

Energia Solar Fotovoltaica

Energia Solar Fotovoltaica

A **energia solar fotovoltaica** é a energia obtida através da conversão direta da luz em eletricidade (Efeito Fotovoltaico) sendo a célula fotovoltaica, um dispositivo fabricado com material semicondutor, a unidade fundamental desse processo de conversão.

Este tipo de energia usa-se para alimentar inumeráveis aplicativos e aparelhos autónomos, para abastecer refúgios ou moradias isoladas da rede elétrica e para produzir eletricidade a grande escala através de redes de distribuição. Devido à crescente demanda de energias renováveis, a fabricação de células solares e instalações fotovoltaicas tem avançado consideravelmente nos últimos anos. Entre os anos 2001 e 2015 produziu-se um crescimento exponencial da produção de energia fotovoltaica, dobrando-se aproximadamente a cada dois anos. A potência total fotovoltaica instalada no mundo (conectada à rede) ascendia a 16 GWp em 2008, 40 GWp em 2010, 100 GWp em 2012 e 140 GWp em 2013. No final de 2014, tinham-se instalado em todo mundo cerca de 180 GWp de potência fotovoltaica.

Graças a este crescimento, e a constante sofisticação e a economia de escala, o custo da energia solar fotovoltaica baixou gradualmente desde o início do seu desenvolvimento, aumentando a eficiência, e conseguindo que o seu custo médio de geração elétrica seja já competitivo com as fontes de energia convencionais num crescente número de regiões geográficas, atingindo a paridade de rede. A energia solar fotovoltaica converteu-se na terceira fonte de energia renovável mais importante em termos de capacidade instalada a nível global, após as hidroelétricas e eólicas, e supõe já uma fracção significativa do mix elétrico na União Europeia, cobrindo em media os 3,5 % da procura de eletricidade e atingindo os 7 % nos períodos de maior produção. Em alguns países, como a Alemanha, Itália ou Espanha, atinge máximos superiores a 10 %, do mesmo modo que no Japão ou em alguns estados solarengos dos Estados Unidos, como na Califórnia. A produção anual de energia elétrica gerada mediante esta fonte de energia a nível mundial equivalia em 2015 a cerca de 184 TWh, suficiente para abastecer as

necessidades energéticas de milhões de lares e cobrindo aproximadamente um 1 % da demanda mundial de eletricidade.

História

O termo "fotovoltaico" começou-se a usar no Reino Unido no ano 1849. Vem do grego φῶς: *phos*, que significa "luz", e de *-voltaico*, que vem do âmbito da eletricidade, em honra ao físico italiano Alessandro Volta.

O efeito fotovoltaico foi reconhecido pela primeira vez uns dez anos antes, em 1839, pelo físico francês Alexandre Edmond Becquerel, mas a primeira célula solar não se fabricou até 1883. Seu criador foi Charles Fritts, quem recobriu uma amostra de selênio semicondutor com pó de ouro para formar a união. Este dispositivo primitivo apresentava uma eficiência menor do 1 %, mas demonstrou de forma prática que, efectivamente, produzir eletricidade com luz era possível.

Os estudos realizados no século XIX por Michael Faraday, James Clerk Maxwell, Nikola Tesla e Heinrich Hertz sobre indução eletromagnética, forças elétricas e ondas eletromagnéticas, e sobretudo os de Albert Einstein em 1905, proporcionaram a base teórica ao efeito fotoelétrico, que é o fundamento da conversão de energia solar para eletricidade.

Princípio de Funcionamento

Num semicondutor exposto à luz, um fóton de energia arranca um elétron, criando ao mesmo tempo uma lacuna ou buraco no átomo excitado. Normalmente, o elétron encontra rapidamente outra lacuna para voltar a enchê-lo, e a energia proporcionada pelo fóton, por tanto, dissipa-se em forma de calor. O princípio de uma célula fotovoltaica é obrigar aos elétrons e as lacunas a avançar para o lado oposto do material em lugar de simplesmente recombinar-se nele: assim, produzir-se-á uma diferença de potencial e portanto tensão entre as duas partes do material, como ocorre numa pilha.

Para isso, cria-se um campo elétrico permanente, através de uma união pn, entre duas capas dopadas respectivamente, p e n. Nas células de silício, que são maioritariamente utilizadas, se encontram por tanto:

- A capa superior da célula, que se compõe de silício dopado de tipo n. Nesta capa, há um número de elétrons livres maior que numa capa de silício puro, daí o nome do dopagem n, negativo. O material permanece eletricamente neutro, já que tanto os átomos de silício como os do material dopante são neutros: mas a rede cristalina tem globalmente uma maior presença de elétrons que numa rede de silício puro.
- A capa inferior da célula, que se compõe de silício dopado de tipo p. Esta capa tem portanto uma quantidade média de elétrons livres menor que uma capa de silício puro. Os elétrons estão unidos à rede cristalina que, em consequência, é eletricamente neutra mas apresenta *lacunas*, positivas (p). A condução elétrica está assegurada por estes portadores de carga, que se deslocam por todo o material.

No momento da criação da união pn, os elétrons livres de capa n entram instantaneamente na capa p e se recombinaem com as lacunas na região p. Existirá assim durante toda a vida da união, uma carga *positiva* na região n ao longo da união (porque faltam elétrons) e uma carga *negativa* na região em p ao longo da união (porque as lacunas têm desaparecido); o conjunto forma a «Zona de Carga de Espacial» (ZCE) e existe um campo elétrico entre as duas, de n para p. Este campo elétrico faz da ZCE um diodo, que só permite o fluxo de corrente numa direcção: os elétrons podem mover da região p ao n, mas não na direcção oposta e pelo contrário as lacunas não passam mais que de n para p.

Em funcionamento, quando um fóton arranca um elétron à matriz, criando um elétron livre e uma lacuna, sobre o efeito deste campo elétrico a cada um vai em direcção oposta: os elétrons acumulam-se na região n (para converter-se em polo negativo), enquanto as *lacunas* acumulam-se na região dopada p (que se converte no polo positivo). Este fenómeno é mais eficaz na zona de carga espacial, onde quase não há portadores de carga (elétrons ou *lacunas*), já que são anulados, ou na redondeza imediata à ZCE: quando um fóton cria um pare

elétron-lacuna, separaram-se e é improvável que encontrem a seu oposto, mas se a criação tem lugar num lugar mais afastado da união, o elétron (convertido em lacuna) mantém uma grande oportunidade para recombinar-se antes de chegar à zona n. Mas a ZCE é necessariamente muito fina, de modo que não é útil dar uma grande espessura à célula.

Efectivamente, a espessura da capa n é muito pequena, já que esta capa só se precisa basicamente para criar a ZCE que faz funcionar a célula. Em mudança, a espessura de capa p é maior: depende de um compromisso entre a necessidade de minimizar as recombinações *elétron-lacuna*, e pelo contrário permitir a captação do maior número de fotões possível, para o que se requiere verdadeira mínima espessura.

Em resumo, uma célula fotovoltaica é o equivalente de um gerador de energia à que se acrescentou um diodo. Para conseguir uma célula solar prática, também é preciso acrescentar contactos eléctricos (que permitam extrair a energia gerada), uma capa que proteja a célula mas deixe passar a luz, uma capa antireflexo para garantir a correta absorção dos fotões, e outros elementos que aumentem a eficiência do mesmo.

Primeira Célula Solar Moderna

O engenheiro estado unidense Russell Ohl patenteou a célula solar moderna no ano 1946, ainda que outros pesquisadores tenham avançado o seu desenvolvimento anteriormente: o físico sueco Sven Ason Berglund tinha patenteado em 1914 um método que tratava de incrementar a capacidade das células foto-sensíveis, enquanto em 1931, o engenheiro alemão Bruno Lange tinha desenvolvido uma foto-célula usando selênio de prata em lugar de óxido de cobre(I).

A era moderna da tecnologia solar não chegou até ao ano de 1954, quando os pesquisadores estadounidenses Gerald Pearson, Calvin S. Fuller e Daryl Chapin, dos Laboratórios Bell, descobriram de maneira accidental que os semicondutores de silício dopado com certas impurezas eram muito sensíveis à luz. Estes avanços contribuíram para a fabricação da primeira célula solar

comercial. Empregaram uma união difusa de silício p–n, com uma conversão da energia solar de aproximadamente 6 %, com potência de 5 mWp e área de 2cm², um aumento comparado com as células de selênio que dificilmente atingiam os 0,5 %.

Posteriormente o estado unidense Les Hoffman, presidente da companhia *Hoffman Electronics*, através da sua divisão de semicondutores foi um dos pioneiros na fabricação e produção a grande escala de células solares. Entre 1954 e 1960, Hoffman conseguiu melhorar a eficiência das células fotovoltaicas até aos 14 %, reduzindo os custos de fabricação para conseguir um produto que pudesse ser comercializado.

Primeiros aplicativos: energia solar espacial

As naves espaciais operando no interior do sistema solar normalmente dependem do uso de painéis solares fotovoltaicos para converter a eletricidade da irradiação. Na parte exterior do sistema solar, onde a luz solar é demasiado fraca para produzir potência suficiente, é usado um gerador termoelétrico de radioisótopos (RTGs) para dar energia à fonte da nave.

A primeira nave espacial que usou painéis solares foi o satélite norte-americano Vanguard 1, lançado em março de 1958 (hoje em dia o satélite mais antigo ainda em órbita). No desenho deste usaram-se células solares criadas por Les Peter num esforço liderado pela empresa *Hoffman Electronics*. O sistema fotovoltaico permitiu-lhe seguir transmitindo durante sete anos enquanto as baterias químicas esgotaram-se em apenas 20 dias. Isso foi em grande parte por causa da influência do Dr. Hans Ziegler, que pode ser considerado o pai da energia solar nas naves espaciais. Seguiram-se em 1959 o Explorer 6 e depois em 1962 o Telstar, que foi o primeiro satélite de comunicações equipado com células solares, capazes de proporcionar uma potência de 14 Wp.

Gradualmente, a indústria espacial opta pelo uso de células solares de arsenieto de gálio (GaAs), devido à sua maior eficiência frente às células de silício. Na década de 1970 desenvolvem-se células solares mais eficientes para

uso no espaço, a partir de 1971, as estações espaciais soviéticas do programa Salyut foram os primeiros complexos orbitais tripulados a obter a sua energia a partir de células solares, acopladas em estruturas nas laterais do módulo orbital, do mesmo modo que a estação norte-americana Skylab, poucos anos depois. Foi nesta altura que também se iniciaram estudos do conceito de energia solar no espaço, que ambicionava o abastecimento energético terrestre mediante satélites espaciais, mas que enfrentou dificuldades técnicas e foi eliminada em 1981 por implicar um custo disparatado.

Não obstante, os aplicativos fotovoltaicos nos satélites espaciais continuaram o seu desenvolvimento. A produção de equipamentos de deposição química de metais por vapores orgânicos ou MOCVD (*Metal Organic Chemical Vapor Deposition*) não se desenvolveu até à década de 1980, limitando a capacidade das empresas na manufatura de células solares de arseneto de gálio.

A primeira empresa que manufaturou painéis solares em quantidades industriais, a partir de uniões simples de GaAs, com uma eficiência de 17 % em AM0 (*Air Mass Zero*), foi a norte-americana *Applied Solar Energy Corporation* (ASEC). As células de dupla união começaram a sua produção em quantidades industriais pela ASEC em 1989, de maneira accidental, como consequência de uma mudança do GaAs sobre os substratos de GaAs, para GaAs sobre substratos de germânio.

A tecnologia fotovoltaica, conquanto não é a única que se utiliza, segue predominando a princípios do século XXI nos satélites de órbita terrestre. Por exemplo, as sondas Magellan, Mars Global Surveyor e Mars Observer, da NASA, usaram painéis fotovoltaicos, bem como o telescópio espacial Hubble, em órbita à volta da Terra. A Estação Espacial Internacional, também em órbita terrestre, está dotada de grandes sistemas fotovoltaicos que alimentam todo o complexo espacial, do mesmo modo que em seu dia a estação espacial Mir. Outros veículos espaciais que utilizam a energia fotovoltaica para se abastecer são a sonda Mars Reconnaissance Orbiter, Spirit e Opportunity, os robôs da NASA em Marte.

O telescópio espacial Hubble, equipado com painéis solares, é posto em órbita desde o porão do cargueiro espacial Discovery em 1990.

A nave Rosetta, lançada em 2004 em órbita para um cometa tão longínquo do Sol como o planeta Júpiter (5,25 AU), dispõe também de painéis solares; anteriormente, o uso mais longínquo da energia solar espacial tinha sido o da sonda Stardust, a 2 AU. A energia fotovoltaica empregou-se também com sucesso na missão europeia não tripulada à Lua, SMART-1, proporcionando energia ao seu propulsor de efeito Hall.

Primeiros Aplicativos Terrestres

Desde o seu aparecimento na indústria aeroespacial, onde se converteu no meio mais fiável para fornecer energia elétrica nos veículos espaciais, a energia solar fotovoltaica tem desenvolvido um grande número de aplicativos terrestres. A primeira instalação comercial deste tipo realizou-se em 1966, no farol da ilha Ogami (Japão), permitindo substituir o uso de gás de tocha por uma fonte elétrica renovável e auto suficiente. Tratou-se do primeiro farol do mundo alimentado mediante energia solar fotovoltaica, e foi crucial para demonstrar a viabilidade e o potencial desta fonte de energia.

As melhoras produziram-se de forma lenta durante as seguintes duas décadas, e o único uso generalizado produziu-se nos aplicativos espaciais, nas que sua relação potência a peso era maior que a de qualquer outra tecnologia competidora. No entanto, este sucesso também foi a razão do seu lento crescimento: o mercado aeroespacial estava disposto a pagar qualquer preço para obter as melhores células possíveis, pelo que não tinha nenhuma razão para investir em soluções de menor custo se isto reduzia a eficiência. Em seu lugar, o preço das células era determinado em grande parte pela indústria dos semicondutores; sua migração para a tecnologia de circuitos integrados na década de 1960 deu lugar à disponibilidade de lingotes maiores a preços relativamente inferiores. Ao baixar o seu preço, o preço das células fotovoltaicas resultantes desceu também em igual medida. No entanto, a redução de custos associada a esta crescente popularização da energia

fotovoltaica foi limitada, e em 1970 o custo das células solares ainda se estimava em 100 dólares por watt (\$/Wp).

Redução de Preços

No final da década de 1960, o químico industrial estadunidense Elliot Berman estava a pesquisar um novo método para a produção da matéria prima de silício a partir de um processo em fita. No entanto, encontrou escasso interesse em seu projecto e não pôde obter o financiamento necessário para seu desenvolvimento. Mais tarde, num encontro casual, foi apresentado a uma equipa da companhia petrolífera Exxon que estavam a procurar projectos estratégicos a 30 anos de vista. O grupo tinha chegado à conclusão de que a energia elétrica seria bem mais cara no ano 2000, e considerava que este aumento de preço faria mais atraentes às novas fontes de energia alternativas, sendo a energia solar a mais interessante entre estas. Em 1969, Berman uniu-se ao laboratório da Exxon em Linden, Nova Jérсия, denominado *Solar Power Corporation* (SPC).

Seu esforço foi dirigido em primeiro lugar a analisar o mercado potencial para identificar os possíveis usos que existiam para este novo produto, e rapidamente descobriu que se o custo por watt se reduzisse desde os 100 \$/Wp a para cerca de 20 \$/Wp surgiria uma importante procura. Consciente de que o conceito do “silício em fita” poderia demorar anos em se desenvolver, a equipa começou a procurar maneiras de reduzir o preço a 20 \$/Wp usando materiais existentes. A constatação de que as células existentes se baseavam no processo regular de fabricação de semicondutores supôs um primeiro avanço, inclusive ainda que não se tratasse de um material ideal. O processo começava com a formação de um lingote de silício, que se cortava transversalmente em discos chamados waffers. Posteriormente realizava-se o polimento das waffers e, a seguir, para o seu uso como células, se dotava de um recobrimento com uma capa anti reflexo. Berman deu-se conta de que as waffers de corte grosseiro já tinham assim uma superfície frontal anti reflexo perfeitamente válida, e mediante a impressão dos elétrodos diretamente sobre

esta superfície, se eliminaram dois passos importantes no processo de fabricação de células.

A sua equipa também explorou outras formas de melhorar a montagem das células em matrizes, eliminando os caros materiais e os fiamentos de condutores manuais utilizados até então em aplicativos espaciais. A sua solução consistiu em utilizar circuitos impressos na parte posterior, plástico acrílico na parte frontal, e cola de silicone entre ambos, embutindo as células. Berman deu-se conta de que o silício já existente no mercado já era "suficientemente bom" para seu uso em células solares. As pequenas imperfeições que podiam arruinar um lingote de silício (ou uma waffer individual) para seu uso em eletrônica, teriam pouco efeito em aplicativos solares. As células fotovoltaicas podiam fabricar-se a partir do material eliminado pelo mercado da eletrônica, o que traria como consequência uma grande melhora do seu preço.

Pondo em prática todas estas mudanças, a empresa começou a comprar a muito baixo custo silício recusado a fabricantes já existentes. Mediante o uso das waffers maiores disponíveis, o que reduzia a quantidade de condutores para um área de painel dado, e as empacotando em painéis com seus novos métodos, em 1973 a SPC estava a produzir painéis a 10 \$/Wp e os vendendo a 20 \$/Wp, diminuindo o preço dos módulos fotovoltaicos a uma quinta parte em apenas dois anos.

O Mercado da Navegação Marítima

A SPC começou a contactar com as companhias fabricantes de baliza de navegação oferecendo-lhes o produto, mas encontrou-se com uma situação curiosa. A principal empresa do setor era *Automatic Power*, um fabricante de baterias descartáveis. Ao dar-se conta de que as células solares podiam lhe retirar parte do negócio e os benefícios que o setor de baterias lhe produzia, a *Automatic Power* comprou um protótipo solar de *Hoffman Electronics* para terminar. Ao ver que não tinha interesse por parte de Automatic Power, a SPC voltou-se então para a *Tideland Signal*, outra empresa fornecedora de baterias

formada por ex-gerentes da *Automatic Power*. A *Tideland* apresentou no mercado uma boia alimentada mediante energia fotovoltaica e cedo estava a arruinar o negócio da *Automatic Power*.

O momento não podia ser mais adequado, o rápido aumento no número de plataformas petrolíferas em alto mar e demais instalações de carga produziu um enorme mercado entre as companhias petrolíferas. Como a *Tideland* tinha tido sucesso, a *Automatic Power* começou então a tentar o seu próprio fornecimento de painéis solares fotovoltaicos. Encontraram-se com Bill Yerkes, da *Solar Power International*(SPI) na Califórnia, que estava a procurar um mercado onde pudesse vender o seu produto. A SPI cedo foi adquirida por um dos seus clientes mais importantes, a gigante petrolífera ARCO, formando ARCO Solar. A fábrica da ARCO Solar em Camarillo (Califórnia) foi a primeira dedicada à construção de painéis solares, e esteve em funcionamento contínuo desde a sua compra pela ARCO em 1977 até 2011 quando foi encerrada pela empresa *SolarWorld*.

Esta situação combinou-se com a crise do petróleo de 1973. As companhias petrolíferas dispunham agora de ingentes fundos devido aos seus enormes rendimentos durante a crise, mas também eram muito conscientes de que o seu sucesso futuro dependeria de alguma outra fonte de energia. Nos anos seguintes, as grandes companhias petrolíferas começaram a criação de uma série de empresas de energia solar, e foram durante décadas as maiores produtoras de painéis solares. As empresas ARCO, Exxon, Shell, Amoco (mais tarde adquirida pela BP) e Mobil mantiveram grandes divisões solares durante as décadas de 1970 e 1980. As empresas de tecnologia também realizaram importantes investimentos, incluindo a General Electric, Motorola, IBM, Tyco e RCA.

Aperfeiçoando a Tecnologia

Nas décadas decorridas desde os avanços de Berman, as melhoras têm reduzido os custos de produção abaixo de 1 \$/Wp, com preços menores de 2 \$/Wp para todo o sistema fotovoltaico. O preço do resto dos elementos de uma instalação fotovoltaica supõe agora um maior custo que os próprios painéis.

À medida que a indústria dos semicondutores desenvolveu-se para lingotes a cada vez maiores, os equipamentos mais antigos ficaram disponíveis a preços reduzidos. As células cresceram em tamanho quando estes equipamentos antigos se fizeram disponíveis no mercado excedentário. Os primeiros painéis da ARCO Solar equipavam-se com células de 2 a 4 polegadas (51 a 100 mm) de diâmetro. Os painéis na década de 1990 e princípios de 2000 incorporavam geralmente células de 5 polegadas (125 mm), e desde o ano 2008 quase todos os novos painéis utilizam células de 6 polegadas (150 mm). Também a introdução generalizada dos televisores de ecrã plano no final da década de 1990 e princípios de 2000 levou a uma ampla disponibilidade de grandes lâminas de vidro de alta qualidade, que se utilizam na parte frontal dos painéis.

Em termos das próprias células, só tem tido uma mudança importante. Durante a década de 1990, as células de polisilício fizeram-se a cada vez mais populares. Estas células oferecem menos eficiência que aquelas de monosilício, mas se cultivam em grandes cubas que reduzem em grande parte o custo de produção. Em meados da década de 2000, o polisilício dominava no mercado de painéis de baixo custo

Aplicativos da Energia Solar Fotovoltaica

A produção industrial a grande escala de painéis fotovoltaicos descolou na década de 1980, e entre os seus múltiplos usos podem-se destacar:

Telecomunicações e Sinalização

A energia solar fotovoltaica é ideal para aplicativos de telecomunicações, entre as que se encontram por exemplo as centrais locais de telefonia, antenas de rádio e televisão, estações repetidoras de microondas e outros tipos de ligações de comunicação electrónicas.

Isto é como, na maioria dos aplicativos de telecomunicações, se utilizam baterias de armazenamento e a instalação eléctrica se realiza normalmente em corrente contínua (DC). Em terrenos acidentados e montanhosos, os sinais de rádio e televisão podem ver-se interferidas ou refletidas devido ao terreno ondulado. Nestas localizações, instalam-se transmissores de baixa potência (LPT) para receber e retransmitir o sinal entre a população local.

As células fotovoltaicas também se utilizam para alimentar sistemas de comunicações de emergência, por exemplo nos mastros de SOS (Telefones de emergência) em estradas, sinalização ferroviária, balizamento para protecção aeronáutica, estações meteorológicas ou sistemas de vigilância de dados ambientais e de qualidade da água.

Dispositivos Isolados

A redução no consumo energético dos circuitos integrados, fez possível no final da década de 1970 o uso de células solares como fonte de eletricidade em calculadoras, tais como a *Royal Solar 1*, *Sharp O-8026* ou *Teal Photon*.

Também outros dispositivos fixos que utilizam a energia fotovoltaica têm vindo aumentar o seu uso nas últimas décadas, em lugares onde o custo de conexão à rede elétrica ou o uso de pilhas desejáveis é proibitivamente caro. Estes aplicativos incluem por exemplo as luzes solares, bombas de água, parquímetros, telefones de emergência, compactadores de lixo, sinais de trânsito temporários ou permanentes, estações de carga ou sistemas remotos de vigilância.

Eletrificação Rural

Em meios isolados, onde se requer pouca potência elétrica e o acesso à rede é difícil, as placas fotovoltaicas se empregam como alternativa economicamente viável desde algumas décadas. Para compreender a importância desta possibilidade, convém ter em conta que aproximadamente uma quarta parte da população mundial ainda não tem acesso à energia elétrica.

Nos países em desenvolvimento, muitas aldeias encontram-se situadas em áreas remotas, a vários quilómetros da rede elétrica mais próxima. Devido a isso, se está a incorporar a energia fotovoltaica de forma crescente para proporcionar fornecimento elétrico a moradias ou instalações médicas em áreas rurais. Por exemplo, em lugares remotos da Índia um programa de

iluminação rural tem previsto iluminação mediante lâmpadas LED alimentadas com energia solar para substituir as lâmpadas de querosene. O preço das lâmpadas solares era aproximadamente o mesmo que o custo do fornecimento de querosene durante uns poucos meses. Cuba e outros países da América Latina estão a trabalhar para proporcionar energia fotovoltaica em zonas afastadas do fornecimento de energia elétrica convencional. Estas são áreas nas que os benefícios sociais e económicos para a população local oferecem uma excelente razão para instalar painéis fotovoltaicos, ainda que normalmente este tipo de iniciativas se viram relegadas a pontuais esforços humanitários.

Sistemas de Bombagem

Também se emprega a fotovoltaica para alimentar instalações de bombagem para sistemas de irrigação, água potável em áreas rurais e bebedouros para o gado, ou para sistemas de dessalinização de água.

Os sistemas de bombagem fotovoltaico (ao igual que os alimentados mediante energia eólica) são muito úteis ali onde não é possível aceder à rede geral de eletricidade ou bem supõe um preço proibitivo. O seu custo é geralmente mais económico devido a seus menores custos de operação e manutenção, e apresentam um menor impacto ambiental que os sistemas de bombagem alimentados mediante motores de combustão interna, que têm ademais uma menor fiabilidade.

As bombas utilizadas podem ser tanto de corrente alternada (AC) como corrente contínua (DC). Normalmente empregam-se motores de corrente contínua para pequenas e médios aplicativos de até 3 kWp de potência, enquanto para aplicativos maiores utilizam-se motores de corrente alternada acoplados a um inversor que transforma para o seu uso a corrente contínua procedente dos painéis fotovoltaicos. Isto permite dimensionar sistemas desde 0,15 kWp até mais de 55 kWp de potência, que podem ser empregues para abastecer complexos sistemas de irrigação ou armazenamento de água.

Sistemas Híbridos Solar-Diesel

Devido à descida de custos da energia solar fotovoltaica, está a estender-se assim mesmo o uso de sistemas híbridos solar-diesel, que combinam esta energia com geradores diesel para produzir eletricidade de forma contínua e estável. Este tipo de instalações estão equipadas normalmente com equipamentos auxiliares, tais como baterias e sistemas especiais de controle para conseguir em todo momento a estabilidade do fornecimento elétrico do sistema.

Devido a sua viabilidade económica (o transporte de diesel no ponto de consumo costuma ser caro) em muitos casos substituem-se antigos geradores por fotovoltaica, enquanto as novas instalações híbridas desenham-se de tal maneira que permitem utilizar o recurso solar sempre que está disponível, minimizando o uso dos geradores, diminuindo assim o impacto ambiental da geração elétrica em comunidades remotas e em instalações que não estão ligadas à rede elétrica. Um exemplo disso o constituem as empresas mineiras, cujas explorações se encontram normalmente em campo aberto, afastadas dos grandes núcleos de população. Nestes casos, o uso combinado da fotovoltaica permite diminuir em grande parte a dependência do combustível diesel, permitindo poupanças de até os 70 % no custo da energia.

Este tipo de sistemas também se pode utilizar em combinação com outras fontes de geração de energia renovável, tais como a energia eólica.^l

Transporte e Navegação Marítima

Ainda que a fotovoltaica ainda não se utiliza de forma generalizada para proporcionar tracção no transporte, está-se a utilizar cada vez em maior medida para proporcionar energia auxiliar em barcos e automóveis. Alguns veículos estão equipados com ar condicionado alimentado mediante painéis fotovoltaicos para limitar a temperatura interior nos dias de calor, enquanto outros protótipos híbridos utilizam-nos para recarregar as suas baterias sem necessidade de ligar à rede elétrica. Demonstrou-se sobeiramente a possibilidade prática de desenhar e fabricar veículos propulsionados mediante

energia solar, bem como barcos e aviões, sendo considerado o transporte rodado o mais viável para a fotovoltaica.

O *Solar Impulsione* é um projecto dedicado ao desenvolvimento de um avião propulsionado unicamente mediante energia solar fotovoltaica. O protótipo pode voar durante o dia propulsionado pelas células solares que cobrem as suas asas, ao mesmo tempo que carrega as baterias que lhe permitem manter no ar durante a noite.

A energia solar também se utiliza de forma habitual em faróis, boias ou balizas de navegação marítima, veículos de recreio, sistemas de carga para os acumuladores elétricos dos barcos, e sistemas de protecção catódica. O recarregamento de veículos elétricos está a ser cada vez maior na sua importância.

Fotovoltaica Integrada em Edifícios

Muitas instalações fotovoltaicas encontram-se com frequência situadas nos edifícios: normalmente situam-se sobre um telhado já existente, ou bem se integram em elementos da própria estrutura do edifício, como entra luzes, claraboias ou fachadas.

Alternativamente, um sistema fotovoltaico também pode ser montado fisicamente separado do edifício, mas conectado à instalação elétrica do mesmo para fornecer energia. Em 2010, mais de 80 % dos 9000 MWp de fotovoltaica que a Alemanha tinha em funcionamento por então, se tinham instalado sobre telhados.

A fotovoltaica integrada em edifícios (*BIPV*, em suas siglas em inglês) está a incorporar-se de forma a cada vez mais crescente como fonte de energia elétrica principal ou secundária nos novos edifícios domésticos e industriais, e inclusive em outros elementos arquitectónicos, como por exemplo pontes. Teçe-las com células fotovoltaicas integradas são também bastante comuns neste tipo de integração.

Segundo um estudo publicado em 2011, o uso de imagens térmicas tem demonstrado que os painéis solares, sempre que exista uma brecha aberta pela que o ar possa circular entre os painéis e o teto, proporcionam um efeito de refrigeração passiva nos edifícios durante o dia e também ajudam a manter o calor acumulado durante a noite.

Fotovoltaica de Conexão à Rede

Uma dos principais aplicativos da energia solar fotovoltaica mais desenvolvida nos últimos anos, consiste nas centrais conectadas à rede para fornecimento elétrico, bem como os sistemas de autoconsumo fotovoltaico, de potência geralmente menor, mas igualmente ligados à rede elétrica.

Componentes de uma Central Solar Fotovoltaica

Uma central solar fotovoltaica conta com diferentes elementos que permitem seu funcionamento, como são os painéis fotovoltaicos para a captação da radiação solar, e os inversores para a transformação da corrente contínua em corrente alternada. Existem outros, os mais importantes se mencionam a seguir:

Painéis solares fotovoltaicos

Geralmente, um módulo ou painel fotovoltaico consiste numa associação de células, encapsulada em duas capas de EVA (etileno-vinilo-acetato), entre uma lâmina frontal de vidro e uma capa posterior de um polímero termoplástico (frequentemente emprega-se o tedlar) ou outra lâmina de cristal quando se deseja obter módulos com algum grau de transparência. Muito frequentemente este conjunto é enquadrado numa

estrutura de alumínio anodizado com o objectivo de aumentar a resistência mecânica do conjunto e facilitar a ancoragem do módulo às estruturas de suporte.

As células empregadas mais comuns nos painéis fotovoltaicos são de silício, e pode-se dividir em três subcategorias:

- As células de silício monocristalino estão constituídas por um único cristal de silício, normalmente manufaturado mediante o processo Czochralski. Este tipo de células apresenta uma cor azul escuro uniforme.
- As células de silício policristalino (também chamado multicristalino) estão constituídas por um conjunto de cristais de silício, o que explica que o seu rendimento seja algo inferior ao das células monocristalinas. Caracterizam-se por uma cor azul mais intenso.
- As células de silício amorfo. São menos eficientes que as células de silício cristalino mas também menos caras. Este tipo de células é, por exemplo, o que se emprega em aplicativos solares como relógios ou calculadoras.

Inversores

A corrente elétrica contínua que proporcionam os módulos fotovoltaicos se pode transformar em corrente alternada mediante um aparelho eletrônico chamado inversor e injetar na rede elétrica (para venda de energia) ou bem na rede interior (para autoconsumo).

O processo, simplificado, seria o seguinte:

- Gera-se a energia a baixas tensões (380-800 V) e em corrente contínua.
- Transforma-se com um inversor em corrente alternada.
- Em centrais de potência inferior a 100 kWp injeta-se a energia diretamente à rede de distribuição em baixa tensão (400 V em trifásico ou 230 V em monofásico).
- E para potências superiores aos 100 kWp utiliza-se um transformador para elevar a energia a média tensão (15 ou 25 kV) e injeta-se nas redes de transporte para seu posterior fornecimento.

Seguidores Solares

O uso de seguidores a um ou dois eixos permite aumentar consideravelmente a produção solar, em torno de 30 % para os primeiros e um 6 % adicional para os segundos, em lugares de elevada radiação direta.

Os seguidores solares são bastante comuns em aplicativos fotovoltaicos. Existem de vários tipos:

- Em dois eixos: a superfície mantém-se sempre perpendicular ao Sol.
- Num eixo polar: a superfície gira sobre um eixo orientado ao sul e inclinado um ângulo igual à latitude. O giro ajusta-se para que a normal à superfície coincida em todo momento com o meridiano terrestre que contém ao Sol.
- Num eixo azimutal: a superfície gira sobre um eixo vertical, o ângulo da superfície é constante e igual à latitude. O giro ajusta-se para que a normal à superfície coincida em todo momento com o meridiano local que contém ao Sol.
- Num eixo horizontal: a superfície gira num eixo horizontal e orientado em direcção norte-sul. O giro ajusta-se para que a normal à superfície coincida em todo momento com o meridiano terrestre que contém ao Sol.

Condutor Elétrico

É o elemento que transporta a energia elétrica desde a sua geração, para sua posterior distribuição e transporte. Seu dimensionamento vem determinado pelo critério mais restritivo entre a máxima queda de tensão admissível e a intensidade máxima admissível. Aumentar as seções do condutor que se obtêm como resultado dos cálculos teóricos contribui vantagens acrescentadas como:

- Linhas mais descarregadas, o que prolonga a vida útil dos condutores.
- Possibilidade de aumento de potência da central sem mudar o condutor.
- Melhor resposta a possíveis Curto-circuitos.
- Melhora do rácio de performance (PR) da instalação.

Centrais de Concentração Fotovoltaica

Outro tipo de tecnologia nas centrais fotovoltaicas são as que utilizam uma tecnologia de concentração chamada CPV pelas suas siglas em inglês (*Concentrated Photovoltaics*) para maximizar a energia solar recebida pela instalação, ao igual que numa central térmica solar. As instalações de concentração fotovoltaica situam-se em localizações de alta irradiação solar direta, como são os países de ambas as margens do Mediterrâneo, Austrália, Estados Unidos, China, África do Sul, México, etc. Até ao ano 2006 estas tecnologias faziam parte do âmbito de investigação, mas nos últimos anos puseram-se em marcha instalações de maior tamanho como a de ISFOC (Instituto de Sistemas Solares Fotovoltaicos de Concentração) em Puertollano (Castela-Mancha) com 3 MWp fornecendo eletricidade à rede elétrica.

A ideia básica da concentração fotovoltaica é a substituição de material semicondutor por material reflexivo ou refractante (mais barato). O grau de concentração pode atingir um fator de 1000, de tal modo que, dada a pequena superfície de célula solar empregada, se pode utilizar a tecnologia mais eficiente (tripla união, por exemplo). Por outro lado, o sistema óptico introduz um fator de perdas que faz recuperar menos radiação que a fotovoltaica plana. Isto, unido à elevada precisão dos sistemas de rastrear, constitui a principal barreira a resolver pela tecnologia de concentração.

Recentemente anunciou-se o desenvolvimento de centrais de grandes dimensões (acima de 1 MW). As centrais de concentração fotovoltaica utilizam um seguidor de duplo eixo para possibilitar um máximo aproveitamento do recurso solar durante todo o dia.

O que é energia solar, vantagens e desvantagens

O que é a energia solar?

A **energia solar** é a **energia eletromagnética** cuja fonte é o sol. Ela pode ser transformada em **energia térmica** ou elétrica e aplicada em diversos usos. As

duas principais formas de aproveitamento da **energia solar** são a geração de **energia elétrica** e o aquecimento **solar** de água.

Para a produção de energia elétrica são usados dois sistemas: o **heliotérmico**, em que a irradiação é convertida primeiramente em **energia térmica** e posteriormente em elétrica; e o **fotovoltaico**, em que a irradiação solar é convertida diretamente em **energia elétrica**.

Energia Heliotérmica ou Energia Solar Concentrada (CSP)

Segundo o Ministério de Minas e Energia, o Brasil tem cerca de 70% de sua matriz elétrica baseada em **energia hidráulica**, e mais recentemente outras fontes de **energia**, como a biomassa, a eólica e a nuclear vêm recebendo incentivos.

- O que é energia hidrelétrica?

Em vista de condições hidrológicas desfavoráveis, com períodos de estiagem cada vez mais prolongados, a energia heliotérmica se apresenta como uma alternativa. Ainda mais se considerarmos que os períodos de seca estão associados ao aumento do potencial **solar** devido à baixa interferência de nuvens e radiação solar mais intensa.

Há vários tipos de coletores e a escolha do tipo apropriado depende da aplicação. Os mais utilizadas são: o cilindro parabólico, a torre central e o disco parabólico.

Como funciona?

Os coletores de energia solar heliotérmica são equipamentos que captam a radiação **solar** e a convertem em calor, transferindo este calor para um fluido (ar, água, ou óleo, em geral). Os coletores possuem uma superfície refletora, que direciona a radiação direta a um foco, onde está localizado um receptor. Uma vez tendo absorvido o calor, o fluido escoar pelo receptor.

Energia solar fotovoltaica

A **energia solar fotovoltaica** é aquela na qual a irradiação **solar** é transformada diretamente em **energia elétrica**, sem passar pela fase de **energia térmica** (como seria no sistema heliotérmico).

Como funciona?

As **células fotovoltaicas** (ou **células de energia solar**) são feitas a partir de materiais semicondutores (normalmente o silício). Quando a célula é exposta à luz, parte dos elétrons do material iluminado absorve fótons (partículas de **energia** presentes na luz **solar**).

Os elétrons livres são transportados pelo semicondutor até serem puxados por um campo elétrico. Este campo elétrico é formado na área de junção dos materiais, por uma diferença de potencial elétrico existente entre esses materiais semicondutores. Os elétrons livres são levados para fora das **células de energia solar** e ficam disponíveis para serem usados na forma de **energia elétrica**.

Ao contrário do **sistema heliotérmico**, o **sistema fotovoltaico** não requer alta irradiação **solar** para funcionar. Contudo, a quantidade de **energia** gerada depende da densidade das nuvens, de forma que um número baixo de nuvens pode resultar em uma menor produção de eletricidade em comparação a dias de céu completamente aberto.

A eficiência da conversão é medida pela proporção de radiação **solar** incidente sobre a superfície da célula que é convertida em **energia** elétrica. Normalmente, as **células** mais eficientes proporcionam 25% de eficiência.

Segundo o Ministério do Meio Ambiente, o governo desenvolve projetos de geração de **energia solar fotovoltaica** para suprir as demandas energéticas das comunidades rurais e isoladas. Estes projetos focam algumas áreas como: bombeamento de água para abastecimento doméstico, irrigação e piscicultura;

iluminação pública; sistemas de uso coletivo (eletrificação de escolas, postos de saúde e centros comunitários); atendimento domiciliar.

Aproveitamento térmico

Outra forma de aproveitamento de radiação **solar** é o aquecimento térmico. O aquecimento térmico a partir de **energia solar** pode ser feito por meio de um processo de absorção da luz **solar** por coletores, que são normalmente instalados nos telhados das edificações e residências (conhecidos como painéis solares).

Como a incidência de radiação **solar** sobre a superfície terrestre é baixa, é necessário instalar alguns metros quadrados de coletores.

Segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel), para atender o suprimento de água aquecida em uma residência de três a quatro moradores, são necessários 4 m² de coletores. Apesar da demanda por esta tecnologia ser predominantemente residencial, também existe o interesse de outros setores, como edifícios públicos, hospitais, restaurantes e hotéis.

Vantagens e desvantagens da energia solar?

A **energia solar** é considerada uma fonte de **energia** renovável e inesgotável. Ao contrário dos combustíveis fósseis, o processo de geração de **energia** elétrica a partir da **energia solar** não emite dióxido de enxofre (SO₂), óxidos de nitrogênio (NO_x) e dióxido de carbono (CO₂) - todos gases poluentes com efeitos nocivos à saúde humana e que contribuem para o aquecimento global.

A **energia solar** também se mostra vantajosa em comparação a outras fontes renováveis, como a hidráulica, pois requer áreas menos extensas do que hidrelétricas.

O incentivo à **energia solar** no Brasil é justificado pelo potencial do país, que possui grandes áreas com radiação **solar** incidente e está próximo à linha do Equador.

As regiões semiáridas do nordeste brasileiro são ideais para a geração de **energia heliotérmica**, pois atendem às condições de alta irradiação solar e baixa pluviosidade.

No entanto, a **desvantagem** da **energia heliotérmica** é que, apesar de não exigir áreas tão extensas quanto as hidrelétricas, ainda requer grandes espaços. Portanto, é crucial que se faça a análise do local mais apropriado para a implantação, uma vez que haverá a supressão da vegetação. Além disso, como já mencionado, o sistema heliotérmico não é indicado para todas as regiões, pois é considerado bastante intermitente.

A não dependência da alta irradiação é uma grande **vantagem do sistema fotovoltaico**, o que contribui para que seja uma alternativa.

No caso da **energia fotovoltaica**, a **desvantagem** mais frequentemente apontada é o alto custo de implantação e a baixa eficiência do processo, que varia de 15% a 25%.

No entanto, outro ponto de extrema importância a ser considerado na cadeia produtiva do **sistema fotovoltaico** é o impacto socioambiental causado pela matéria prima mais comumente usada para compor as células fotovoltaicas, o silício.

A mineração do silício, assim como qualquer outra atividade de mineração, tem impactos para o solo e a água subterrânea da área de extração. Além disso, é imprescindível que sejam proporcionadas boas condições ocupacionais aos trabalhadores, a fim de evitar acidentes de trabalho e desenvolvimento de doenças ocupacionais. A Agência Internacional de Pesquisa sobre o Câncer

(Iarc) aponta, em relatório, que a sílica cristalina é cancerígena, podendo causar câncer de pulmão ao ser cronicamente inalada.

O relatório do Ministério de Ciência e Tecnologia aponta outros dois pontos importantes relacionados ao sistema fotovoltaico: o descarte dos painéis deve receber destinação apropriada, uma vez que estes apresentam potenciais de toxicidade; e a reciclagem de painéis fotovoltaicos também não atingiu um nível satisfatório até o momento.

Outro ponto importante é que, apesar do Brasil ser o segundo maior produtor de silício metálico do mundo, perdendo apenas para a China, a tecnologia para a purificação do silício a nível solar ainda está em fase de desenvolvimento. Um problema recentemente identificado, principalmente em plantas heliotérmicas, é a queima não intencional de pássaros que passam pela região.

Portanto, mesmo sendo renovável e não emitindo gases, a **energia solar** ainda esbarra em empecilhos tecnológicos e econômicos. Apesar de promissora, a **energia solar** se tornará viável economicamente apenas com a cooperação entre setores públicos e privados, e com o investimento em pesquisas para o aprimoramento das tecnologias que englobam o processo produtivo, desde a purificação do silício até o descarte das células fotovoltaicas.

Painel Solar Fotovoltaico: Conversores Solares em Energia Elétrica

Apesar de alguns incentivos à utilização deste tipo de energia renovável (importante por possibilitar uma diminuição das preocupações em relação aos reservatórios das usinas hidrelétricas, que nos últimos anos têm sofrido com a falta de chuvas e com o excesso de sol), ainda podem ser observadas algumas dúvidas nos consumidores e interessados em aplicar esse sistema em suas residências ou em suas empresas.

Um sistema de energia solar fotovoltaico (ou “sistema de energia solar” ou ainda “sistema fotovoltaico”) é um modelo em que os componentes de seu kit

funcionam de forma a realizar a captação da energia solar, e sua conversão em eletricidade.

A energia produzida pode ser então utilizada no abastecimento da rede elétrica em larga escala, como acontece em usinas solares (setor energético comercial), mas também pode ser gerada em escalas menores, residenciais (energia solar para utilização doméstica). Além do sistema solar para geração de energia elétrica, há também aquele para energia térmica, que tem por objetivo a utilização da radiação solar para o aquecimento de água.

Os sistemas de energia solar fotovoltaica possuem alguns componentes básicos, agrupados em três diferentes blocos: o bloco gerador, o bloco de condicionamento de potência e o bloco de armazenamento. Cada grupo é formado por componentes com funções específicas.

- Bloco gerador: painéis solares; cabos; estrutura de suporte.
- Bloco de condicionamento de potência: inversores; controladores de carga.
- Bloco de armazenamento: baterias.
- Mas nisso tudo, o que é painel solar fotovoltaico? Ele é considerado o coração dos sistemas e fazem parte do primeiro bloco, o de geração de energia. Sua função específica é a de converter a energia solar em eletricidade. O número de painéis necessários varia de acordo com a demanda de energia da residência.
- **Como funciona?**
- Os painéis solares geram energia elétrica a partir do sol de forma muito simples. Além da energia fotovoltaica ser considerada limpa por não gerar resíduos para além das placas e não causar danos ao meio ambiente, os painéis que realizam a transformação da luz solar em energia elétrica demandam manutenção mínima. Um painel solar fotovoltaico é formado por um conjunto de células fotovoltaicas que possuem elétrons (partículas de carga negativa que giram ao redor dos

núcleos dos átomos) e esses, por sua vez, ao serem atingidos pela radiação solar, se movimentam gerando uma corrente elétrica. Por esse motivo, são necessárias inspeções periódicas para verificar se há acúmulo de poeira, folhas ou outros interferentes (como detritos de pássaros) sobre o painel. Geralmente a chuva é o suficiente para manter o painel livre de detritos, mas, quando não for, basta limpá-lo com um pano úmido e detergente neutro, sempre utilizando luvas de borracha e checando os fios soltos ou oxidados (o que acontece principalmente em regiões mais úmidas ou com maresia) para evitar acidentes.

- **Tamanho e vida útil**

- Os tamanhos e pesos dos painéis solares são bastante variáveis. Há vários tipos e variações, mas um painel possui, em média, aproximadamente um metro quadrado, e pesa pouco mais de 10 quilos. Um painel destas proporções possui cerca de 36 células fotovoltaicas, sendo capaz de produzir por volta de 17 volts, e uma potência de até 140 watts.

Os modelos existentes geralmente variam de cinco até 300 watts de potência máxima, dependendo da finalidade de seu uso, e da tecnologia adotada. Além disso, podem ser instalados diversos painéis fotovoltaicos, que podem ser organizados de formas diferentes, possibilitando que se trabalhe com muitas variações de sistemas de energia solar. Um painel solar tem vida útil de aproximadamente 25 anos, sendo bem prático por não precisar de manutenção pesada (lembrando que outros componentes do sistema podem ter uma vida útil maior ou menor em comparação a esse). O tempo de retorno do investimento, no sistema fotovoltaico é variável, e depende da quantidade de energia que o imóvel demanda. Apesar disso, a vantagem do sistema caseiro é a economia: uma vez atingido este tempo de retorno, a conta de energia não precisará mais ser paga. Energia do sol que se transforma em eletricidade “grátis”! Uma boa grana pode acabar indo para a poupança em vez de ser gasta sem trazer muitos benefícios.

Existem Três Tipos Básicos de Painéis Solares Fotovoltaicos

Painel solar Monocristalino



Apresentam alto rendimento, e são feitos de células monocristalinas de silício, ou seja, cada célula é formada por um único cristal desse elemento. O processo de fabricação desses painéis é complexo, pois exige a produção de cristais únicos de silício de alta pureza para cada célula fotovoltaica.

Painel solar policristalino



Menos eficiente que o painel anterior; nos policristalinos, as células são formadas por diversos cristais, e não somente por um. O resultado final é uma célula fotovoltaica com aparência de vidro quebrado.

Painel de filme fino



O material fotovoltaico é depositado diretamente sobre uma superfície (podendo ser de metal ou de vidro), para formar o painel. Apesar de serem mais baratos, possuem uma eficiência energética muito menor, fazendo com que seja necessária uma área bem maior para compensar.

Como escolher?

A escolha do tipo e da quantidade de painéis a serem instalados depende então de diversos aspectos, tais como

- Demanda de energia;
- Finalidade de uso da energia;
- Local da instalação do sistema;
- Espaço disponível.

Onde instalar?

Os painéis solares residenciais são geralmente instalados nos telhados (*rooftop*), porém, deve-se estar atento a algumas recomendações:

- A geração de eletricidade pelos painéis solares pode ser prejudicada por ventos, sombras e superfícies reflexivas, que interferem, diminuindo a eficiência do processo.
- É importante que haja uma boa circulação de ar no local, para que as células não superaqueçam.
- O telhado deve ser resistente ao peso dos painéis.

A inclinação e a orientação dos painéis também podem interferir em sua eficiência. No caso do Brasil, localizado no hemisfério sul da Terra, o painel solar instalado deve ter a face orientada para o norte verdadeiro (que não é o mesmo norte dado pela bússola). Para países do hemisfério norte, o painel solar deve estar orientado para o sul verdadeiro. O norte magnético, para onde uma bússola padrão aponta, está alinhado com os pólos da Terra e está em constante movimento, apesar de leve. O norte real é o que você vê em um mapa de papel e é constante.

Lembre-se de garantir que os componentes utilizados tenham a certificação do Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (Inmetro), que realizou a implementação da Portaria n.º 357 em 2014, com o objetivo de estabelecer regras para os equipamentos de geração de energia fotovoltaica.

A energia solar é um dos recursos renováveis mais promissores no Brasil e no mundo, pois causa impactos ambientais mínimos e reduz a pegada de carbono dos consumidores - estarão minimizando suas emissões ao optar por uma forma de obtenção de energia de baixo potencial danoso.

Infelizmente, ainda há poucos incentivos e linhas de financiamento desse tipo de energia no Brasil, que são ainda de difícil acesso e pouca aplicabilidade. Espera-se que, com a subida do consumo de sistemas de energia fotovoltaica, surjam novos incentivos, mais aplicáveis e acessíveis à habitação comum.

Segurança e Confiabilidade em Sistemas Fotovoltaicos

A geração de energia fotovoltaica acontece com a conversão direta da luz em eletricidade através do efeito fotovoltaico. Este efeito foi primeiramente descrito pelo físico francês Alexandre Edmond Becquerel, em 1839. O efeito fotovoltaico caracteriza-se pelo aparecimento de uma diferença de potencial nas extremidades de um semicondutor devido à absorção da luz.

Devido a fatores ambientais e geopolíticos são enormes as perspectivas de crescimento da geração de energia pela conversão direta da luz solar em eletricidade. Alguns países como a Alemanha têm investido pesadamente nesta forma de energia. As expectativas da comunidade europeia para 2020 são de que 12% da energia elétrica gerada venham de sistema fotovoltaico (SFV).

O crescimento da geração de energia elétrica através de células fotovoltaicas depende do aumento da eficiência do processo comparando-se a outras fontes de energia, convencionais ou não. Para que estes ou mais ambiciosos objetivos sejam alcançados, além da eficiência, também a confiabilidade do sistema deve ser assegurada. SFVs devem oferecer um período mínimo de aproximadamente 20 anos de operação contínua para proporcionar o retorno dos seus investimentos. Para isso, os riscos de defeitos devem ser minimizados com a utilização de mão de obra especializada no projeto, instalação e comissionamento de SFV.

Os SFVs podem ser isolados (autônomos) ou conectados à rede elétrica. Como a conexão à rede das concessionárias no Brasil é regulamentada, as empresas de energia devem ter a segurança de que todo SFV esteja de acordo com as normas técnicas brasileiras, complementadas quando necessário por recomendações adicionais.

No Brasil, a geração fotovoltaica, apesar da oferta de sol, sofre a concorrência de outras fontes de energia igualmente abundantes e atualmente muito mais eficientes. Mesmo assim, a geração fotovoltaica é atrativa devido à possibilidade de pulverizar os geradores solares em pequenas unidades muito

próximas às suas cargas, possibilitando a construção de sistemas autônomos de geração. Neste caso também os requisitos de confiabilidade e de segurança precisam ser atendidos, talvez com maior exigência.

Como em qualquer outro sistema elétrico, a qualidade dos materiais utilizados, a proteção contra os efeitos de um incêndio e a proteção contra sobretensões transitórias causadas por descargas atmosféricas diretas ou indiretas são necessárias para assegurar a integridade e funcionalidade do SFV.



Figura 1- Painéis ou módulos de captação.

Eficiência

As diferentes formas de geração de energia devem ser consideradas sob vários aspectos: desde a disponibilidade da fonte de energia, os custos ambientais do seu aproveitamento, a eficiência do processo ao investimento inicial para sua implementação.

Estes vários fatores não são independentes, mas, ao contrário, têm forte relação entre si. A redução dos impactos ambientais pode aumentar os investimentos iniciais ou a disponibilidade da fonte de energia pode compensar a menor eficiência do processo.

A fim de aumentar a diversificação das fontes de energia, vários governos têm investido ou subsidiado formas de geração pouco competitivas no momento, mas com grande potencial futuro, lembrando que o mapa energético não é estático, mas profundamente dinâmico.

O processo de geração fotovoltaica apresenta eficiência entre 15% a 30%. Para aumentar este valor têm-se trabalhado intensamente para a redução das perdas existentes no processo de fabricação das células solares e no mecanismo de conversão da luz em eletricidade.

A transformação da luz diretamente em calor, as perdas óticas pela formação de zonas de sombra e reflexões e a resistência interna dos semicondutores são as principais fontes de perda existentes no processo de conversão.



Figura 2 – Aplicação residencial da geração fotovoltaica.

Materiais utilizados nas instalações de SFV

Para a instalação propriamente dita dos SFV, precisam ser observados alguns cuidados específicos relacionados aos materiais que serão utilizados na sua construção:

- Os materiais plásticos utilizados externamente na fixação dos condutores, como abraçadeiras, prensa cabos, etc., devem ser resistentes aos raios ultravioletas e às temperaturas às quais estarão expostos;
- As partes metálicas, independentemente da finalidade, devem ser analisadas para que um eventual contato entre elas não ocasione problemas de corrosão;
- Em locais próximos ao mar, especialmente atraentes para geração fotovoltaica, quando se utilizar material metálico para as estruturas, este deve ser “galvanizado a fogo” ou de aço inoxidável.



Figura 3 – Estruturas e bandejamento de um SFV.

Proteção passiva contra incêndio

Para garantir a segurança das pessoas, as brigadas de incêndio e companhias de seguro têm recomendado uma clara identificação dos SFVs existentes em uma edificação. A informação “Cuidado – sistema fotovoltaico” informa às brigadas de incêndio ou bombeiros a existência desta forma de geração e permite que as medidas necessárias sejam tomadas durante um combate ao incêndio.

É importante, e pouco observado, que a penetração dos condutores e das estruturas do SFV externas à edificação deve ser feita com espaços vedados contra a propagação do fogo e seus componentes.

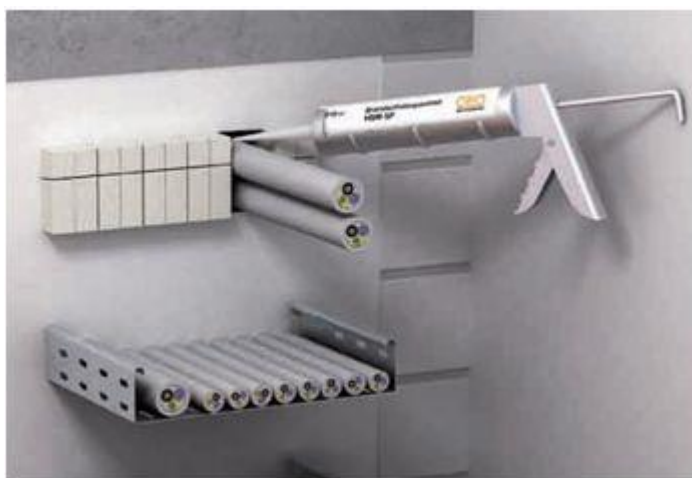


Foto 4 – Aplicação da proteção passiva na passagem de cabos em um SFV.

Proteção contra descargas atmosféricas

Sistemas fotovoltaicos estão necessariamente expostos às descargas atmosféricas di

retas ou indiretas. A capacidade de geração de eletricidade depende da área de captação da luz solar, por isso, quanto maior a capacidade do sistema, maior o número e/ou a área dos painéis ou módulos de captação e maior a sua exposição às descargas atmosféricas.

Em SFVs instalados em edificações, o projeto do sistema de proteção contra descargas atmosféricas (SPDA) deve levar em consideração a existência do SFV para que este esteja dentro do volume de proteção do subsistema de captação do SPDA para evitar que os módulos do SFV sejam atingidos.

Entre as estruturas de sustentação do SFV, externos ou em edificações, deve ser considerada a distância de segurança para impedir centelhamentos entre os componentes metálicos do SPDA e do SFV.

As medidas contidas em um sistema de proteção contra descargas atmosféricas classe III são normalmente suficientes para as características de um SFV.

Na elaboração do projeto do SPDA devem ser observados os seguintes pontos:

- O sistema de aterramento do SFV deve ser interligado ao sistema de aterramento principal da instalação;
- Condutores de equipotencialização devem ser roteados em paralelo e o mais próximo possível dos cabos de corrente contínua;
- Os condutores de sinal devem estar incluídos na filosofia de proteção.



Figura 5 – painéis solares dentro da zona de proteção de um SPDA.

Aterramento

Nos sistemas de geração fotovoltaica o aterramento do lado AC do sistema é sempre realizado de acordo com as normas técnicas existentes na maioria dos países. O aterramento do lado CC do sistema nem sempre é realizado devido a divergências de conceito entre manter ou não a continuidade do fornecimento de energia em caso de uma falta nesta parte do sistema. No Brasil, o aterramento do SFV deve atender totalmente às prescrições das normas técnicas da ABNT.

Proteção contra surtos

O ponto inicial da proteção contra surtos do SFV é a equipotencialização de todas as partes condutoras do sistema. Este objetivo é atingido com a conexão direta de todos os sistemas metálicos normalmente não energizados e com a conexão feita por meio de dispositivos de proteção contra surtos (DPS) dos condutores normalmente energizados.

O inversor de corrente é a parte mais vulnerável do sistema, podendo ser danificado pelo acoplamento de correntes de surto causadas pelas descargas atmosféricas. Esta possibilidade pode ser reduzida pelo uso de medidas de proteção envolvendo o aterramento, equipotencialização, utilização de blindagem e roteamento de cabos. Embora cada medida seja específica, elas

constituem um conjunto integrado dentro de um sistema de proteção contra descargas atmosféricas.

O princípio geral da proteção contra sobretensões transitórias é desviar as correntes de surto e reduzir o pico de tensão nos terminais do equipamento a ser protegido pela alteração transitória do circuito elétrico existente.

Devem ser considerados quanto a sua origem e caminho todos os condutores elétricos existentes, o que não significa que todos eles precisarão ser protegidos. Os DPS devem ser instalados tanto no lado CC quanto no AC

Nas redes AC devem-se proteger com DPS as três fases, às quais o inversor é conectado. Na rede CC, os DPS devem ser utilizados nos condutores de corrente contínua entre os módulos e o inversor.

Para os sistemas de sinais, o DPS deve ser utilizado caso o inversor seja controlado por algum sistema eletrônico através de condutores metálicos.

A tabela a seguir fornece uma visão geral das medidas de proteção.

Tabela 1 – Determinação do tipo de DPS

SPDA externo existente	Medidas	Distância de separação segundo a ABNT NBR 5419-2005	Condutor de equipotencialização	DPS
Sim	Verificar ABNT NBR 5419-2005	Sim	$\geq 6 \text{ mm}^2$	CC: Tipo II AC: Tipo I
Sim	Verificar ABNT NBR 5419-2005	Não	$\geq 16 \text{ mm}^2$	CC: Tipo I AC Tipo I
Não	Utilizar método de análise de risco		$\geq 6 \text{ mm}^2$	CC: Tipo II AC: Tipo II



Figura 6 – Conjunto integrado de DPS AC e CC.

Conclusão

Para garantir a confiabilidade e segurança de um SFV, medidas específicas de proteção devem ser aplicadas para manter a integridade das pessoas e dos equipamentos relacionados ao SFV.

Estas prescrições terão melhor resultado técnico-econômico caso sejam desenvolvidas no projeto do SFV e contem com a contribuição de profissionais especializados em cada uma das medidas apresentadas, coordenados por um profissional especializado no projeto e implantação de um sistema fotovoltaico de geração de energia.

Energia Solar Fotovoltaica :

Introdução

A energia solar pode ser convertida diretamente em eletricidade utilizando-se das tecnologias de células fotovoltaicas. É vista como uma tecnologia do futuro, visto que se utiliza uma fonte limpa e inesgotável que é o Sol.

No atual estado da arte desta tecnologia, ela só encontra viabilidade econômica em aplicações de pequeno porte em sistemas rurais isolados (iluminação, bombeamento de água etc), serviços profissionais

(retransmissores de sinais, aplicações marítimas) e produtos de consumo (relógio, calculadoras).

Porém, sabe-se que o mercado fotovoltaico é ainda uma fração do que poderia ser, visto que existe uma parcela significativa da população mundial, cerca de 1 bilhão de habitantes ou aproximadamente 20% da população mundial, localizadas principalmente nas áreas rurais, que não têm acesso a eletricidade.

Pesquisas feitas nos últimos 10 anos, resultando em aumento da eficiência dos módulos e diminuição considerável nos custos de produção, sinalizam boas perspectivas futuras, inclusive para aplicações de maior porte. Este futuro depende também do aumento das pressões mundiais para a utilização de fontes energéticas renováveis e limpas e a continuidade da linha de pensamento governamental dos países industrializados que buscam uma diversificação das fontes de suprimento energético.

Este trabalho, dividido em duas partes, procura apresentar informações básicas relacionadas ao fundamento da energia solar fotovoltaica incluindo, princípio de funcionamento, determinação do recurso solar, estado da arte da tecnologia, principais aplicações, projeto, custos, impactos ambientais, bem como um panorama geral da utilização dos módulos fotovoltaicos no mundo.

O Recurso Solar

O Sol fornece anualmente, para a atmosfera terrestre, $5,445 \times 10^{24}$ joules ou $1,5125 \times 10^{18}$ kWh de energia. Trata-se de um valor considerável comparado, por exemplo, com o total de energia produzido em 1970 por todos os sistemas desenvolvidos pelo homem, que foi igual a 2×10^{20} joules ou 0,004% da energia recebida do Sol.

Ao longo do século, uma atenção crescente está sendo dada ao estudo das possibilidades de aproveitamento desta forma de energia. Isto requer um conhecimento detalhado da mesma, de quanta energia está realmente disponível e em que frequência e comprimento de onda.

Características Fundamentais

A transmissão da energia do Sol para a Terra se dá através da radiação eletromagnética, sendo que 97% da radiação solar está contida entre comprimentos de onda de 0,3 a 3,0 μm , o que caracteriza como uma radiação de ondas curtas.

Para a análise da radiação na superfície terrestre é importante o conhecimento da intensidade da radiação e de sua composição. A radiação solar incidente no limite superior da atmosfera sofre uma série de reflexões, dispersões e absorções durante o seu percurso até o solo devido as flutuações climáticas.

A incidência total da radiação solar sobre um corpo localizado no solo é a soma das componentes direta, difusa e refletida (figura 1). Radiação direta é a radiação proveniente diretamente do disco solar e que não sofreu nenhuma mudança de direção além da provocada pela refração atmosférica. Radiação difusa é aquela recebida por um corpo após a direção dos raios solares ter sido modificada por reflexão ou espalhamento na atmosfera. A radiação refletida depende das características do solo e da inclinação do equipamento captador.

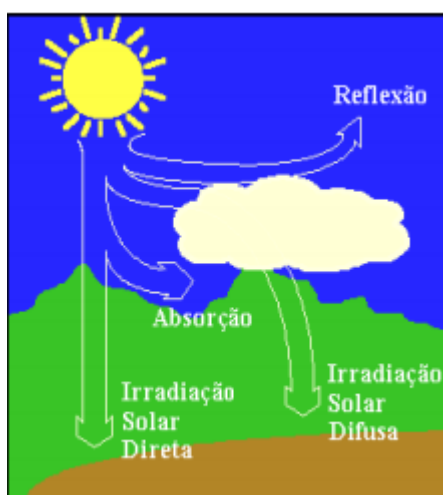


Figura 1 – Forma de incidência da radiação solar na superfície

Os níveis de radiação solar em um plano horizontal na superfície da Terra variam com as estações do ano, devido principalmente à inclinação do seu eixo de rotação em relação ao plano da órbita em torno do Sol. Variam também com a região, devido principalmente às diferenças de latitude, condições meteorológicas e altitudes. A figura 2 mostra o perfil da radiação solar incidente num mesmo local em dias consecutivos.

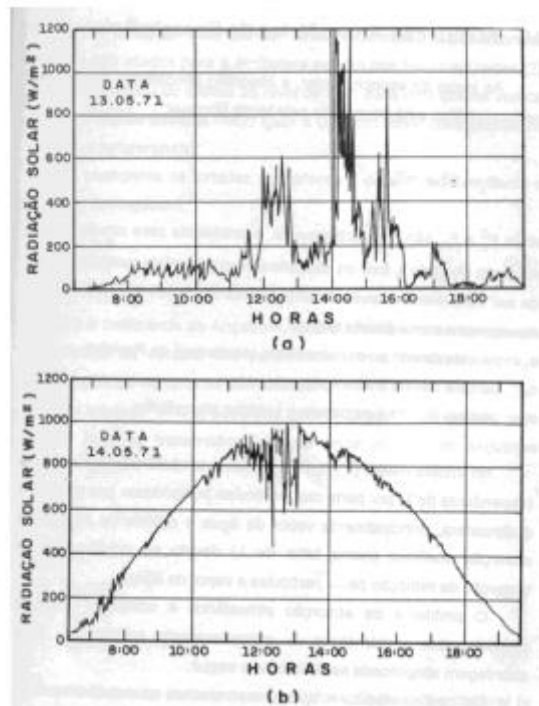


Figura 2 – Perfil de incidência da radiação solar num determinado local

Instrumentos de medição da radiação solar

Os instrumentos solarimétricos medem a potência incidente por unidade de superfície, integrada sobre os diversos comprimentos de onda. A radiação solar cobre toda a região do espectro visível, 0,4 a 0,7 μ m, uma parte do ultravioleta próximo de 0,3 a 0,4 μ m, e o infravermelho no intervalo de 0,7 a 5 μ m. As medições padrões são a radiação total e componente difusa no plano horizontal e a radiação direta normal. Existem vários instrumentos de medição da radiação solar podendo-se destacar:

Heliógrafo – Este instrumento tem por objetivo medir a duração da insolação, ou seja, o período de tempo em que a radiação solar supera um dado valor de

referência. O heliógrafo opera a partir da focalização da radiação solar sobre uma carta que, como resultado da exposição, é enegrecida. O comprimento desta região mede o chamado número de horas de brilho de Sol.

Piranômetros – São instrumentos que medem a radiação total, ou seja, a radiação que vem de todas as direções no hemisfério. Destacam-se os piranômetros fotovoltaicos e termoeletrônicos.

Piroheliômetros – É um instrumento utilizado para medir a radiação direta. Ele se caracteriza por possuir uma pequena abertura de forma a “ver” apenas o disco solar e a região vizinha, denominada circumsolar.

Actinógrafos – São utilizados para medição da radiação total ou sua componente difusa, possuindo o sensor e registrador na mesma unidade. Consiste essencialmente em um receptor com três tiras metálicas, a central de cor preta e as laterais brancas. As tiras brancas estão fixadas e a preta está livre em uma extremidade, e irão se curvar, quando iluminadas, em consequência dos diferentes coeficientes de dilatação dos metais que as compõem.

Devido a natureza estocástica da radiação solar incidente na superfície terrestre, é conveniente basear as estimativas e previsões do recurso solar em informações solarimétricas levantadas durante prolongados períodos de tempo.

Os dados solarimétricos são apresentados habitualmente na forma de energia coletada ao longo de um dia, sendo este parâmetro uma média mensal ao longo de muitos anos. As unidades de medição mais frequentes são : Langley/dia (ly/dia), cal/cm² dia, Wh/m² (1 ly/dia = 11,63 Wh/m² = 0,486 W/m²).

Com as condições atmosféricas ótimas, ou seja, céu aberto sem nuvens, a iluminação máxima observada ao meio-dia num local situado ao nível do mar se eleva a 1kW/m² . Atinge 1,05 kW/m² a 1000 metros de altura e 1,1 kW/m² nas altas montanhas. A intensidade fora da atmosfera se eleva a 1,377 kW/m²

e é chamada de constante solar. Trata-se de um valor médio, pois varia com a distância da terra em torno do Sol.

Para se ter uma idéia da intensidade da radiação solar total incidente em alguns locais da superfície da Terra, podemos citar como exemplos uma superfície horizontal no sul da Europa Ocidental (Sul da França) que recebe em média por ano uma radiação de 1500 kWh/m², e no norte, a energia varia entre 800 a 1200 kWh/m² por ano. Uma superfície no deserto do Saara recebe cerca de 2600 kWh/m² ano, que dizer, duas vezes a média européia.

O Brasil possui um ótimo índice de radiação solar, principalmente o nordeste brasileiro. Na região do semi-árido temos os melhores índices, com valores típicos de 200 a 250 W/m² de potência contínua, o que equivale entre 1752 kWh/m² a 2190 kWh/m² por ano de radiação incidente. Isto coloca o local entre as regiões do mundo com maior potencial de energia solar.

Produção e Utilização dos Módulos Fotovoltaicos

O Japão é responsável pela maior parte da produção mundial de células de Si amorfo, com quase a totalidade da produção direcionado para o mercado interno de produtos eletrônicos (relógios, calculadoras etc). No entanto, esta situação deve ser alterada, pois os EUA deverão aumentar em 22 MWp/ano a sua produção de silício amorfo. A produção japonesa de módulos de silício cristalino é direcionada ao mercado indiano e para exportações à Europa.

A produção européia é constituída praticamente em sua totalidade de módulos de Si cristalino convencional. Uma quantidade significativa desses módulos é utilizada na própria Europa em programas financiados pelos governos. Da mesma forma, a produção norte americana constitui-se basicamente na utilização de Si cristalino, embora ainda existam diversos produtores de módulos de silício amorfo voltados para aplicações convencionais.

A ASE Américas produz módulos utilizando a tecnologia “ribbon”, desenvolvida pela Mobil Solar, onde um filme fino de Si já é produzido inicialmente em formato laminar.

A produção de módulos menos convencionais, que utilizam materiais “exóticos” é mínima. A Matsuhita do Japão produz células de CdTe para suas calculadoras e a Entech americana para módulos de concentração.

TIPO	PRODUÇÃO (MWp)
Mono- Si	89,8
Poly-Si	129,1
a-Si	26,5
Outros	32,4

A tabela 1 apresenta a produção de módulos nas diferentes tecnologias em 2000 .

Distribuição pelas diferentes tecnologias 277,1 MWp / Ano: 2000

As empresas petrolíferas possuem atualmente um fatia considerável do mercado fotovoltaico, sendo representadas por diversas companhias, tais como: BP Solar (BP, UK); Solarex (Amoco, EUA); Total Energie (Total, França); Agip (Agip, Itália); Mobil Solar (Mobil, EUA); Naps (Neste, Finlândia). A Exxon teve uma subsidiária fotovoltaica, a Solar Power Corporation, EUA, fechada na década de 80.

A tabela 2 mostra as dez principais indústrias produtoras de módulos fotovoltaicos em 1995.

Tabela 2 - Produção das dez maiores empresas em 1995

Empresa	País	Produção/ano (MWp)
Siemens Solar	EUA	17
Amoco/Eron	EUA	9.50
BP Solar	Europa	7.20
Kyocera	Japão	6.10
Eurosolare	Itália	2.70
Solec Internacional	EUA	2.60
Astropower	EUA	2.50
Photowatt	França	2.05
ASE Américas	EUA	2,00
Hélio	Itália	2.00

Considerando países em desenvolvimento, a Índia é, com larga vantagem, a maior produtora de módulos fotovoltaicos. Sozinha, é responsável por cerca de

5.5% dos 8% da contribuição dos países em desenvolvimento na produção mundial.

No Brasil, existe apenas uma empresa que produz módulos fotovoltaicos, desde o silício grau eletrônico até o produto final. Esta empresa, com capacidade instalada superior a 1,0 MWp em 1992 produziu apenas 0,3 MWp entre Si mono e poli cristalino. Esta empresa encerrou suas atividades em novembro de 1996.

Recentemente, a Siemens instalou no Brasil, em Gravataí RS, na Icotron, uma montadora de módulos fotovoltaicos com células vindo de Camarillo, EUA. A tabela 3 mostra a evolução total de Wp produzidos mundialmente por cada região desde o ano de 1988 até 1996.

Tabela 3 - Evolução da produção Mundial de Módulos Fotovoltaicos (MWp)

	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996
EUA	11.10	14.10	14.80	17.10	18.10	22.44	25.64	34.75	39.85
Japão	12.80	14.20	16.80	19.90	18.80	16.70	16.50	16.40	21.20
Europa	6.70	7.90	10.20	13.40	16.40	16.55	21.70	20.10	18.80
Outros países	3.00	4.00	4.70	5.00	4.60	4.40	5.60	6.35	9.75
total	33.60	40.20	46.50	55.40	57.90	60.10	69.44	77.60	89.60

Fonte: [Maycock, fev 1997]

Algumas considerações a respeito dos mercados:

Ásia, Pacífico & Japão – É a região com maior mercado. Em 1993 o consumo estimado nessa região foi de 20 MWp. É difícil avaliar a estrutura do mercado dessa região por ser bastante complexa e por possuir diversos setores distintos. Existe nesse mercado uma grande demanda por silício amorfo, empregado em produtos de consumo. Também existe um significativo mercado para a eletrificação rural, projetos de bombeamento d'água, iluminação e para serviços de saúde básica como tratamento de água e refrigeração de vacinas.

Europa – Segundo maior consumidor. Este consumo vem crescendo devido a programas financiados por governos para sistemas conectados à rede, seja nos telhados das casas, seja em centrais fotovoltaicas.

África – Na África, o mercado interno se divide em sistemas rurais isolados (saúde, iluminação residencial, bombeamento de água) e outro, composto por aplicações profissionais remotas (telecomunicações, sinalização, proteção catódica, entre outras), ambas financiadas por entidades internacionais.

China/Índia – Possuem mercados menos expressivos, ambos abastecidos por praticamente em sua totalidade por produtores nacionais. A Índia, exporta uma pequena parcela, utilizada, principalmente em produtos de consumo.

A América do Sul & Caribe, contabilizados na fatia resto do mundo, também possuem participação pouco expressiva do mercado mundial. Em 1993 a participação foi de 6%. Este mercado é composto basicamente, como na África, de sistemas rurais e aplicações profissionais remotas. A tabela 4 mostra os 10 primeiros países que possuem maior capacidade instalada de módulos fotovoltaicos.

Tabela 4 – 10 primeiros países com maior capacidade instalada

Páís	Potência Instalada (MWp)
Japão	205,3
EUA	117,3
Alemanha	89,5
Austrália	25,3
Itália	18,5
Suíça	13,4
México	12,9
Holanda	9,2
França	9,1
Espanha	9,1

Distribuição da utilização por aplicação:

- Conectado à rede - 36%
- Autônomo - . Eletricção . Rural - 27%
- Aplicação Técnica - 28%

- Equipamentos: 9%

