

N. CLASS.	M621.47
CUTTER	55862
ANO/EDIÇÃO	2015

CENTRO UNIVERSITÁRIO DO SUL DE MINAS UNIS
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA
EDIVALDO JOSÉ DA SILVA

SISTEMA DE GERAÇÃO FOTOVOLTAICO DE ENERGIA ELÉTRICA

Varginha
2015

EDIVALDO JOSÉ DA SILVA

SISTEMA DE GERAÇÃO FOTOVOLTAICO DE ENERGIA ELÉTRICA

Monografia apresentada ao curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas – UNIS/MG como pré-requisito para obtenção do grau de bacharel, sob orientação do Me. Alexandre de Oliveira Lopes

Varginha

2015

EDIVALDO JOSÉ DA SILVA

SISTEMA DE GERAÇÃO FOTOVOLTAICO DE ENERGIA ELÉTRICA

Monografia apresentada ao curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas – UNIS/MG como pré-requisito para obtenção do grau de bacharel pela Banca Examinadora:

Aprovado em: ____/____/____

OBS:

Dedico este trabalho a meus pais, pelo incentivo e esforço total durante todo o curso, a meus irmãos e amigos que compartilharam minha jornada.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos os professores e mestres que me acompanharam desde os primeiros anos até a conclusão de minha graduação, todos eles responsáveis pela realização deste trabalho.

“Os obstáculos são aquelas coisas terríveis que
você vê quando desvia os olhos de seu
objetivo.”

Henry Ford

RESUMO

A energia fotovoltaica é uma energia limpa, pois não necessita de queima de combustíveis fósseis, para a geração de eletricidade é preciso da radiação e irradiação solar. A eficiência de uma célula depende de qual tipo de material ela é feita, podendo chegar a 25%, contudo com a incidência de nuvens essa eficiência pode cair. Para a transformação de energia solar em elétrica é necessários de componentes como célula fotovoltaica, baterias, reguladores de carga, os conversores, outros componentes. Existem três tipos de sistemas de geração fotovoltaica cada uma associada a sua finalidade, o sistema isolado possibilita para população de regiões afastadas das capitais gerar sua eletricidade para o acionamento de equipamentos residenciais. O sistema conectado á rede é o mais utilizado principalmente na Europa, sua instalação dispensa o uso de baterias para armazenar carga, enviando para a rede o excesso de energia gerado. Em alguns países há mecanismos de incentivo para o sistema conectado a rede que podem variar de acordo com cada localidade. O sistema híbrido é a utilização de duas fontes ou mais para gerar eletricidade, aproveitando os recursos existentes em determinadas áreas.

Palavras chaves: Radiação solar. Energia fotovoltaica. Eletricidade.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Fornalha solar de lavousier	11
Figura 2: Representação da irradiação global e potencial de energia solar.....	12
Figura 3: Representação da radiação solar global do Brasil.....	13
Figura 4: Estádio Governador Magalhães Pinto.....	14
Figura 5: Célula fotovoltaica	15
Figura 6: Célula de silício monocristalino.....	16
Figura 7: Célula de silício policristalino.	17
Figura 8: Célula de silício amorfo	17
Figura 9: Eficiência de conversão e custo de células solares	18
Figura 10: Módulo Fotovoltaico.....	18
Figura 11: Conexões elétricas dos módulos	19
Figura 12: Sistema isolado	21
Figura 13: Sistema de bombeamento de água	22
Figura 14: Sistema com armazenamento de carga CC.....	23
Figura 15: Composição do sistema fotovoltaico conectado a rede	24
Figura 16: Sistema híbrido	25

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
2 REFERENCIAL TEÓRICO	10
2.1 O sol	10
2.2 Histórico da energia solar	10
2.3 Radiação solar.....	11
2.4 Matriz energética.....	13
2.5 Efeito fotovoltaico.....	14
2.6 Célula fotovoltaica.....	15
2.6.1 Tipos de células	16
2.7 Módulo fotovoltaico.....	18
2.8 Conexão elétrica dos módulos fotovoltaicos.....	19
2.9 Componentes básicos.....	20
2.9.1 Baterias	20
2.9.2 Inversores	20
2.9.3 Reguladores de carga.....	20
2.9.4 Outros componentes	20
2.10 Configurações básicas	21
2.10.1 Sistema isolado.....	21
2.10.1.1 Carga CC sem armazenamento.....	22
2.10.1.2 Carga CC com armazenamento	22
2.10.1.3 Carga CA sem armazenamento	23
2.10.1.4 Carga CA com armazenamento.....	23
2.10.2 Sistemas conectados á rede.....	23
2.10.3 Sistema híbrido.....	24
2.11 Vantagens e Desvantagens.....	25
2.12 Mecanismos de incentivo.....	26
CONCLUSÃO.....	28
REFERÊNCIAS	29

1 INTRODUÇÃO

Devido a diversas dificuldades do sistema aberto, provocado pela estiagem prolongada que afetou a geração de energia nas usinas hidrelétricas, o produtor rural sofre com aumento dos custos para sua produção. Influenciado por esse fator cresce a necessidade de busca por fontes de energia renováveis que não agridam o meio ambiente e que torne a propriedade alto suficiente.

A maioria da energia gerada pelas usinas é de fontes que poluem e agridem o meio ambiente como as termoelétricas, nucleares e hidrelétricas. Em todas as propriedades temos uma fonte de calor o sol, radiação emitida por ele pode ser convertida através de um sistema fotovoltaico em energia elétrica, sendo uma fonte renovável e que não ocasiona impactos ao meio ambiente.

Segundo WANDERLEY & CAMPOS (2013), para o dimensionamento de um sistema fotovoltaico é necessário um estudo da localidade, estação do ano, incidência de nuvens e período de insolação diária e velocidade do vento.

A EPE (2012), aponta que pra produzir o efeito fotovoltaico é necessário principalmente da Irradiação Global Horizontal (GHI), essa formada por Irradiação Difusa Horizontal (DIF) e Irradiação Normal Direta (DNI).

De acordo com o relatório do ministério de minas e energia (MME), o Brasil é o país com maior participação na transformação de energia elétrica utilizando fontes renováveis.

O efeito fotovoltaico, primeiramente descoberto por Edmund Becquerel, em 1839, implica no aparecimento de uma diferença de potencial nos terminais de uma célula eletroquímica causada pela absorção de luz CEPEL- CRESESB (2014).

A Associação e-Learning tools for Electrical Engineering, descreve os componentes de acordo com seu tipo de aplicação que podem ser Isolados, Híbrido e conectados a rede, os principais são as baterias, reguladores de carga, os conversores, outros componentes e a célula fotovoltaica.

Conforme a CEPEL – CRESESB (2004), para a instalação do sistema fotovoltaico é necessário projetar de acordo a classificação do sistema, temos três tipos que podem ser isolados, híbridos ou conectados a rede.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 O sol

O Sol é a fonte primária de energia e também de vida. Podemos dizer que o Sol é em última análise a fonte responsável pela maior parte da energia existente na superfície da Terra (MME). Além de ser responsável pela manutenção da vida no planeta (CEPEL- CRESESB, 2014), seu calor aquece o planeta e promove a formação de padrões climáticos, o aquecimento dos mares, a formação de correntes oceânicas e o movimento da atmosfera. Sua energia é responsável direta ou indiretamente por todas as formas de vida (Revista pré univest 2015).

Segundo a Revista Memo (2011), esta fonte energética emite no nosso planeta 1400 watts/s, equivalentes à 14 lâmpadas de 100 watts cada. Essa quantidade de energia corresponde à queima de 2.1020 galões de gasolina por minuto, mais de 10 milhões de vezes a produção anual de petróleo no nosso planeta.

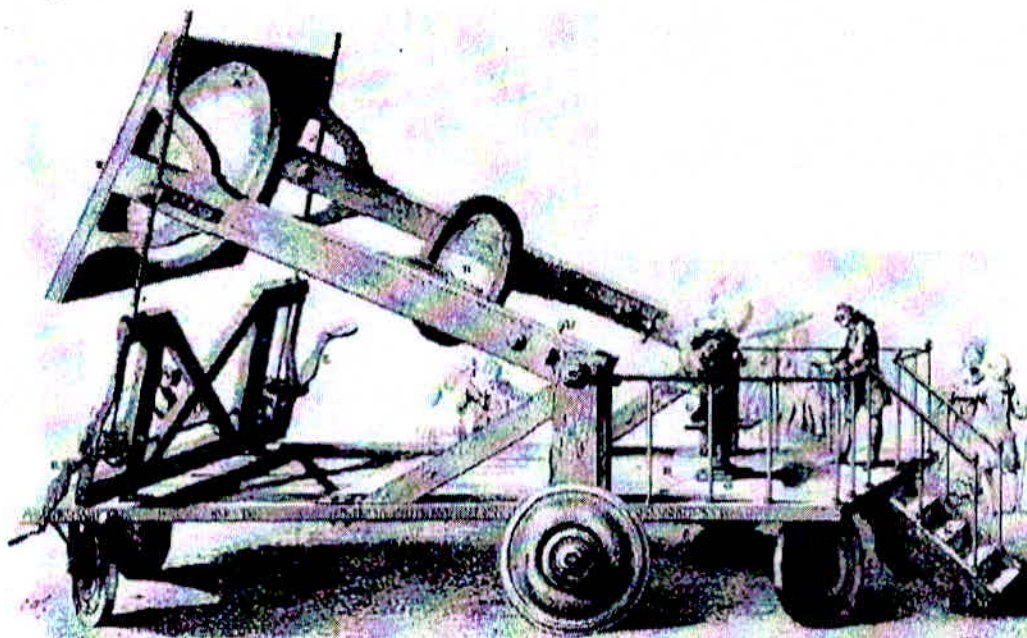
2.2 Histórico da energia solar

De acordo com KALOGIROU (2009), a utilização da energia solar em escalas maiores, é evidenciado por Arquimedes (282 a 212 a.C.), que teria queimado soldados romanos focalizando a energia do sol. O fato foi referenciado por diversos autores entre 100 a.C. e 1.100 d.C. e no livro Optics Vitelio, do matemático polonês Vitelio. Esse aparelho feito por Arquimedes foi descrito como um vidro composto com 24 espelhos sendo focalizado em um determinado ponto, uma pequena parte de historiadores relatam que foi utilizado não um aparelho, mas sim escudos refratários. Há relatos de que Arquimedes teria escrito um livro (On Burning Mirrors), mas nenhuma cópia foi encontrada. No período Bizantino, Proclus queimou seus inimigos em Constantinopla com energia solar. No século XVIII, na Europa e Oriente Médio iniciou o desenvolvimento de fornalhas solares, cuja aplicação era a fundição de metais, principalmente ferro e cobre (LODI, 2011). De acordo com KALOGIROU (2009), uma das primeiras aplicações em larga escala foi a fornalha solar desenvolvida por Lavoisier em 1774 (Figura 1). Esta fornalha possuía uma lente de 1,32m e outra secundária de 0,2m e atingia cerca de 1.750°C.

Durante a década de 1970, ocorreram o primeiro e o segundo choques do petróleo, em 1973 e 1978 respectivamente (YERGIN e HOBBS, 2005). Essa crise de abastecimento

estimulou no mundo o incentivo de diversas fontes alternativas de energia e não por coincidência, o desenvolvimento dos atuais modelos de coletores solares começou nos EUA na década de 1970 coordenados pelo DOE. A primeira planta solar comercial foi instalada no Novo México em 1979 pelo Laboratório Sandia (Sandia National Laboratory), (RAGHEB, 2011 apud LODI, 2011). Os grandes investimentos em P&D no setor na Europa também surgiram na década de 1970.

Figura 1: Fornalha solar de lavousier



Fonte: KALOGIROU (2009)

2.3 Radiação solar

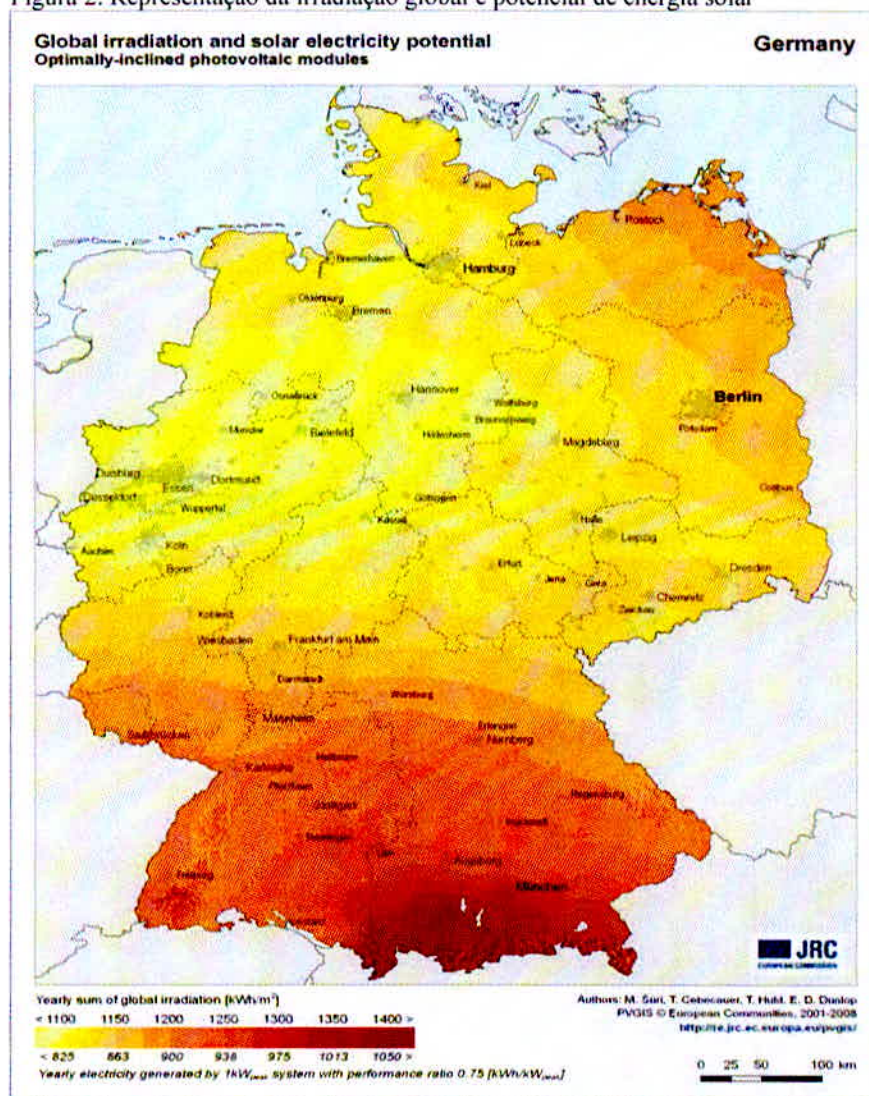
A EPE (2012), aponta que pra produzir o efeito fotovoltaico é necessário principalmente da Irradiação Global Horizontal (GHI), essa formada por Irradiação Difusa Horizontal (DIF) e Irradiação Normal Direta (DNI), a primeira não atinge o solo diretamente ela se dissipa por elementos contidos na atmosfera a (DNI) não se dissipa, mas sua variação é alta devido à nebulosidade durante o dia.

Segundo WANDERLEY & CAMPOS (2013), para o dimensionamento de um sistema fotovoltaico é necessário um estudo da localidade, estação do ano, incidência de nuvens e período de insolação diária e velocidade do vento.

O tempo médio de insolação em Minas Gerais, que possibilita a determinação da radiação solar média anual que vai de 4,5 a 6,5 kWh/m²/dia, com valores máximos observados no norte do estado e valores mínimos no sudeste (Fundação Estadual do Meio

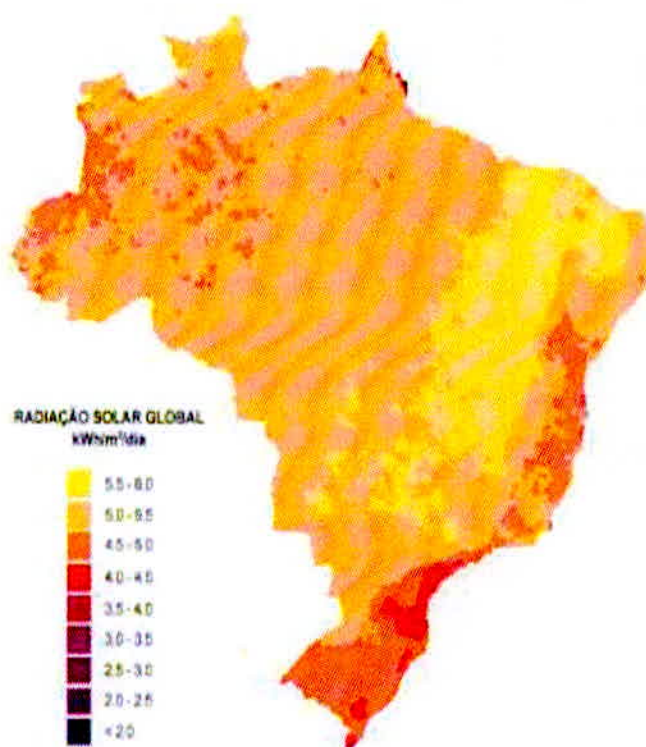
Ambiente - FEAM, 2014). Nas figuras 2 e 3 podemos visualizar a radiação média da Alemanha e Brasil, segundo a PVGIS (2015).

Figura 2: Representação da irradiação global e potencial de energia solar



Fonte: PVGIS, 2015.

Figura 3: Representação da radiação solar global do Brasil



Fonte: MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (BRASIL), 2009.

2.4 Matriz energética

De acordo com o relatório do ministério de minas e energia (MME), o Brasil é o país com maior participação na transformação de energia elétrica utilizando fontes renováveis entre o BRICS cunhada por Jim O'Neill em 2001 intitulado "Building Better Global Economic BRICs compostos pelo Brasil, Rússia, Índia, China e África do Sul. Em 2014 no Brasil a energia gerada por fontes renováveis representaram 73% da energia consumida, nos demais países do grupo como a china esse percentual cai para 22%, e na África do sul, apenas 2%.

A revista Exame (2013), cita que a Suíça e vários países da Europa lideram o ranking mundial de eficiência energética, acesso aos recursos naturais e sustentabilidade ambiental, elaborado pelo Conselho Mundial de Energia (WEC, na sigla em inglês).

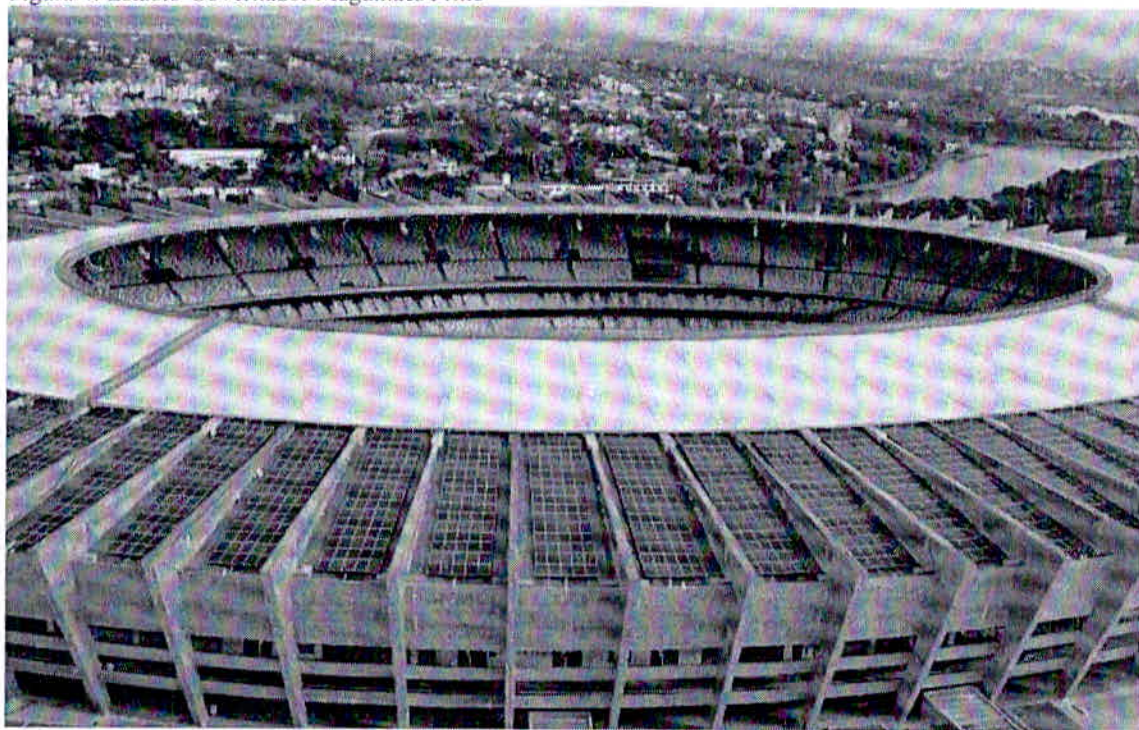
De acordo com Exame (2014), o Conselho Americano para uma Economia de Energia Eficiente (Aceee) avaliou 16 importantes economias do mundo em relação a sua eficiência energética, o Brasil ocupou o 15º lugar ganhando apenas do México, atingindo 30 pontos de 100. A Alemanha liderou em primeiro, pois é um país que utiliza menos energia para atingir

um mesmo resultado, reduzindo os custos e poluindo menos, tornando se uma economia mais competitiva.

Segundo estudos do Instituto de Energia da Universidade da Califórnia e da Associação das Indústrias Fotovoltaicas Europeias, desde 2003, o índice de expansão dessa indústria fotovoltaica ultrapassa 50% ao ano (Revista alumínio julho 2015).

A Fundação Estadual do Meio Ambiente – FEAM (2014), mostra investimentos no setor energético solar, introduzindo no Estádio Governador Magalhães Pinto em Minas Gerais, chamado como Mineirão usina solar com capacidades de 1,42 MWp, com cerca de 6.000 módulos fotovoltaicos. Esse total tem o potencial de abastecer 1.200 residências.

Figura 4: Estádio Governador Magalhães Pinto



Fonte: Cemig, 2014

2.5 Efeito fotovoltaico

O efeito fotovoltaico, primeiramente descoberto por Edmund Becquerel, em 1839, implica no aparecimento de uma diferença de potencial nos terminais de uma célula eletroquímica causa pela absorção de luz (CEPEL - CRESESB, 2014). Mais tarde, em 1877, dois inventores norte americanos, W. G. Adams e R. E. Day utilizaram as propriedades

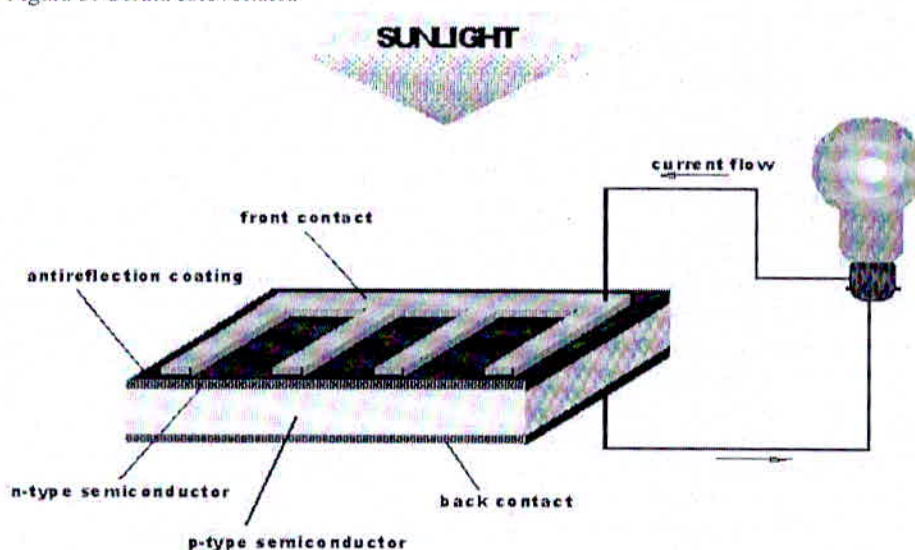
fotocondutoras do selênio para desenvolver o primeiro dispositivo sólido de produção de eletricidade por exposição à luz MIGUEL BRITO.

O efeito fotovoltaico dá-se em materiais da natureza denominados semicondutores que se caracterizam pela presença de bandas de energia onde é permitida a presença de elétrons (banda de valência) e de outra onde totalmente "vazia" (banda de condução). O semicondutor mais usado é o silício. Seus átomos se caracterizam por possuírem quatro elétrons que se ligam aos vizinhos, formando uma rede cristalina. Ao adicionarem-se átomos com cinco elétrons de ligação, como o fósforo, por exemplo, haverá um elétron em excesso que não poderá ser emparelhado e que ficará "sobrando", fracamente ligado a seu átomo de origem. Isto faz com que, com pouca energia térmica, este elétron se livre, indo para a banda de condução (CRESESB 2012).

2.6 Célula fotovoltaica

Segundo Carvalho, E. F. A.; Calvete, M. J. F (2010) a célula solar é um aparelho que converte luz solar em corrente elétrica usando o efeito fotoelétrico. Dentro de cada célula existem camadas de um material semicondutor, que a luz sobre a célula cria um campo elétrico através das camadas, fazendo com que a eletricidade flua. (Epia 2006).

Figura 5: Célula fotovoltaica



Fonte: EPE, 2012.

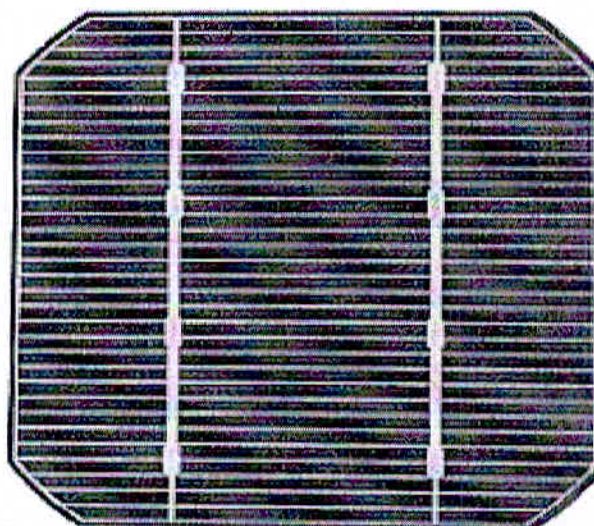
A eficiência de conversão das células solares é medida pela proporção da radiação solar incidente sobre a superfície da célula que é convertida em energia elétrica. Atualmente, as melhores células apresentam um índice de eficiência de 25% (GREEN, 2000).

2.6.1 Tipos de células

WANDERLEY & CAMPOS (2013), descreve que o material mais utilizado para a obtenção da célula fotovoltaica é o silício. Podendo ser monocristalina, policristalina ou tipo do amorfo.

De acordo com CEPEL- CRESESB (2006), a célula de silício monocristalino é um conversor direto de energia solar em eletricidade e a tecnologia para sua fabricação é um processo simples. Este material é desoxidado em grandes fornos, purificado e solidificado. Para efeito fotovoltaico a células precisa de outros dispositivos semicondutores e de um grau de pureza maior devendo chegar na faixa de 99,9999%. Para aplicação na eletrônica, tem de ser pura, estrutura monocristalina e baixa densidade de defeitos na rede.

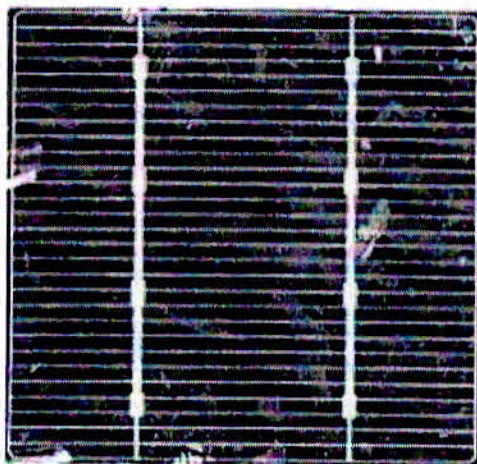
Figura 6: Célula de silício monocristalino



Fonte: CEPEL- CRESESB, 2006

As células de silício policristalino são economicamente mais baratas que a monocristalina sua eficiência é menor. Através do processo de pureza o silício monocristalino obtém se eficiências iguais, as técnicas de fabricação de células policristalinas, sua fabricação é idênticas a monocristalinas, possuindo menor rigor de controle. Em escalas industriais sua eficiência máxima chegou a 12,5%.

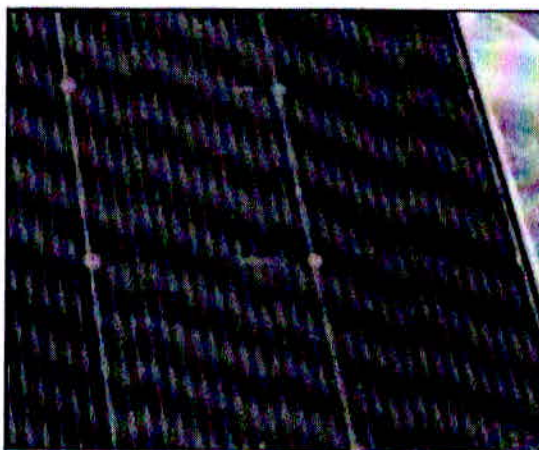
Figura 7: Célula de silício policristalino.



Fonte: CEPEL- CRESESB, 2014.

As estruturas do silício amorfo são diferentes das cristalinas por ter alto grau de desordem na estrutura dos átomos. As vantagens das fotocélulas são as propriedades elétricas, o silício amorfo é uma tecnologia com custos baixos. Suas desvantagens é a baixa eficiência de conversão, as células se degradam com maior facilidade no início da instalação, diminuindo sua eficiência ao longo do tempo. Sua vantagem é seu custo mais baixo, possibilidade de fabricação de células com grandes áreas.

Figura 8: Célula de silício amorfo



Fonte: CEPEL- CRESESB, 2014

Figura 9: Eficiência de conversão e custo de células solares

Tipo de célula	Eficiência (%)			Custo (US\$/Wp)
	Teórica	Laboratório	Comercial	
Silício de cristal simples	30,0	24,7	12 a 14	4 a 7
Silício concentrado	27,0	28,2	13 a 15	5 a 8
Silício policristalino	25,0	19,8	11 a 13	4 a 7
Silício amorfo 17,0	13,0	4 a 7	3 a 5	-

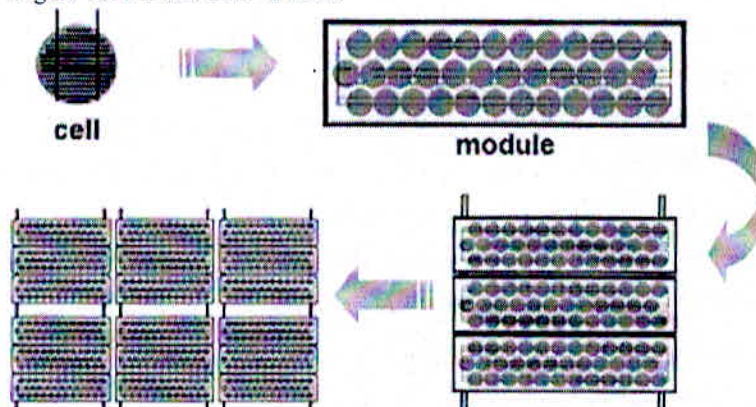
Fonte: GREEN, 2000.

2.7 Módulo fotovoltaico

Ricardo Ruther (2004) aponta o módulo solar fotovoltaico como a principal célula de geração, pois a quantidade de módulos determina a tensão utilizada no painel apresentam normalmente tensões de circuito aberto em torno de 20 V, apropriadas para a carga de baterias de 12 V em sistemas autônomos. Segundo National Energy Education Project (2015) o módulo é um arranjo de células, quanto maior esse arranjo maior seu poder.

A CEPEL- CRESESB (2014) relata que na Europa 74% da produção mundial de módulos fotovoltaico são instalados, sendo a Alemanha e Itália seu maior mercado consumidor. A energia gerada no ano de 2011 por sistema fotovoltaico total na Europa é 2%, se destacando a Itália com 5%.

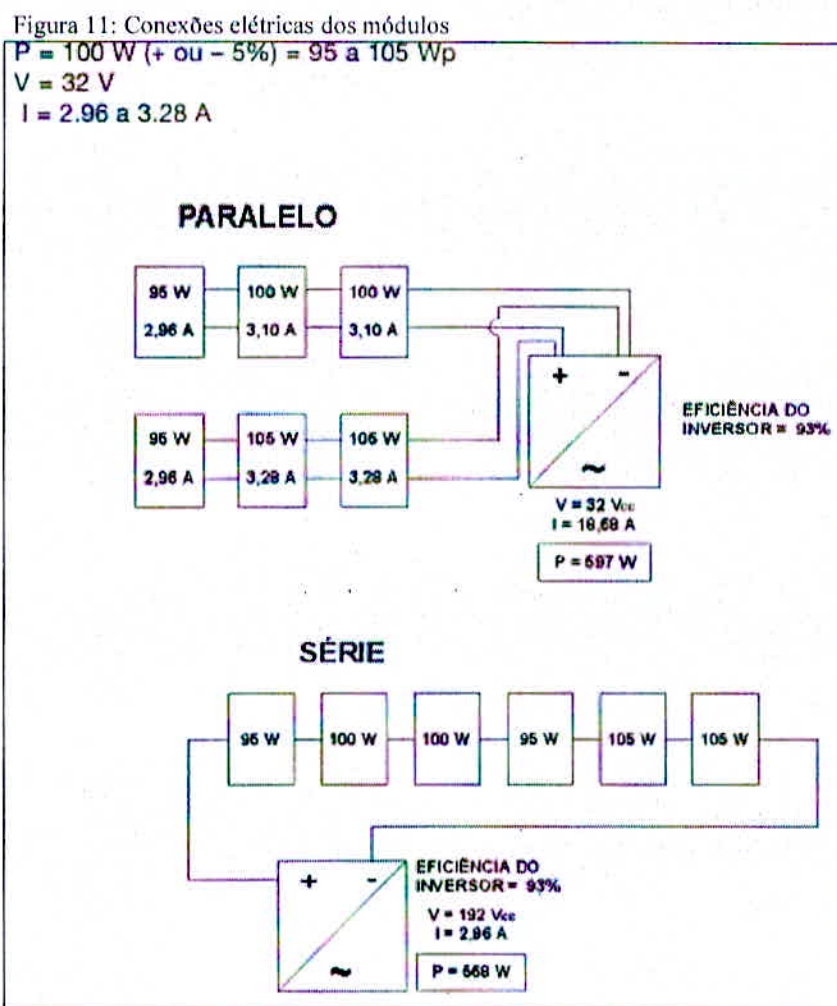
Figura 10: Módulo Fotovoltaico.



Fonte: EPE, 2012.

2.8 Conexão elétrica dos módulos fotovoltaicos

Ricardo R  ther (2004) aponta que a disponibilidade arranjo dos módulos podem ser combinados em paralelo ou e série. A configura  o em paralelo tem mais confiabilidade, segurança de instala  o e manuten  o, suas desvantagens são baixas tensões e grandes correntes necessitando de cabos com maior diâmetro, na associa  o em serie a corrente    baixa, em seu modulo tem saída de correntes que variam entre de 5 a 10% + ou - menos. Foi realizado um teste com 6 módulos de 100Wp cada, conectados em série e em paralelo com o inversor, sendo constado que o rendimento em paralelo e maior em cerca de 5% sobre o de série.



Fonte: Ricardo R  ther, 2004.

2.9 Componentes básicos

A Associação e-Learning tools for Electrical Engineering (2015), descreve os componentes de acordo com seu tipo de aplicação que podem ser Isolados, Híbrido e conectados a rede, os principais são as baterias, reguladores de carga, os conversores, outros componentes e a célula fotovoltaica descrita na Figura 5.

2.9.1 Baterias

Uma bateria é um conjunto de células ou vasos eletroquímicos, conectados em série ou em paralelo, capazes de armazenar energia elétrica na forma de energia química por meio de um processo eletroquímica de oxidação ou redução que ocorre em seu interior (CEPEL-CRESESB, 2014).

2.9.2 Inversores

De acordo com Revista Brasileira de Energia (2008), o uso do inversor de frequência é de suma importância em sistemas fotovoltaicos conectados da rede, transformando corrente contínua em alternada possibilitando que a energia não utilizada seja enviada para a rede de distribuição.

2.9.3 Reguladores de carga

O regulador controlador de carga e tensão protege bateria de ciclo profundo contra a possível sobrecarga pelo módulo fotovoltaicos ou painel solar fotovoltaica e de ser profundamente descarregada pelo consumo de corrente contínua (ingenieriaverde 2015).

2.9.4 Outros componentes

Segundo a Associação e-Learning tools for Electrical Engineering (2015), são fusíveis e disjuntores que permite ao sistema maior confiabilidade e proteção para que não tenha perda no equipamento por altas tensões.

2.10 Configurações básicas

Conforme a CEPEL- CRESESB (2014) para a instalação do sistema fotovoltaico é necessário projetar de acordo a classificação do sistema, temos três tipos que podem ser isolados, híbridos ou conectados a rede. O sistema isolado é utilizado para o funcionamento de aparelhos elétricos, principalmente em períodos noturnos por falta de radiação solar, essa energia é armazenada em baterias para a sua utilização. No sistema conectado a rede a energia gerada não é armazenada, a energia gerada é utilizada principalmente em casas urbanas, a energia não utilizada é enviada para rede elétrica, e no período noturno a rede retorna essa energia.

2.10.1 Sistema isolado.

A (organização da América do Sol) conclui que o sistema isolado da energia fotovoltaica pode gerar eletricidade para uma residência ou até uma comunidade de poucos habitantes, utilizando a bateria como fonte de armazenamento, essa situação é muito comum em zonas rurais e localidades de difícil acesso.

Em relação aos sistemas isolados (Áureo Matos 2012) relata que devido ao difícil acesso a região do estado do Amazonas, a montagem de redes de eletricidade fica inviável, devido a esse fator é utilizado o sistema fotovoltaico isolado, correspondendo a 80% da eletricidade, os 20% são (Pequenas Centrais Hidrelétricas) PCH.

Figura 12: Sistema isolado



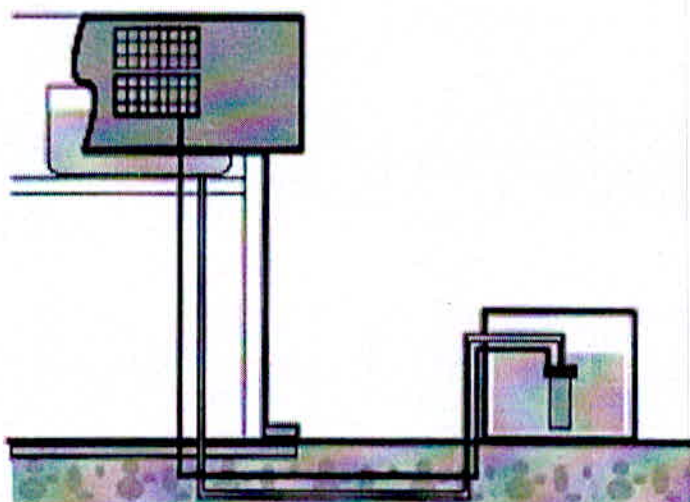
Fonte: MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (BRASIL), 2009.

Segundo a CEPEL- CRESESB (2014), para a instalação do sistema isolado é necessário utilizar o tipo de carga ideal para o armazenamento.

2.10.1.1 Carga CC sem armazenamento

Essa carga é utilizada em sistemas de bombeamento, em corrente contínua. A revista Globo rural (2014) constata que essa tecnologia é muito importante para regiões com localidades distantes de centros urbanos, onde há uma deficiência de abastecimento de água e eletricidade, são inúmeras aplicações como o para uso doméstico, sistema de irrigação e hidratações de animais.

Figura 13: Sistema de bombeamento de água

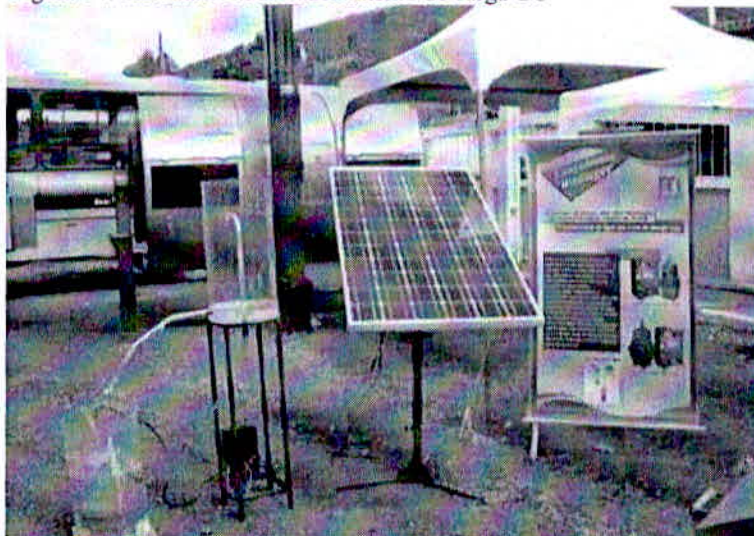


Fonte: CEPEL, 2008.

2.10.1.2 Carga CC com armazenamento

A CEPEL- CRESESB (2006), descreve que a carga CC com armazenamento é utilizada para acionamentos de equipamentos elétricos como televisão, iluminação, rádio em corrente contínua, para essa finalidade utiliza-se a bateria como armazenador de carga. Para a proteção de sobrecargas curto-circuito ou descarga se utiliza um controlador de carga.

Figura 14: Sistema com armazenamento de carga CC



Fonte: Revista globo rural, 2014.

2.10.1.3 Carga CA sem armazenamento

É utilizado para acionamentos de motores de bombeamento convencionais no sistema fotovoltaico, em corrente alternada onde não necessita o armazenamento da carga.

2.10.1.4 Carga CA com armazenamento

Sua aplicação é em eletrodomésticos residenciais, precisando para seu funcionamento um inversor de frequência, para que a potência do equipamento seja igual à carga de acionamento para não ocorrer sobrecargas.

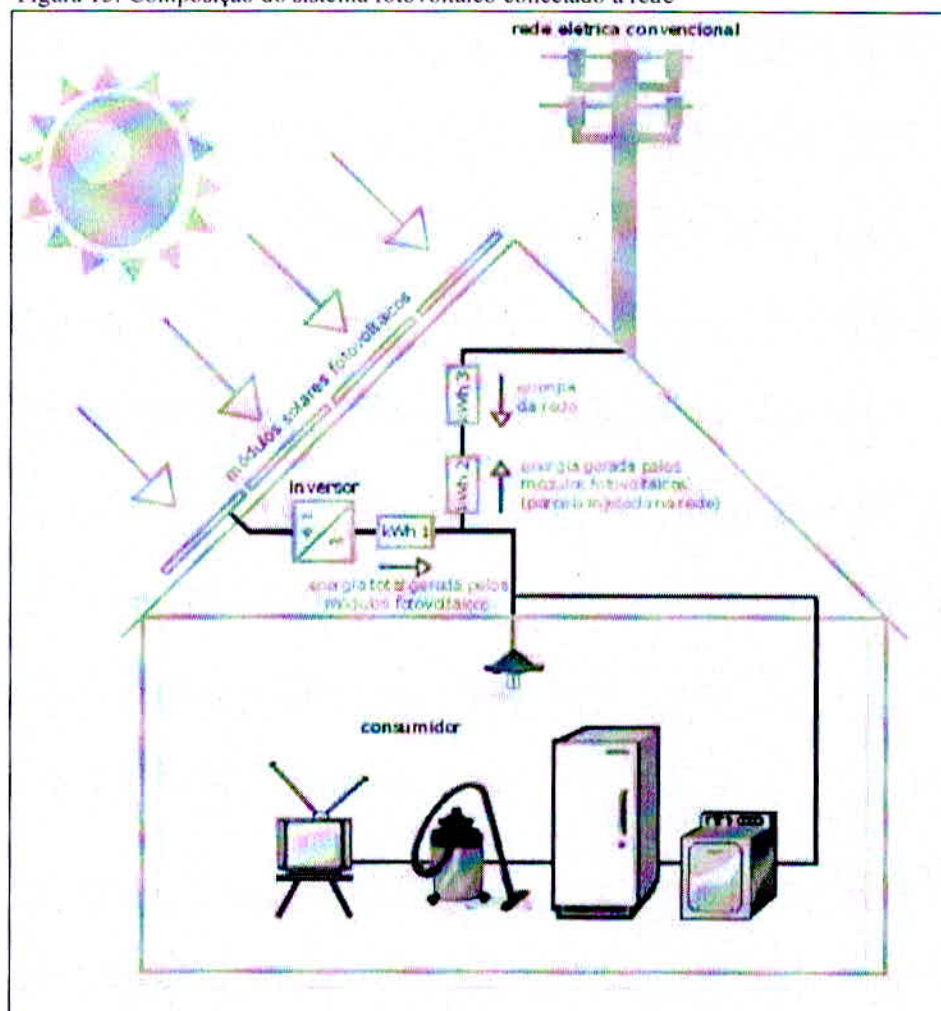
2.10.2 Sistemas conectados á rede

Segundo a CEPEL (2002), o sistema fotovoltaico conectado a rede são destinado em países desenvolvidos como o Japão, Alemanha e os EUA para iluminação de escolas, prédios públicos, empresas e casas residenciais.

A CRESESB (2014) nota a importância desse sistema pelo fato de não ser necessária a utilização de bateria para o armazenamento de carga, onde a energia gerada não utilizada no período ensolarado é enviada para a rede, na maioria dos países a legislação pode variar em sua inserção e envio para a rede.

A Revista Brasileira de energia (2008), constata a necessidade de um inversor de frequência pela corrente elétrica das redes convencionais estarem em corrente alternada (CA), já que o módulo fotovoltaico sua saída é corrente contínua (CC).

Figura 15: Composição do sistema fotovoltaico conectado a rede

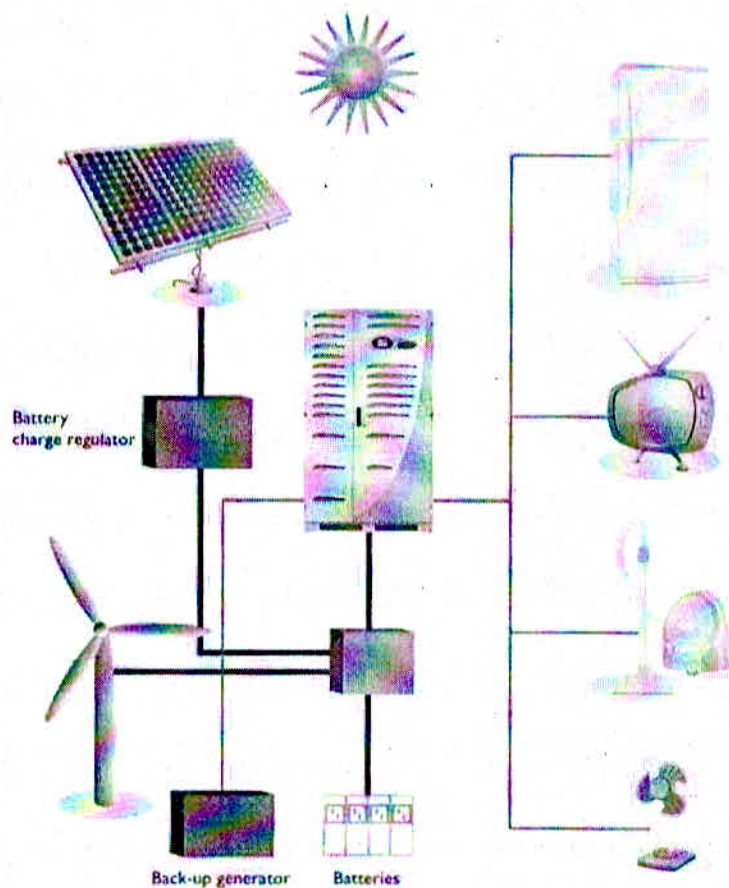


Fonte: Ricardo Rüther, 2004.

2.10.3 Sistema híbrido

A MME (2008) descreve o sistema híbrido, sendo a geração de eletricidade por um conjunto de fontes renováveis, tais como solar, eólica e hídrica. A associação desses conjuntos possibilita menor interrupção de corrente, obtendo eletricidade continuamente, pois quando uma fonte não está captando um recurso para geração elétrica a outra é acionada.

Figura 16: Sistema híbrido



Fonte: EPE, 2012.

2.11 Vantagens e Desvantagens

O sistema fotovoltaico possui muitas vantagens principalmente em relação a outras fontes geradoras, suas aplicações são diversas, mas vamos citar algumas vantagens:

- Não utiliza combustíveis fósseis para a geração de energia elétrica;
- Vida útil de aproximadamente 25 anos;
- Não polui o meio ambiente;
- Manutenção muito baixa;
- Não emite poluição sonora.

Paralelamente, serão citados abaixo algumas desvantagens, tendo em vista que todo projeto é sempre passível de melhorias.

- Perda de 1% de rendimento ao ano;
- Material frágil;

- c) Custo alto de investimento, sendo o inversor de frequência o mais caro;
- d) Sua potência cai 0.5 % a cada grau de temperatura a mais no sistema;
- e) Seu rendimento também é alterado quando a incidência de nuvens e ao acúmulo de poeira sobre o módulo;
- f) Necessidade de alta tecnologia para sua fabricação;
- g) Utilização de cabos resistentes aos raios ultravioletas;
- h) No ambiente de sua instalação não pode haver sombras.

2.12 Mecanismos de incentivo

Os mecanismos de incentivo são amplos e criativos, compreendendo uma combinação de diversos mecanismos (EPE 2012). Esses mecanismos são variáveis dependendo de cada país, nos países desenvolvidos o incentivo é muito grande, impulsionando sua instalação.

Alemanha. O incentivo à expansão deste mercado encontra suporte no âmbito do “Renewable Energy Sources Act” (EEG), que determinou procedimentos de acesso de empreendimentos de geração renovável à rede, bem como assegurando tarifas-prêmio favoráveis ao investimento pelos consumidores nessas instalações. Mas o sistema de incentivos também estipulou redução gradativa dessas tarifas conforme o atingimento de determinado nível de expansão anual de instalação de sistemas fotovoltaicos. Adicionalmente ao incentivo provido pelo EEG, governos locais também oferecem benefícios adicionais por meio de incentivos fiscais para investimentos pelo consumidor final. O financiamento desses investimentos, por sua vez, contam com o apoio do banco estatal KFWBankengruppe (EPE 2012,p.37).

Itália. O “Conto Energia Programme” aporta recursos para financiar o mecanismo de tarifas-prêmio associado à redução gradativa dessas tarifas conforme o desenvolvimento do mercado. Japão. Os incentivos iniciaram-se em 2009, por meio de um programa pelo qual a rede (concessionária) adquire os excedentes de eletricidade produzidos pelo consumidor final pagando duas vezes o valor da tarifa aplicada a esse consumidor, no caso de sistemas menores do que 10kW. Atualmente, o governo japonês estuda a possibilidade de introduzir o mecanismo de tarifa-prêmio como forma de reforçar o incentivo à expansão da tecnologia solar fotovoltaica conectada à rede. Adicionalmente, governos locais também incentivam a instalação destes sistemas por meio da concessão de subsídio (EPE 2012,p.37).

Estados Unidos. Os incentivos incluem crédito via redução do imposto de renda (30% do custo da instalação), além de esquemas de depreciação acelerada. Essa depreciação aplica-se somente a empreendimentos instalados no setor comercial. O apoio ao financiamento é estabelecido através do “American Reinvestment and Recovery Act”. Entre outros mecanismos utilizados se incluem ainda: regras favorecidas de interconexão e net metering; aceitação de modelos de financiamento por terceiros; incentivos baseados em desempenho. Além disso, cada estado tem sua própria política de fomento, sendo o net metering, limitado a uma potência máxima, adotado em 43 dos 50 estados. A Califórnia se destaca por adotar um sistema de cotas para as distribuidoras (“Renewables Portfolio Standard”), o qual determina os percentuais de energias renováveis que devem ser observados no estado: 20% em 2013 e 25% em 2016. Para o atendimento dessas metas foram

criadas políticas diferenciadas para pequenos e grandes geradores: as contratações de geradores de grande porte são feitas por meio de leilões competitivos, o chamado "Renewable Auction Mechanism" (RAM). No estado da Califórnia está em fase de regulamentação uma tarifa feed-in para pequenos geradores distribuídos até 3MW (EPE 2012,p.38).

Espanha. País que registrou, em anos recentes, as maiores taxas de expansão da geração solar, alterou recentemente, talvez em razão da crise econômica a qual atravessa, o regime de tarifas-prêmio (Royal Decree n. 1.565/2010 e Royal Decree Law n. 14/2010), estabelecendo tanto os percentuais de redução progressiva dos valores de tarifa-prêmio em instalações realizadas após 2008, por tipo, quanto o prazo de validade do incentivo para instalações realizadas antes de 2008. Também no ano de 2010, o governo espanhol lançou o plano nacional para energias renováveis 2011-2020 (PANER) que estabelece que cerca de 3,6% da demanda total de eletricidade na Espanha em 2020 deverá ser atendida por geração solar fotovoltaica (EPE 2012,p.39).

França. O incentivo à expansão dos sistemas de geração solar baseia-se na combinação de mecanismos como tarifas-prêmio e renúncia de imposto de renda de 25% do total de investimento em sistemas fotovoltaicos, limitado a um teto de até €8.000 por contribuinte (€16.000 por casal). Em razão da crise econômica, essa política de incentivos encontra-se em processo de revisão, com recomendações de redução progressiva dos patamares de tarifa-prêmio bem como dos incentivos diretos ao consumidor final (EPE 2012,p.39).

CONCLUSÃO

A geração de energia através do efeito fotovoltaica é indispensável para sustentabilidade energética, utilizando uma fonte renovável importante para a vida o sol.

O Brasil pelo seu tamanho, geografia e principalmente pela grande incidência de radiação solar, pode ocupar o primeiro lugar em eficiência energética fotovoltaica mundial. Apenas a incidência de radiação solar do Estado de Minas Gerais é maior que a da Alemanha, é necessário o incentivo financeiro do país para seu desenvolvimento em grande escala.

O Brasil tem de criar centrais tecnológicas para o desenvolvimento de novas tecnologias e programas de incentivos mais eficazes e mais visíveis pela população.

A classificação do sistema fotovoltaico pode ser isolado, híbrido ou conectado a rede, a sua utilização é dependente de cada aplicação. O sistema híbrido e isolado é mais indicado para zonas rurais, já a conectado a rede em regiões urbanas para o abastecimento de residência, escolas e prédios.

Essa tecnologia garante o acesso á informação, acionamentos de bombas de água e outros equipamentos a população desprovida de rede elétrica.

REFERÊNCIAS

CEMIG. Companhia Energética de Minas Gerais. **Alternativas Energéticas: Uma visão CEMIG**. Belo Horizonte, 2012.

CENTRO DE REFEREÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO DE SALVO BRITO – CRESESB; **Manual da Engenharia para sistemas fotovoltaicos**; Rio de Janeiro: Centro de Pesquisas em Energia Elétrica- CEPEL; entre 1999 e 2014.

EPE. Empresa de Pesquisa Energética. Nota Técnica. **Análise da Inserção da Geração Solar na Matriz Elétrica Brasileira**. Rio de Janeiro, Maio de 2012.

IEA. International Energy Agency. **Solar Heat Worldwide Markets and Contribution to the Energy Supply 2010**. Gleisdorf, Austria. Edition 2012.

KALOGIROU, S. A. **Solar energy engineering: processes and systems**. First Edition. Academic Press. Elsevier, EUA.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (BRASIL). **Estudo e propostas de utilização de geração fotovoltaica conectada à rede, em particular em edificações urbanas**. Brasília: MME, 2009.

NREL. **Operational of Solarpaces**. Disponível em: www.nrel.gov/csp/solarpaces/operational.cfm (Acesso em Julho de 2015).

RÚTHER, Ricardo. **Edifícios Solares Fotovoltaicos**. 1ª Edição. Editora UFSC. Florianópolis, 2004.