

CHRISTIAN MOECKEL PICCHI
MIGUEL RAMÍREZ VARGAS

**APLICAÇÃO DE PAINÉIS FOTOVOLTAICOS EM RESIDÊNCIAS:
ESTUDOS DE CASO EM GUARATINGUETÁ E SEVILHA (ESPANHA)**

GUARATINGUETÁ
2012

**CHRISTIAN MOECKEL PICCHI
MIGUEL RAMÍREZ VARGAS**

**APLICAÇÃO DE PAINÉIS FOTOVOLTAICOS EM RESIDÊNCIAS:
ESTUDOS DE CASO EM GUARATINGUETÁ E SEVILHA (ESPANHA)**

Trabalho de Graduação apresentado ao Conselho de Curso de Graduação em Engenharia Mecânica da Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Graduação em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. José Alexandre Matelli

Guaratinguetá
2012

P592a	Picchi, Christian Moeckel Aplicação de painéis fotovoltaico em residências: estudos de caso em Guaratinguetá e Sevilha (Espanha) / Christian Moeckel Picchi, Miguel Ramirez Vargas. - Guaratinguetá: [s.n.], 2012 50 f.: il. Bibliografia: f. 49 Trabalho de Graduação em Engenharia Mecânica – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2012 Orientador: Prof. Dr. José Alexandre Matelli 1. Energia – Fontes alternativas 2. Radiação 3. Vargas, Miguel Ramírez I. Título CDU 620.91
-------	---

**APLICAÇÃO DE PAINÉIS FOTOVOLTAICOS EM RESIDÊNCIAS:
ESTUDO DE CASO EM GUARATINGUETÁ E SEVILHA (ESPANHA)**

**CHRISTIAN MOECKEL PICCHI
MIGUEL RAMÍREZ VARGAS**

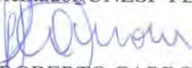
ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO COMO
PARTE DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE
"GRADUADO EM ENGENHARIA MECÂNICA"

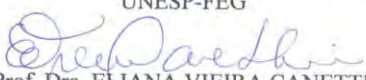
APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO DE
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

Prof. Dr. ANTONIO WAGNER FORTI
Coordenador

BANCA EXAMINADORA:


Prof. Dr. JOSÉ ALEXANDRE MATELLI
Orientador UNESP-FEG


Prof. Dr. LUIZ ROBERTO CARROCCI
UNESP-FEG


Prof. Dra. ELIANA VIEIRA CANETTIERI
UNESP-FEG

Julho de 2012

DEDICATÓRIA

De modo especial, à nossa família que
sempre nos ajudaram e incentivaram para
levar a cabo este intercâmbio.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, à nossa família, que sempre nos apoiaram durante este intercâmbio;

ao nosso orientador, *Prof. José Alexandre Matelli*, que sempre nos ajudou e foi paciente conosco e com a fronteira da língua,

à nossos colegas da república, que nos acolheram nestes 5 meses,

à nossa colega Carol Zacharczuk que sempre deu conselhos para a melhor redação do trabalho graças a seus conhecimentos de espanhol,

à Regina Célia Ferreira da Silva Souza, a pessoa a quem mais temos que agradecer pelo sucesso de nosso intercâmbio, estando sempre disposta a ajudar-nos com alegria e dedicação.

PICCHI, C. M ; VARGAS, M. R. **Aplicação de painéis fotovoltaicos em residências: estudo de caso em Guaratinguetá e Sevilha (Espanha).** 2012. 50 f. Trabalho de Graduação (Graduação em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá 2012.

RESUMO

Neste trabalho é abordada a possibilidade de instalar um painel fotovoltaico em uma moradia com o objetivo de reduzir o consumo elétrico. O Brasil é um país com um grande recurso solar e a tecnologia fotovoltaica permite transformar a energia solar em energia elétrica, ajudando a descentralizar a produção de energia. Para ampliar o campo de visão, compara-se o estudo com o equivalente em uma moradia espanhola, discutindo como a legislação favorece a iniciativa do uso deste tipo de energia. Será visto que, com o incentivo do governo, o projeto pode ser feito porque o investimento na instalação é amortizado ao longo de um período razoável de tempo, cerca de oito anos na Espanha e três no Brasil.

PALAVRAS-CHAVE: Energia renovável, Pannel geração solar fotovoltaica, Radiação, Sustentabilidade, Legislação.

PICCHI, C. M ; VARGAS, M. R. **Aplication of photovoltaic panels on homes: a case study in Guaratinguetá and Seville (Spain).** 2012. 50 f. Graduate Work (Graduate in Mechanical Engineering) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2012.

ABSTRACT

In this paper we discussed the possibility of installing a photovoltaic panel in a house in order to reduce electrical consumption. Brazil is a country with a huge solar resource and photovoltaic technology allows transforming solar energy into electricity, helping to decentralize energy production. To enlarge the field of view, the study compares with the equivalent in a Spanish city, discussing how the law favors the initiative of using this type of energy. It will be seen that, with the encouragement of the government, the project can be done because the installation is amortized over a reasonable period of time, about eight years in Spain and three in Brazil.

KEYBOARDS: Renewable energy, Photovoltaic solar generation panel, Radiation, Sustainability, Legislation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Esquema instalação isolada da rede.....	17
Figura 2. Painel e contadores de instalação de conexão a rede.....	17
Figura 3. Curva característica da célula solar.....	18
Figura 4. Instalação Fotovoltaica em Campinas.	27
Figura 5. Mapa da radiação global na Andaluzia.....	28
Figura 6. Caminho do sol no hemisfério norte.....	30
Figura 7. Radiação solar global média anual.....	34
Figura 8. Caminho do sol em Guaratinguetá.....	35
Figura 9. Mudanças de preços no mercado brasileiro.....	36

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Dados da irradiação direta e global na Andaluzia.....	29
Tabela 2. Resultados do Estudo em Sevilla.....	32
Tabela 3. Resultados do Estudo em Guaratinguetá.....	37
Tabela 4. Cálculos de amortização em Sevilla.....	38
Tabela 5. Cálculos de amortização em Guaratinguetá.....	39

LISTA DE SIGLAS

ANEEL	-	Agência Nacional de Energia Elétrica.
TONC	-	Temperatura de operação nominal da célula.
PROINFA	-	Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica.
AM	-	Massa de ar.

LISTA DE SÍMBOLOS E DEFINIÇÕES

P_{MP}	-	Potencia máxima pico
A	-	Área de célula (m^2)
E	-	Radiação incidente (W/m^2)
T_m	-	Temperatura do módulo
T_a	-	Temperatura ambiente
CC	-	Corrente contínua
CA	-	Corrente alternada

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	15
1.1 OBJETIVO.....	16
1.2 MOTIVAÇÃO.....	16
1.3 DISCUSSÃO DO PROBLEMA.....	16
1.4 DESCRIÇÃO DOS CAPÍTULOS.....	17
2. PAINÉIS FOTOVOLTAICOS.....	18
2.1 INTRODUÇÃO.....	18
2.2 GERADOR FOTOVOLTAICO OU CAMPO SOLAR.....	19
2.2.1 CÉLULA SOLAR.....	20
2.2.1.1 CARACTERÍSTICAS.....	20
2.2.1.2 TIPOS DE CÉLULAS SOLARES.....	22
2.2.2 MÓDULO FOTOVOLTAICO.....	23
2.2.2.1 CARACTERÍSTICAS.....	23
2.2.2.2 CRITÉRIOS DE SELEÇÃO.....	26
2.2.3 GERADOR FOTOVOLTAICO OU CAMPO SOLAR.....	26
2.3 SISTEMAS DE CONDICIONAMENTO DE PÔTENCIA.....	27
2.3.1 REGULADORES DE TENSÃO.....	27
2.3.2 CONVERSORES CC-CA.....	27
2.4 SEGURANÇA E PROTEÇÕES.....	28
3. ESTUDO DE CASO EM SEVILLA.....	29
3.1 RECURSOS SOLARES.....	29
3.2 LEGISLAÇÃO.....	32
3.3 RESULTADOS.....	33
4. ESTUDO DE CASO EM GUARATINGUETÁ.....	34
4.1 RECURSOS SOLARES.....	35
4.2 LEGISLAÇÃO.....	37
4.3 RESULTADOS.....	38
5. DISCUSSÃO.....	40
6. CONCLUSÕES.....	42
7. ANEXO.....	44

8. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	48
9. BIBLIOGRAFIA CONSULTADA.....	49

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, a qualidade de vida está fortemente ligada ao consumo de energia. Nosso planeta armazena um capital de energia em forma de combustíveis fósseis (carvão, petróleo, gás natural, entre outros) que se formaram há milhões de anos. O carvão teve seu protagonismo durante a revolução industrial, proporcionando ao menos o 80 % da energia mundial; hoje em dia foi substituído em grande parte pelo petróleo, e em menor medida pelo gás natural, que se fez popular por ter muito menos poluentes todas essas coisas estão referenciadas no atlas brasileiro.

Os recursos energéticos de origem fóssil são escassos. É facilmente previsível a crise que se desatará nesses setores no decorrer das primeiras décadas do século XXI. O aumento das demandas de energia e a diminuição das reservas do planeta levará a substituição obrigatória dessas fontes.

Esse aumento da demanda energética, em conjunto com a crescente preocupação das consequências ambientais do consumo de combustíveis fósseis, está impulsionando a pesquisa, o desenvolvimento e o uso de tecnologias alternativas de geração de energia utilizando fontes renováveis.

Fontes de energia renováveis são aquelas que ocorrem continuamente e são inesgotáveis à escala humana: solar, eólica, hidráulica, biomassa e geotérmica. As energias renováveis são as fontes de fornecimento de energia menos agressivas ao meio ambiente. Como importantes benefícios ambientais, enfatiza-se a não emissão de poluentes gasosos, como os que resultam da combustão de combustíveis fósseis responsáveis do aquecimento global (CO₂) e da chuva ácida (SO₂ e NO_x) e a não geração de resíduos de difícil tratamento. Outros benefícios observados da energia renovável é a sua contribuição para o equilíbrio regional, e que pode ser instalado em áreas rurais e remotas, e redução da dependência de fontes externas.

Dentro da energia solar temos os sistemas de baixa temperatura, os sistemas de alta temperatura ou concentração e as instalações fotovoltaicas. Neste trabalho são abordadas as instalações fotovoltaicas, que convertem a luz do sol diretamente em eletricidade através do efeito fotovoltaico. A luz solar é composta de partículas energéticas chamadas fótons. Estes fótons possuem diferentes níveis de energia, correspondentes a diferentes comprimentos de onda do espectro da radiação solar. Quando os fótons atingem a célula fotovoltaica, podem ser refletidos ou absorvidos, ou podem simplesmente atravessá-la. Apenas os fótons

absorvidos podem gerar eletricidade. Quando um fóton é absorvido, sua energia é transferida para um elétron em um átomo da célula. Com esta nova energia, o elétron pode escapar da sua posição normal associado com um átomo e formar parte de uma corrente em um circuito elétrico. Esta eletricidade gerada a partir da energia solar pode ser utilizada exatamente da mesma maneira que a eletricidade em rede, para moradias, comércios, escritórios, entre outros. Se tem um documento muito interessante onde se fala com mais detalhamento referente à informação aqui exposta no artigo “A review of solar photovoltaic technologies” que está na referencia bibliográfica.

1.1 OBJETIVO

Este trabalho tem por objetivo avaliar a viabilidade da instalação de painéis fotovoltaicos em uma residência na cidade de Guaratinguetá (Brasil), que apresenta condições ambientais favoráveis para o desenvolvimento deste tipo de instalações. É avaliada também a possibilidade de vender o excesso à rede elétrica, por meio de novas políticas brasileiras de incentivo, visando reduzir o consumo de energia elétrica. Pretende-se também comparar o caso de Guaratinguetá com uma residência na cidade espanhola de Sevilha.

1.2 MOTIVAÇÃO

A principal motivação do trabalho é a entrada em vigor de uma nova resolução da ANEEL (Resolução normativa 482, 17/04/2012). Tal resolução permite que consumidor produza energia renovável e repasse a sobra à rede revendedora, pagando menos na conta de luz. Além disso, o Brasil, devido a sua localização geográfica predominantemente tropical, possui uma grande disponibilidade de recursos de energia solar por todo o seu território.

1.3 DISCUSSÃO DO PROBLEMA

A tecnologia tem avançado muito pelo interesse em buscar fontes de energia limpas e ilimitadas, o que proporciona uma grande oportunidade para aumentar a participação destas fontes na matriz energética. O principal inconveniente encontrado é pela forma de abordar o

uso destas fontes. Na Espanha, por exemplo, o cidadão que decide instalar um painel fotovoltaico na sua casa recebe uma ajuda do governo. Além disso, poderá vender a energia excedente para a rede. Desta forma, a pessoa que instala um painel o amortiza em um breve período de tempo e a partir desse momento, resta somente benefícios.

Já no Brasil a situação é diferente. O primeiro ponto a ser destacado é que o cidadão não recebe nenhum tipo de ajuda. Em segundo lugar, os benefícios que se obtêm de vender a energia não é a remuneração diretamente, mas o ganho de um crédito que é abatido na conta de energia dos meses seguintes.

1.4 DESCRIÇÃO DOS CAPÍTULOS

Neste capítulo introdutório são apresentados o objetivo, motivação e a discussão do problema. No capítulo 2 são abordados os aspectos técnicos da tecnologia fotovoltaica para conhecer melhor sua utilização, bem como os fatores de segurança. No capítulo 3, é estudada a instalação em Sevilha, a partir de dados solarimétricos coletados em arquivos meteorológicos. Tendo estudado o consumo da residência e a produção da instalação, é analisada a viabilidade do projeto em função da legislação em vigor. O mesmo procedimento para a cidade de Guaratinguetá é mostrado no capítulo 4. Por último, são apresentadas a discussão e as conclusões do trabalho.

2 PAINÉIS FOTOVOLTAICOS

O desenvolvimento desta seção, bem como a apresentação dos detalhes mais técnicos, é baseado no trabalho de LILLO BRAVO et al. (2004).

2.1 INTRODUÇÃO

Uma instalação solar fotovoltaica tem como objeto produzir eletricidade diretamente a partir da radiação solar. Os módulos fotovoltaicos estão formados por células solares associadas entre si. As células solares são os dispositivos encarregados da conversão direta da radiação solar em energia elétrica em forma de corrente contínua, e é o principal componente de uma instalação fotovoltaica. Quanto mais radiação incidir no módulo e quanto menor for sua temperatura, maior é sua produção. Em sua localização, há de se evitar as sombras, o que faz diminuir consideravelmente o rendimento. A orientação geográfica do módulo para produção ótima em posição fixa no Brasil é o Norte; na Espanha, o Sul.

As instalações fotovoltaicas agrupam-se em dois grandes grupos em função do seu objetivo. As instalações fotovoltaicas isoladas da rede na Figura 1, que têm como objetivo cobrir as necessidades de energia elétrica em localidades afastadas da rede elétrica convencional. As aplicações mais usuais destas instalações são fornecedor elétrico para bombeamento de água, eletrificação rural para sítios, fornecimento elétrico para iluminação de estrada etc. Além dos módulos, estas instalações incluem baterias, reguladores e inversores. Por outro lado estão as instalações fotovoltaicas de conexão a rede, que têm como objetivo, além do consumo próprio, a venda da sobra da energia à rede para obter benefícios a mudança. Na Figura 2 tem-se os principais elementos das instalações de conexão a rede: módulos fotovoltaicos, inversor, proteções elétricas e medidores.

Em todas as instalações fotovoltaicas existe um gerador fotovoltaico e, dependendo do tipo de instalação, tem-se componentes periféricos diferentes. Neste trabalho, são estudadas as instalações de conexão a rede, devido à possibilidade de venda de excedente.

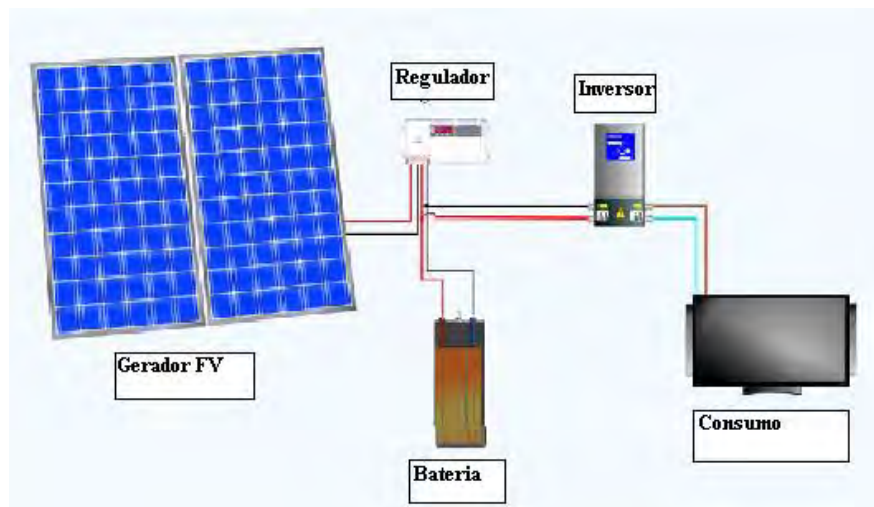


Figura 1. Esquema instalação isolada da rede.
(LILLO BRAVO et al. 2004)



Figura 2. Painel e contadores de instalação de conexão a rede.
(LILLO BRAVO et al. 2004)

2.2 GERADOR FOTOVOLTAICO OU CAMPO SOLAR

O gerador fotovoltaico de uma instalação fotovoltaica é o dispositivo encarregado de transformar a radiação solar em eletricidade. É composto por uma associação série-paralelo de módulos que, por sua vez, são o resultado de um agrupamento série-paralelo de células solares. A célula solar é o dispositivo básico de conversão de energia.

2.2.1 CÉLULA SOLAR

2.2.1.1 CARACTERÍSTICAS

A célula solar é o dispositivo que transforma a radiação solar em energia elétrica. O processo pelo qual se realiza esta conversão se chama efeito fotovoltaico. O efeito fotovoltaico se pode produzir em sólidos, líquidos e gases. Hoje em dia se têm as melhores eficiências com materiais sólidos.

A representação mais útil do comportamento elétrico de uma célula solar proporciona-a sua curva característica, representada na Figura 3, que contém os possíveis pontos de trabalho em intensidade e tensão para um determinado valor da radiação incidente e a temperatura da célula. Para facilitar a comparação de diferentes células ou módulos fotovoltaicos entre se, fixam-se umas condições climáticas de referência de 1000 W/m^2 de irradiância e 25°C de temperatura da célula.

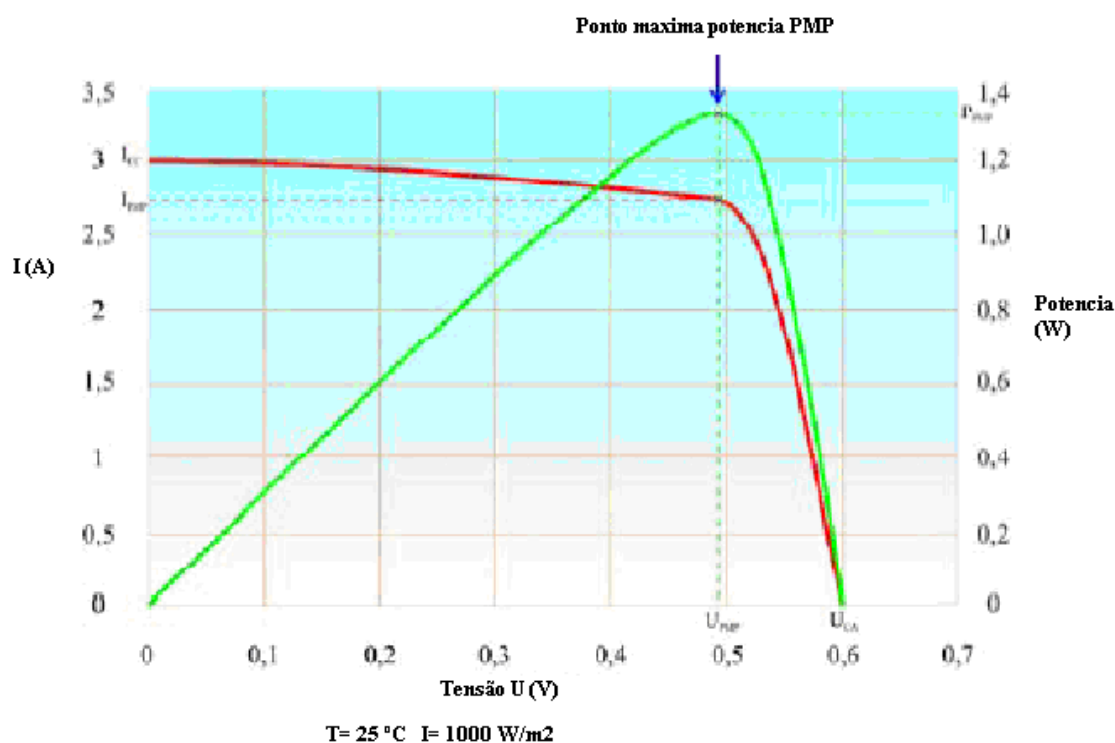


Figura 3. Curva característica da célula solar.
(LILLO BRAVO et al. 2004)

A curva característica de uma célula solar vem principalmente determinada pela posição de três pontos:

1. Ponto de máxima potência: é o ponto da curva em o que a célula produz a máxima quantidade de potência
2. Intensidade de curto circuito: é a intensidade que gera a célula quando a tensão à que se submete é nula. Para células comerciais de silício cristalino, o valor da intensidade de curto circuito varia entre 25 e 35 mA por centímetro quadrado de célula.
3. Tensão de circuito aberto: é a tensão à qual a célula não produz intensidade.

Um conceito importante quando se trata de energia fotovoltaica é a potência de pico, com unidade de watt-pico. É a potência que produziria uma célula solar (ou módulo fotovoltaico) quando exposto a condições de 25 °C e 1000 W/m² e operando na tensão de máxima potência. É uma boa aproximação da potência máxima que pode ser extraída de uma célula ou módulo fotovoltaico.

Para caracterizar termicamente uma célula emprega-se o parâmetro TONC. Normalmente é fornecida pelo fabricante e variam entre 41 e 48 °C. Indica a temperatura que atinge a célula ao estar exposta às seguintes condições, definidas como "condições nominais de operação":

- irradiância 800 W/m²
- Distribuição espectral AM 1.5
- Incidência Normal
- Temperatura ambiente 20 °C
- Velocidade do vento 1m/s

A eficiência de uma célula solar define a capacidade do dispositivo em transformar a energia solar em elétrica. É definida pela razão entre a máxima potência que produz a célula e a radiação solar que incide sobre ela:

$$\eta = \frac{P_{MP}}{A \cdot E} \cdot 100$$

Os principais fatores que afetam uma célula solar são a irradiância e a temperatura. A intensidade de curto circuito que gera uma célula solar aumenta proporcionalmente com a irradiância. Se mantida a temperatura constante, a irradiância também aumenta o valor da tensão de circuito aberto. Supondo irradiância constante, o aumento da temperatura de uma célula resulta em uma diminuição da tensão de máxima potência, sem aumentar praticamente a intensidade neste ponto. Em consequência, a potência máxima produzida diminui. A intensidade de curto circuito, pelo contrário, aumenta muito ligeiramente ao aumentar a temperatura da célula. A tensão de circuito aberto diminui significativamente com o aumento da temperatura da célula. Para células de silício cristalino, a eficiência da célula diminui da ordem de 0.4 a 0.5% por grau de aumento da temperatura.

2.2.1.2 TIPOS DE CÉLULAS SOLARES

As células mais utilizadas para a conversão de energia solar em energia elétrica são as de silício monocristalino e policristalino. Dependendo do tratamento que se dá ao silício puro em sua cristalização, se obtêm células de silício monocristalino, policristalino ou amorfo.

As células de silício monocristalino são aquelas obtidas a partir de um único cristal de silício puro. Costumam ser de 10 cm ou 12,5 cm de lado e 0,3 mm de espessura, e são de cor azul escuro. Para módulos de células de silício monocristalino comerciais a eficiência máxima hoje em dia é da ordem de 14%.

Nas células de silício policristalino, o processo mais usado para sua fabricação é o de fusão por blocos. São células quadradas, com lados de 10, 12,5 e 15 cm de aresta e espessuras de 0,3 mm. A apreciação do grão confere-lhes um aspecto reflexivo em o que prevalece a cor azul. Para módulos de células de silício policristalino comerciais a eficiência máxima hoje em dia é da ordem de 13%.

Por ultimo ficam as células de silício amorfo. O silício amorfo tem uma rede cristalina desordenada. O silício amorfo deposita-se em camadas de 0,001 mm de espessura, muito inferior aos de silício monocristalino, sobre um substrato de plástico, vidro ou metal de formas diversas. Sua cor pode variar entre marrom, avermelhado e preto. O maior inconveniente deste tipo de célula é seu baixo rendimento, devido ao envelhecimento do banho de silício pela agressão da luz. Para módulos de células de silício amorfo comerciais a eficiência máxima ao dia de hoje é da ordem de 8%.

2.2.2 MÓDULO FOTOVOLTAICO

2.2.2.1 CARACTERÍSTICAS

O módulo fotovoltaico é uma associação em série, e às vezes em paralelo, de células solares. O objetivo de agrupar as células em um módulo é fazer associações (normalmente de 36, 72 e 108 células) protegidas e vinculadas ao exterior com elementos estruturais e eletrônicos comuns: cobertura frontal, fechamento posterior, encapsulante, marco, diodos e caixa de conexões. A cobertura frontal costuma ser um vidro temperado transparente com um alto coeficiente de transmissividade à radiação incidente (da ordem de 95%). O fechamento posterior é a parte das células que está protegida mediante uma lâmina delgada de um polímero, normalmente tedlar, opaca à radiação solar. Em algumas aplicações em conexão a rede, para uma melhor integração na cobertura ou fachadas de edifícios, costuma-se colocar um polímero transparente com outro vidro. O encapsulante trata-se de um polímero transparente, normalmente etilen-vinil-acetato, que une e ajusta as células entre as duas cobertas. Utiliza-se para evitar vazios e permitir a correta montagem do módulo. Os diodos são de dois tipos, de passagem e de bloqueio. Os diodos de passagem colocam-se em paralelo em associações de células em série e para evitar que todos os elementos descarreguem sua potência sobre uma célula sombreada, o que levaria à deterioração. Os diodos de bloqueio protegem os sistemas fotovoltaicos isolado de intensidades inversas procedentes da bateria durante a noite, e bloqueiam os fluxos de intensidade inversa em ramos em paralelo deterioradas ou sombreadas.

O conjunto formado por células, cobertas e encapsulante são enquadradas em perfis rígidos de alumínio selados com juntas de neoprene e silicone. As caixas de conexões costumam-se colocar na face posterior do módulo, estando nela está os polos positivo e negativo. Dentro da caixa também colocam-se os diodos de passagem.

A temperatura de um módulo fotovoltaico depende da irradiação global, da temperatura equivalente do vizinhanza, da velocidade do vento, da direção do vento e das características térmicas e ópticas dos materiais que o constituem. Encontrar uma expressão analítica que englobe todos os parâmetros anteriores é complicado, pelo que se utiliza uma expressão que depende de parâmetros geralmente a nossa disposição e que proporciona um valor aproximado da temperatura do módulo, simplificando o cálculo. Para isso, em primeiro lugar, se elege uma única temperatura para todo o módulo fotovoltaico, o que equivale a supor que todas as células se encontram à mesma temperatura. Assim mesmo, considera-se que todos os módulos que formam o gerador fotovoltaico se encontram à mesma temperatura. Isto não costuma ser verdadeiro, especialmente se o número de módulos é elevado, devido à dispersão de parâmetros e à possibilidade de que os módulos estejam submetidos a diferentes condições de sujeira ou sombreado. Para ter em conta estes efeitos, introduz-se no modelo um rendimento que modele estas perdas. Denomina-se temperatura do módulo (T_m) a temperatura comum de células, módulos e gerador fotovoltaico. Em geral, usa-se a seguinte expressão para determinar a temperatura do módulo em função da temperatura ambiente , a temperatura de operação nominal da célula e a irradiação:

$$T_m = T_a + (T_{ONC} - 20) * E / 800.$$

Quanto ao tamanho, desde o ponto de vista prático, até faz poucos anos, utilizavam-se módulos de 36 células e $0,4 \text{ m}^2$, aproximadamente, de superfície. Atualmente estes módulos tem sido substituídos por outros maiores, que dispõem de 108 ou mais células associadas em série ou em série-paralelo.

A tensão máxima de isolamento indica-nos a tensão à que pode estar submetida um módulo sem que existam fugas de corrente. Este valor é muito importante, já que, em uma

instalação, a tensão máxima atingida pela ligação de módulos em série nunca deve superar este valor, porque os danos na instalação podem ser irreversíveis.

Um módulo pode durar mais de trinta anos, tendo maior rendimento nos primeiros vinte ou vinte e cinco anos.

2.2.2.2 CRITÉRIOS DE SELEÇÃO PARA ADQUISIÇÃO DE UM MÓDULO FOTOVOLTAICO

Segundo o BRAVO et al. (2004), recomenda-se ter em conta os seguintes aspectos ao adquirir um módulo:

- O módulo deve ser homologado e ter as garantias detalhadas;
- Escolher entre silício monocristalino, policristalino e amorfo.
- Escolher, em igualdade de condições, silício monocristalino, por sua melhor eficiência.
- Se a relação R\$/Wp se refere a valores de potência de catálogo ou a valores medidos;
- A tolerância, a menor TONC possível e a degradação máxima garantida devido à temperatura;
- A tensão de isolamento deve ser adequada (recomenda-se 1000 V);
- A qualidade da caixa de conexão e de seus componentes;
- O prestígio do fornecedor, se a produção é manual ou automática;; saber se a empresa só monta células ou ademais as produz assim como a acessibilidade à empresa.

2.2.3 GERADOR FOTOVOLTAICO OU CAMPO SOLAR

O gerador fotovoltaico é constituído por um grupo de módulos ou painéis interconectados entre si em série, paralelo ou série-paralelo, com o fim de obter determinada quantidade de energia elétrica. As características das células e os módulos apresentam verdadeiro grau de dispersão pelas irregularidades no desenvolvimento dos processos de fabricação, mas seus efeitos minimizam-se mediante sua classificação, associando entre si as células semelhantes.

Outro aspecto interessante são as condições de operação, que se costumam supor constantes para todas as células e os módulos. Em grandes instalações, podem chegar a ser muito diferentes entre os módulos que as conformam. Tal é o caso dos campos solares de grande extensão, em os que as nuvens ou as construções contíguo projetem sombra em

determinados momentos sobre alguns módulos e sobre outros não. Nestas ocasiões pode ocorrer que as células afetadas invertam sua polaridade. Se este efeito fosse importante, a temperatura das células aumentaria consideravelmente, gerando pontos quentes que poderia chegar inclusive à degradação. Para evitar isso, se dispõem dos diodos descritos anteriormente. Neste trabalho, não são levados em consideração este problema, pois as instalações são pequenas, para residências familiares.

2.3 SISTEMAS DE CONDICIONAMENTO DE PÔTENCIA

Chamam-se sistemas de condicionamento de potência a todos aqueles dispositivos que controlam o funcionamento de uma instalação fotovoltaica e adaptam as características da energia elétrica produzida às requeridas para seu destino e seu uso final. Os principais elementos em uma instalação de conexão a rede são os reguladores de tensão e os conversores CC-CA, também chamados inversores.

2.3.1 REGULADORES DE TENSÃO

Os reguladores são dispositivos que evitam a sobrecarga e a descarga profunda das baterias, assegurando seu bom funcionamento e prolongando sua vida útil. Dependendo de como realizam esta função podem ser dividido em dois grandes grupos. Como os sistemas de conexão a rede não utilizam baterias, este assunto não é aprofundado neste trabalho.

2.3.2 CONVERSORES CC-CA

O inversor ou conversor CC-CA tem objetivo principal transformar corrente contínua em corrente alternada. No mercado existem inversores para instalações de conexão a rede e para instalações isoladas, sendo tecnologicamente muito diferentes. Em geral os conversores CC-CA devem ter, entre outras características, uma grande confiabilidade e uma elevada eficiência à conversão de energia.

Os conversores de conexão a rede são projetados para uma ampla faixa de tensões, além de ser mandatória a existência de funções como rastreamento do ponto de máxima potência e auto-proteção de tensão.

O rendimento de um inversor define-se como a relação, expressada em percentagem, entre a potência de saída e a potência que entra no inversor. Quanto mais se aproxima a potência demandada da potência nominal do inversor, maior é seu rendimento. O mais comum é se ter rendimentos na faixa de 80 a 90 %.

Recomenda-se ter em conta os seguintes aspectos ao adquirir um inversor de conexão a rede:

- Assim como as células, o mais importante é que esteja homologado por organismos independentes e que cumpra as exigências e regulamentos específicos, apresentando garantias detalhadas;
- A relação R\$/Potência nominal;
- Que seja apto para o lugar de localização, com especial cuidado com os ambientes corrosivos, como o litoral ou vizinhanças de indústrias químicas;
- A curva de rendimento total do inversor;
- A influência da temperatura e outras variáveis nas curvas de rendimento;
- As auto-proteções e sistema de gerenciamento de alarmes do inversor;
- Que o autoconsumo seja muito baixo;
- Acessibilidade e experiência do fabricante e a possibilidade de reparos.

2.4 SEGURANÇA E PROTEÇÕES

A segurança em uma instalação fotovoltaica como a da Figura 4 tem um papel muito importante, pois deve garantir o total funcionamento do sistema com a certeza de que nenhum acidente ocorra. Fundamentalmente, deve-se tomar especial cuidado na parte elétrica e ter todo o estudo de segurança em ótimo estado para prever possíveis contatos de pessoas, animais ou mesmo possíveis incêndios produzidos por mau contato.

No momento do projeto da instalação deve-se fazer dois estudos de segurança, um na parte do campo solar até a entrada do inversor (lado de corrente contínua) e outro na parte da saída do inversor até a conexão com a linha da empresa elétrica (lado de corrente alternada).



Figura 4. Instalação Fotovoltaica em Campinas
(LILLO BRAVO et al. 2004)

Para estes estudos de segurança são exigidos conhecimento do regulamento associado à construção da instalação, de modo a satisfazer os requisitos necessários mencionados na lei.

3 ESTUDO DE CASO EM SEVILHA

Andaluzia, região cuja capital é Sevilha, se encontra na liderança mundial no desenvolvimento de plantas termosolares.

3.1 RECURSOS SOLARES

Sevilla é uma cidade com um grande recurso solar. Na Figura 5 tem-se um mapa da radiação global na Andaluzia.

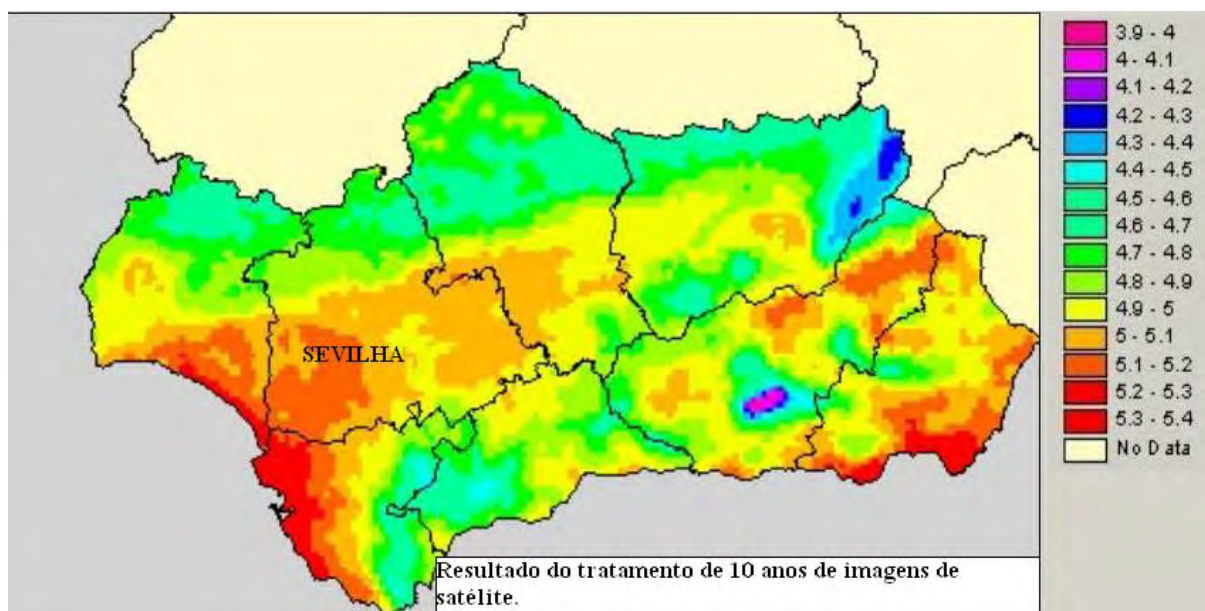


Figura 5. Mapa da radiação global na Andaluzia
(Agencia Andaluza da Energia)

O ano meteorológico típico não reflete as condições reais de um ano ou conjunto de anos determinados, mas representa as condições típicas, de acordo com critérios estatísticos definidos, durante um longo período de tempo. Na Tabela 1 é apresentado um ano meteorológico típico em Sevilha, obtido de uma base de dados de radiação (CIEMAT-AICIA, 2005).

Os meses com mais irradiação são os meses de verão, que na Espanha são junho, julho e agosto. Uma das vantagens é que a irradiação nos meses de inverno também é alta e a temperatura é menor, permitindo que os painéis tenham maior eficiência.

Tabela 1. Dados da irradiação direta e global na Andaluzia.

Mês	I. direta (kWh/m ²)	I. global (kWh/m ²)
Janeiro	77,6	121,9
Fevereiro	92,3	110,6
Março	140,8	144,2
Abril	161,7	131,3
Maio	196,8	174,7
Junho	230,9	232,8
Julho	229,1	247,8
Agosto	217,5	249,7
Setembro	168,3	192,4
Outubro	113,9	134,5
Novembro	89,2	145,4
Dezembro	65,5	107,5
Anual	1783,6	1992,7

Em um dia ensolarado recebe-se uma radiação de 1000 W/m². A inclinação dos raios de sol relativa a superfície horizontal é variável ao longo do ano (máximo no verão e mínimo no inverno) e, por conseguinte, nessas instalações onde os painéis são fixados, haverá um ângulo ótimo para o recolhimento de energia. Isto é, deve encontrar o ângulo de inclinação dos painéis ao plano horizontal, o que maximiza a potência média anual recebida. Na maioria dos casos, este ângulo coincide com a latitude da instalação e mais ou menos 15°. A razão é para ter mais absorção no inverno, quando a luminosidade diminui a custo da absorção mais pobre no verão, que tem maior quantidade de luz.

Pode ser que a instalação não seja usada durante todo o ano, mas apenas em determinados momentos. Assim, se a instalação é para ser usada de preferência no verão, a inclinação do coletor é igual à latitude menos 15 graus. A inclinação deve ser de acordo com a latitude do local e aumentar ou diminuir graus, dependendo da época. A melhor solução na

Espanha, devido ao caminho do sol no hemisfério Norte que podemos ver na Figura 6, é direcioná-los para o sul com uma inclinação de 45 graus.

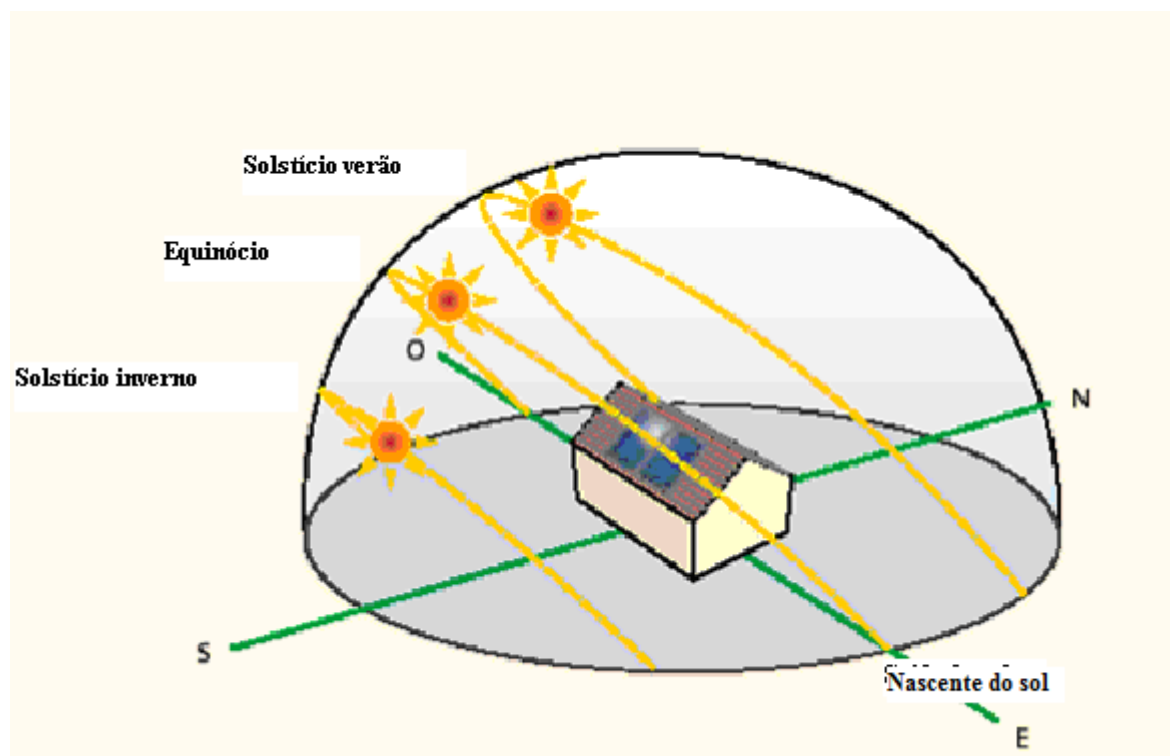


Figura 6. Caminho do sol no hemisfério norte.
(LILLO BRAVO et al. 2004)

3.2 LEGISLAÇÃO

Na Espanha existem ajudas de custo para as pessoas que decidem colocar um painel fotovoltaico na sua casa. A subvenção depende da região em que vive cada um. Além disso, o Código Técnico de la Edificación (2009) obriga a instalar painéis em todos os edifícios de nova construção. As ajudas estatais podem chegar a um terço ou a metade do custo da instalação, dependendo do tamanho da instalação.

Entre todas as energias renováveis que podem ser implementadas em uma residência, a Agência Andaluza de Energia subvenciona a energia solar térmica e a climatização geotérmica. Em residências incentivam-se os dois tipos de instalações, enquanto em edifícios novos afetados pelo *Código Técnico de la Edificación* (2009) incentivam somente aquelas que

proporcionam uma contribuição renovável acima do mínimo obrigatório estabelecido pelo código.

As energias renováveis (energia solar, eólica, geotérmica, biomassa, entre outros) contribuíram com 13,2% da energia em 2010, quase 1% a mais que em 2009, o que situa a Espanha no caminho necessário para atingir o objetivo europeu de que 20% do consumo da energia final seja de origem renovável em 2020.

O *Plan Nacional de Energías Renovables* (PER 2011-2020), tem sido elaborado com o propósito de garantir a qualidade do fornecimento elétrico e o respeito ao meio ambiente, cumprindo com os compromissos adquiridos pela Espanha em o âmbito internacional, o Protocolo de Kioto, o Plano Nacional de Atribuição ou os que se derivam da União Européia.

Até agora, nas instalações de conexão a rede da Espanha, toda a energia produzida deve ser vendida, ou seja, não se vende apenas o excedente, mas toda a energia gerada. No entanto em Novembro de 2011 saiu publicado o *Real Decreto 1699/2011* (2011), que permite a autogeração e a venda de excedente. A proposta é permitir o autoconsumo e o excedente é vendido ao mesmo preço que as pessoas pagam pela eletricidade.

3.3 RESULTADOS

O caso estudado consiste de uma residência em Sevilha, onde moram cinco pessoas, com um consumo de 4000 kWh/ano (333,33 kWh/ano). Trata-se de uma casa familiar, com 4 andares. O teto é plano, de 40 m² de superfície e a 12 m de altura. O painel fica neste teto ao sul e inclinado 45 graus. Não há obstáculos que produzam sombra sobre ele.

Considera-se a instalação de 25 m² de painéis (modulos cristalinos), com potência nominal de 0,15 kWp/m². A potência instalada é, portanto:

$$0,15 \cdot 25 = 3,75 \text{ kWp.}$$

Nas condições solares anteriormente apresentadas, com uma radiação de quase 2000 kWh/m² na Andaluzia, um painel produz 1500 kWh/kWp. Logo, a geração de energia esperada é:

$$1500 \times 3,75 = 5625 \text{ kWh/ano.}$$

Como o consumo residencial é de 4000 kWh/ano, a instalação é própria para o autoconsumo e também para venda de excedente:

$$5625 - 4000 = 1625 \text{ kWh/ano.}$$

O preço consultado do fabricante é de 2,4 €/Wp para uma instalação completa, incluindo módulos, estrutura, suporte e conversor. O investimento total é:

$$2,4 \times 3750 = 9000 \text{ €.}$$

Na Tabela 2, os valores mais importantes são resumidos.

Tabela 2. Resultados do Estudo em Sevilla.

Investimento	9000 € = R\$ 24534,00
Consumo num ano	4000 kWh
Produção anual	5625 kWh/ano

4 ESTUDO DE CASO EM GUARATINGUETÁ

4.1 RECURSOS SOLARES

O Brasil é um país que tem vastos recursos solares, fazendo com que a introdução do país de tecnologias como a fotovoltaica sejam de interesse. O mapa da Figura 7 mostra a média anual de irradiação solar global incidente no território brasileiro e os dados apresentados no presente texto são obtidos do Atlas Brasileiro de Energia Solar (2006). Apesar das diferentes características climáticas observadas no Brasil, pode-se observar que a média anual de irradiação solar global apresenta boa uniformidade, com médias anuais relativamente altas em todo país. O valor máximo de irradiação solar global – $6,5 \text{ MWh/m}^2$ - ocorre no norte do estado da Bahia, próximo à fronteira com o estado do Piauí. Essa área apresenta um clima semi-árido com baixa precipitação ao longo do ano (aproximadamente 300mm/ano) e a média anual de cobertura de nuvens mais baixa do Brasil. A menor irradiação solar global – $4,25 \text{ MWh/m}^2$ – ocorre no litoral norte de Santa Catarina, caracterizado pela ocorrência de precipitação bem distribuída ao longo do ano. Os valores de irradiação solar global incidente em qualquer região do território brasileiro ($4200\text{-}6700 \text{ kWh/m}^2$) são superiores aos da maioria dos países da União Européia, como Alemanha ($900\text{-}1250 \text{ kWh/m}^2$), França ($900\text{-}1650 \text{ kWh/m}^2$) e Espanha ($1200\text{-}1850 \text{ kWh/m}^2$).

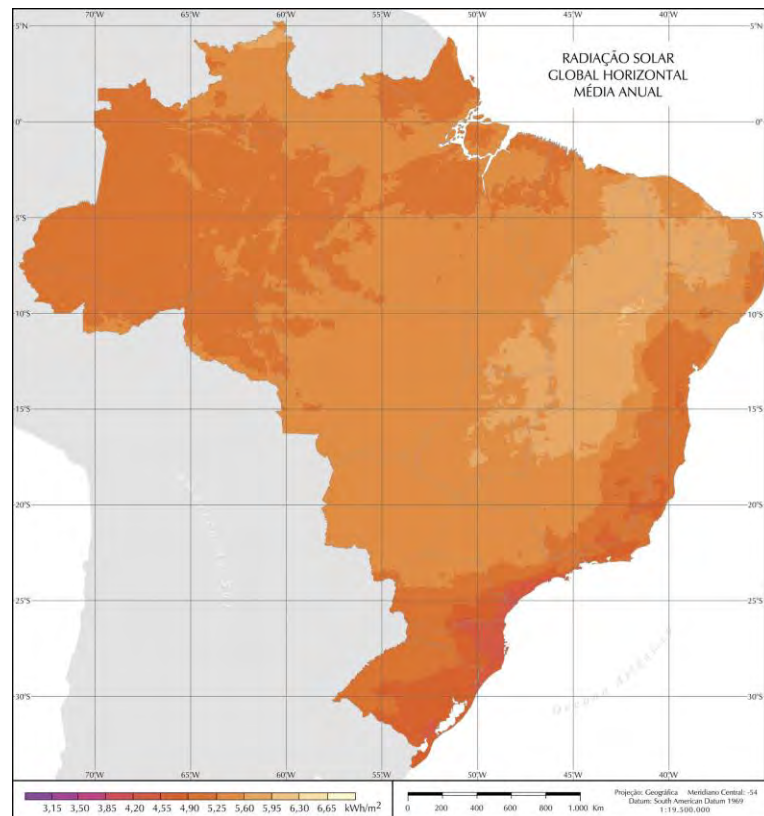


Figura 7. Radiação solar global média anual.
(Atlas Brasileiro de Energia Solar)

Os meses de verão no Brasil (dezembro, janeiro e fevereiro) têm maior radiação solar. A região Nordeste apresenta a maior disponibilidade energética, com uma radiação global média de 5,6 MWh/m². Devido à diferença de posicionamento geográfico, a trajetória do sol em Guaratinguetá é diferente da de Sevilla.

Com base nestes dados e a informação mostrada na Figura 8, os painéis em Guaratinguetá devem ser orientados para o norte, com uma inclinação de 23 graus com respeito à horizontal do solo.

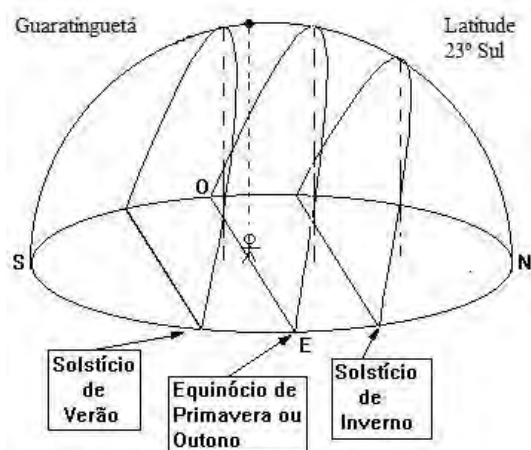


Figura 8. Caminho do sol em Guaratinguetá.
(America do Sol)

4.2 LEGISLAÇÃO

A experiência nacional evidencia que o Brasil vem tentando introduzir ao longo dos anos o uso da energia solar fotovoltaica através de programas de incentivo. Porém, até o ano de 2009, a energia solar fotovoltaica não foi contemplada efetivamente por políticas públicas específicas de longo prazo e pela legislação em vigor. Como o PROINFA não contempla a energia solar fotovoltaica, Varella (2009) desenvolveu um trabalho utilizando uma adaptação da metodologia utilizada pelo PROINFA.

Em 2011 foi proposto um projeto de lei, referenciado na web do Deputado Federal Pedro Uczai, que regulamenta a inserção de sistemas fotovoltaicos na matriz energética brasileira. O projeto de lei traz à realidade do Brasil o mesmo sistema de medição e venda de energia vigente em Portugal, no qual além da possibilidade de gerar da energia que consome, o consumidor pode vender o excedente à sua concessionária.

“A energia é paga através de crédito na conta de energia. Se o consumidor gerar mais energia e zerar a conta, o crédito acumula para as próximas contas até seis meses. A partir de então, o consumidor pode optar por receber o valor acumulado em moeda corrente.”(Deputado Federal Pedro Uczai, Projeto de Lei 1859/2011).

O projeto prevê ainda incentivos aos financiamentos de imóveis com sistemas fotovoltaicos:

“Os recursos do Sistema Financeiro da Habitação somente poderão ser utilizados para o financiamento da construção ou aquisição de imóveis residenciais novos que possuam sistema termossolar de aquecimento de água.”(Deputado Federal Pedro Uczai, Lei 11.977/2009, Artigo 82).

Pode-se dizer, portanto, que não há ainda no Brasil uma lei que regule a utilização de sistemas fotovoltaicos. Assim, alguém que queria fazer uma instalação fotovoltaica em sua casa não pode receber nenhum subsídio do governo. Se o projeto de lei for aprovado, uma eventual instalação fotovoltaica em um imóvel poderá gerar descontos na conta de luz.

4.3 RESULTADOS

Este estudo se refere ao caso de uma instalação fotovoltaica residencial em Guaratinguetá. A moradia é uma casa com 8 metros de altura, com telhado de 20 m² voltado para noroeste. Para uma maior eficiência do painel, sua orientação deve ser para o norte, com os respectivos 23 graus respeito à horizontal do solo. Esta residência tem um consumo de 6720 kWh/ano.

Nos últimos anos os preços das instalações fotovoltaicas tem sofridos muitas mudanças, como mostra a Figura 9 (America do Sol, 2007).

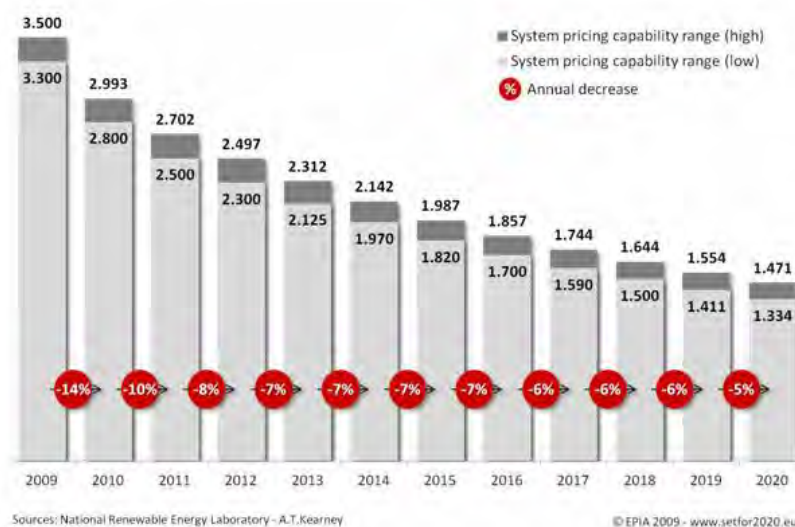


Figura 9. Mudanças de preços no mercado brasileiro
(América do Sol, 2007)

Para o estudo econômico da instalação na moradia, considera-se que o preço de instalação dos painéis em 2012 é de R\$ 6,3/Wp. Considera-se ainda a instalação de 15 m² de painéis (módulos cristalinos), com potência nominal de 0,15 kWp/m². A potência instalada é, portanto:

$$0,15 \times 15 = 2,25 \text{ kWp.}$$

Assim, o custo dessa instalação é de R\$ 14.175. Para uma radiação solar anual de 5500 kWh/m², essa instalação gera 4125 kWh para cada kWp de potência instalada, totalizando uma geração de 9300 kWh/ano. O projeto de lei propõe que o produtor que injeta energia na rede ganhe um crédito, que pode ser abatido na conta de energia dos meses seguintes, com prazo até três anos. Na Tabela 3 são resumidos os resultados.

Tabela 3. Resultados do Estudo em Guaratinguetá.

Investimento	R\$ 14.175
Consumo num ano	6720 kWh/ano
Produção anual	9300 kWh/ano

5 DISCUSSÃO

Sevilha

Para avaliar a viabilidade econômica vamos ter em mente a proposta que permite o autoconsumo e vender a sobra. A partir dos dados da Tabela 2 e dos preços de compra e venda de energia elétrica, obtém-se os resultados apresentados na Tabela 4.

Tabela 4. Cálculos de amortização em Sevilha.

Preço da eletricidade em Sevilha	0,15 €/kWh
Preço da venda de eletricidade gerada	0,47 €/kWh
Economia gerada pelo autoconsumo	$4000 \times 0,15 = 600$ €/ano
Receita da venda de excedente	$1625 \times 0,47 = 763,74$ €/ano
Total	$600 + 763,74 = 1363,75$ €/ano

O custo da instalação é de 9000 €, pelo que o investimento é amortizado em:

$$9000/1363,75 \approx 8 \text{ anos}$$

O investimento pode parecer muito alto, mas a vida útil dos painéis é de 20-25 anos. Se a amortização se dá em 8 anos, o investimento é interessante, pois mais da metade da vida da instalação trará apenas lucros. Seria ainda mais interessante para o dono do imóvel se o governo oferecer um incentivo para o investimento inicial. Na Espanha, isso só acontece nas instalações isoladas da rede.

Sabendo que o investimento é amortizado em prazo razoável, o único impedimento é o alto investimento inicial. Deve-se considerar a possibilidade de incentivar esta iniciativa, pois ajuda a descentralizar a produção de electricidade e espalhar o uso de energias procedentes de fontes limpas.

Guaratinguetá

É avaliada a viabilidade econômica do estudo feito para a moradia em Guaratinguetá, que permite o autoconsumo e venda de excedente de energia elétrica gerada, já que o governo brasileiro pode vir a aprender com a experiência de países europeus como a Espanha na discussão do seu projeto de lei. Os dados obtidos na Tabela 3 são utilizados para se obter os resultados apresentados na Tabela 5.

Tabela 5. Cálculos de amortização em Guaratinguetá

Preço da eletricidade em Guaratinguetá	R\$ 0,482 /kWh
Preço da venda de eletricidade gerada	R\$ 0,482 /kWh
Economia gerada pelo autoconsumo	$6720 \times 0,482 = \text{R\$ } 3.239,04/\text{ano}$
Receita da venda de excedente	$2580 \times 0,482 = \text{R\$ } 1.243,56/\text{ano}$
Total	$3239,04 + 1243,56 = \text{R\$ } 4.482,6/\text{ano}$

O custo da instalação é de R\$ 14.175, pelo que o investimento é amortizado em:

$$\text{R\$ } 14.175 / 4482,6 \approx 3,2 \text{ anos.}$$

Em princípio, quando se faz o estudo o custo da instalação pode parecer elevado, mas a amortização se dá em 3,2 anos. Ademais, a duração em condições quase ótimas dos painéis é de 20-25 anos pelo qual se pode obter benefícios com a instalação. O maior problema da construção desta instalação é a obtenção de subsídio, pois como ainda a legislação ainda não foi aprovada.

Em um futuro próximo o preço da energia gerada por um sistema fotovoltaico instalado em uma residência poderá ser menor do que o preço com impostos da energia convencional fornecida pela concessionária.

A geração de energia solar fotovoltaica necessita de amparo legal e regulamentação com uma política de subsídios para sua instalação.

6 CONCLUSÕES

A atual matriz de geração de energia elétrica no Brasil está baseado na utilização de energia hidráulica, cerca de 84%. Mas no resto do mundo está baseado na queima de combustíveis fósseis, o que vem provocando perturbações ambientais em todo o mundo. O gás natural é considerado um combustível limpo, exceto pela emissão de CO₂ e óxidos de nitrogênio (NO_x). Óleo diesel provoca emissões de dióxido de carbono (CO₂), dióxido de enxofre (SO₂) e óxidos de nitrogênio (NO_x). A queima de carvão é a mais problemática, pois além das emissões gasosas, há também emissão de particulados. Os gases que são emitidos consistem de SO₂, NO_x, CO (monóxido de carbono), CO₂. O particulado pode conter metais pesados (chumbo, cádmio, zinco).

Como o aspecto econômico é muito importante no desenvolvimento deste trabalho, deve-se notar que a poluição atmosférica causada pela queima de combustíveis gera significativas perdas econômicas por causa da protecção da qualidade do ar, problemas de saúde ou perda de matéria-prima. Fomentar a utilização de outros tipos de energias que sua utilização não provoque estas emissões contaminantes é um fator muito importante para a economia e para o meio ambiente, e o Brasil pode contribuir para isso, pois tem os recursos naturais necessários para promover o uso das energias renováveis, por exemplo a solar. O estudo feito neste trabalho evidencia que a utilização destas instalações é benéfico se o Brasil aprender com a experiência de outros países, como a Espanha. Pode-se gerar a energia necessária, não consume combustíveis fósseis e quando amortiza-se a instalação pode se obter lucro com a venda da sobra. Por outro lado, no futuro o Brasil pode comercializar essa eletricidade gerada com os países que não podem produzir em grandes quantidades devido a sua climatologia que não favorece a energia solar e com isso reduzir o consumo de combustíveis fósseis.

O sol produz em um dia a energia necessária para alimentar uma residência por um ano. Instalar painéis em cada residência é uma utopia, mas deve ser visto como um desafio. Inicialmente pode-se exigir que em grandes edifícios públicos instalem-se painéis para seu auto consumo do edifício, isto implicaria uns benefícios substanciais. Também ajudam a

descentralizar a produção de energia, que é a melhor alternativa para o Brasil para crescer e atender à demanda dos consumidores. Como é refletido neste trabalho, a principal desvantagem é o alto investimento inicial e à necessidade de um incentivo do governo para garantir a viabilidade do projeto. Outros inconvenientes são o impacto visual causado pela colocação de um painel desse tamanho em um edifício e o desconhecimento das pessoas desta tecnologia, pelo que eles duvidam ao uso deste tipo de instalações. Mas, como pode ser visto, o número de vantagens é consideravelmente maior do que as desvantagens e ademais o sol é uma fonte de energia gratuita, onde uma melhoria no rendimento dos painéis (agora mesmo está entre um 10-20%) é uma opção muito interessante.

7 ANEXO

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 482, DE 17 DE ABRIL DE 2012

Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências.

(*) Vide alterações e inclusões no final do texto.

Módulos do PRODIST

O DIRETOR-GERAL DA AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL, no uso de suas atribuições regimentais, de acordo com deliberação da Diretoria, tendo em vista o disposto na Lei nº 9.427, de 26 de dezembro de 1996, no art. 4º, inciso XX, Anexo I, do Decreto nº 2.335, de 6 de outubro de 1997, na Lei nº 9.478, de 6 de agosto de 1997, na Lei nº 10.848, de 15 de março de 2004, no Decreto nº 5.163, de 30 de julho de 2004, o que consta no Processo nº 48500.004924/2010-51 e considerando:

as contribuições recebidas na Consulta Pública nº 15/2010, realizada por intercâmbio documental no período de 10 de setembro a 9 de novembro de 2010 e

as contribuições recebidas na Audiência Pública nº 42/2011, realizadas no período de 11 de agosto a 14 de outubro de 2011, resolve:

CAPÍTULO I

DAS DISPOSIÇÕES PRELIMINARES

Art. 1º Estabelecer as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuídas aos sistemas de distribuição de energia elétrica e o sistema de compensação de energia elétrica. .

Art. 2º Para efeitos desta Resolução, ficam adotadas as seguintes definições:

I - microgeração distribuída: central geradora de energia elétrica, com potência instalada menor ou igual a 100 kW e que utilize fontes com base em energia hidráulica, solar, eólica, biomassa ou cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras;

II - minigeração distribuída: central geradora de energia elétrica, com potência instalada superior a 100 kW e menor ou igual a 1 MW para fontes com base em energia hidráulica, solar, eólica, biomassa ou cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras;

III - sistema de compensação de energia elétrica: sistema no qual a energia ativa gerada por unidade consumidora com microgeração distribuída ou minigeração distribuída compense o consumo de energia elétrica ativa.

CAPÍTULO II

DO ACESSO AOS SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO

Art. 3º As distribuidoras deverão adequar seus sistemas comerciais e elaborar ou revisar normas técnicas para tratar do acesso de microgeração e minigeração distribuída, utilizando como referência os Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST, as normas técnicas brasileiras e, de forma complementar, as normas internacionais.

§1º O prazo para a distribuidora efetuar as alterações de que trata o *caput* e publicar as referidas normas técnicas em seu endereço eletrônico é de 240 (duzentos e quarenta) dias, contados da publicação desta Resolução.

§2º Após o prazo do § 1º, a distribuidora deverá atender às solicitações de acesso para microgeradores e minigeradores distribuídos nos termos da Seção 3.7 do Módulo 3 do PRODIST.

Art.4º Fica dispensada a assinatura de contratos de uso e conexão para a central geradora que participe do sistema de compensação de energia elétrica da distribuidora, nos termos do Capítulo III, sendo suficiente a celebração de Acordo Operativo para os minigeradores ou do Relacionamento Operacional para os microgeradores.

Art. 5º Caso seja necessário realizar ampliações ou reforços no sistema de distribuição em função da conexão de centrais geradoras participantes do sistema de compensação de energia elétrica, a distribuidora deverá observar o disposto no Módulo 3 do PRODIST.

CAPÍTULO III

DO SISTEMA DE COMPENSAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

Art. 6º O consumidor poderá aderir ao sistema de compensação de energia elétrica, observadas as disposições desta Resolução.

Art. 7º No faturamento de unidade consumidora integrante do sistema de compensação de energia elétrica deverão ser observados os seguintes procedimentos:

I - deverá ser cobrado, no mínimo, o valor referente ao custo de disponibilidade para o consumidor do grupo B, ou da demanda contratada para o consumidor do grupo A, conforme o caso.

II - o consumo a ser faturado, referente à energia elétrica ativa, é a diferença entre a energia consumida e a injetada, por posto horário, quando for o caso, devendo a distribuidora utilizar o excedente que não tenha sido compensado no ciclo de faturamento corrente para abater o consumo medido em meses subsequentes.

III - caso a energia ativa injetada em um determinado posto horário seja superior à energia ativa consumida, a diferença deverá ser utilizada, preferencialmente, para compensação em outros postos horários dentro do mesmo ciclo de faturamento, devendo, ainda, ser observada a relação entre os valores das tarifas de energia, se houver.

IV - os montantes de energia ativa injetada que não tenham sido compensados na própria unidade consumidora poderão ser utilizados para compensar o consumo de outras unidades previamente cadastradas para este fim e atendidas pela mesma distribuidora, cujo titular seja o mesmo da unidade com sistema de compensação de energia elétrica, ou cujas unidades consumidoras forem reunidas por comunhão de interesses de fato ou de direito.

V - o consumidor deverá definir a ordem de prioridade das unidades consumidoras participantes do sistema de compensação de energia elétrica.

VI - os créditos de energia ativa gerada por meio do sistema de compensação de energia elétrica expirarão 36 (trinta e seis) meses após a data do faturamento, não fazendo jus o consumidor a qualquer forma de compensação após o seu vencimento, e serão revertidos em prol da modicidade tarifária.

VII - a fatura deverá conter a informação de eventual saldo positivo de energia ativa para o ciclo subsequente, em quilowatt-hora (kWh), por posto horário, quando for o caso, e também o total de créditos que expirarão no próximo ciclo.

VIII - os montantes líquidos apurados no sistema de compensação de energia serão considerados no cálculo da sobrecontratação de energia para efeitos tarifários, sem reflexos na Câmara de Comercialização de Energia Elétrica – CCEE, devendo ser registrados contabilmente, pela distribuidora, conforme disposto no Manual de Contabilidade do Serviço Público de Energia Elétrica.

Parágrafo único. Aplica-se de forma complementar as disposições da Resolução Normativa nº 414, de 9 de setembro de 2010, relativas aos procedimentos para faturamento.

CAPÍTULO IV DA MEDIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

Art. 8º Os custos referentes à adequação do sistema de medição, necessário para implantar o sistema de compensação de energia elétrica, são de responsabilidade do interessado.

§1º O custo de adequação a que se refere o *caput* é a diferença entre o custo dos componentes do sistema de medição requerido para o sistema de compensação de energia elétrica e o custo do medidor convencional utilizado em unidades consumidoras do mesmo nível de tensão.

§2º Os equipamentos de medição instalados nos termos do *caput* deverão atender às especificações técnicas do PRODIST e da distribuidora.

§3º Os equipamentos de que trata o *caput* deverão ser cedidos sem ônus às respectivas Concessionárias e Permissionárias de Distribuição, as quais farão o registro contábil no Ativo Imobilizado, tendo como contrapartida Obrigações Vinculadas à Concessão de Serviço Público de Energia Elétrica.

Art. 9º Após a adequação do sistema de medição, a distribuidora será responsável pela sua operação e manutenção, incluindo os custos de eventual substituição ou adequação.

Art. 10. A distribuidora deverá adequar o sistema de medição dentro do prazo para realização da vistoria e ligação das instalações e iniciar o sistema de compensação de energia elétrica

assim que for aprovado o ponto de conexão, conforme procedimentos e prazos estabelecidos na seção 3.7 do Módulo 3 do PRODIST.

CAPÍTULO V

DAS RESPONSABILIDADES POR DANO AO SISTEMA ELÉTRICO

Art. 11. Aplica-se o estabelecido no *caput* e no inciso II do art. 164 da Resolução Normativa nº 414 de 9 de setembro de 2010, no caso de dano ao sistema elétrico de distribuição comprovadamente ocasionado por microgeração ou minigeração distribuída incentivada.

Art.12. Aplica-se o estabelecido no art. 170 da Resolução Normativa nº 414, de 2010, no caso de o consumidor gerar energia elétrica na sua unidade consumidora sem observar as normas e padrões da distribuidora local.

Parágrafo único. Caso seja comprovado que houve irregularidade na unidade consumidora, nos termos do *caput*, os créditos de energia ativa gerados no respectivo período não poderão ser utilizados no sistema de compensação de energia elétrica.

CAPÍTULO VI

DAS DISPOSIÇÕES GERAIS

Art.13. Compete à distribuidora a responsabilidade pela coleta das informações das unidades geradoras junto aos microgeradores e minigeradores distribuídos e envio dos dados constantes nos Anexos das Resoluções Normativas nos 390 e 391, ambas de 15 de dezembro de 2009, para a ANEEL.

Art.14. Ficam aprovadas as revisões 4 do Módulo 1 – Introdução, e 4 do Módulo 3 – Acesso ao Sistema de Distribuição, do PRODIST, de forma a contemplar a inclusão da Seção 3.7 – Acesso de Micro e Minigeração Distribuída com as adequações necessárias nesse Módulo.

Art. 15. A ANEEL irá revisar esta Resolução em até cinco anos após sua publicação.

Art. 16. Esta Resolução entra em vigor na data de sua publicação.

NELSON JOSÉ HÜBNER MOREIRA

Este texto não substitui o publicado no D.O. de 19.04.2012, seção 1, p. 53, v. 149, n. 76.

(*) Retificação publicada no D.O. de 08.05.2012, seção 1, p. 44, v. 149, n. 88, referente ao item 6.2, a Etapa 3 da Tabela 3 e os itens 3 e 4 do Anexo I, todos da Seção 3.7 do Módulo 3 do PRODIST.

8 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- LILLO BRAVO, I.; HASELHUHN, R.; HEMMERLE, C. **Instalaciones fotovoltaicas**. ISBN: 3-934595-31-6. Editorial: DGS LV BERLIN-BRB Y SODEAN/ 2004.
- **Boletín Oficial del Estado. Real Decreto 1699/2011:**
<http://www.boe.es/boe/dias/2011/12/08/pdfs/BOE-A-2011-19242.pdf>
- **DW Noticias meio ambiente:** <http://www.dw.de/dw/article/0,,15905752,00.html>
- **Agencia Andaluza da Energia:** <http://www.agenciaandaluzadelaenergia.es>
- **Departamento Intersindical de Estatística e Estudos Socioeconômicos:**
<http://www.americadosol.org/custos/>
- **America do Sol:** <http://www.dieese.org.br/notatecnica/notatec58TarifaEnergia.pdf>
- **Atlas Brasileiro de Energia Solar:** http://mtc-m17.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m17@80/2007/05.04.14.11/doc/atlas_solar-reduced.pdf
- **Faculdade de Engenharia Mecânica da Unicamp:**
http://www.fem.unicamp.br/~jannuzzi/documents/RELATORIO_PROJETO_2_FINAL.pdf
- **Deputado Federal Pedro Uczai (PT/SC):**
<http://www.pedrouczai.com.br/index.php/noticias/69-projeto-de-lei-regulamenta-uso-de-energia-solar-no-brasil>
- **Resolução normativa 482, de 17 de abril de 2012:**
<http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>
- **Plan de Energía Renovable:**
<http://www.idae.es/index.php/mod.pags/mem.detalle/recategoria.1153/id.501/relnenu.12>
- **Centro de investigaciones energéticas, medioambientales y tecnológicas:**
<http://www.ciemat.es/>
- **Renewable and Sustainable Energy Reviews:**
<http://www.journals.elsevier.com/renewable-and-sustainable-energy-reviews/>

9 BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

- DUFFIE, J.A.; BECKMAN, W.A. **Solar engineering of thermal processes**. 620.91 d857s
- **Projeto Swera:**
http://sonda.ccst.inpe.br/publicacoes/eventos/XIISBSR_2005_Goiania_3137_SWERA_FRMartins_etal.pdf