deve determinar o nível mínimo de irradiação diária para Florianópolis, que, de acordo com a **Tabela 4**, é de 4,95 kWh/m<sup>2</sup>/dia.

### **ETAPA 4: Definição da potência nominal do sistema fotovoltaico**

Com os dados da irradiação solar (Etapa 3) e da demanda de energia (Etapa 2) é possível conhecer a potência nominal necessária.

De acordo com a **Tabela 11** existem duas possibilidades: usar a definição de tamanho para 1 kWh/dia ou 5 kWh/dia. A segunda opção é a mais segura, porém é muito mais cara. Então, o valor de 1 kWh/dia será utilizado, o que é muito próximo do nosso valor calculado.

Quanto à irradiação, pode-se usar 4,5 ou 5 kWh /m<sup>2</sup>/dia. O valor de 4,5 kWh/m<sup>2</sup>/dia é o mais seguro, pois aumenta o tamanho do sistema para atender a uma baixa irradiação. Portanto, esse valor será utilizado. Isso leva a um arranjo de painéis com uma potência nominal de 444 Wp.

### **ETAPA 5: Definição da quantidade de painéis fotovoltaicos necessários**

Os painéis disponíveis têm uma potência nominal de 265 Wp, de maneira que, para suprir os 444 Wp, o sistema deve ter, pelo menos, dois painéis.

### **ETAPA 6: Definição do tamanho da bateria**

Para dimensionar a bateria, você deve definir a autonomia do sistema. Em Florianópolis, é raro passar mais de três dias sem céu limpo. Portanto, considera-se que uma autonomia de três dias é suficiente. Utilizando-se as informações da **Tabela 12**, se deve instalar um banco de baterias de 392 Ah.

Las baterías disponibles tienen 120 Ah, por lo tanto, para cubrir los 392 Ah requeridos, se necesitan como mínimo 4 de ellas.

### **ETAPA 7: Definição da configuração elétrica do sistema**

Tendo definido os tamanhos do arranjo de painéis e o conjunto de baterias, sua configuração elétrica deve ser também definida. De acordo com a **Tabela 13**, já que existem 4 baterias, pode-se utilizar 12, 24 ou 48V.

Se os painéis utilizados tiverem 60 células, poderiam ser utilizados 24 ou 48V.

Para este sistema, 48V será escolhido, o que significa que as 4 baterias serão conectadas em paralelo, enquanto os painéis serão conectados em 2 correntes de 2 painéis.

### **ETAPA 8: Definição do tamanho do controlador de carga**

O tamanho do controlador de carga depende da corrente e da tensão do arranjo de painéis e também da disponibilidade do mercado local. Em geral, o controlador de carregamento deve ter uma voltagem nominal igual ao banco de baterias, e no mercado são geralmente de 10A, 20A, 40A etc.

### **ETAPA 9: Definição do tamanho do inversor**

O tamanho do inversor também depende da corrente e tensão do arranjo de painéis, mas, principalmente, da potência. Existem várias configurações diferentes no mercado, mas é recomendável usar um inversor com potência nominal próxima à potência do arranjo de painéis, porém nunca menos. Para este exemplo, um inversor com 1kW deve ser suficiente, desde que sua tensão de saída seja de 220V.

## Exemplo 3: Sistema Fotovoltaico fora da rede elétrica sem armazenamento de bateria

Este exemplo considera uma pequena escola em Quito, a capital do Equador. A escola funciona apenas durante o dia e, portanto, não é necessário armazenar energia em baterias. No Equador, geralmente todos os dispositivos escolares usam uma voltagem de 120; portanto, um inversor para essa voltagem é necessário. As etapas da **Tabela 10** serão seguidas.

### ETAPA 1: Identificação das condições ideais para a instalação do Sistema Fotovoltaico

O primeiro passo no dimensionamento de um sistema fotovoltaico sem conexão à rede é garantir que o local do sistema receba luz solar suficiente. A escola localiza-se em um campo aberto, sem árvores ou outros elementos que possam produzir sombra, portanto o telhado é o lugar ideal para o arranjo de painéis. De acordo com a **Tabela 7**, a latitude local é 0°15'S e o ângulo de inclinação mínimo recomendado é de 10°, portanto, o arranjo de painéis deve ser orientado para o norte com uma inclinação de 10°.

### ETAPA 2: Identificação da demanda de energia do edifício

Para identificar o consumo de energia da escola, todos os aparelhos elétricos devem ser especificados em uma lista com sua potência e uso diário. Neste exemplo, a escola possui apenas os seguintes dispositivos: 1 ventilador de teto, 2 lâmpadas fluorescentes e 1 rádio.

Após verificar a potência de cada dispositivo e avaliar o seu uso diário, o consumo diário de cada um deles pode ser obtido multiplicando-se a potência e o tempo de operação, como mostra a **Tabela 15**, com dados da **Tabela 8**.

Somando-se todo o consumo de energia, obtém-se um total de 0,864 kWh/dia, e prevendo-se uma possível extensão de 20%, obtém-se um total de 1,037 kWh/dia.

**Tabela 15** | Consumo de energia dos equipamentos da escola.

Equipamento	Quantidade	Potência (W)	Tiempo de operação (h/dia)	Energía (KWh/día)
Ventilador de teto	1	73	8	0,584
Lâmpada fluorescente	2	23	5	0,230
Rádio	1	5	10	0,05
<b>TOTAL</b>				<b>0,864</b>

### **ETAPA 3: Avaliação da irradiação solar**

De acordo com a **Tabela 4**, o nível mínimo diário de irradiação para Quito é de 5,12 kWh/m<sup>2</sup>/dia.

### **ETAPA 4: Definição da potência nominal do sistema fotovoltaico**

Com os dados da irradiação solar (Etapa 3) e demanda de energia (Etapa 2) é possível conhecer a potência nominal necessária.

De acordo com a **Tabela 11**, existem duas possibilidades: usar a definição de tamanho para 1 kWh/dia ou 5 kWh/dia. A segunda opção é mais segura, porém é mais cara. Como nenhum armazenamento de bateria é necessário, mais painéis garantirão que, mesmo em dias de pouca luz solar, o sistema possa gerar energia suficiente para alimentar os dispositivos. No entanto, considerando-se que a demanda, mesmo com um crescimento de 20%, está muito próxima de 1 kWh/dia (1,037 kWh/dia), o valor escolhido é de 1 kWh/dia para evitar o sobredimensionamento do sistema.

Em relação à irradiação, conforme à **Tabela 11**, é possível utilizar 5 kWh/m<sup>2</sup>/dia. Isto leva a um arranjo de painéis com uma potência nominal de 400 Wp.

### **ETAPA 5: Definição da quantidade de painéis fotovoltaicos necessários**

Os painéis disponíveis têm uma potência nominal de 265Wp, de modo que, para substituir os 400Wp, o sistema deve ter pelo menos 2 painéis.

### **ETAPA 6: Definição do tamanho da bateria**

Como esse sistema não tem baterias, esta etapa deve ser ignorada.

### **ETAPA 7: Definição da configuração elétrica do sistema**

Uma vez definido o tamanho do arranjo do painel, sua configuração elétrica deve ser definida. Como não há baterias, os dois painéis podem ser utilizados em série ou em paralelo, dependendo da tensão de operação do inversor disponível.

### **ETAPA 8: Definição do tamanho do controlador de carga**

Como o sistema não possui baterias, mas possui um inversor, não é necessário um controlador de carga, pois o próprio inversor limitará a tensão de saída. Esta etapa deve ser ignorada.

### **ETAPA 9: Definição do tamanho do inversor**

O tamanho do inversor dependerá da corrente e da tensão do arranjo de painéis, mas, principalmente, da potência. Existem várias configurações diferentes no mercado, mas é recomendável utilizar um inversor com potência nominal próxima à potência do arranjo de painéis. Para este exemplo, um inversor de 0,5 ou 1 kW deve ser suficiente, desde que sua tensão de saída seja de 120V.

## Exemplo 4: Sistema Fotovoltaico sem conexão à rede elétrica sem inversor

Este exemplo considera uma pequena escola em Buenos Aires, capital da Argentina. A escola precisa ter armazenamento em baterias, e todos os dispositivos têm tensão de operação de 24V CC, portanto, um inversor não é necessário. Os dispositivos podem ser conectados diretamente ao controlador de carregamento. As etapas da **Tabela 10** serão seguidas

### ETAPA 1: Identificação das condições ideais para a instalação do sistema fotovoltaico

O primeiro passo no dimensionamento de um sistema fotovoltaico fora da rede é garantir que o local onde o sistema está instalado receba luz solar suficiente. A escola localiza-se em um campo aberto, sem árvores ou outros elementos que possam produzir sombra, por isso o telhado é o lugar ideal para o arranjo de painéis. De acordo com a **Tabela 7**, a latitude local é de 34°36'S, portanto o arranjo de painéis deve ser orientado para o norte, com uma inclinação de 34°.

### ETAPA 2: Identificação da demanda de energia do edifício

Para identificar o consumo de energia da escola, todos os aparelhos elétricos devem ser especificados em uma lista com sua potência e tempo de uso diário. Neste exemplo, a escola possui apenas os seguintes dispositivos: 1 ventilador de teto, 3 lâmpadas fluorescentes, 1 rádio e 1 refrigerador.

Após verificar a potência de cada dispositivo e avaliar o seu uso diário, o consumo diário de cada um deles pode ser obtido multiplicando-se a potência e o tempo de operação, como mostra a **Tabela 16**, com dados da **Tabela 8**.

Somando-se todo o consumo de energia, é obtido um total de 2,299 kWh/dia, e considerando-se uma previsão adicional de 20% para o futuro, obtém-se um total de 2,759 kWh/dia.

**Tabela 16** | Consumo de energia dos equipamentos da escola.

Equipamento	Quantidade	Potência (W)	Tempo de operação (h/dia)	Energia (KWh/día)
Ventilador de teto	1	73	8	0,584
Lâmpada fluorescente	3	23	5	0,345
Rádio	1	5	10	0,05
Geladeira	1	55	24	1,32
<b>TOTAL</b>				<b>2,299</b>

### **ETAPA 3: Avaliação da irradiação solar**

Em seguida, deve-se determinar o nível mínimo de irradiação diária, que em Buenos Aires é de 5,34 kWh/m<sup>2</sup> dia, conforme a **Tabela 4**.

### **ETAPA 4: Definição da potência nominal do sistema fotovoltaico**

Com os dados da irradiação solar (Etapa 3) e demanda de energia (Etapa 2) é possível conhecer a potência nominal necessária.

De acordo com a **Tabela 11**, existem duas possibilidades: usar a definição de tamanho para 1 kWh/dia ou 5 kWh/dia. A opção ideal seria algo entre esses valores, portanto, deve-se obter a média deles. Em termos de irradiação, pode-se usar 5 kWh/m<sup>2</sup>/dia.

Para obter a média necessária, deve-se escolher os valores de potência recomendados para demandas de 1 e 5 kWh/dia na irradiação desejada, adicionar os dois valores e dividir por dois:  $400 + 2000 = 2400$ , então  $2400 \div 2 = 1200$ . O arranjo desejado de painéis tem uma potência nominal de 1200 Wp.

### **ETAPA 5: Definição da quantidade de painéis fotovoltaicos necessários**

Assumindo-se que os painéis disponíveis tenham uma potência nominal de 320Wp, para substituir os 1.200Wp, o sistema deve ter pelo menos 4 painéis.

### **ETAPA 6: Definição do tamanho da bateria**

Para dimensionar a bateria, você deve definir a autonomia do sistema. Em Buenos Aires, não é incomum que mais de 3 dias ocorram sem céu limpo, portanto, é preferível ter uma autonomia de 5 dias. Como na etapa 4, o mesmo processo de obtenção de uma média é necessário. Tomando os valores recomendados para 1 e 5 kWh na **Tabela 12**, outra média pode ser obtida:  $579 + 2874 = 3453$ , tendo como resultado 1726,5. O banco de baterias desejado deve ter uma carga de 1726,5 Ah.

As baterias disponíveis possuem 150 Ah, portanto, pelo menos 12 delas são necessárias.

### **ETAPA 7: Definição da configuração elétrica do sistema**

Tendo-se definido os tamanhos do arranjo de painéis e o conjunto de baterias, sua configuração elétrica deve ser definida.

Como o sistema usa aparelhos de 24V, as baterias também devem produzir essa voltagem. Cada uma das 12 baterias possui uma tensão de 12V, portanto, para ter uma saída de 24V, é necessário conectar as baterias em correntes de 2 em série. Isso resulta em 6 correntes paralelas e um sistema de bateria de 24V. Como você está utilizando um painel de 72 células, o arranjo de painéis deve ter todos os painéis em paralelo. A **Tabela 13** é utilizada para este processo.

### **ETAPA 8: Definição do tamanho do controlador de carga**

O tamanho do controlador de carga depende da corrente e da tensão do arranjo de painéis e também da disponibilidade do mercado local. Em geral, o controlador de carga deve ter uma voltagem nominal igual ao banco de baterias, e no mercado são geralmente de 10A, 20A, 40A etc.

### **ETAPA 9: Definição do tamanho do inversor**

Como o sistema não possui inversor, esta etapa deve ser ignorada.

## Importante: levar em conta no cálculo do montante dos painéis

Conforme explicado no **Módulo 7**, a potência nominal do arranjo de painéis surge da combinação da demanda de energia e irradiação solar na área em que está instalada. Portanto, a potência nominal não surge da soma da potência do equipamento que será conectado ao sistema fotovoltaico (demanda).

O poder do arranjo de painéis depende da quantidade de energia necessária durante o dia, e não da potência máxima a ser fornecida. É o controlador de carga (ou inversor) que determina a potência que pode ser fornecida ao equipamento.

### EXEMPLO A

Se uma escola tivesse uma carga constante de um aparelho de 1kW por 8 horas, seriam 8 kWh de demanda. Para fornecer essa energia, é necessário um painel maior que 1kW, provavelmente de 2kW a 3kW (dependendo da radiação).

Se o sistema estiver conectado à rede, durante a manhã, a escola consome 1000W, parte dos quais vem da rede e parte do painel (que gera com pouca radiação menos que 1000W); ao meio-dia, o aparelho consome toda a sua energia do painel (1000W), e até uma parte

da energia do painel é exportada para a rede (porque é maior que 1000 W e gerará cerca de 3000W); à tarde, a escola consome parte da energia do painel e outra parte da rede. Em média, durante o dia, a energia gerada pelo painel seria igual aos 8000kWh consumidos pela

escola. Mas uma parte terá vindo da rede e outra parte do painel.



Figura 12: Relação da demanda de energia durante o dia. Fonte: Elaboração própria.

É por isso que é importante verificar se existem leis de geração distribuída no país, ou seja, permitir que o excedente de energia fotovoltaica seja vendido ou devolvido à rede. Se não houver leis de geração distribuída, a potência do painel deve ser limitada à demanda máxima, para nunca exportar energia para a rede, uma vez que não será compensada.

Neste caso, a energia do sistema fotovoltaico deve ser igual à demanda instantânea máxima (isto é, o painel deve ser de 1kWp, mas somente fornecer essa energia ao meio-dia, pois, no restante do dia, uma parte viria da rede) e o sistema fotovoltaico não pode fornecer 100% da energia, porque será dimensionado para a demanda máxima.

Se o sistema não estiver conectado à rede e armazenar energia nas baterias, a operação será a mesma. A potência dos painéis é normalmente maior que a soma das cargas de demanda, porque a temporalidade do consumo deve ser considerada.

### EXEMPLO B

Em um sistema fotovoltaico ligado à rede e quando é possível exportar energia, se foi determinado que a demanda anual é de 6.000 kWh/ano, pode-se estimar que a demanda diária seria de 16 kWh/dia.

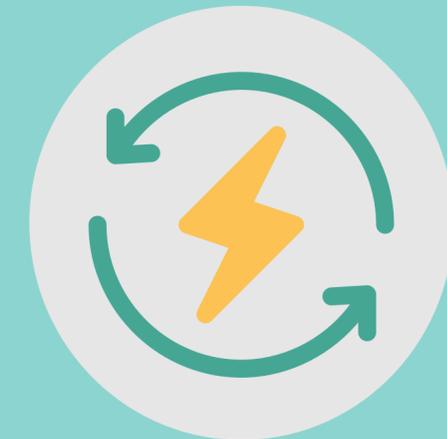
Esses 16 kWh/dia não são necessariamente a soma de dispositivos diferentes, já que os dispositivos não são todos utilizados ao mesmo tempo. Aqueles 16 kWh/dia podem ser alcançados, por exemplo, 1000 W durante 16h, 2000W durante 8h, 4000W durante 4h, etc., ou com qualquer combinação possível.

A curva de consumo varia a cada minuto, dependendo do que é ligado ou desligado em um determinado momento. A área sob a curva de demanda representa a energia demandada.

Portanto, o tamanho do arranjo de painéis não depende da potência máxima (instantânea), mas da demanda total de energia (área sob a curva).

Quando o sistema fotovoltaico não pode exportar para a rede, recomenda-se que o tamanho do painel seja limitado à demanda máxima do sistema, o que dependerá do controlador.

O inversor deve ser capaz de entregar a potência necessária para o evento em que todos os aparelhos sejam utilizados simultaneamente; por isso, se o inversor for menor do que a soma de todos os dispositivos, o sistema fotovoltaico não vai funcionar com o poder ou tensão para o qual foi projetado.





Como instalar o Sistema Fotovoltaico?

**D**epois que um profissional determinar as dimensões corretas, o estágio de instalação do sistema fotovoltaico será iniciado. Embora esse processo deva sempre ser feito por um profissional experiente, o usuário pode verificá-lo, certificando-se de que seja feito corretamente.

Esta seção oferece testes e verificações que o usuário pode executar sem riscos de segurança para os sistemas conectados à rede e fora da rede.

## Sistemas Fotovoltaicos conectados à rede elétrica

Os componentes dos sistemas fotovoltaicos conectados à rede são: os painéis fotovoltaicos e o inversor, assim como os cabos e dispositivos de proteção.

### Painéis Fotovoltaicos

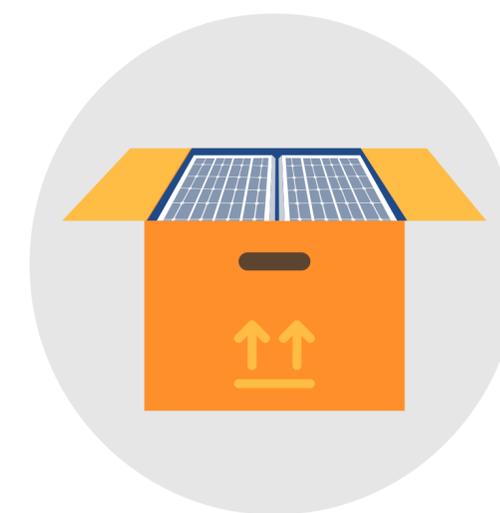
Painéis fotovoltaicos são peças delicadas de hardware que devem ser manuseadas e armazenadas com cuidado. Devido à sua superfície de vidro, eles sempre devem ser armazenados em caixas adequadas e em ambientes secos. Se não houver caixas adequadas disponíveis, eles devem ser empilhados verticalmente (mas levemente inclinados). Durante o processo de instalação, as conexões do arranjo dos painéis devem ser feitas sob luz solar baixa ou com os painéis fotovoltaicos cobertos. Após a instalação, verifique se os conectores estão conectados corretamente e se os cabos estão suficientemente fixados, para evitar desgaste excessivo.

### Inversor

O inversor é um dispositivo eletrônico que também deve ser armazenado com cuidado. Qualquer impacto sério pode danificar os componentes eletrônicos, o que impedirá que ele funcione corretamente. Portanto, este equipamento deve ser armazenado em sua caixa original até que seja instalado e em um espaço seco e bem ventilado. Você também pode instalar o equipamento diretamente na parede e, de preferência, perto do arranjo de painéis e do banco de baterias para evitar possíveis fugas de eletricidade nos cabos.

### Dispositivos de Proteção

Os principais dispositivos de proteção em sistemas fotovoltaicos são fusíveis, chaves, disjuntores e dispositivos de proteção contra sobretensão (SPD). Um profissional deve decidir o tamanho adequado de todos esses dispositivos, de acordo com os parâmetros elétricos do sistema, como corrente e tensão; e todos eles devem ser instalados em caixas seladas e seguras. Outra parte do sistema de proteção é o aterramento dos componentes elétricos e peças metálicas.



**Tabela 17** Equipamentos utilizados em sistemas fotovoltaicos conectados à rede

Todo o equipamento deve ter uma conexão de aterramento correta para que o usuário tenha a mais alta segurança. Como os sistemas fotovoltaicos geralmente operam com tensões de CC maiores que 50V, os arcos devem ser evitados e as baterias não devem entrar em curto-circuito.

### Cabos

Todas as partes do sistema fotovoltaico devem ser conectadas com cabos de diâmetro adequado. Um técnico deve determinar o diâmetro correto dos cabos com base na corrente e tensão do sistema, bem como as condições ambientais. Como a maioria dos cabos estará em áreas externas, deve-se ter cuidado com seu isolamento. Tubos apropriados devem ser utilizados, dependendo do tipo de estresse ao qual o cabo será submetido. Além disso, qualquer contato dos cabos com metal deve ser devidamente isolado para evitar curtos-circuitos ou acidentes. Evite dobrar os cabos durante a instalação, para evitar danos no isolamento.

EQUIPAMENTOS	DESCRIÇÃO
<b>Painéis fotovoltaicos</b>	Painéis fotovoltaicos são equipamentos frágeis que convertem a luz do sol em eletricidade de corrente contínua. Os painéis podem ser conectados e formar arranjo de painéis para fornecer mais energia.
<b>Inversor</b>	O inversor converte a energia CC dos painéis em energia CA (corrente alternada). Isso permite que o sistema fotovoltaico ligue os aparelhos CA e, ao mesmo tempo, injete energia na rede.
<b>Dispositivos de proteção</b>	Dispositivos de proteção são itens de segurança utilizados para proteger tanto o usuário quanto o equipamento. Para sistemas fotovoltaicos, os componentes mais utilizados são fusíveis e disjuntores.
<b>Cabos</b>	Os cabos são muito importantes em sistemas fotovoltaicos porque são utilizados para conectar todos os equipamentos. Diferentes partes do sistema requerem diferentes tipos de cabos devido às suas propriedades elétricas.

## Sistemas fotovoltaicos sem conexão com a rede elétrica

Como mencionado, os componentes elétricos dos sistemas fotovoltaicos sem conexão com a rede são os painéis fotovoltaicos, o banco de baterias, o controlador de carga e o inversor, bem como os dispositivos de proteção e os cabos.

### Painéis Fotovoltaicos

Os painéis fotovoltaicos são os mesmos utilizados para **Sistemas conectados à red.**

### Banco de baterias

As baterias são dispositivos especialmente perigosos devido a seus níveis de tensão e corrente CC. Um curto-circuito na bateria pode causar uma explosão ou incêndio. As baterias mais utilizadas em sistemas sem conexão de rede contêm produtos químicos que podem vazar se não forem tomados os devidos cuidados com a sua parte externa; portanto, todas as baterias devem ser tratadas como partes delicadas e devem ser armazenadas e manuseadas adequadamente.

Para evitar eventos perigosos de curto-circuito, as baterias devem ser armazenadas com seus contatos cobertos e em lugares ventilados e secos. Uma vez instaladas, os contatos devem ser cobertos com materiais isolantes para evitar contatos acidentais. O banco de baterias deve ser instalado em algum lugar próximo ao arranjo de painéis para evitar quedas de tensão, mas em um ambiente fechado, com acesso controlado, em que somente pessoas treinadas possam entrar. As baterias também não devem ser expostas aos componentes. No caso de bancos menores de baterias, estas podem ser instaladas em armários seguros, desde que tenham ventilação adequada e controle de acesso

### Controlador de carga e inversor

O controlador de carga é uma parte delicada do equipamento eletrônico, assim como o inversor, portanto, ele deve ser guardado com cuidado. Qualquer impacto sério pode danificar seus componentes eletrônicos, o que impedirá que ele funcione corretamente. Portanto, estes equipamentos devem ser armazenados em sua caixa original até a sua instalação e em um espaço seco

e bem ventilado. Você também pode instalar o equipamento diretamente na parede e, de preferência, perto do arranjo de painéis e do banco de baterias, para evitar possíveis perdas de eletricidade nos cabos.

### Dispositivos de proteção

Os dispositivos de proteção são os mesmos utilizados para **Sistemas conectados à red.**

### Cabos

Os cabos são os mesmos utilizados para **Sistemas conectados à red.**

## Tabela 18

Equipamentos utilizados em sistemas fotovoltaicos fora da rede.

EQUIPAMENTOS	DESCRIÇÃO
<b>Painéis fotovoltaicos</b>	Painéis fotovoltaicos são equipamentos frágeis que convertem a luz do sol em eletricidade de corrente contínua. Os painéis podem ser conectados e formar arranjo de painéis para fornecer mais energia.
<b>Banco de baterias</b>	As baterias são utilizadas para armazenar a energia gerada pelo arranjo de painéis; e podem ser conectadas para formar um banco de baterias.
<b>Controlador de carga</b>	O controlador de carga controla a voltagem de carga do banco de baterias.
<b>Inversor</b>	O inversor converte a energia CC dos painéis em energia CA (corrente alternada). Isso permite que o sistema fotovoltaico ligue os aparelhos CA e, ao mesmo tempo, injete energia na rede.
<b>Dispositivos de proteção</b>	Dispositivos de proteção são itens de segurança utilizados para proteger tanto o usuário quanto o equipamento. Para sistemas fotovoltaicos, os componentes mais utilizados são fusíveis e disjuntores.
<b>Cabos</b>	Os cabos são muito importantes em sistemas fotovoltaicos porque são utilizados para conectar todos os equipamentos. Diferentes partes do sistema requerem diferentes tipos de cabos devido às suas propriedades elétricas.



## Medidas de segurança

A instalação de sistemas fotovoltaicos é uma atividade que, se não realizada corretamente, pode causar um baixo desempenho do sistema e até causar danos ou morte às pessoas que realizam a instalação ou aos usuários<sup>17</sup>.

Devido a isso, a instalação de um sistema fotovoltaico deve ser sempre realizada por um profissional treinado ou sob a sua supervisão *in situ*. As pessoas que não têm o treinamento adequado devem abster-se de trabalhar diretamente na instalação, mas podem, pelo menos, entender se o sistema está sendo instalado corretamente.

<sup>17</sup> No caso de projetos financiados com recursos do Banco Interamericano de Desenvolvimento, essas medidas de segurança devem ser incorporadas nos documentos de licitação correspondentes a serem executados pelo contratado.

Os instaladores devem conhecer as regras e procedimentos correspondentes, bem como cumprir as seguintes recomendações de segurança:

- » Utilizar equipamentos adequados para proteção pessoal, como luvas, capacetes, óculos e roupas de proteção.
- » Utilizar equipamentos apropriados, certificando-se de que as ferramentas estejam secas e isoladas e os dispositivos bem calibrados.
- » Sempre trabalhar em equipes de duas ou mais pessoas, para maior segurança no trabalho.
- » Isolar adequadamente a área de trabalho, para que pessoas de fora ou animais soltos não corram risco de receber choque elétrico.



## Armazenamento e manuseio de painéis fotovoltaicos

Embora os painéis fotovoltaicos tenham sido criados para resistir a condições ambientais extremas por muitos anos, eles podem ser danificados se armazenados, manipulados ou instalados incorretamente. A seguir, apresentamos recomendações para armazenamento, manuseio e instalação de painéis fotovoltaicos:

- » Manter os painéis fotovoltaicos em suas embalagens até o momento da instalação;
- » Painéis fotovoltaicos devem ser segurados com as duas mãos;
- » Não apoiar painéis fotovoltaicos em pavimentos duros ou nas suas bordas ou arestas;
- » Manter os contatos elétricos limpos e secos;
- » Não pisar nos painéis fotovoltaicos.

Ao instalar os painéis fotovoltaicos e seus sistemas de montagem, as instruções do fabricante devem ser seguidas para que as garantias do produto sejam válidas.

A maioria dos painéis fotovoltaicos são folhas de vidro envolvidas em uma estrutura de alumínio, que fornece o suporte mecânico para a chapa e é um meio de fixação do painel fotovoltaico. Normalmente, grampos são utilizados para fixar as estruturas dos painéis fotovoltaicos nos suportes.

É muito importante instalar os grampos apropriados para os painéis fotovoltaicos utilizados e aplicar o torque adequado. Assim, os grampos permanecerão firmemente no lugar sem comprimir inadequadamente o painel fotovoltaico, o que pode causar danos a ele.

#### **Normas de instalação<sup>18</sup>**

As instalações fotovoltaicas conectadas à rede geralmente exigem autorizações específicas para a instalação e operação da rede elétrica pública local correspondente, cuja concessionária deve ser consultada em todos os casos antes da instalação de um gerador fotovoltaico.

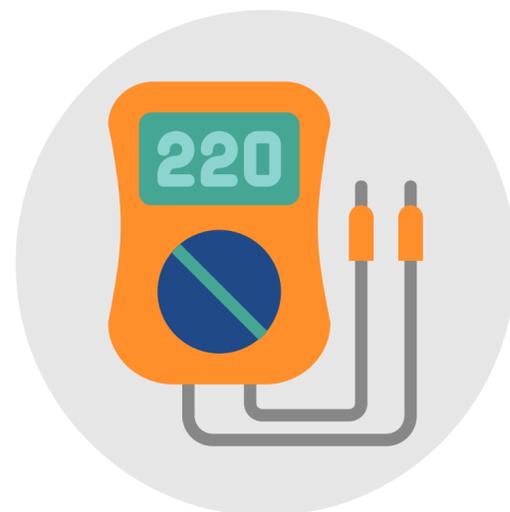
As regras aplicam-se não apenas para garantir a segurança do instalador, mas também dos futuros usuários do sistema.

---

**18** No caso de projetos financiados com recursos do Banco Interamericano de Desenvolvimento, os regulamentos de instalação devem ser incorporados nos documentos de licitação correspondentes para que possam ser realizados pelo contratado.

Isso também se aplica nos casos em que não há rede elétrica e sistemas fotovoltaicos são instalados sem conexão com a rede.

A **Tabela 19** mostra uma lista resumida dos padrões e procedimentos internacionais que os instaladores devem seguir para garantir o desempenho e a segurança do sistema<sup>19</sup>.



---

**19** Até abril de 2018, não há normas internacionais sobre baterias de lítio

**Tabela 19** Normas internacionais importantes para aplicações de sistemas fotovoltaicos

Norma	Título	Breve descrição
<b>IEEE Std 937-2007</b>	Práticas recomendadas pelo Instituto de Engenheiros Elétricos e Eletrônicos (IEEE, por sua sigla em inglês) para a instalação e manutenção de baterias de chumbo-ácido para sistemas fotovoltaicos.	Esta norma oferece considerações e procedimentos de projeto para armazenamento, instalação, montagem, ventilação e manutenção de baterias secundárias de chumbo-ácido para sistemas de energia fotovoltaica. Também inclui precauções de segurança e considerações sobre instrumentação. Embora cubra as práticas gerais recomendadas, os fabricantes de baterias podem oferecer instruções específicas para instalação e manutenção de baterias.
<b>IEEE Std 450-2010</b>	Práticas recomendadas pelo IEEE para a manutenção, teste e substituição de baterias de chumbo-ácido com ventilação para aplicações fixas.	Esta norma fornece considerações de manutenção, cronogramas de testes e procedimentos de teste que podem ser utilizados para otimizar a vida útil e o desempenho de baterias de chumbo-ácido permanentemente instaladas, utilizadas para serviços de emergência. Essas práticas recomendadas também fornecem diretrizes para determinar quando as baterias devem ser substituídas. Essas práticas recomendadas são utilizadas em aplicações fixas de serviços de emergência em que um carregador mantém a bateria totalmente carregada e fornece as cargas CC.
<b>IEC TS 62257-1:2015</b>	Recomendações para energias renováveis e sistemas híbridos para eletrificação rural - Parte 1: Introdução geral à série IEC 62257 e eletrificação rural.	A norma IEC TS 62257-1: 2015 (E) mostra uma metodologia para implementar a eletrificação rural usando sistemas híbridos autônomos de energia renovável. Ele também fornece um guia que ajuda a facilitar a leitura e o uso da série IEC 62257 para configurar a eletrificação rural descentralizada em países desenvolvidos ou em desenvolvimento. A série IEC 62257 inclui: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Partes 2 a 6 da norma: procedimentos metodológicos para a administração e implementação de projetos;</li> <li>- Partes 7 a 12 da norma: especificações técnicas para sistemas individuais ou coletivos e os componentes associados.</li> </ul>
<b>IEC TS 62257-2:2015</b>	Recomendações para energias renováveis e sistemas híbridos para eletrificação rural - Parte 2: De requisitos a uma série de sistemas de eletrificação.	A norma IEC TS 62257-2:2015(E) propõe uma metodologia para configuração e realização de estudos socioeconômicos como parte da estrutura de projetos de eletrificação rural descentralizada. Padrão dedicado a grupos de projetos e, especificamente, a especialistas encarregados de estudos socioeconômicos em projetos internacionais. Esta especificação também oferece algumas soluções técnicas que podem ser recomendadas, dependendo das demandas qualitativas e quantitativas de energia, em função das necessidades e da situação econômica dos clientes

Norma	Título	Breve descrição
<b>IEC TS 62257-3:2015</b>	Recomendações para energias renováveis e sistemas híbridos para eletrificação rural - Parte 3: Desenvolvimento e administração de projetos.	A norma IEC TS 62257-3:2015(E) fornece informações sobre as responsabilidades relacionadas à implementação de sistemas de energia rural. Mais especificamente, lida com: <ul style="list-style-type: none"> <li>- as relações contratuais que serão construídas entre os diferentes participantes de um projeto;</li> <li>- os testes importantes que serão aplicados aos sistemas de eletrificação híbrida e de energia renovável;</li> <li>- os princípios de controle de qualidade que serão implementados;</li> <li>- os requisitos para reciclagem e proteção do ambiente.</li> </ul>
<b>IEC TS 62257-4:2015</b>	Recomendações para energias renováveis e sistemas híbridos para eletrificação rural - Parte 4: Seleção e projeto do sistema.	A norma IEC TS 62257-4:2015(E) oferece um método para descrever os resultados que se espera alcançar com o sistema de eletrificação, independentemente das soluções técnicas que possam ser implementadas. O objetivo é oferecer um método para ajudar empreiteiros e autores de projetos a selecionar e projetar o sistema de eletrificação para locais remotos, observando as necessidades identificadas, como as descritas na IEC TS 62257-2.
<b>IEC TS 62257-5:2015</b>	Recomendações para energia renovável e sistemas híbridos para eletrificação rural - Parte 5: Proteção contra riscos elétricos.	A norma IEC TS 62257-5: 2015 (E) especifica os requisitos gerais para a proteção de pessoas e máquinas contra riscos elétricos para aplicação em sistemas de eletrificação rural descentralizados. Os requisitos para proteção contra choques elétricos são baseados nas regras básicas das normas IEC 61140 e IEC 60364. Os sistemas de eletrificação rural descentralizados são projetados para fornecer energia elétrica em locais que não estão conectados a um sistema interligado ou a uma rede nacional, em resposta às necessidades básicas. Entre esses lugares pode-se citar casas remotas e casas rurais, além de serviços para comunidades e atividades econômicas.
<b>IEC TS 62257-6:2015</b>	Recomendações para energias renováveis e sistemas híbridos para eletrificação rural - Parte 6: Aprovação, operação, manutenção e substituição.	A norma IEC TS 62257-6: 2015 (E) descreve as várias regras que devem ser aplicadas para a aprovação, operação, manutenção e substituição de sistemas de eletrificação rural descentralizados, projetados para fornecer energia elétrica em locais que não estejam conectados a uma rede elétrica. Esta especificação técnica propõe uma metodologia para alcançar as melhores condições técnicas e econômicas para aprovação, operação, manutenção e substituição de equipamentos e o ciclo de vida completo do sistema.
<b>IEC TS 62257-7-1:2010</b>	Recomendações para pequenos sistemas híbridos e renováveis de energia para eletrificação rural - Parte 7-1: Geradores - Geradores fotovoltaicos.	A norma IEC/TS 62257-7-1:2010(E) especifica os requisitos gerais para o projeto e a segurança de geradores utilizados em sistemas de eletrificação rural descentralizados. Define os requisitos para estruturas fotovoltaicas de baixa tensão e extrabaixa tensão. Atenção especial deve ser dada ao nível de tensão, uma vez que é importante por razões de segurança e influencia as medidas de proteção e o nível de habilidade e experiência dos operadores.

Norma	Título	Breve descrição
IEC TS 62257-7-3:2008	Recomendações para pequenos sistemas de energia híbrida e renovável para eletrificação rural - Parte 7-3: Grupo gerador - Seleção de grupos geradores para sistemas de eletrificação rural.	A norma IEC/TS 62257-7-3:2008(E) especifica os requisitos gerais para seleção, dimensionamento, construção e operação de grupos geradores em sistemas de eletrificação rural descentralizados. Aplica-se a todos os conjuntos de geradores de baixa tensão, com motores de combustão, com uma potência nominal até 100 kVA e concebidos para fornecer energia elétrica em locais remotos, utilizados em sistemas em conformidade com a norma IEC/TS 62257-2.
IEC TS 62257-1:2007	Recomendações para pequenos sistemas de energia híbrida e renovável para eletrificação rural - Parte 8-1: Seleção de baterias e sistemas de monitoramento de bateria para sistemas de eletrificação autônoma - Caso específico de baterias de chumbo-ácido úmidas para automóveis, disponíveis em países em desenvolvimento.	Propõe testes comparativos, simples e econômicos, para discriminar facilmente, em um painel de baterias de chumbo-ácido úmido para automóveis, o modelo mais satisfatório para sistemas individuais de eletrificação fotovoltaica.
IEC TS 62257-9-1:2016	Recomendações para sistemas de energia híbridos e renováveis para eletrificação rural - Parte 9-1: Sistemas integrados - Microsistemas de energia.	A norma IEC TS 62257-9-1:2016(E) define os requisitos gerais para projetar, construir e operar usinas de microenergia e os requisitos gerais para fornecer segurança para pessoas e bens. As usinas de microenergia cobertas por esta especificação são de baixa tensão, trifásicas ou monofásicas de corrente alternada (CA), com capacidade nominal menor ou igual a 100 kVA.
IEC TS 62257-9-2:2016	Recomendações para sistemas de energia híbridos e renováveis para eletrificação rural - Parte 9-2: Sistemas integrados - Geração distribuída.	A norma IEC TS 62257-9-2:2016(E) especifica a geração distribuída composta de linhas altas por razões técnicas e econômicas no contexto da eletrificação rural descentralizada. A geração distribuída coberta por esta parte da IEC 62257 é uma corrente alternada de baixa tensão, trifásica ou monofásica (CA) com uma capacidade nominal menor ou igual a 100 kVA. É alimentada por uma única usina de geração distribuída.
IEC TS 62257-9-3:2016	Recomendações para sistemas de energia híbridos e renováveis para eletrificação rural - Parte 9-3: Sistemas integrados - Interface do usuário.	A norma IEC TS 62257-9-3:2016(E) especifica os requisitos gerais para projetar e implementar o equipamento de interface na instalação do usuário que se conecta à rede de geração distribuída ou à parte geradora de um sistema autônomo. Ela é aplicada a interfaces de usuário simplificadas (quadro de distribuição) em instalações elétricas com uma potência máxima de 500 VA em sistemas de eletrificação rural descentralizados.
IEC TS 62257-9-4:2016	Recomendações para sistemas de energia híbridos e renováveis para eletrificação rural - Parte 9-4: Sistemas integrados - Instalação do usuário.	A norma IEC TS 62257-9-4:2016(E) especifica os requisitos gerais para o projeto e implementação de uma instalação de usuário. É aplicada a instalações elétricas monofásicas do usuário com uma potência máxima de 500 VA em sistemas descentralizados de eletrificação rural. É aplicável a instalações alimentadas por uma rede de geração de AC distribuída e a instalações que compreendem sua própria usina com uma única unidade de geração distribuída de CA ou CC.

Norma	Título	Breve descrição
IEC TS 62257-9-6:2008	<p>Recomendações para pequenos sistemas de energia híbrida e renovável para eletrificação rural</p> <p>- Parte 9-5: Sistema integrado - Seleção de sistemas de eletrificação fotovoltaicos individuais (FV-IES).</p>	<p>A norma IEC 62257-9-6:2008(E) propõe um procedimento de seleção simples e testes comparativos econômicos que podem ser realizados em laboratórios em países em desenvolvimento para identificar o modelo mais adequado de pequenos sistemas de eletrificação fotovoltaica individuais (FV-IES) de até 500 Wp para um projeto específico de eletrificação rural de uma série de produtos enviados para teste. Os testes especificados na IEC 62257-9-6 permitem avaliar o desempenho de um FV-IES de acordo com os requisitos da especificação geral do projeto (consulte a IEC/TS 62257-2) e verificar sua capacidade de fornecer serviço necessário.</p>
IEC 62109-1:2010	<p>Segurança de inversores de energia para uso em sistemas de energia fotovoltaica</p> <p>- Parte 1: Requisitos gerais.</p>	<p>A norma IEC 62109-1:2010(E) é aplicada ao equipamento de inversão de energia (PCE) para uso em sistemas fotovoltaicos, onde é necessário um nível técnico uniforme em relação à segurança. Ela define os requisitos mínimos para projetar e fabricar um equipamento de conversão de potência (PCE) para proteção contra choque elétrico, energia, incêndio, riscos mecânicos e outros. Define os requisitos gerais aplicáveis a todos os tipos de PCV FV.</p>
IEC 62109-2:2011	<p>Segurança de inversores de potência para uso em sistemas fotovoltaicos</p> <p>- Parte 2: Requisitos específicos para inversores.</p>	<p>A norma IEC 62109-2:2011 abrange os requisitos de segurança específicos aplicáveis aos inversores CC e CA e produtos que, entre outros, executam funções de inversor, nas quais este é destinado para uso em sistemas de energia fotovoltaica. Os inversores incluídos por este padrão podem ser inversores interativos com a rede, autônomos ou múltiplos, podem ser alimentados por um ou vários painéis fotovoltaicos agrupados em várias configurações de disposição de painéis e podem ser destinados para uso em conjunto com baterias ou outras formas de armazenamento de energia. Este padrão deve ser utilizado em conjunto com o IEC 62109-1.</p>
IEC 61000-6-1:2016 RLV Versión límite	<p>Compatibilidade eletromagnética (EMC) - Parte 6-1: Padrões genéricos - Padrão de imunidade para ambientes residenciais, comerciais e de indústria leve.</p>	<p>A norma IEC 61000-6-1:2016 para os requisitos de imunidade EMC se aplica a equipamentos elétricos e eletrônicos destinados a uso em ambientes públicos, residenciais, comerciais e de indústrias leves. Os requisitos de imunidade são definidos na faixa de frequência de 0 Hz a 400 GHz. Não é necessário realizar testes com frequências nas quais os requisitos não foram especificados.</p>

Norma	Título	Breve descrição
<b>IEC 62485-2:2010</b>	Requisitos de segurança para a instalação da bateria principal e das baterias secundárias - Parte 2: Baterias fixas.	A norma IEC 62485-2:2010 aplica-se às instalações da bateria principal e das baterias secundárias fixas com uma tensão máxima de CC 1500V (nominal) e descreve as principais medidas de proteção contra os riscos causados por: » eletricidade; » emissão de gases; » eletrólitos.  Esta norma internacional define os requisitos sobre aspectos de segurança relacionados à construção, uso, inspeção, manutenção e descarte. Refere-se às baterias de ácido de chumbo e NiCd / NiMH.
<b>IEC 61724-1:2017</b>	Desempenho do sistema fotovoltaico - Parte 1: Supervisão.	A norma IEC 61724-1:2017(E) define os equipamentos, métodos e terminologia para analisar e monitorar o desempenho de sistemas fotovoltaicos. Refere-se a sensores, instalações e à precisão para monitorar o equipamento, além da aquisição de dados dos parâmetros medidos e verificações de qualidade, parâmetros calculados e medições de desempenho. Além disso, serve como base para outros padrões referentes aos dados coletados.
<b>IEC TS 61724-2:2016</b>	Desempenho do sistema fotovoltaico - Parte 2: Método de avaliação da capacidade.	A norma IEC TS 61724-2:2016(E) define um procedimento para medir e analisar a produção de energia de um sistema fotovoltaico específico, com o objetivo de avaliar a qualidade do desempenho do sistema fotovoltaico. Este teste deve ser aplicado por um período de tempo relativamente curto (alguns dias com bastante sol). O objetivo deste documento é especificar um procedimento sistemático para comparar a energia produzida medida com a energia esperada em um sistema fotovoltaico em dias com bastante sol.
<b>IEC TS 61724-3:2016</b>	Desempenho do sistema fotovoltaico - Parte 3: Método de avaliação de energia.	A norma IEC TS 61724-3:2016(E) define um procedimento para medir e analisar a produção de energia de um sistema fotovoltaico específico em comparação com a produção de energia esperada para o mesmo sistema em condições de tempo real, conforme definido pelos interessados no teste. A produção de energia é caracterizada especificamente para os períodos em que o sistema está funcionando (disponível). Os períodos em que o sistema não está funcionando (não disponível) são quantificados como parte de uma medição de disponibilidade. O objetivo desta especificação técnica é definir um procedimento para comparar a energia elétrica medida com a energia elétrica esperada do sistema fotovoltaico.

Fonte: Todos os padrões são encontrados nos sites de padrões IEC y del IEEE.

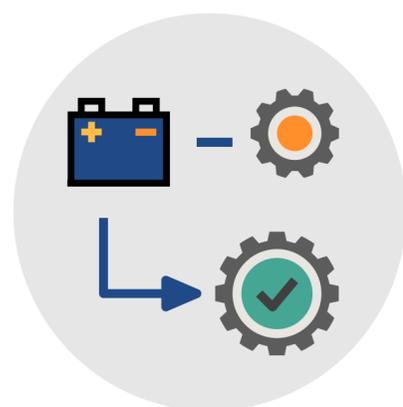


MS

Como eu opero e mantenho os Sistemas Fotovoltaicos?

A operação e manutenção dos sistemas fotovoltaicos é um elemento fundamental para garantir a durabilidade e o desempenho durante toda a vida útil para a qual o sistema foi projetado.

Embora algumas tarefas devam ser executadas por pessoal treinado, existem algumas ações muito importantes que podem ser realizadas por qualquer usuário comum do sistema.



## Operação

A operação de sistemas fotovoltaicos é, principalmente, automática. Isso significa que a interferência do usuário não seria necessária quando o sistema está operando corretamente. Normalmente, os inversores possuem uma rede digital que permite ao usuário acessar dados importantes sobre os resultados do sistema.

É um hábito verificar regularmente os dados do inversor para checar se as informações estão corretas ou são esperadas. Os usuários devem verificar os instaladores dos níveis esperados de tensão, corrente, potência e energia.

Conhecendo esses valores, é possível verificar valores semanais de saída do sistema, certificando-se que ele funciona corretamente.

Se alguma anomalia for encontrada deve ser comunicada ao serviço técnico de manutenção devidamente capacitado.

## Manutenção

As instalações fotovoltaicas adequadamente projetadas e instaladas funcionam sem problemas com manutenção mínima, o que pode ser feito até por pessoas da comunidade com algum treinamento mínimo na operação e nos componentes do sistema. No entanto, atividades mais específicas, como substituição ou solução de quebras, devem ser realizadas por pessoal qualificado.

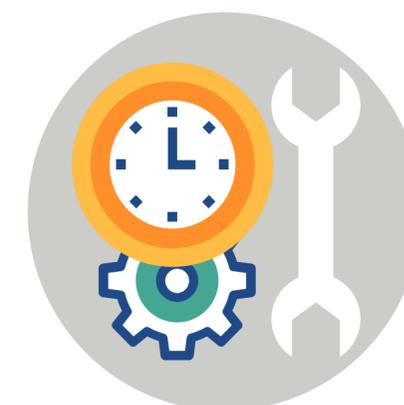
É raro que ocorra uma falha completa nos sistemas fotovoltaicos conectados à rede. Quando dimensionados e instalados adequadamente, os sistemas conectados à rede funcionam bem por muitos anos, e as possíveis falhas, geralmente, são resolvidas com reparos simples. Para garantir que o sistema fotovoltaico funcione como esperado a longo prazo, é necessária uma manutenção periódica, a qual ajuda a identificar e evitar possíveis problemas que possam afetar o desempenho do sistema fotovoltaico.

Antes de realizar qualquer procedimento de manutenção no sistema fotovoltaico, este deve ser desconectado de qualquer

carga ou rede, por meio de um interruptor ou disjuntor.

As atividades de manutenção realizadas corretamente também são essenciais para garantir que, uma vez instalados, os componentes do sistema mantenham as garantias do fabricante, que geralmente são de 25 a 30 anos para painéis fotovoltaicos e de 5 a 10 anos para os inversores.

As principais atividades de manutenção são:



## Limpeza

A limpeza é a atividade de manutenção mais elementar.

No caso de painéis fotovoltaicos, é necessário verificar periodicamente e limpar a superfície de vidro dos painéis, retirando poeira, folhas, galhos, excrementos de pássaros, insetos ou solo, etc. A limpeza dos painéis deve ser feita com água, e no caso de qualquer elemento aderente ter que ser removido, um pouco de sabão pode ser utilizado.

É aconselhável realizar esta atividade quando o sol não está em sua irradiação máxima para não afetar o funcionamento do sistema.

No caso de baterias, a limpeza deve ser feita pelo menos uma vez por mês, com especial cuidado para não transportar elementos metálicos nas mãos, como anéis ou braceletes, que possam entrar em contato acidental com os polos das baterias.

## Inspeção visual

A inspeção visual pode ser realizada por qualquer usuário que, ao encontrar alguma anomalia, deve contatar o pessoal especializado para decidir quais ações tomar.

A Tabela 20 resume algumas atividades de inspeção visual que devem ser realizadas nos componentes do sistema fotovoltaico.



### Tabela 20

Procedimentos de inspeção visual para sistemas fotovoltaicos

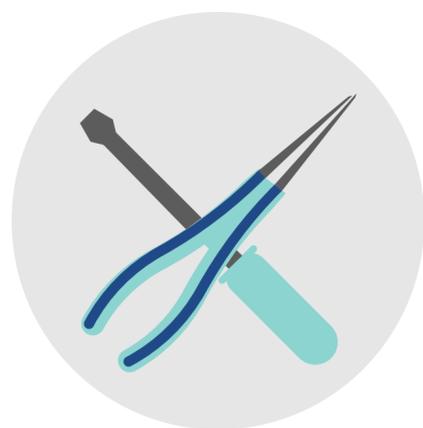
Componente do sistema fotovoltaico	Inspeção visual
Painéis fotovoltaicos	Verificação de dano físico: » Quadros curvos ou com corrosão. » Vidro quebrado ou rachado ou outros defeitos físicos.  Verifique as condições de sujeira.
Inversor e controlador de carga	Verifique se há uma mensagem de erro.
Baterias	Verifique se há peças enferrujadas na bateria e vazamento de líquidos químicos.
Cabos e conectores	Verifique as condições dos cabos e conectores, e se há danos físicos que podem ser causados por condições climáticas ou por insetos e/ou roedores.

### Testes elétricos

Para realizar atividades de manutenção que envolvam testes elétricos, é muito importante solicitar a ajuda de profissionais experientes.

### Reparos

Os reparos também devem ser realizados por profissionais experientes e, sob nenhuma circunstância, é aconselhável realizar atividades como abertura de caixas ou tampas de componentes do sistema.



## Tabela 21

Procedimentos de inspeção visual e medidas recomendadas para sistemas fotovoltaicos.

Componente do sistema fotovoltaico	Inspeção visual	Ação
Painéis fotovoltaicos	Verificar dano físico: - Quadros curvos ou com corrosão. - Vidro quebrado ou rachado ou outros defeitos físicos.	Substitua o painel fotovoltaico danificado.
	Verifique as condições de sujeira.	Limpe os painéis fotovoltaicos com um pano de algodão úmido (usando apenas água).
Inversor e controlador de carga	Verifique se há uma mensagem de erro.	Verifique as instruções do fabricante para o significado desta mensagem de erro e solicite a assistência de um profissional especializado, se necessário.
Baterias	Verifique se há peças enferrujadas na bateria e vazamento de líquidos químicos.	Substitua a bateria danificada.
Cabos e conectores	Verifique as condições dos cabos e conectores, e se há danos físicos que podem ser causados por condições climáticas ou por insetos e/ou roedores.	Substitua componentes danificados e execute ações corretivas em conectores que não estão conectados corretamente.

## Substituição

### Substituição antes das falhas

A **Tabela 21** incorpora da **Tabela 20** algumas sugestões de medidas de reparo, que devem ser avaliadas por um profissional antes de serem realizadas.

### Substituição programada

Sistemas fotovoltaicos são compostos de muitos elementos com diferentes ciclos de vida. Portanto, é importante considerar a substituição de alguns componentes durante o ciclo de vida de todo o sistema. A **Tabela 2** resume o ciclo de vida dos principais componentes do sistema fotovoltaico..



## Disposição final dos componentes

Geralmente, células fotovoltaicas podem ser reutilizadas e trocadas quando são danificadas em um painel fotovoltaico. Além disso, em alguns países, há empresas que reciclam painéis fotovoltaicos quando atingem sua vida útil, já que seus principais componentes são vidro e metal. No entanto, a tecnologia de reciclagem ainda não é generalizada ou de fácil acesso.

Se não for possível reciclar os painéis, uma vez que um painel fotovoltaico tenha atingido sua vida útil, é necessário descartá-lo com cuidado, pois seus elementos podem causar danos (principalmente vidro) e alguns de seus componentes são classificados como resíduos perigosos. Alguns países classificam o lixo como material industrial, perigoso ou eletrônico<sup>20</sup>.

Em relação às baterias, um dos principais componentes dos sistemas fotovoltaicos, devem ser removidas por uma empresa com uma licença ambiental

<sup>20</sup> IRENA. (2016). **End-of-life management: Solar photovoltaic panels.**

correspondente, uma vez que tenham atingido sua vida útil. Enquanto isso, elas não devem estar abertas, mas em um espaço sob o telhado, e em um recipiente que evite o possível vazamento de líquidos. Elas não devem ser descartadas no lixo doméstico nem se deve esvaziar seu conteúdo.

A opção mais recomendada é que, se houver uma empresa que realize a manutenção periódica dos componentes do sistema, que o contrato de serviço estabeleça que ela deva retirar e assumir os componentes do sistema, uma vez que tenham atingido sua vida útil.



M10

# Aplicação de Sistemas Fotovoltaicos no Brasil

Escrito por Luiz Lopes

A energia solar fotovoltaica, embora seja a fonte renovável com crescimento mais acelerado no mundo, no Brasil, ainda necessita de avanços em políticas públicas (financiamentos, subsídios, normas técnicas, isenções) para fomentar os investimentos, tanto em grandes usinas, como em micro e mini usinas de energia fotovoltaicas.

Conforme o reporte 2017 do **Ministerio de Minas e Energia (MME)**, o Brasil possuía, ao final de 2016, 81 MWp de energia solar fotovoltaica instalados, sendo 24 MWp de geração centralizada e 57 MWp de geração distribuída. Porém, o crescimento de esta tecnologia é impressionante. Já em agosto de 2018, as instalações de geração distribuída atingiram 32 000 unidades, com 300 MWp. Com isso, o total da capacidade instalada, incluído 1,3 GWp de geração centralizada, somaba 1,6 GWp.

Vemos na Figura 13 uma projeção do Bloomberg New Energy Finance (BNEF) que destaca uma projecção do crescimento da energia solar fotovoltaica em 2040 no Brasil.

### Matriz Eléctrica Brasileira - Projeção para 2040 (400,0 GW)

- Solar
- Hidrica
- Eólica
- Capacidade Flexivel
- Biomassa
- Gás Natural
- Carvão
- Nuclear
- Óleo

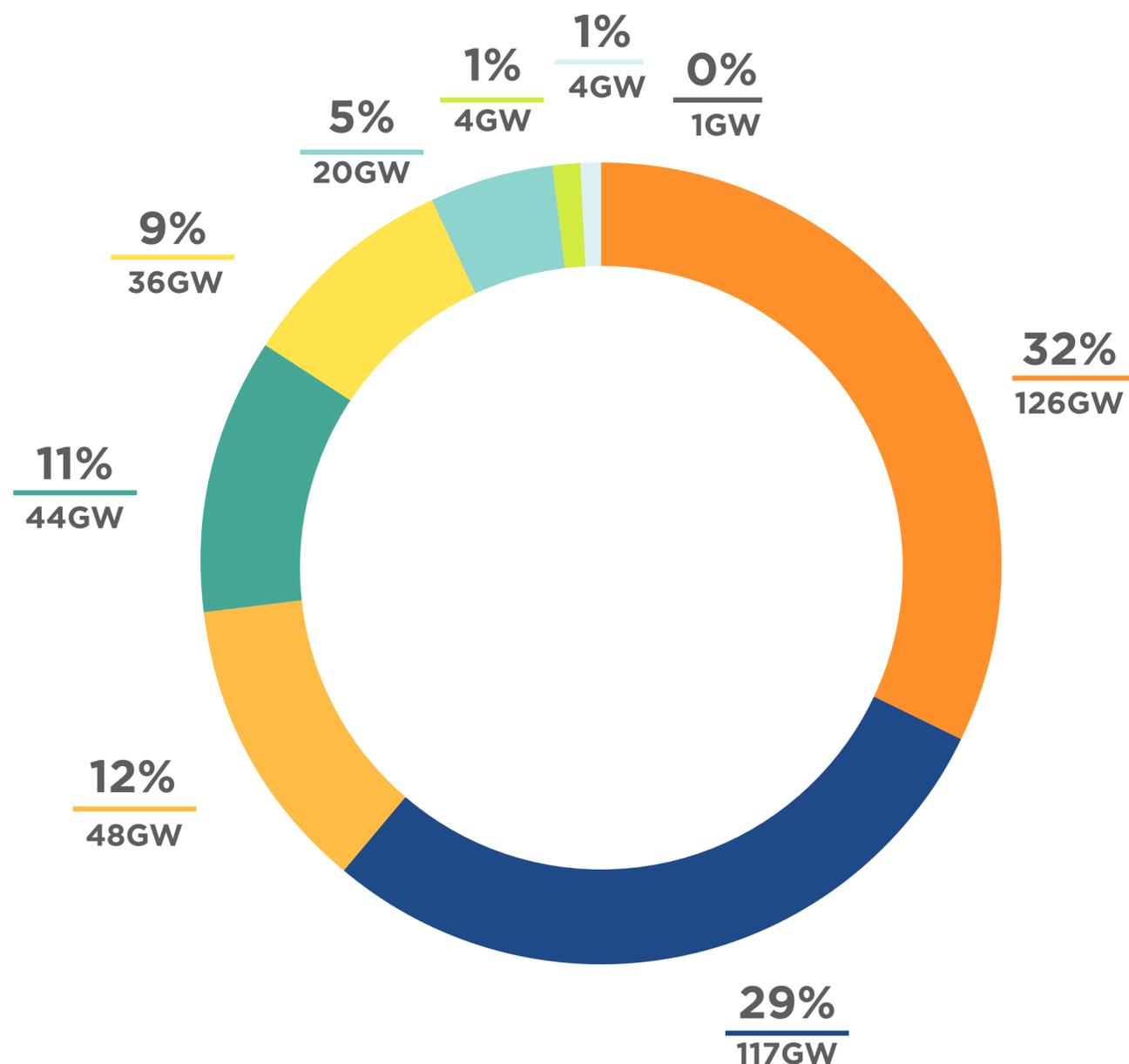


Figura 13 Projeção da BNEF para a Matriz Eléctrica Brasileira em 2040. Fonte: BNEF, 2016b (Adaptado por Cela -Clean Energy Latin America)

## Antecedentes e arcabouço legal no Brasil

Segundo a Resolução N° 482 da **Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL)**, a microgeração diz respeito ao sistema gerador de energia elétrica com potência instalada inferior ou igual a 100 Kw (quilowatts), enquanto minigeração se refere a sistema gerador de energia elétrica com potência instalada superior a 100 kW e menor ou igual a 1 MW (megawatts). Tais parâmetros foram alterados posteriormente pela Resolução N° 687, passando a ser de 75 KW para microgeração e de 75KW até 5 MW (5000 KW) para minigeração.

Com essas resoluções nascia o sistema de compensação: toda a energia ativa, em Watts, injetada na rede pelo sistema gerador de uma unidade consumidora, é transmitida gratuitamente à distribuidora local e posteriormente compensada sobre o consumo de energia elétrica ativa, também em Watts, dessa mesma unidade consumidora ou de outra.

É importante perceber, porém, que ambas devem pertencer ao mesmo titular, seja pessoa física (CPF) ou pessoa jurídica (CNPJ), cabendo ao consumidor definir a ordem de compensação dessas unidades, excluindo-se a unidade consumidora geradora, que deve, necessariamente, ser a primeira a ter seu consumo compensado. A energia não consumida se transformará em créditos energéticos que são válidos por um prazo de até 36 meses.

Vale lembrar que, segundo a Resolução N° 482, para o faturamento dessa energia fica definido que: I – para consumidores do “grupo A” deve ser cobrado, no mínimo, o valor referente à demanda contratada; II – para os do “Grupo B” o valor referente ao custo de disponibilidade de acesso à rede.

Em 24 de novembro de 2015, a ANEEL inovou novamente com a Resolução N° 687, diminuindo o processo burocrático para a inserção das centrais geradoras junto às concessionárias de energia elétrica, destacando-se o aumento no prazo para uso dos créditos energéticos de 36 para 60 meses. O período para a aprovação do sistema fotovoltaico junto à concessionária também mudou, de 82 para 34 dias, além de eliminar o custo de aquisição de medidores para microgeração.

Outra inovação desta resolução foi a possibilidade de locais com múltiplas unidades consumidoras. Os condomínios situados em mesma área, sejam verticais ou horizontais, com o sistema gerador instalado em área comum, nos quais as unidades consumidoras do local e

a área comum do condomínio sejam energeticamente independentes, podem agora dividir os créditos gerados por este sistema.

Foi criado também a possibilidade de consumidores de CPF ou CNPJ distintos, abastecidos pela mesma concessionária distribuidora, associados por meio de cooperativa ou consórcio, através da Geração compartilhada. Além, é claro, do Autoconsumo remoto, já citado na Resolução N° 482, pelo qual unidades consumidoras distintas, pertencentes à uma mesma uma mesma pessoa física ou jurídica, com mesmo CPF ou CNPJ, e situadas dentro da área de atuação da mesma concessionária, podem utilizar os mesmos créditos energéticos.

Lei 10.848/2004

Decreto  
2.653/2004

Resolução  
N° 482/2012 -  
ANEEL

Resolução N°  
687/2015 - ANEEL

## Como dimensionar o sistema, executar a obra e como é o processo de conexão?

Para determinar o tamanho do sistema leva-se em conta o consumo médio de energia.

Para produzir mais energia, basta colocar mais painéis no telhado; mas o dimensionamento mais detalhado do sistema, leva em conta outros parâmetros, como:

- » Localização da instalação e nível de irradiação solar
- » Disponibilidade de área e condições de sombreamento
- » Inclinação e orientação dos painéis
- » Compatibilidade entre os painéis e inversores

Na Tabela 22, mostra um exemplo da relação entre as necessidades de não consumo e o número de painéis necessários. No entanto, essa relação não

é linear e depende de outros fatores que devem ser considerados.

A Tabela 23, na próxima página, mostra os passos necessários para implementar sistemas fotovoltaicos no Brasil.

**Tabela 22** Exemplos do número de placas e área necessária e relação o consumo

Consumo mensal	Placas necessárias	Área mínima p/ instalação
300 kWh	10	20m <sup>2</sup>
500 kWh	16	32m <sup>2</sup>
1.000 kWh	32	65m <sup>2</sup>

### OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO

- » MINISTERIO DE MINAS E ENERGIA
- » AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA
- » ATLAS BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR
- » ABSOLAR
- » CANAL ENERGIA
- » CENTRO SEBRAE DE SUSTENTABILIDADE

### ETAPA 1 - Realizar uma análise preliminar.

Primeiramente deve-se verificar o consumo médio de energia elétrica do prédio, informado na conta de energia fornecida pela concessionária de distribuição de energia em sua cidade. Este indicador medido em kWh (quilowatt-hora) ajudará a determinar a capacidade instalada da usina de energia fotovoltaica.

Em seguida, deverá ser identificado o local onde será instalada a usina para avaliar as condições físicas e geográficas (radiação solar de sua cidade ou localidade) para garantir uma maior eficiência do seu sistema.

No **Modulo 5**, **Modulo 6** e **Modulo 7** pode ajudar a fazer essa análise preliminar. Também, na internet existem diversos aplicativos que fazem simulações de um pré-dimensionamento de usina fotovoltaica. Por exemplo, o site do **Centro Sebrae de Sustentabilidade**.

### ETAPA 2 - Contratar uma empresa especializada para projeto

Com base nessas informações preliminares, é elaborado um projeto básico para o dimensionamento da usina fotovoltaica contendo o detalhamento

das instalações elétricas e obras civis, conforme a demanda de energia elétrica ideal para o prédio, com fornecimento parcial ou total.

É aconselhável contratar uma empresa especializada para elaboração do projeto elétrico e do projeto civil.

### ETAPA 3 - Encaminhar os projetos para aprovação

Encaminhar os projetos para aprovação junto aos órgãos competentes (Conselho Regional de Engenharia - CREA, Corpo de Bombeiros, concessionária local, prefeitura, dentre outros).

### ETAPA 4 - Contratar uma empresa especializada para instalação

Contratar uma empresa especializada para instalação, montagem e comissionamento (testes e avaliações finais para garantir a operação e a confiabilidade do sistema/usina fotovoltaico).

### ETAPA 5 - Entre em contato com a concessionária local

Solicitar à concessionária local uma vistoria, para que o ponto de conexão à rede seja aprovado. Caso necessário, fazer os ajustes solicitados pela concessionária local.

### ETAPA 6 - Monitorar o funcionamento do sistema

Após aprovação, a sua instalação está apta a ter os benefícios do sistema de compensação de energia. A partir daí a leitura da conta de energia constará de duas medidas: a medida consumida e a medida gerada. É importante lembrar que a concessionária de distribuição de energia elétrica local pode vir a cobrar o Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Prestação de Serviços (ICMS) sobre a eletricidade gerada pelo sistema fotovoltaico e também o valor mínimo, referente ao custo de disponibilidade de energia. Sendo assim, recomendamos procurar informações junto à concessionária local.

Tabela 23

Etapas necessárias para dimensionar, executar a obra e conectar na rede da distribuidora um sistema fotovoltaico no Brasil

Etapa 1	Etapa 2	Etapa 3	Etapa 4	Etapa 5	Etapa 6
Realizar uma análise preliminar	Contratar uma empresa especializada para projeto	Encaminhar os projetos para aprovação	Contratar uma empresa especializada para instalação	Entre em contato com a concessionária local	Monitorar o funcionamento do sistema

## Como são calculados os créditos de energia?

No Brasil a energia gerada pelo sistema fotovoltaico não pode ser vendida, mas a energia excedente gera créditos que podem ser abatidos integralmente da conta de luz. Este sistema é chamado de Compensação de Energia ou Net-Metering e foi escolhido pelo Brasil como forma de estimular o investimento produção de energia para autoconsumo. No sistema de compensação adotado no Brasil, o consumidor paga apenas o saldo líquido entre a produção e o consumo de energia durante mês. O excedente solar é injetado na rede pública, gerando créditos em energia. Por outro lado, quando o sol não é suficiente, a energia da rede complementa o consumo. No final do mês a conta de luz indica o consumo e os créditos gerados. O consumidor paga apenas o saldo.

Os créditos acumulados podem ser utilizados nos meses subsequentes, por até 60 meses, o que permite corrigir as diferenças de produção de energia

durante as estações, ou as diferenças de consumo, como, por exemplo, durante as férias ou com o maior uso de ar-condicionado no verão. Alternativamente, os créditos podem ser utilizados em outras contas de luz, desde que no mesmo CPF ou CNPJ, e também na mesma distribuidora.

### Como é feito o controle da energia consumida e produzida, é preciso trocar o relógio?

Sim, o relógio precisa ser trocado, mas quem faz isso é a própria distribuidora. O relógio adequado para quem tem energia solar é chamado de Medidor Bidirecional e além da entrada, mede também a saída

de energia. Dessa forma fica fácil para a distribuidora e para o cliente terem controle sobre os créditos e débitos de energia.

### E a Distribuidora? Preciso de autorização para ligar o sistema?

Sim, esta é uma etapa importante pois o sistema fotovoltaico utiliza-se da rede da distribuidora e, portanto, é necessária a autorização da distribuidora para instalação do gerador solar. Pular esta etapa coloca em risco a rede de energia e pode, inclusive, causar acidentes com os operadores de manutenção. Além disso, sem a autorização da distribuidora o relógio não será trocado e toda energia

injetada na rede será desperdiçada pelo consumidor, que ficará fora do sistema de compensação e créditos, reduzindo o retorno sobre o investimento.

Deve ser feito um projeto pelo engenheiro responsável que emite uma Anotação de Responsabilidade Técnica (ART) perante o CREA. Um projeto, memorial descritivo e um conjunto de documentos será entregue à distribuidora para avaliação e aprovação. A notícia boa é que este processo já está definido pela ANEEL e as distribuidoras são obrigadas a aceitar os sistemas e trocar o relógio, dentro de prazos máximos definidos, desde que o projeto siga as normas técnicas vigentes.

**Tabela 24** | Exemplos de cálculo de créditos de energia

Situação 1 (consumo supera a produção)		Situação 2 (produção supera o consumo)	
Consumo ou energia recebida	500 kWh	Consumo ou energia recebida	400 kWh
Excedente ou créditos gerados	400 kWh	Excedente ou créditos gerados	500 kWh
Saldo a pagar	100 kWh	Créditos Acumulados	100 kWh



# + Sol + luz

**Guia prático para implementação de sistemas  
fotovoltaicos em projetos de infraestrutura social**

**Edição especial para o Brasil**

**Mauro Passos - Arturo Alarcon - Wilhelm Dalaison**

