

UNIVERSIDADE DO ESTADO DO RIO GRANDE DO NORTE  
CAMPUS DE NATAL  
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
CURSO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA

HORTÊNCIA NATHÂNIA SILVA CÂMARA

O DESENVOLVIMENTO DA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA: FATORES QUE  
INIBEM SUA MASSIFICAÇÃO

NATAL

2016

HORTÊNCIA NATHÂNIA SILVA CÂMARA

O DESENVOLVIMENTO DA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA NO BRASIL:  
FATORES QUE INIBEM SUA MASSIFICAÇÃO

Monografia apresentada à Universidade do  
Estado do Rio Grande do Norte – UERN –  
como requisito obrigatório para obtenção do  
título de Bacharel em Ciência e Tecnologia.

ORIENTADORA: Dra. ANA LÚCIA  
DANTAS

NATAL

2016

HORTÊNCIA NATHÂNIA SILVA CÂMARA

O DESENVOLVIMENTO DA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA NO BRASIL:  
FATORES QUE INIBEM SUA MASSIFICAÇÃO

Monografia apresentada à Universidade do  
Estado do Rio Grande do Norte – UERN –  
como requisito obrigatório para obtenção do  
título de Bacharel em Ciência e Tecnologia.

Aprovada em: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_.

Banca examinadora

---

Ana Lúcia Dantas  
UERN

---

Leonardo Linhares Oliveira  
UFRN

---

Andréa Jane da Silva  
UERN

Aos meus pais, suporte em todos os momentos  
de minha vida.

## RESUMO

Diante da conscientização massiva de que o futuro da humanidade depende cada vez mais de um meio ambiente autossustentável, uma das palavras de ordem em encontros de lideranças mundiais tem sido o desenvolvimento de fontes de energias renováveis e limpas. Demandas que em princípio seriam de longo prazo, foram antecipadas pelas crises energéticas vividas pelos meios convencionais de geração de energia, com ênfase nas crises do petróleo e hídrica. Essas demandas mundiais também são refletidas no Brasil. Assim, surge a crescente necessidade de descentralizar a matriz energética brasileira e investir em fontes alternativas de geração de energia. Considerando a duração solar do dia (período de visibilidade do Sol) no território brasileiro, especialmente na região Nordeste, onde são medidos altos índices de incidência solar, a energia solar fotovoltaica surge como uma possibilidade muito promissora. Em razão disso, esta pesquisa tem como objetivo analisar o desenvolvimento da energia solar fotovoltaica no Brasil e conhecer os fatores técnicos, econômicos e legais que limitam sua difusão. Para tal, nos utilizaremos da pesquisa bibliográfica, pois ela nos permite abordar a temática sob a ótica de diversos autores, e da pesquisa documental, uma vez que ao longo desta pesquisa alguns documentos como a Resolução Normativa, nº 482 de 17 de abril de 2012 e o Convênio ICMS nº 16 foram analisados. As análises aqui realizadas demonstram que o Brasil possui amplo potencial ambiental para a exploração da energia solar fotovoltaica, energia considerada limpa por apresentar bem menos impacto ao meio ambiente quando comparada com outras. Todavia, essa forma de energia ainda possui tecnologia cara, do ponto de vista econômico, e o alto custo de aquisição do sistema em conjunto com a baixa eficiência de conversão fotovoltaica tem sido um dos fatores que de certa forma tem dificultado a expansão da energia solar fotovoltaica no Brasil. Além disso, as ausências de políticas públicas para a popularização dessa tecnologia e de uma legislação específica que incentive investimentos privados também são fatores que contribuem fortemente para a limitação do seu uso e distribuição.

**PALAVRAS-CHAVE:** energias alternativas; energia solar fotovoltaica; políticas de incentivo; Resolução Normativa nº 482/2012.

## **ABSTRACT**

Given the massive awareness that mankind's future depends more and more on a self-sustaining environment, one of the major topics on global world leadership meetings has been the development of renewable and clean energy. Demands that initially were thought to be long-term had to be anticipated because the energy crisis experienced by conventional power generation methods, emphasizing here the oil and water recent crisis. These global demands were also reflected in Brazil. Thus, arises a growing need to decentralize Brazilian's energy matrix and to invest in alternative sources of energy generation. Considering the solar day length (Sun visibility period) in Brazil, especially in the Northeast region, where it can be measured high levels of solar incidence, photovoltaic solar energy emerges as a very promising solution. As a result, this research aims to analyze the development of photovoltaic solar energy in Brazil and meet the technical, economic and legal factors limiting its spread. To achieve this goal we will use bibliographic research, because it allows us to address the issue from the perspective of several authors, along with documentary research, as throughout this research some documents as the Normative Resolution No. 482 of April 17, 2012 and the ICMS Agreement No. 16 will be brought up. The analysis offered here will demonstrate that Brazil has extensive environmental potential for the exploitation of solar photovoltaic energy, energy considered clean by having far less impact on the environment when compared with others. However, this energy source still has expensive technology, from an economic point of view, alongside the high-cost system acquisition, we have a low photovoltaic conversion efficiency, which has been one of the factors that have hindered the expansion of solar energy photovoltaic in Brazil. On top of that, the absence of public policies for the popularization of this technology and specific legislation that encourages private investment are also key factors that greatly contribute to the present limitation of its use and distribution.

**KEYWORDS:** alternative energy; photovoltaic solar energy; stimulative policies; Normative Resolution No. 482/2012.

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	8
<b>2. DESENVOLVIMENTO DA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA</b> .....	11
2.1. TIPOS DE SISTEMA DE PRODUÇÃO DE ENERGIA SOLAR.....	12
<b>2.1.1. Sistema de Energia Solar Fotovoltaica</b> .....	13
2.1.1.1. <i>Células Fotovoltaicas</i> .....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
2.1.1.2. <i>Módulo Fotovoltaico</i> .....	188
2.2. SISTEMA FOTOVOLTAICO ISOLADO.....	18
2.3. SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO À REDE .....	20
<b>2.3.1. Sistemas de Microgeração Fotovoltaica</b> .....	21
<b>2.3.2. Sistema de Minigeração Fotovoltaica</b> .....	211
<b>2.3.3. Usinas de Geração Fotovoltaica</b> .....	211
2.4. GERAÇÃO DISTRIBUÍDA.....	222
<b>3. ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA: CONTEXTO INTERNACIONAL E NACIONAL</b> .....	255
3.1. ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA NO MUNDO.....	255
3.2. ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA NO BRASIL .....	299
3.3. MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA .....	311
<b>4. FATORES QUE INIBEM O DESENVOLVIMENTO DA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA NO BRASIL</b> .....	344
4.1. EFICIÊNCIA DE CONVERSÃO FOTOVOLTAICA .....	344
4.2. CUSTO DE AQUISIÇÃO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO .....	355
4.3. DISCIPLINA LEGAL DA PRODUÇÃO E DISTRIBUIÇÃO DA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA.....	377
4.4. INCENTIVOS GOVERNAMENTAIS AO DESENVOLVIMENTO DA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA NO BRASIL.....	41
<b>5. CONCLUSÃO</b> .....	444
<b>6. REFERÊNCIAS</b> .....	455

## 1. INTRODUÇÃO

Em uma sociedade capitalista, marcada pelo consumo desenfreado e pela produção em massa, a geração de energia tem se tornado um dos principais problemas enfrentados pelos governos do mundo todo, eis que a ampliação da matriz energética é condição primária para que o atual modelo econômico não entre em declínio. Nesse contexto, é indispensável buscar o desenvolvimento de novos meios de energia como forma de evitar que o Brasil entre em um colapso energético e ambiental, visto que os meios convencionais de gerar energia são excessivamente caros e agressores ao meio ambiente.

Apenas a título de contextualização, em 2014, a matriz energética brasileira ainda assume uma estrutura desigual, na medida em que as fontes primárias e renováveis representam apenas 39,4%<sup>1</sup> do seu potencial. Este número é ínfimo se considerarmos a localização geográfica privilegiada, a imensa biodiversidade e o grande potencial energético que o Brasil possui. Some-se a isso o fato de que as energias hidrelétricas, termoeletricas e nucleares, bases da nossa matriz, além de onerosas, não atendem as exigências ambientais, sendo consideradas poluidoras e nocivas à saúde, principalmente no que se refere à energia nuclear.

Nesse viés, surge uma série de novos desafios que demandam uma nova postura dos setores técnicos e dos setores burocráticos do Estado. De um lado, cabe à Ciência desenvolver e ampliar as ferramentas necessárias para garantir uma energia mais limpa, renovável e mais acessível; do outro, cabe ao Governo subsidiar e difundir essa nova forma de energia, conferindo incentivos econômicos à classe produtora dos insumos indispensáveis à geração dessa energia, bem como adequar a legislação em vigor, derrubando, principalmente, barreiras burocráticas que dificultam o acesso e a difusão da energia solar fotovoltaica.

Ademais, mostra-se indispensável para a manutenção do nosso crescimento econômico e social métodos mais justos para distribuir energia, a exemplo da geração distribuída, através da qual se descentraliza das grandes usinas a produção e distribuição de energia, facultando ao consumidor final os meios hábeis para produzir o suficiente ao seu consumo. É demonstrado neste trabalho o quanto é impreterível a difusão dessa prática, tanto

---

<sup>1</sup> Dado obtido no sítio do Ministério de Minas e Energia. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/documents/1138787/1732840/Resenha+Energ%C3%A9tica+-+Brasil+2015.pdf/4e6b9a34-6b2e-48fa-9ef8-dc7008470bf2>.



do ponto de vista econômico quanto ambiental, uma vez que diminui a dependência das fontes tradicionais, tornando-nos potenciais autossuficientes na produção de energia.

Para tanto, temos como foco o potencial energético do sistema solar fotovoltaico e os benefícios da sua difusão tendo em vista que a energia solar é um recurso renovável e inesgotável, principalmente em tempos de aquecimento global, fenômeno que está alterando o regime de chuvas, provocando uma sazonalidade nas precipitações, o que chega a comprometer a geração de energia por meio de hidrelétricas.

Nesse espectro, a relevância desse trabalho está relacionada com a importância de despertar nos pesquisadores e engenheiros a necessidade de desenvolver tecnologias capazes de aumentar a eficiência de conversão da energia solar fotovoltaica em energia elétrica, uma vez que essa baixa eficiência de conversão encarece essa tecnologia e dificulta a massificação do seu uso.

Esta pesquisa foi realizada com base em estudos já elaborados e disponibilizados em artigos científicos, livros técnicos, revistas especializadas, para que se pudesse alcançar o objetivo do trabalho: fazer uma análise acerca do desenvolvimento da energia solar fotovoltaica no país e, por conseguinte, conhecer os fatores técnicos, econômicos e legais que dificultam a massificação do uso/distribuição da energia solar fotovoltaica, visto que esses são os objetivos específicos da pesquisa.

Assim sendo, este trabalho foi desenvolvido por meio de pesquisa bibliográfica e documental com vistas a nos permitir abordar a temática contextualizada com as ideias desenvolvidas por outros autores no intento de aglutinar os estudos então apresentados. Para alcançar este objetivo nos utilizaremos de trabalhos, como artigos científicos, monografias, disposições legais, livros e revistas especializadas que abordem e discutam o desenvolvimento da energia solar no Brasil, assim como os fatores que possam dificultar o seu uso e distribuição.

No que concerne à pesquisa documental, esta se justifica, pois um dos nossos objetivos, como já foi mencionado, é analisar as leis que regulamentam o uso e distribuição da energia solar fotovoltaica no Brasil. Assim sendo, fez-se a leitura e análise de documentos reguladores, como por exemplo, o Convênio ICMS nº 16, de 22 de abril de 2015 e a Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012 e demais atos administrativos que versem sobre o uso da energia solar no país.

Nesta introdução, apresentamos o objetivo geral e os específicos, bem como a metodologia utilizada para a realização dessa pesquisa. Para melhor explicitar o tema,

trazemos na segunda seção a retrospectiva histórica do nascimento e desenvolvimento da energia solar fotovoltaica, a efetividade da geração distribuída e como essa efetividade pode nos ajudar a superar a carência contínua por energia. Posteriormente, discorremos sobre a composição dos elementos do sistema solar fotovoltaico. Na terceira seção, apresentamos o cenário da energia solar no mundo e no Brasil e, em seguida, comparamos as duas realidades para elaborar a síntese de como se apresenta o modelo energético brasileiro e o que podemos fazer para adequá-lo as novas realidades e demandas. Por fim, fazemos a análise dos fatores que inibem o desenvolvimento da energia solar fotovoltaica no Brasil.

## 2. DESENVOLVIMENTO DA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

O efeito fotovoltaico foi descoberto em meados de 1839 por Alexandre-Edmond Becquerel (1820-1891), físico francês que se dedicou ao estudo do espectro solar, do magnetismo, da eletricidade e da óptica. É possível observar o efeito fotovoltaico quando existe tensão elétrica entre os terminais de um dispositivo que está exposto à luz. Os elétrons que foram liberados devido à incidência da radiação são transferidos para diferentes níveis energéticos dentro do próprio material (VIANA).

Em 1877, W. G. Adams e R.E. Day desenvolveram o primeiro dispositivo capaz de produzir eletricidade a partir da exposição da luz solar. Para isso, utilizaram as propriedades fotocondutoras do selênio. Esse dispositivo era constituído de um filme de selênio depositado em um substrato de ferro e um segundo filme de ouro; estima-se que sua eficiência era inferior a 1%, motivo de na época apenas ter sido comercializado como fotômetros para máquinas fotográficas. (VALLÊRA; BRITO, 2006, p. 10-11).

Em 1905, Albert Einstein conseguiu explicar o efeito fotoelétrico que apresenta significativa relação com o efeito fotovoltaico. Mais tarde sua pesquisa recebeu o prêmio Nobel. Outro avanço que teve relevante contribuição na indústria de semicondutores para componentes eletrônicos e células fotovoltaicas foi alcançado através do método de fabricação de cristais de silício desenvolvido pelo cientista polonês Czochralski. (VILLALVA, 2015).

Por volta da primeira metade do século XX, em 1954 nos Estados Unidos, foi conhecida a primeira célula fotovoltaica desenvolvida pelo químico Calvin Fuller, pelo físico Gerald Pearson e pelo engenheiro Daryl Chapin. Construída a partir do silício, possuía um área de dois centímetros quadrados e uma eficiência de 6% que possibilitava a geração de 5 (cinco) mW de potência elétrica (AMBIENTE BRASIL).

A primeira aplicação das células fotovoltaicas aconteceu no ano seguinte e destinava-se a alimentação de uma rede telefônica no Estado da Georgia (EUA). O painel fotovoltaico contava com nove células cujo diâmetro era de 30 (trinta) mm. Os testes tiveram uma duração de apenas cinco meses e embora os resultados obtidos fossem bastante promissores, o alto custo das células solares fotovoltaicas limitou o uso dessa tecnologia, sendo utilizada apenas em aplicações muito especiais, por exemplo no satélite espacial Vanguard I, lançado em março de 1958. Após o sucesso desse lançamento, novos satélites passaram a adotar as células

solares como fonte de energia e sabe-se que hoje todos os veículos espaciais fazem o uso desse sistema (VALLÊRA; BRITO, 2006, p.12).

Com o crescente aumento de pesquisas relacionadas ao efeito fotovoltaico e com o avanço tecnológico vivido desde a Revolução Industrial, os dispositivos fotovoltaicos apresentaram expressivo desenvolvimento desde a década de 1970, momento histórico marcado pelas crises energéticas do petróleo – meio convencional de geração de energia.

## 2.1. TIPOS DE SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE ENERGIA SOLAR

Em meio a tantos problemas ambientais vividos na sociedade moderna, com ênfase nas crises energéticas observadas em países de todo o mundo, a demanda de fontes limpas e renováveis de geração de energia tem servido de combustível para ampliar os investimentos no setor a fim de alcançar a descentralização da matriz energética e garantir uma produção de energia que forneça menor impacto ao meio ambiente, evitando o surgimento de novas crises e garantindo o desenvolvimento tecnológico e socioeconômico.

De maneira complementar, Oliveira (2012, p.13) diz que:

(...) a descentralização da produção de energia tem um efeito altamente positivo sobre a economia, incentivando novas cadeias produtivas, com geração de emprego e renda em lugares onde pequenos ganhos produzem grande resultados. A criação e desenvolvimento de tecnologias voltadas para as necessidades locais é uma questão estratégica para o País.

Dessa forma, visto a importância de se investir em bases energéticas renováveis, diz-se que as energias renováveis são todas aquelas obtidas a partir dos recursos provenientes da natureza que sejam capazes de se regenerar e, portanto, inesgotáveis. De acordo com o Ministério do Meio Ambiente (MMA), classificam-se como energias renováveis:

- Biocombustíveis;
- Biomassa;
- Biomassa contida nos Resíduos Sólidos Urbanos;
- Energia Eólica;
- Hidroeletricidade;
- Hidrogênio;
- Energia Maremotriz e
- Energia Solar.

Nesse contexto, a energia solar surge como uma possibilidade viável e apresenta-se de quatro tipos diferentes: a Solar Térmica, Termossolar, a Solar Termoelétrica e a Solar Fotovoltaica, sendo esta última a base sobre a qual a presente pesquisa se fundamentará e por isso será descrito detalhadamente na sub seção seguinte.

O sistema de energia Solar Térmica utiliza a energia proveniente do Sol para o aquecimento de água e faz uso de coletores ou concentradores solares para sua captação, pode receber diversas aplicações residenciais, comerciais ou industriais: aquecimento de piscinas, aquecimento industrial, apoio ao aquecimento central e secagem de grãos, por exemplo. O Sistema Termossolar produz calor a partir de espelhos que concentram a radiação solar e que posteriormente é convertido em energia elétrica. Apresenta-se como o sistema mais complexo e caro, razão da pouca difusão do seu uso.

O Sistema Solar Termoelétrico consiste no efeito termoelétrico que acontece a partir da junção de dois materiais que, quando aquecidos, provocam uma diferença de potencial entre as extremidades gerando corrente elétrica. Devido o fato de possuir características físicas favoráveis, como boa condutividade, os metais são os materiais mais comumente utilizados neste processo. No entanto, o mesmo apresenta baixa eficiência e custos elevados o que dificulta sua popularização.

### **2.1.1. Sistema de Energia Solar Fotovoltaica**

Como já foi anteriormente dito, o efeito fotovoltaico foi descoberto em meados de 1839, por Becquerel – físico francês. Com a expansão do estudo das áreas da eletricidade, dos fenômenos ópticos e da engenharia, o dispositivo fotovoltaico se constitui, nos dias de hoje, como um dos mais promissores meios de geração de energia, o qual estudaremos mais detalhadamente a seguir.

Para uma melhor compreensão do tema, faz-se importante entender sobre o funcionamento do sistema solar fotovoltaico, começando pelo estudo dos componentes envolvidos nesse processo.

#### *2.1.1.1 Células Fotovoltaicas*

O primeiro elemento a ser estudado são as células fotovoltaicas – dispositivo responsável por transformar energia luminosa em energia elétrica a partir da excitação de elétrons presentes em materiais semicondutores. A escolha desses materiais é feita levando em consideração três variáveis/características: a equivalência de absorção com o espectro

solar, o custo de fabricação e os impactos ambientais causados na deposição do material (ZILLES et al., 2012).

Em geral, a tecnologia das células fotovoltaicas encontradas mais comumente no mercado é a do silício, que pode ser obtida na forma monocristalina, policristalina, filmes finos, amorfo e microcristalina – estima-se que em 2014 cerca de 85% dos sistemas fotovoltaicos instalados em residências e indústrias utilizavam a tecnologia do silício (vide: <http://www.portalsolar.com.br/tipos-de-painel-solar-fotovoltaico.html> - acesso em 13 de março de 2016) –, mas pode também ser desenvolvida a partir de outros elementos, como arseneto de gálio. O silício utilizado na fabricação de células fotovoltaicas é extraído do quartzo, mineral bastante abundante em nosso país. Embora o Brasil possua as maiores jazidas de quartzo, seu grau de pureza é de apenas 99,5%<sup>2</sup> o que impossibilita o uso dessa matéria prima para a fabricação de células solares, visto que os processos de purificação do silício encarece significativamente seu valor final, pois requer um grau de pureza maior que 99,999%<sup>3</sup>.

A seguir abordaremos com mais detalhes os principais e mais comuns tipos de células fotovoltaicas:

- Silício Monocristalino: a tecnologia do silício monocristalino é a mais antiga e apresenta maior eficiência em relação às outras tecnologias cuja matéria prima para produção de células solares também é o silício. Em razão de sua maior eficiência apresenta custo superior as demais. No processo de fabricação, blocos de silício ultra puro são aquecidos em elevadas temperaturas e submetidos ao processo de Czochralski onde são produzidos em escala industrial monocristais sem imperfeições e com elevado grau de pureza. O resultado desse processo é o lingote de silício monocristalino que de acordo com Villalva (2015, p.68), “[...] é constituído de uma estrutura cristalina única e possui organização molecular homogênea, o que lhe confere aspecto brilhante e uniforme”. Em seguida os lingotes são serrados a fim de produzir *wafers*, finas camadas de silício puro que após serem submetidas a processos químicos para a adição de impurezas constituirá a base para o funcionamento da célula. A última etapa do processo é a adição de uma película metálica em uma das

---

<sup>2</sup>CARVALHO, 2015. Dado obtido no sítio Solar Grid. Disponível em: <<http://blog.solargrid.com.br/blog/por-dentro-da-energia-solar-o-papel-do-sil%C3%ADcio>> Acesso em: 08 mar. 2016

<sup>3</sup>CARVALHO, 2015. Dado obtido no sítio Solar Grid. Disponível em: <<http://blog.solargrid.com.br/blog/por-dentro-da-energia-solar-o-papel-do-sil%C3%ADcio>>. Acesso em: 08 mar. 2016

faces e uma grade metálica na outra face; a camada que atua no processo de captação da luz solar recebe em sua face uma camada de material antirreflexivo. Na camada antirreflexiva, a coloração das células pode variar entre azul escuro e preto. As figuras 1, 2, 3 e 4 mostram respectivamente o silício ultra puro, o lingote, a *wafer* e a célula fotovoltaica de silício monocristalino.

Figura 1 – Cristal de silício ultra puro



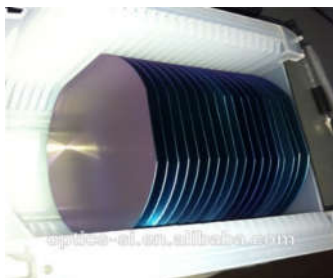
Fonte: SILICIO, 2014.

Figura 2 – Lingote de silício monocristalino



Fonte: GUERRA, J.; VILLALVA, M. G.; GAZOLI, J. R., 2012.

Figura 3 – *Wafer* de silício monocristalino



Fonte: ALIBABA

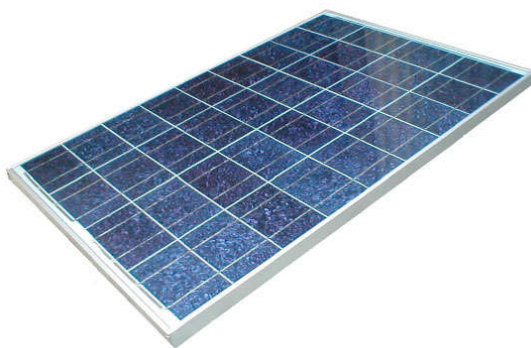
Figura 4 – Célula fotovoltaica de silício monocristalino



Fonte: COELHO, 2012

- Silício Policristalino: seu processo de fabricação se apresenta de maneira mais simples, pois não requer temperaturas tão elevadas quanto o silício monocristalino. O lingote é formado por um conjunto de pequenos cristais com tamanhos e orientações diferentes o que lhe confere um maior afastamento entre os cristais resultando em uma estrutura mais heterogênea, menos eficiente e conseqüentemente, menos onerosa. Também pode ser encontrada na cor azul, variando de acordo com o tratamento antirreflexivo que venha a receber e assim como as células de silício monocristalino, os policristalinos também são rígidas e quebradiças, razão de serem montadas em módulos a fim de adquirir resistência mecânica. A figura 5 mostra uma célula fotovoltaica de silício policristalino, onde é possível identificar manchas na coloração, resultado do tipo de silício utilizado.

Figura 5 – Célula de silício policristalino



Fonte: SUSTENTABILIDADE, 2014

- Filmes Finos (*Thin-Film*): a tecnologia de filmes finos é bem mais recente, pois foi desenvolvida após o bom aprimoramento das tecnologias de cristais. No processo de fabricação, finas camadas de materiais como o silício são depositadas sobre uma base



rígida ou flexível. Várias características do processo de fabricação das células de filmes finos tornam a tecnologia mais barata, tais como o uso de pequenas quantidades de matérias-primas; desperdício menor, em virtude de não ser realizado o fatiamento dos *wafers*, temperaturas bem mais inferiores e menor complexidade –, aspectos que além de baratear a tecnologia, favorece sua produção em larga escala. Seus painéis são formados por grade única fabricada na dimensão do módulo, em geral apresentam menor eficiência e por isso requer maior área disponível para produzir a mesma quantidade de energia que as tecnologias cristalinas, outra desvantagem dos filmes finos é a vida útil reduzida em comparação ao silício cristalino cuja média de eficiência pode chegar até 20 (vinte) anos<sup>4</sup>. Em contrapartida, possui melhor aproveitamento da luz solar em baixos níveis de radiação e em radiações do tipo difusa (VILLALVA, 2015 p.69-70).

- Silício Amorfo: o silício amorfo é uma tecnologia de filmes finos cuja eficiência é considerada baixa, apresentando uma redução logo nos primeiros seis meses de uso.
- Silício Microcristalino: também é uma tecnologia de filmes finos, mas que utiliza como matéria prima o silício cristalino. Apresenta as vantagens tanto do silício cristalino como dos filmes finos, já que sua fabricação é dividida em duas etapas: a primeira acontece em elevadas temperaturas no processo de deposição de filmes de silício, e a segunda em temperaturas bem inferiores, etapa em que é produzido películas de silício com estruturas microcristalinas de grãos muito finos.

Em virtude da variedade de células fotovoltaicas produzidas a partir de materiais e condições diversas, é possível encontrar no mercado tecnologias que apresentem maior ou menor eficiência, bem como maior ou menor custo, o que torna possível a aquisição do consumidor de acordo com a sua necessidade. A tabela a seguir traz um comparativo da eficiência apresentada por diferentes tipos de células fotovoltaicas.

---

<sup>4</sup> ENERGIA, 2012. Disponível em: <<http://www.blue-sol.com/energia-solar/energia-solar-como-funciona-tipos-de-celulas-fotovoltaicas/>> Acesso em: 13 mar. 2016.

Tabela 1 – Comparativo de eficiência apresentada por células fotovoltaicas

Material da célula fotovoltaica	Eficiência da célula em laboratório	Eficiência da célula comercial	Eficiência dos módulos convencionais
Silício monocristalino	24,7%	18%	14%
Silício policristalino	19,8%	15%	13%
Silício cristalino de filme fino	19,2%	9,5%	7,9%
Silício amorfo	13%	10,5%	7,5%
Célula solar microamorfo	12%	10,7%	9,1%
Célula solar híbrida	20,1%	17,3%	15,2%
CIS, CIGS <sup>5</sup>	18,8%	14%	10%
Telureto de cádmio	16,4%	10%	9%

Fonte: Villalva, 2015

Na próxima seção apresentaremos outros elementos comuns ao sistema solar fotovoltaico isolado e ao sistema fotovoltaico conectado a rede.

#### 2.1.1.1. Módulo Fotovoltaico

O módulo fotovoltaico, também chamado de placa ou painel fotovoltaico, é constituído de um conjunto de células que separadas produzem pequena quantidade de energia elétrica. Essas células quando montadas de forma conjunta sobre uma estrutura rígida e conectadas eletricamente, constituem o módulo fotovoltaico. As conexões são feitas preferencialmente em circuitos do tipo série, pois apresentam maior diferença de potencial entre os terminais. A potência e a tensão variam de acordo com o material de que é feito o módulo fotovoltaico e o seu número de células pode ser igual ou maior que 36, variando de acordo com sua classe de potência.

## 2.2. SISTEMA FOTOVOLTAICO ISOLADO

Também chamado de sistema fotovoltaico autônomo, os sistemas fotovoltaicos isolados são bem utilizados em lugares onde não é possível o acesso à energia elétrica conectada à rede. Por ser um sistema autônomo, pode receber um número infinito de aplicações, desde simples calculadoras até aplicações residenciais, automobilísticas e

---

<sup>5</sup> cobre-índio-gálio-selênio

aeroespaciais. Nesse sistema, além das células e módulos fotovoltaicos, outros elementos também são necessários para sua efetiva eficiência, são eles: controlador de carga, bateria e inversor (VILLALVA, 2015).

- Controlador de Carga: é um elemento obrigatório nesse tipo de sistema, funcionam como válvulas para evitar sobrecargas ou descargas excessivamente exageradas na bateria, garantindo-lhe uma maior vida útil. Controladores um pouco mais sofisticados são capazes de gerenciar o carregamento da bateria, respeitando seu perfil natural de carga de modo a otimizar o carregamento. É no controlador onde todos os componentes são conectados.
- Baterias: elemento de extrema importância nos sistemas autônomos, pois são responsáveis por armazenar energia elétrica no período em que há grande incidência de raios solares, de modo a garantir o abastecimento quando a presença de radiação for pouca ou nenhuma, como acontece nos períodos noturnos e chuvosos.
- Inversor: dispositivo elétrico que converte um sinal elétrico de corrente contínua (CC) em um sinal elétrico de corrente alternada (CA), para que a energia produzida possa ser utilizada pelos aparelhos eletroeletrônicos sem causar-lhes danos;

Como vimos, para que o sistema solar fotovoltaico isolado funcione de maneira correta é necessário que esses elementos atuem de maneira conjunta, dentro das especificações que lhes foram conferidas a fim de obter a máxima eficiência do sistema. A figura a seguir mostra esquematicamente como seria um sistema de energia solar fotovoltaico isolado.

Figura 6 – Sistema de energia solar fotovoltaico isolado



Fonte: NEOSOLAR, s.d.

### 2.3. SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO À REDE

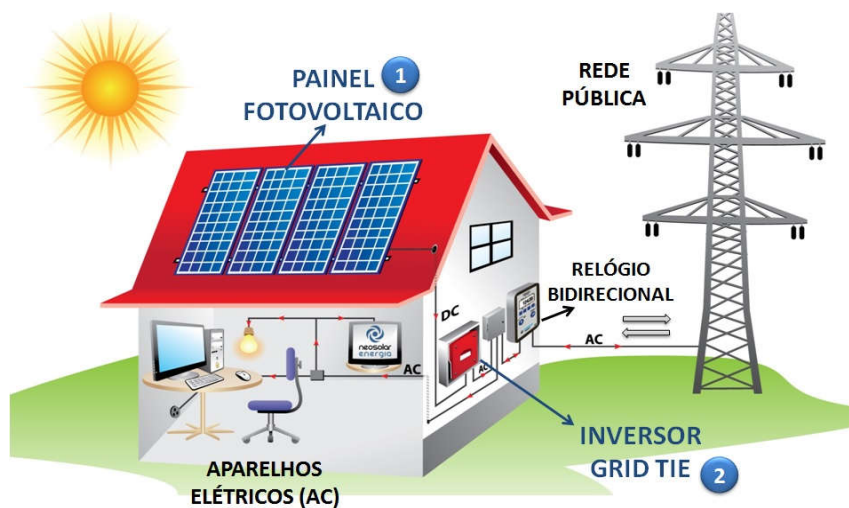
O Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede funciona integrado com a rede elétrica, ou seja, este tipo de sistema é aplicado onde já existe disponibilização de energia elétrica, diferente do que ocorre com o sistema autônomo. Trata-se, portanto, de gerar eletricidade para o consumo próprio ou local, com vistas a diminuir o consumo da energia tradicional ou aumentar o excedente de energia disponível.

Conforme pontifica Villalva (2015, p. 147), os sistemas fotovoltaicos conectados à rede podem se apresentar de forma centralizada, representado por usinas de geração de energia elétrica ou micro e minissistemas descentralizados instalados pelos consumidores finais. Este sistema se divide em três categorias, considerando o seu tamanho, no esteio das normas publicadas pela Agência Nacional de Energia Elétrica. Vejamos:

- Microgeração: potência instalada até 100 kW;
- Minigeração: potência instalada entre 100 kW e 1 MW;
- Usinas de eletricidade: potência acima de 1 MW<sup>6</sup>.

A figura abaixo apresenta o Sistema de Energia Solar Fotovoltaica Conectada à Rede Elétrica e os dispositivos envolvidos nesse tipo de sistema:

Figura 7 – Sistema de Energia Solar Fotovoltaico Conectado à Rede Elétrica



Fonte: NEOSOLAR, s.d.

<sup>6</sup> VILLALVA, 2015. op. cit.

### **2.3.1. Sistemas de Microgeração Fotovoltaica**

Os sistemas de microgeração fotovoltaicos são sistemas de pequeno porte destinados a suprir o consumo de energia de determinados grupos de pessoas, a exemplo de shopping centers, pequenas empresas e residências, que não excedam o limiar de 100 kW.

A instalação deste sistema é deveras simples, pois se constituem em um conjunto de módulos fotovoltaicos, formado por um inversor especial, quadros elétricos e um medidor de energia. Toda a carga gerada é injetada na rede elétrica da residência, havendo a possibilidade de formar excedente que pode ser exportada para a concessionária prestadora do serviço e se transformar em crédito para o titular.

Dada a sua funcionalidade doméstica e/ou empresarial, estes sistemas podem ser usados em redes monofásicas, bifásicas ou trifásicas, desde que o consumidor seja atendido pelo sistema de energia elétrica.

### **2.3.2. Sistema de Minigeração Fotovoltaica**

Os sistemas de minigeração fotovoltaica são destinados a consumidores comerciais ou industriais, cuja utilização é destinada a suprir a demanda energética destes consumidores, aumentando a produção e diminuindo a dependência da energia elétrica.

A aceitação dessa nova proposta está cada vez maior entre as empresas, em virtude de sua otimização econômica e viabilidade ambiental.

### **2.3.3. Usinas de Geração Fotovoltaica**

As usinas de geração fotovoltaica se constituem por meio da agremiação de conjuntos de módulos fotovoltaicos conectados a inversores centrais, cuja potência pode variar entre 100 kW até mais de 1 MW. De acordo com Villalva (2015, p. 148), “os inversores são conectados a uma ou mais cabinas de transformação que elevam as tensões dos sistemas fotovoltaicos a níveis compatíveis com as linhas de transmissão do sistema elétrico”.

As usinas fotovoltaicas estão ganhando cada vez mais expressividade na matriz energética mundial. Em julho de 2015, em Rosamond, Califórnia, EUA, foi inaugurada a maior usina solar da contemporaneidade, com capacidade de geração de 579.000kWp (quilo

watt pico), a partir da atuação de mais de 1.700.000 painéis fotovoltaicos, ocupando uma área no deserto de aproximadamente 13 km<sup>27</sup>.

No Brasil, temos algumas usinas solares em funcionamento, a exemplo da usina solar de Tauá, situada no Ceará, com capacidade inicial de geração de 1000 kWp<sup>8</sup> (1MWp). Ela produz energia suficiente para 650<sup>9</sup> casas populares e foi a primeira usina solar no Brasil a gerar eletricidade em escala comercial.

A maior usina solar em funcionamento no Brasil está localizada na cidade de Tubarão, Santa Catarina, conhecida como usina solar de Tractebel, possui 19.424 painéis fotovoltaicos com uma potência total de 3.000 kWp<sup>10</sup> (3 MWp) e foi construída para fins de pesquisa e desenvolvimento pela Tractebel.

## 2.4. GERAÇÃO DISTRIBUÍDA

Os sistemas solares sejam eles autônomos ou conectados à rede elétrica se enquadram no contexto da geração distribuída de energia, fenômeno caracterizado pela “inclusão de parques de geração construídos em áreas abertas e também pequenos geradores conectados ao sistema elétrico e instalados dentro de zonas urbanas densamente povoadas<sup>11</sup>”.

No âmbito legal, o Decreto nº 5.163/2004, em seu art. 14, define a geração distribuída nos seguintes termos:

Art. 14. Para os fins deste Decreto, **considera-se geração distribuída a produção de energia elétrica proveniente de empreendimentos de agentes concessionários, permissionários ou autorizados, incluindo aqueles tratados pelo art. 8º da Lei nº 9.074, de 1995, conectados diretamente no sistema elétrico de distribuição do comprador**, exceto aquela proveniente de empreendimento:

I - hidrelétrico com capacidade instalada superior a 30 MW; e

II - termelétrico, inclusive de cogeração, com eficiência energética inferior a setenta e cinco por cento, conforme regulação da ANEEL, a ser estabelecida até dezembro de 2004.

---

<sup>7</sup>Dado obtido no sítio Portal Solar. Disponível em: < <http://www.portalsolar.com.br/usina-solar.html>> Acesso em: 13 mar. 2016

<sup>8</sup>Dado obtido no sítio Portal Solar. Disponível em: < <http://www.portalsolar.com.br/usina-solar.html>> Acesso em: 13 mar. 2016

<sup>9</sup>Dado obtido no sítio Portal Solar. Disponível em: < <http://www.portalsolar.com.br/usina-solar.html>> Acesso em: 13 mar. 2016

<sup>10</sup>Dado obtido no sítio Portal Solar. Disponível em: < <http://www.portalsolar.com.br/usina-solar.html>> Acesso em: 13 mar. 2016

<sup>11</sup> VILLALVA. op. cit.

Parágrafo único. Os empreendimentos termelétricos que utilizem biomassa ou resíduos de processo como combustível não estarão limitados ao percentual de eficiência energética prevista no inciso II do caput. (Grifamos)

Com a regulamentação da geração distribuída, o cenário brasileiro passou a ser mais propício ao desenvolvimento de fontes renováveis porquanto o setor passou a ter proteção legal para o desempenho de suas atividades estando, assim, acobertado pela legalidade no proceder de suas operações.

Nesse viés, Villalva (2015, p. 27) assevera que:

No mundo inteiro a energia solar fotovoltaica é a fonte alternativa que tem recebido mais atenção. Os sistemas de geração distribuída baseados na energia solar fotovoltaica são muito adequados para a instalação em qualquer local onde haja bastante incidência de luz.

Considerando o gradual crescimento da energia solar no Brasil, haja vista que a primeira regulamentação acerca do tema surgiu em 1995, com a edição da Lei nº 9074, percebemos que caminhamos a passos lentos para alicerçar a geração distributiva.

O mencionado diploma normativo já previa, em seu art. 8º, a dispensa de concessão para aproveitamento de potenciais hidráulicos iguais ou inferiores a 3.000 kW e a implantação de usinas termoelétricas de potência igual ou inferior a 5.000 kW.

No que atine às energias renováveis, em especial à energia solar fotovoltaica, a regulamentação do tema só se tornou realidade em nosso cenário com a edição da Lei nº 10.848/2004. Por ocasião do texto normativo, além de regulamentar o sistema de leilões, inovou ao trazer a figura da contratação livre e da contratação regular, institutos que, pela primeira vez, permitiram a geração e distribuição autônoma de energia. O art. 2º, § 2º, da Lei nº 10.848/2004, assim dispõe:

§ 2º Para fins de comercialização de energia elétrica, entende-se como:

I - Ambiente de Contratação Regulada - ACR o segmento do mercado no qual se realizam as operações de compra e venda de energia elétrica entre agentes vendedores e agentes de distribuição, precedidas de licitação, ressalvados os casos previstos em lei, conforme regras e procedimentos de comercialização específicos;

II - Ambiente de Contratação Livre - ACL o segmento do mercado no qual se realizam as operações de compra e venda de energia elétrica, objeto de contratos bilaterais livremente negociados, conforme regras e procedimentos de comercialização específicos;

O Ambiente de Contratação Livre veio a descentralizar a produção de energia das grandes corporações propiciando ao consumidor final a alternativa de ele mesmo produzir a sua energia. Foi a partir daí que surgiu a figura do agente autoprodutor, definido como aquele que gera energia para consumo próprio. Essa figura está disciplinada no art. 1º, V, da Lei nº 10.848/2004, *in verbis*:

V - agente autoprodutor o titular de concessão, permissão ou autorização para produzir energia elétrica destinada ao seu uso exclusivo;

Depreende-se, da leitura do aludido dispositivo, duas conclusões que precisam ser anotadas no presente trabalho: (i) o agente autoprodutor necessita de aval do Estado para iniciar as suas atividades, mesmo que estas sejam em benefício próprio, na modalidade de concessão, permissão ou autorização; (ii) a energia gerada não pode ser cedida, seja a título gratuito ou oneroso, sem prévia autorização da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), conforme preconiza o §3º do art. 1º do Decreto nº 5.163/2004.

Diante desse contexto, nota-se que a importância gradual que a energia solar fotovoltaica está ganhando em nossa matriz energética ainda é limitada pelos entraves legais, em especial pela burocracia estatal que veda o pleno desenvolvimento dessa nova forma de energias. Nos tópicos seguintes, será melhor explicado a necessidade de desburocratização da geração distribuída e os seus impactos no desenvolvimento da nossa grade energética.



### **3. ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA: CONTEXTO INTERNACIONAL E NACIONAL**

Dados os inúmeros problemas ambientais vividos na atualidade, como por exemplo, mudanças de temperatura, poluição, alteração da fauna e flora e as constantes crises energéticas como a alteração do status pluvial e o esgotamento de fontes não-renováveis como o petróleo, a implantação de fontes renováveis de geração de energia surge como uma alternativa crucial para garantir a segurança energética e o desenvolvimento sustentável das nações, pois além de contribuir para a diminuição de emissão de gases causadores do efeito estufa como o CO<sub>2</sub>, pode amenizar as mudanças climáticas que já ocorrem. O investimento em fontes renováveis permite também o acesso universal a energia elétrica.

#### **3.1. ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA NO MUNDO**

Sabemos que existe uma discrepância no setor energético mundial no que diz respeito à produção e ao consumo de energia, haja vista que – especialmente no setor petrolífero –, as maiores reservas de petróleo e gás natural não estão presentes nos países em que se localizam os maiores consumidores energéticos. Diante dessa realidade, é possível perceber que existe uma dependência energética entre países produtores e países importadores, o que torna suas economias mais vulneráveis a choques de oferta ou elevação de preços.

No que diz respeito ao desenvolvimento sustentável, a ONU, através do relatório (2010 citada por Uzcay, 2012) mostra que este é baseado em três eixos principais: desenvolvimento econômico, equidade social e proteção ambiental. A partir dessa análise, concluímos que a energia proveniente de combustíveis fósseis como carvão, petróleo e gás natural não atendem as exigências ambientais, visto que emitem grandes quantidades de gases poluidores na atmosfera e, conseqüentemente, comprometem a característica de proteção ambiental.

Sendo assim, compreendendo que o futuro da humanidade depende do desenvolvimento sustentável, é possível perceber a importância de diversificar a matriz energética mundial inserindo fontes renováveis de geração de energia haja vista que a dependência energética e os problemas ambientais poderão ser minimizados. Uzcay (2012, p. 35) diz que: “Para que a participação das fontes renováveis de energia cresça na velocidade desejada para se atingir os objetivos do desenvolvimento sustentável, segurança energética e combate às mudanças climáticas é preciso superar diversas barreiras”. Essas barreiras estão

presentes no âmbito econômico, tecnológico, social, cultural e institucional e serão discutidas nas seções seguintes.

Por tudo que anteriormente foi apresentado, a energia solar fotovoltaica surge como uma alternativa cabível, pois converte diretamente a energia proveniente da luz solar em energia elétrica e não libera gases poluentes na atmosfera no seu processo de geração de eletricidade. Outro ponto que merece destaque é o fato da energia solar fotovoltaica utilizar também a componente difusa, ou seja, é possível produzir energia em dias que não estão plenamente ensolarados.

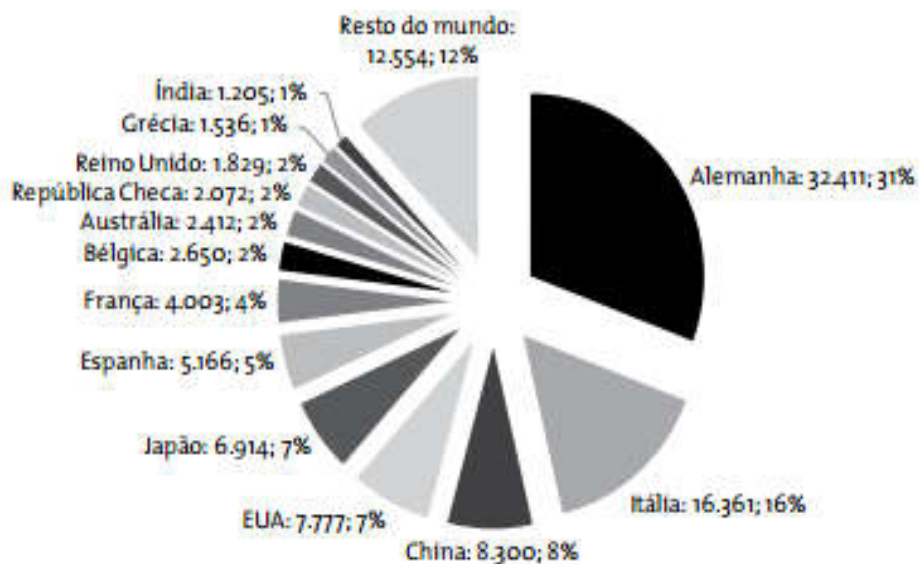
Desde o ano 2000, a energia solar fotovoltaica tem apresentado expressivo crescimento no mundo todo, embora os maiores investimentos estejam concentrados na Europa, mais notadamente na Alemanha e Itália e no Japão conforme mostra a tabela 2 e o gráfico 1. Como podemos ver, só a Alemanha e a Itália detêm 47%, da potência instalada em painéis fotovoltaicos do mundo.

Tabela 2 – Energia fotovoltaica: capacidade instalada total (2010)

País	Capacidade (MW)
Alemanha	17.370
Espanha	3.915
Japão	3618
Itália	3.502
EUA	2.534
Mundo	39.700

Fonte: EPIA, 2012 apud Uczai, 2012.

Gráfico 1 – Distribuição da Potência Instalada de Painéis Fotovoltaicos no Mundo em 2012.  
(MWp<sup>12</sup> e %)



Fonte: EPIA apud ESPOSITO; FUCHS, 2013.

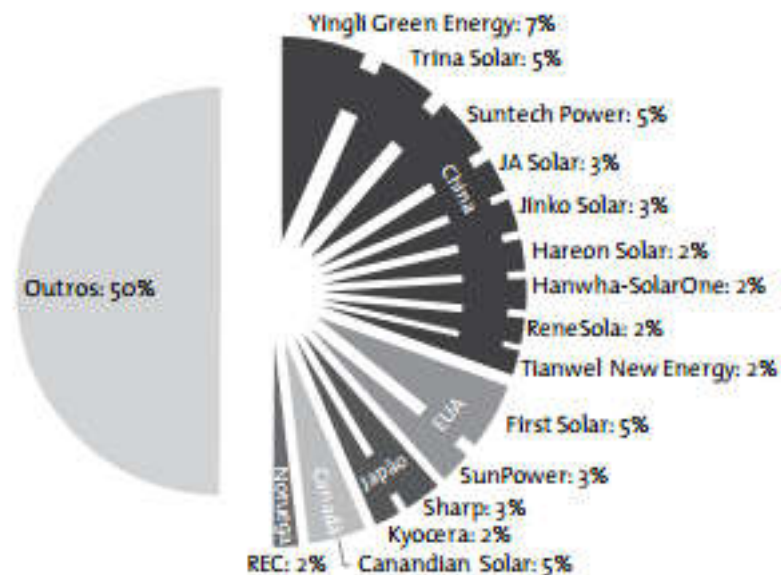
O crescimento apresentado nos países da Europa e do Japão – cuja incidência solar é ínfima se comparada a países tropicais como é o caso do Brasil –, se deu especialmente pelas políticas de incentivo por eles adotadas e pela redução do custo de aquisição dos sistemas fotovoltaicos, o que nos leva a crer que as políticas empregadas são mais importantes que a detenção dos recursos em si (UCZAI, 2012).

No que concerne à produção de placas solares, o maior fabricante ainda é a China, com 31% da produção mundial, conforme é possível ver no gráfico a seguir. Devido à ampliação da cadeia de produção além dos painéis fotovoltaicos, o país dispõe também da fabricação do silício purificado e das células fotovoltaicas. O Gráfico 2 mostra um panorama mundial dos principais países produtores de painéis solares fotovoltaicos.

---

<sup>12</sup> Mega Watt pico

Gráfico 2 – Principais fabricantes de módulos fotovoltaicos no mundo



Fonte: EPIA apud ESPOSITO; FUCHS, 2013.

Em paralelo com a nossa conjuntura, verifica-se que o Brasil, apesar de paulatinamente aderir à produção de energia solar, depende da importação de insumos estrangeiros para gerar este tipo de energia, tendo em vista que não produzimos, ao menos por ora, o silício grau solar, impedindo-nos de fabricarmos placas solares eminentemente brasileiras. Nesse sentido, o entendimento de SILVA que (2015, p. 27), é de que:

a expansão da fonte solar no Brasil deverá, em um primeiro momento, ser baseada, sobretudo, no uso de equipamentos importados. Apesar de o Brasil ter empresas produtoras de silício metalúrgico e montadoras das células, ainda não produz silício purificado até o grau solar e itens intermediários da cadeia, pelo menos não em grande escala. E nem poderia ser diferente, devido ao fato de o mercado ser incipiente no País. [...] Há, contudo, empresas no segmento de energia solar que já instalaram, estão instalando ou têm planos de instalar unidades fabris no Brasil (SILVA, 2015 p. 27).

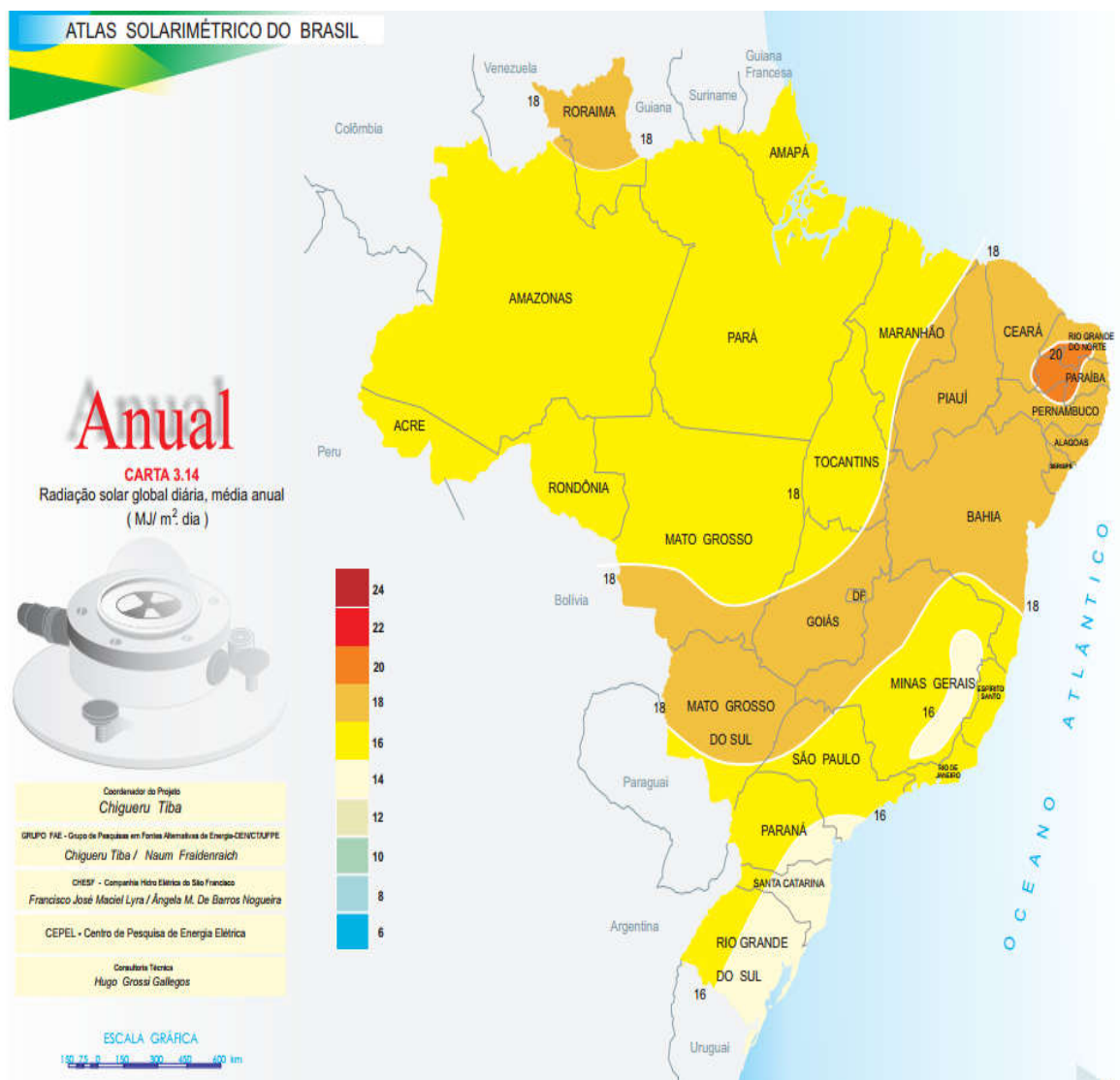
Ante o exposto, conforme a argumentação já apresentada, tem-se que a energia solar é mais difundida nos países onde o desenvolvimento tecnológico é mais expressivo, levando-nos a concluir que um dos fatores para a expansão deste meio de geração de energia em nosso país será o nosso nível de produção de tecnologia que, certamente, nos permitirá gerar energia limpa e com custos acessíveis.

### 3.2. ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA NO BRASIL

O Brasil é um país com geografia privilegiada, haja vista que a maior parte do território brasileiro localiza-se próximo a linha do Equador, razão de não haver grandes variações de radiação solar durante o dia. No que diz respeito à incidência solar, especialmente a região nordeste é a mais favorecida, cuja radiação solar varia entre 5700 e 6100 Wh/m<sup>2</sup>/dia de acordo com a estação do ano (SOLARIR).

O mapa solarimétrico a seguir apresenta os índices médios de incidência solar anual no território brasileiro, com medidas em MJ/m<sup>2</sup>.dia (mega joule por metro quadrado dia).

Mapa 1 – Mapa Solarimétrico do Brasil



Fonte: TIBA et al. 2000.

Apesar das maiores incidências solares mundiais serem medidas nas regiões desérticas, como a cidade de Dongola localizada no deserto árabe e a região de Dagget no deserto de Monjave, a região Nordeste do Brasil apresenta medidas comparáveis às regiões mais favorecidas do mundo (TIBA et al. 2000).

O Sul do Brasil é a região menos privilegiada do país, com incidência solar igual a 4250 Wh/m<sup>2</sup> (PEREIRA et. al., 2006, p.31 apud SILVA, 2015, p. 16), superior a países que são grandes investidores nessa fonte energética, a exemplo da Alemanha – maior investidor em sistemas fotovoltaicos –, cujo valor de insolação varia entre máxima insolação é menor ou igual a 3500 Wh/m<sup>2</sup> (VILLALVA, 2015. p. 31),

Outro ponto que merece destaque é o fato de os maiores índices de radiação solar no Brasil serem medidos nos meses de setembro, outubro e novembro, período em que os afluentes brasileiros apresentam níveis mais baixos. Assim, os investimentos em energia solar possibilita complementar o regime hídrico de geração de energia.

Nesse contexto, é possível destacar o amplo potencial energético que o Brasil possui para investir na geração de energia elétrica por meio da fonte solar, como forma de ampliar ainda mais o número de fontes renováveis que constituem a matriz energética brasileira e garantir autossuficiência energética, haja vista o crescimento e desenvolvimento de um país está diretamente relacionado com a quantidade de energia elétrica que ele produz.

A Tabela 3 apresenta o comparativo da capacidade energética instalada em MW nos anos de 2008 e 2015, permitindo-nos concluir que especialmente na área de energia solar os investimentos ainda são incipientes.

Tabela 3 – Comparativo da Capacidade instalada em MW nos anos de 2008 e 2015

Fonte	Capacidade instalada MW (2008)	Capacidade instalada MW (2015)	Varição 2015/2008 (%)
Hidroelétrica	77.091	89.811	17%
Termoelétrica	17.352	25.919	49%
Biomassa	4.193	12.415	196%
Nuclear	2.007	1.990	-1%
Eólica	247	5.833	2261%
Solar*	-	15	-
<b>Total</b>	<b>100.890</b>	<b>135.983</b>	<b>35%</b>

Fonte: ANEEL apud COMERC, 2015.

O Brasil, por ser um país privilegiado no que se refere aos recursos energéticos e renováveis, possui um grande potencial energético ainda inexplorado, que se for devidamente aproveitado permitirá ao país tornar-se autossuficiente na produção de energia elétrica. Villalva (2015, p. 29) diz que:

[...] somando os potenciais hidrelétrico, eólico, e fotovoltaico do Brasil ainda inexplorados, pode-se calcular um potencial de geração de cerca de 600 GW de energia elétrica somente com fontes renováveis e limpas. Isso representa seis vezes a capacidade de geração disponível atualmente.

Se esse potencial de geração de energia for atingido, o Brasil dispensará os combustíveis fósseis e a energia nuclear para produzir eletricidade, dando um importante passo na busca pelo desenvolvimento sustentável. Além disso, comunidades rurais e/ou isoladas poderão contar com o sistema de abastecimento de energia elétrica por meio da fonte solar, eis que os sistemas autônomos permitem superar barreiras criadas pelas formas convencionais de geração de energia.

Até que esse modelo energético seja alcançado, é preciso superar desafios técnicos, econômicos, legais e culturais, a começar pelo custo de aquisição do sistema.

### 3.3. MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA

Diferentemente de outros países do globo, no Brasil a matriz energética é bem diversificada, embora as usinas hidrelétricas assumam um papel mais preponderante na geração de energia elétrica.

As usinas hidrelétricas constituem a base da matriz energética brasileira e são consideradas a forma de geração de energia mais barata, ou seja, com menor valor de kWh (quilo watt hora). No entanto, o preço mais baixo na geração do quilo watt hora não implica, necessariamente, no baixo custo de produção total de energia. Assim, para avaliar este cálculo indispensável se faz a análise minuciosa de todos os impactos, monetários ou não, e não apenas no que tange à produção da energia em si. Nesse sentido, pontifica Ansar *et al.* (2014 apud FEARNSSIDE 2015, p. 263):

[...] este argumento é duvidoso porque barragens quase sempre custam muito mais e levam mais tempo para construir do que originalmente se supunha, tornando-as consideravelmente menos atraente em termos financeiros do que se pensa quando a decisão é tomada.

Além de demandar investimentos de alto custo, a construção de barragens também apresenta custos não monetários nas esferas sociais e ambientais que lamentavelmente não recebem a atenção que deveriam. Dentre os problemas desencadeados pela construção de barragens para a geração de energia elétrica, podemos citar o aumento do desmatamento, a redução da biodiversidade, invasão de terras indígenas, o deslocamento de comunidades indígenas bem como um aumento não planejado da população urbana.

Para exemplificarmos os problemas decorrentes da construção de hidrelétricas vamos discorrer um pouco sobre o caso do rio Tapajós. Hoje o Brasil está vivenciando um conflito político-social para construir a hidrelétrica do São Luiz do Tapajós que será localizada no coração da Amazônia, região caracterizada por ampla biodiversidade.

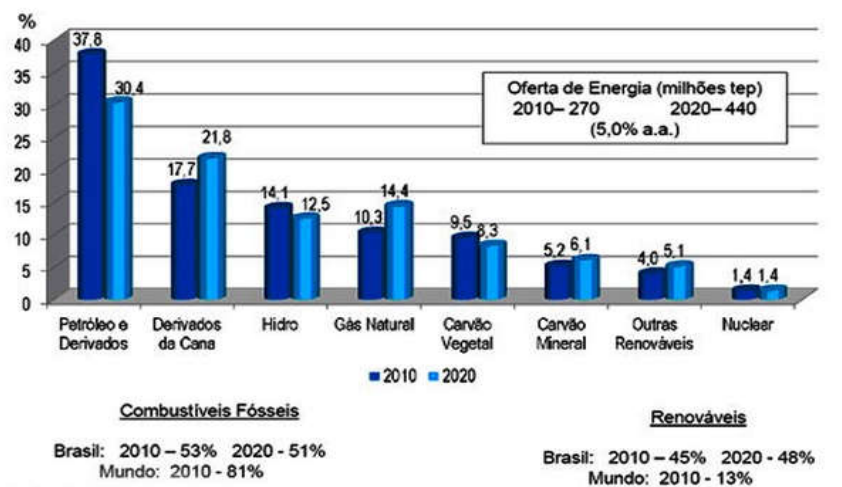
O rio Tapajós tem sua nascente no estado do Mato Grosso e se estende até a região oeste do Pará por 800 km fazendo a deságuar no rio Amazonas. Durante todo o seu curso, o rio influencia na sobrevivência de milhares de habitantes ribeirinhos e indígenas e serve de lar para uma imensurável biodiversidade animal e vegetal. Contando com o sucesso do projeto, o Governo já dispõe de parcerias com empresas internacionais que irão fornecer peças necessárias à construção das usinas. Greenpeace Brasil (2015) ressalta que:

Os planos do governo incluem a instalação não apenas de uma, mas de 43 hidrelétricas na região do Tapajós, além de outras centenas na Amazônia brasileira, o que pode comprometer o bioma como um todo. Precisamos questionar a maneira como as decisões de construir estes megaprojetos em biomas frágeis como a Amazônia são tomadas, sem a devida participação da sociedade. É fundamental também desafiar a maneira como o Brasil está construindo sua matriz de energia, focada em megaprojetos de infraestrutura e deixando-nos cada vez mais dependentes da água como principal fator de geração de energia. O Tapajós não é apenas um rio. Ele representa a herança cultural e ambiental de todos os brasileiros.

Ante a prejudicialidade de se construir mega usinas, pelo patente comprometimento do ambiente local, representando um risco palpável para o bioma local, discute-se com mais veemência o destrono deste tipo de geração de energia do topo da nossa pirâmide energética. Em face disso, o Governo Federal prevê que, até o ano de 2020, a participação de fontes renováveis se dê de forma mais imponente, conforme se infere do gráfico a seguir:



Gráfico 3 – Matriz energética Brasileira (2010-2020)



Fonte: MME apud SALES

Fazendo uma análise do gráfico, é notável que os investimentos em fontes renováveis de energia estão aumentando, enquanto que a participação energética dos meios convencionais tem apresentado um decréscimo como é o caso do petróleo e derivados e da energia hidráulica, por exemplo. Apesar das perspectivas de aumento, esse crescimento se dá de maneira gradual ao longo do tempo, o que nos faz pensar que é necessário não somente investimentos financeiros, mas principalmente investimentos políticos que alavanquem a participação de fontes alternativas.

Vê-se, então, que a nossa matriz energética é composta por diversos meios de geração de energia, predominando, ainda, os meios tradicionais, a exemplo, das hidrelétricas, da térmica e da nuclear, com espaço, ainda que reduzido, para as fontes renováveis, cenário que vem sendo amenizado ao longo dos anos pela disseminação de energias ambientalmente equilibradas.

#### **4. FATORES QUE INIBEM O DESENVOLVIMENTO DA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA NO BRASIL**

Ao longo dessa pesquisa apresentamos os componentes do sistema solar fotovoltaico, as vantagens desse sistema e destacamos a importância de descentralização da matriz energética brasileira. Vimos também que a energia solar pode contribuir fortemente para esse processo de descentralização e de investimento em fontes alternativas e renováveis. Além disso, constatamos que o Brasil é um país privilegiado no que diz respeito à incidência solar, principalmente na região Nordeste. No entanto, apesar do cenário favorável ao desenvolvimento dessa forma de geração de energia, no Brasil, o pleno acesso às fontes renováveis, com ênfase na energia solar, ainda é um paradigma revestido de inúmeros fatores, tanto de ordem técnica quanto de ordem legal, que, somados, obstaculizam a produção e, conseqüentemente, o acesso à energia solar fotovoltaica.

Por ocasião deste capítulo, passaremos a discorrer sobre os paradigmas mais relevantes à plena difusão deste meio alternativo de energia.

##### **4.1. EFICIÊNCIA DE CONVERSÃO FOTOVOLTAICA**

Como já fora anteriormente exposto, o sistema solar fotovoltaico é composto por elementos que, em conjunto, transformam a energia solar em energia elétrica. Dentre os elementos constituintes deste sistema, encontram-se as células fotovoltaicas, insumos indispensáveis para a eficiência do sistema.

As células fotovoltaicas são fabricadas a partir de vários tipos de materiais e por diferentes processos, permitindo que a eficiência de conversão solar varie de uma para outra. De acordo com GREEN *et al.* (2000 apud ANEEL 2015): “Atualmente, as melhores células apresentam um índice de eficiência de 25%”. Se pensarmos em 25% como a máxima eficiência veremos que a tecnologia empregada para a fabricação das células é insuficiente, pois apenas  $\frac{1}{4}$  da luz solar é efetivamente transformada em energia elétrica.

Dessa maneira, para gerar uma determinada quantidade de energia elétrica, é necessário maior área disponível para instalação dos painéis fotovoltaicos, tendo em vista a baixa eficiência conversão de energia. Além disso, a eficiência está diretamente atrelada ao custo do sistema, pois células mais eficientes requerem menor número de placas solares para gerar a mesma quantidade de energia.

Diante disso, é nítido que um dos impasses para se investir em energia solar está associado à eficiência de conversão solar. Se compararmos as melhores células fotovoltaicas com a eficiência dos sistemas eólicos, por exemplo, veremos que a tecnologia dos sistemas fotovoltaicos precisa ser aperfeiçoada para gerar quantidade de energia satisfatória. De acordo com Betzb (*apud* MARTINS; GUARNIERI e PEREIRA, 2007), a potência máxima a ser extraída a partir da potência disponível, ou seja, a eficiência do sistema eólico é de aproximadamente 59%, um número que representa mais que o dobro da eficiência de conversão das células fotovoltaicas produzidas em laboratório a partir do silício monocristalino.

Apesar disso, Condliffe (2016) relata que os mais novos estudos relacionados a células fotovoltaicas propõem que, em teoria, elas poderão atingir o dobro de sua eficiência e isso pode representar menores custos de aquisição do sistema. Ele ainda acrescenta que:

O novo dispositivo [...] primeiro absorve calor e luz da luz solar usando uma camada especial que pode reemitir radiação a comprimentos de onda específicos mais indicados para as células solares próximas. Essa camada é feita de cristais nanofotônicos, que emitem frequências específicas de luz quando aquecidos. Ao modificar cuidadosamente os cristais para produzir os componentes de frequência corretos, o dispositivo pode criar radiação que é mais facilmente absorvida pela célula solar, melhorando assim a sua eficiência.

Embora essa pesquisa apresente os possíveis avanços no que diz respeito a ampliação da eficiência de conversão das células fotovoltaicas, para que essa técnica seja empregada em escala comercial, é preciso baratear a tecnologia envolvida no processo de fabricação das camadas nanofotônicas.

À vista do exposto, considerando a baixa eficiência, ao menos para uso em massa, da energia solar fotovoltaica em detrimento de outras energias renováveis, em especial a energia eólica, nota-se que, ao menos em um primeiro momento, os incentivos para a produção deste meio de energia devem abarcar o consumo individual, seja doméstico ou comercial, cuja demanda fica restrita a uma quantidade determinada de energia, enquanto não se aperfeiçoa a eficiência das células fotovoltaicas para difusão coletiva.

#### 4.2. CUSTO DE AQUISIÇÃO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

Inobstante ainda sejam considerados onerosos, os preços médios dos módulos fotovoltaicos estão apresentando significativo decréscimo, visto que na década de 1980 o preço do watt custava US\$ 22, enquanto que em 2010 esse valor passou para US\$ 1,5. (UCZAI, 2012).

Nesse contexto, Zilles (2015, p. 68) pontifica que o crescimento da produção das células fotovoltaicas vem reduzindo os custos de fabricação e, correlato, o preço do watt disponibilizado, possibilitando uma redução total de até 20% do preço de geração. A título ilustrativo, Uczai (2012) explica que o preço *turn-key* (custo total de instalação de um sistema pronto para operar) de um sistema *spot*, instalação fotovoltaica conectada à rede, na Alemanha, custa entre 2.500€ a 3.200€/kW instalado, valor que ao longo dos anos decaiu em, aproximadamente, 57%.

A viabilidade econômica do sistema solar fotovoltaico está diretamente condicionada a sua produção, haja vista que o custo de fabricação das células fotovoltaicas ainda é muito elevado, mas de acordo com a modalidade de transmissão do sistema de energia fotovoltaico, ou seja, se advém de geração centralizada, representada pela distribuição a partir de usinas solares, ou de geração distribuída, quando o consumidor produz a sua própria energia conectada à rede elétrica, pode haver redução de custo, sendo que para os segmentos residencial, comercial e planta centralizada, os decréscimos poderão chegar a 48,70%, 46,3% e 54,8%, respectivamente, entre 2010 e 2020 (SILVA, 2015, p 22).

No Brasil, o custo médio de produção por megawatt/hora varia entre R\$ 241,50 (duzentos e quarenta e um reais e cinquenta centavos) a R\$ 1.204,00 (um mil e duzentos quatro reais) (UCZAI, 2012), sendo relevante asseverar que os locais com condições propícias à geração de energia solar já apresentam preços mais competitivos, inclusive em paridade com os preços cobrados pelas distribuidoras de energia elétrica, conforme exposto na Nota Técnica nº 0025/2011-SRD-SRC-SCG-SEM-SER-SPE/ANEEL (SILVA, 2015. p. 52).

Nesse mesmo sentido, a mencionada norma técnica chegou a conclusão que a energia fotovoltaica, pelo sistema de geração distribuída, seria competitiva, ao menos no ano de 2012, para residências localizadas nos Estados de Minas Gerais, Goiás, Tocantins, Rio de Janeiro, Bahia, Mato Grosso, Ceará e Mato Grosso do Sul.

No que concerne à regulamentação das exações tributárias incidentes sobre a produção de energia solar através da geração distribuída, o Conselho Nacional de Política Fazendária (CONFAZ) editou o Convênio nº 6, de 5 abril de 2013, fixando orientação no sentido de que o Imposto Sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS), taxado na alíquota de 25%, deve incidir sobre o consumo bruto, ou seja, a energia tributada não é aquela efetivamente consumida mas todo o aglomerado produzido, ainda que posta à disposição das empresas concessionárias.

A alta tributação a ser arcada pelo contribuinte dificulta sobremaneira a viabilidade da energia solar distribuída, tendo em vista que o custo do megawatt/hora seria de, aproximadamente, R\$ 700,00 (setecentos reais), rompendo o ciclo de benefícios econômicos individuais para a geração desta modalidade de energia, conquanto, muito embora o preço dos insumos apresente queda ao longo dos anos, os altos índices tributários incidentes sobre a produção obstam os benefícios dos painéis solares fotovoltaicos.

Outro fator que contribui para obstaculizar a viabilidade da energia solar fotovoltaica são as quedas pontuais nas tarifas de energia elétrica motivadas pelo interesse das concessionárias em prorrogar a prestação dos serviços de transmissão e distribuição de energia elétrica, reguladas pela Lei nº 12.783/2013 e pela Lei nº 9.074/1995.

À parte disso, ainda se descortina a viabilidade de painéis fotovoltaicos tendo em vista que os custos de produção da energia hidrelétrica estão se acentuando em virtude da crise hídrica que assola o país, caso o reajuste da energia convencional se dê no importe de 30% (SILVA, 2015, p. 25).

#### 4.3. DISCIPLINA LEGAL DA PRODUÇÃO E DISTRIBUIÇÃO DA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

Do ponto de vista legal, duas são as normatizações acerca da produção e distribuição da energia solar fotovoltaica, são elas: o Convênio ICMS nº 16, de 22 de abril de 2015 e a Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012. O primeiro dispõe sobre a isenção de ICMS nas operações internas relativas à circulação de energia elétrica, nos Estados de Goiás, Pernambuco e São Paulo, vejamos o art. 1º, *in litteris*:

**Cláusula primeira:** Ficam os Estados de Goiás, Pernambuco e São Paulo autorizados a conceder isenção do ICMS incidente sobre a energia elétrica fornecida pela distribuidora à unidade consumidora, na quantidade correspondente à soma da energia elétrica injetada na rede de distribuição pela mesma unidade consumidora com os créditos de energia ativa originados na própria unidade consumidora no mesmo mês, em meses anteriores ou em outra unidade consumidora do mesmo titular, nos termos do Sistema de Compensação de Energia Elétrica, estabelecido pela Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012.

Extrai-se do aludido dispositivo que a compensação dos créditos se dará quando a unidade consumidora injetar na rede elétrica a mesma quantidade de energia que consome ou possuir créditos de energia ativa, isto é, energia excedente armazenada na rede elétrica.

Ponto obscuro que repousa no texto em análise é o motivo de o benefício estudado ser conferido apenas nas unidades produtoras dos Estados de Goiás, Pernambuco e São Paulo, eis que não consta justificativa sobre o real motivo de estas três unidades da federação terem sido escolhidas como beneficiárias em detrimento das demais.

Dentre os tributos que são desonerados, encontra-se, também, a Contribuição para a Formação do Patrimônio do Servidor Público – PIS/PASEP e a Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social – COFINS, conforme se observa do excerto trasladado abaixo:

**Cláusula segunda** O benefício previsto neste convênio fica condicionado:

I - à observância pelas distribuidoras e pelos microgeradores e minigeradores dos procedimentos previstos em Ajuste SINIEF;

II - a que as operações estejam contempladas com desoneração das contribuições para os Programas de Integração Social e de Formação do Patrimônio do Servidor Público - PIS/PASEP e da Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social - COFINS.

A despeito da Resolução Normativa nº 482/2012, muitos foram os avanços trazidos para traçar o âmbito de produção e geração da energia solar fotovoltaica, em especial porque, pela primeira vez, surgiu regulamentação sobre o tema e as especificidades que orbitam o seu entorno.

Foi por meio desta resolução que houve a normatização de conceitos importantes para o nosso estudo. Vejamos a abordagem do art. 2º:

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 75 kW e que utilize cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, ou fontes renováveis de energia elétrica, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras; (Redação dada pela REN ANEEL 687, de 24.11.2015.)

II - minigeração distribuída: central geradora de energia elétrica, com potência instalada superior a 75 kW e menor ou igual a 3 MW para fontes hídricas ou menor ou igual a 5 MW para cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, ou para as demais fontes renováveis de energia elétrica, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de

unidades consumidoras; (Redação dada pela REN ANEEL 687, de 24.11.2015.)

**III - sistema de compensação de energia elétrica: sistema no qual a energia ativa injetada por unidade consumidora com microgeração ou minigeração distribuída é cedida, por meio de empréstimo gratuito, à distribuidora local e posteriormente compensada com o consumo de energia elétrica ativa; (Redação dada pela REN ANEEL 687, de 24.11.2015.) (grifo nosso)**

IV - melhoria: instalação, substituição ou reforma de equipamentos em instalações de distribuição existentes, ou a adequação destas instalações, visando manter a prestação de serviço adequado de energia elétrica; (Incluído pela REN ANEEL 687, de 24.11.2015.)

V - reforço: instalação, substituição ou reforma de equipamentos em instalações de distribuição existentes, ou a adequação destas instalações, para aumento de capacidade de distribuição, de confiabilidade do sistema de distribuição, de vida útil ou para conexão de usuários; (Incluído pela REN ANEEL 687, de 24.11.2015.)

VI – empreendimento com múltiplas unidades consumidoras: caracterizado pela utilização da energia elétrica de forma independente, no qual cada fração com uso individualizado constitua uma unidade consumidora e as instalações para atendimento das áreas de uso comum constituam uma unidade consumidora distinta, de responsabilidade do condomínio, da administração ou do proprietário do empreendimento, com microgeração ou minigeração distribuída, e desde que as unidades consumidoras estejam localizadas em uma mesma propriedade ou em propriedades contíguas, sendo vedada a utilização de vias públicas, de passagem aérea ou subterrânea e de propriedades de terceiros não integrantes do empreendimento; (Incluído pela REN ANEEL 687, de 24.11.2015.)

**VII – geração compartilhada: caracterizada pela reunião de consumidores, dentro da mesma área de concessão ou permissão, por meio de consórcio ou cooperativa, composta por pessoa física ou jurídica, que possua unidade consumidora com microgeração ou minigeração distribuída em local diferente das unidades consumidoras nas quais a energia excedente será compensada; (Incluído pela REN ANEEL 687, de 24.11.2015.) (grifo nosso)**

**VIII – autoconsumo remoto: caracterizado por unidades consumidoras de titularidade de uma mesma Pessoa Jurídica, incluídas matriz e filial, ou Pessoa Física que possua unidade consumidora com microgeração ou minigeração distribuída em local diferente das unidades consumidoras, dentro da mesma área de concessão ou permissão, nas quais a energia excedente será compensada. (Incluído pela REN ANEEL 687, de 24.11.2015.) (grifo nosso)**

Como os institutos tratados são auto explicativos, nos deteremos à análise dos conceitos mais importantes para o desenvolvimento do trabalho. Primeiramente, nos debruçamos sobre o conceito de sistema compartilhado de energia, tratado no inciso III, do

ato normativo em tela. Por intermédio desse sistema, o usuário-produtor injeta na rede elétrica a energia que produz, a título de empréstimo gratuito, para, posteriormente, ser compensado do seu consumo de energia ativa.

Desta forma, o interessado em instalar painéis fotovoltaicos firma com a distribuidora Acordo Operativo, atestando a sua vontade de gerar a própria energia, responsabilizando-se pela aquisição e instalação dos equipamentos, cabendo à empresa concessionária providenciar a integração do sistema fotovoltaico à rede elétrica. Feito isto, toda a energia gerada é incorporada ao sistema de distribuição, tendo o consumidor-produtor abatido dos seus créditos o seu consumo mensal. A este processo, dá-se o nome de sistema compartilhado de energia.

Já a geração compartilhada diz respeito a reunião de pessoas residentes na mesma circunscrição de distribuição que se reúnem para gerar a própria energia e integrá-la à rede, originando créditos de energia ativa para ser distribuídos entre os produtores.

No que concerne ao autoconsumo remoto, este se caracteriza quando um indivíduo tem mais de uma titularidade de unidade produtora de energia, na mesma área de concessão, onde o excedente será compensado entre as respectivas unidades. De forma simples, significa dizer que uma mesma pessoa tem, sob sua titularidade, mais de uma unidade produtiva de energia e utiliza os créditos para compensar o consumo de ambos ou uma só, podendo, inclusive, transferir os créditos de uma unidade produtora para outra.

Explicados os conceitos, cabe pontuar duas observações. A primeira é que o sistema compartilhado, assim como a geração compartilhada, só pode ser efetuado na mesma circunscrição territorial, ou seja, na mesma unidade federativa, sendo vedado, portanto, a transmissão de energia compartilhada entre estados-membros. A segunda é que a compensação dos créditos de energia ativa só pode ser consumada quando todos os produtores cooperam para a formação da energia, ou seja, somente pode ocorrer a partilha de energia produzida autonomamente entre aqueles que aderem ao sistema fotovoltaico, de forma que se proíbe a transmissão de energia a quem seja alheio à produção da mesma.

Outro ponto da resolução que merece destaque é a disposição contida no art. 5º, § 2º, segundo o qual todos os custos de eventuais melhorias ou reforços no sistema de minigeração distribuída deve se dar às expensas do consumidor, vejamos:

Art. 5º. Omissis.

§2º **Os custos de eventuais melhorias ou reforços no sistema de distribuição em função exclusivamente da conexão de minigeração**



**distribuída devem fazer parte do cálculo da participação financeira do consumidor.** (grifo nosso)

Observa-se assim que, por expressa previsão normativa, o consumidor-produtor é deveras onerado, eis que as benfeitorias aplicadas no sistema de distribuição fica a cargo deste e não da distribuidora, dificultando, ainda mais, a difusão deste meio de energia.

Por última observação, diga-se que os créditos de energia ativa só ficam disponíveis para uso do consumidor por até 60 (sessenta) meses após a sua produção, expirando-se após esse prazo sem nenhum direito de indenização ao produtor, haja vista que armazenar energia compartilhada na rede elétrica é, como assevera o art. 2º, III, um empréstimo gratuito para a distribuidora.

Estas são as principais observações acerca dos institutos legais tratados neste tópico, instrumentos singulares na regulamentação da produção e distribuição de energia solar fotovoltaica.

#### 4.4. INCENTIVOS GOVERNAMENTAIS AO DESENVOLVIMENTO DA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA NO BRASIL

Com base nas informações apresentadas ao longo dessa pesquisa, percebemos que é necessário o aperfeiçoamento de fatores técnicos, econômicos, e legais para que a energia solar fotovoltaica passe a ser difundida do país. Dessa forma, é de fundamental importância a criação de incentivos governamentais que fortaleça e assegure a massificação da implantação de sistemas fotovoltaicos em residências, indústrias, *shoppings* e demais empreendimentos comerciais. No Brasil os programas de incentivos ainda não são suficientes para garantir que pelo menos boa parte do nosso potencial seja explorado. De acordo com SILVA (2015, p.8), os principais incentivos existentes hoje são:

- Programa Luz para Todos (LPT): instala painéis solares em comunidades selecionadas que não têm acesso à energia elétrica;
- Resolução Normativa nº 488, de 15 de maio de 2012 – ANEEL: estabelece condições para revisão dos planos de universalização dos serviços de distribuição de energia elétrica na área rural;

- Resolução Normativa nº 493, de 5 de junho de 2012 – ANEEL: estabelece os procedimentos e as condições de fornecimento através do Microsistema Isolado de Geração e Distribuição de Energia Elétrica (MIGDI);
- Descontos nas Tarifas de Uso de Transmissão (TUST) e na Tarifa de Uso dos Sistemas de Distribuição (TUSD);
- Venda Direta para Consumidores de Geradores de Energia de Fonte Solar e Outras Fontes Alternativas;
- Sistema de Compensação de Energia Elétrica para a Microgeração e Minigeração Distribuídas;
- Convênio nº 101/97 do CONFAZ: isenta de ICMS a aquisição de diversos equipamentos destinados à geração de energia elétrica;
- Regime Especial de Incentivos para o Desenvolvimento da Infraestrutura (REIDI) concedendo isenção de PIS/COFINS no caso de venda ou importação de aparelhos necessários à produção de energia solar;
- Lei da Informática: confere isenções tributárias para bens de informática e automação;
- Redução de Imposto de Renda para o setor de energia;
- Condições Diferenciadas de Financiamento;
- Apoio a Projetos de Eficiência Energética (PROESCO);
- Inova Energia: condições diferenciadas para inovações que contribuam para o aperfeiçoamento do setor.

Além desses incentivos, o projeto de lei que foi mais recentemente aprovado e que visa o impulsionar os investimentos na área de geração de energia elétrica por meio de fontes alternativas (hidráulica, solar, eólica ou de biomassa) é o PLS 371/2015, segundo o qual o Fundo de Garantia por Tempo de Serviço (FGTS) pode ser utilizado para a aquisição e a instalação de equipamentos de geração elétrica em residências (SENADO, 2016).

Contudo, apesar de já existirem vários programas de incentivo, o desenvolvimento da energia solar fotovoltaica no Brasil ainda é incipiente se comparado ao grande potencial que

possuímos. Além disso, o custo dos insumos, em sua grande maioria importados, encarece sobremaneira a aquisição do sistema solar fotovoltaico, além de que, como dito no momento oportuno, as melhorias do sistema, bem como o seu desenvolvimento ficam a cargo do usuário, encarecendo ainda mais um produto que já é considerado de preço expressivo.

## 5. CONCLUSÃO

Diante de tudo que outrora foi apresentado percebemos que a energia solar fotovoltaica, embora bem disseminada em países como a Alemanha, ainda encontra grandes dificuldades de massificação no Brasil. Pudemos identificar que apesar de sermos extremamente beneficiados com o longo período diário de incidência solar, alguns fatores contribuem negativamente para essa expansão. Entre esses fatores, podemos destacar fatores técnicos, onde esse sistema ainda apresenta uma baixa eficiência. Verificamos que mesmo as melhores células fotovoltaicas apresentam uma eficiência de apenas 25%. Essa dificuldade técnica acaba contribuindo para a elevação do custo, na implantação do sistema. Já que nesse caso, há a necessidade de um número maior de células. Do ponto de vista econômico, constatamos que o alto custo de um sistema solar fotovoltaico também tem sido um fator impeditivo para a expansão desse sistema, como fonte de energia, no Brasil.

Constatamos ainda que os investimentos em políticas governamentais que contribuam para a maximização da produção de energia elétrica por meio da fonte solar ainda são incipientes.

Além dos fatores técnicos e econômicos que de certa forma colocam a energia solar fotovoltaica em desvantagem no nosso país, outro fator que tem criado dificuldades na ampliação do número de sistemas fotovoltaicos instalados no Brasil tem sido nossa legislação.

Os vínculos criados pela Resolução Normativa nº 482 da ANEEL, que determina como deve ser o sistema de compensação e compartilhamento de energia e dá outras competências, limita que a energia produzida só pode ser compartilhada em residências pertencentes a mesma pessoa física ou jurídica. Essa vinculação acaba por dificultar a disseminação desse sistema.

Torna-se necessário comentar que essa resolução não é específica para os sistemas solares, pois abrange também as energias hidráulica, eólica, e biomassa. Sendo assim, a linguagem jurídica utilizada nos documentos acaba por dificultar o acesso dessas informações, haja vista que nem todas as pessoas possuem um grau de escolaridade suficiente para compreender as informações contidas nesses documentos.

Por tudo isso, é indispensável que o governo invista não somente em ciência, tecnologia e inovação, mas também aprimore a legislação brasileira de modo que ela, ao invés de limitar, contribua para a disseminação de investimentos em sistema solares fotovoltaicos e, em consequência, ajude no desenvolvimento de uma sociedade mais sustentável.

## 6. REFERÊNCIAS

ALIBABA. **Não dopadas wafer de silício, resitivity alta wafer de silício monocristalino.** Disponível em: <<http://portuguese.alibaba.com/product-gs/undoped-silicon-wafer-high-resitivity-monocrystalline-silicon-wafer-60210802811.html>> Acesso em: 08 mar. 2016

AMBIENTE Brasil. Disponível em: <[http://ambientes.ambientebrasil.com.br/energia/energia\\_solar/historico\\_das\\_celulas\\_fotovoltaicas\\_e\\_a\\_evolucao\\_da\\_utilizacao\\_de\\_energia\\_solar.html](http://ambientes.ambientebrasil.com.br/energia/energia_solar/historico_das_celulas_fotovoltaicas_e_a_evolucao_da_utilizacao_de_energia_solar.html)> Acesso em: 02 mar. 2016

ANEEL. **Energia solar.** Disponível em: <[http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/energia\\_solar/3\\_3\\_2.htm](http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/energia_solar/3_3_2.htm)> Acesso em: 27 abr. 2016

ANEEL. **Resolução Normativa, nº 482 de 17 de abril de 2012.** Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>> Acesso em: 01 mai. 2016

BRASIL. Convênio ICMS 16, de 22 de abril de 2015. Disponível em: <[https://www.confaz.fazenda.gov.br/legislacao/convenios/2015/cv016\\_15](https://www.confaz.fazenda.gov.br/legislacao/convenios/2015/cv016_15)> Acesso em 01 mai. 2016

CÂMARA DOS DEPUTADOS. Disponível em: <<http://www.camara.gov.br/proposicoesWeb/fichadetramitacao?idProposicao=1203380>> Acesso em: 20 mai. 2015

COMERC, P. **Crescimento da Matriz energética brasileira entre 2008 e 2015.** 2015. Disponível em: <<http://www.panoramacomerc.com.br/?p=2400>> Acesso em: 08 abr. 2016

CONDLIFFE, Jamie. **Nova célula solar transforma luz em calor e pode até mesmo dobrar a eficiência.** Maio 2016. Disponível em: <<http://m.gizmodo.uol.com.br/celula-solar-transforma-luz-em-calor/>> Acesso em: 03 jun. 2016

CARVALHO, R. **Por dentro da Energia Solar: o papel do silício.** 2015. Disponível em: <<http://blog.solargrid.com.br/blog/por-dentro-da-energia-solar-o-papel-do-sil%C3%ADcio>> Acesso em: 08 mar. 2016

COELHO, P. **Células Fotovoltaicas – Energia Solar.** 2012. Disponível em: <<http://www.engquimicasantosp.com.br/2012/12/celulas-fotovoltaicas.html>> Acesso em 18 mar. 2016

ENERGIA Solar: Como funciona? – Tipos de células Fotovoltaicas. 2012. Disponível em: <<http://www.blue-sol.com/energia-solar/energia-solar-como-funciona-tipos-de-celulas-fotovoltaicas/>> Acesso em: 13 mar. 2016

ESPOSITO, A. S.; FUCHS, P. G. Desenvolvimento tecnológico e inserção da energia solar no Brasil. **Revista do BNDES.** nº 40. Dezembro, 2013. Disponível em: <[http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes\\_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/revista/rev4003.pdf](http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/revista/rev4003.pdf)> Acesso em: 28 mar. 2016

FEARNSIDE, P. M. **Hidrelétricas na Amazônia: Impactos ambientais e sociais na tomada de decisões sobre grandes obras.** Manaus: Editora do INPA, 2015. v. 2. Disponível em: <[http://philip.inpa.gov.br/publ\\_livres/2015/Livro-Hidro-V2/Livro%20Hidrel%C3%A9tricas%20V.2.pdf#page=193](http://philip.inpa.gov.br/publ_livres/2015/Livro-Hidro-V2/Livro%20Hidrel%C3%A9tricas%20V.2.pdf#page=193)> Acesso em: 18 abr. 2016

GUERRA, J.; VILLALVA, M. G.; GAZOLI, J. R. Energia Solar Fotovoltaica – Introdução. **Energias renováveis alternativas.** v. 81, cap. 9, 2012. Disponível em: <[http://www.osetoreletrico.com.br/web/documentos/fasciculos/Ed81\\_fasc\\_energias\\_renovaveis\\_cap9.pdf](http://www.osetoreletrico.com.br/web/documentos/fasciculos/Ed81_fasc_energias_renovaveis_cap9.pdf)>

GREENPACE. **Deixe o Tapajós viver.** 2016. Disponível em: <[http://www.tapajos.org/?utm\\_source=referral&utm\\_medium=p3&utm\\_campaign=tapajos\\_vivo&utm\\_content=botao&\\_\\_hstc=218051913.37ce467d6848281098e3c50489283db7.1460996961645.1460996961645.1460996961645.1&\\_\\_hssc=218051913.1.1460996961645&\\_\\_hsfp=1824048203](http://www.tapajos.org/?utm_source=referral&utm_medium=p3&utm_campaign=tapajos_vivo&utm_content=botao&__hstc=218051913.37ce467d6848281098e3c50489283db7.1460996961645.1460996961645.1460996961645.1&__hssc=218051913.1.1460996961645&__hsfp=1824048203)> Acesso em: 18 abr. 2016

MARTINS, F. R.; GUARNIERI, R. A. e PEREIRA, E.B. O aproveitamento da energia eólica. **Revista Brasileira de Ensino de Física.** v. 30, n. 1, 2008. Disponível em: <<http://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/301304.pdf>> Acesso em 27 abr. 2016

MME. **Resenha Energética Brasileira.** 2015. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/documents/1138787/1732840/Resenha+Energ%C3%A9tica+-+Brasil+2015.pdf/4e6b9a34-6b2e-48fa-9ef8-dc7008470bf2>> Acesso em: 24 abr. 2016

PLANALTO. **Decreto nº 5.163/2004.** Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2004-2006/2004/decreto/d5163.HTM](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2004/decreto/d5163.HTM)> Acesso em: 13 mar. 2016

PLANALTO. **Lei nº 110.848/2004.** Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2004-2006/2004/lei/110.848.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2004/lei/110.848.htm)> Acesso em: 13 mar. 2016

PORTAL Solar. **Usina Solar.** Disponível em: <<http://www.portalsolar.com.br/usina-solar.html>> Acesso em: 13 mar. 2016

SALES, M. V. **A questão energética na atualidade.** Disponível em: <<http://educacao.globo.com/artigo/questao-energetica-na-atualidade.html>> Acesso em: 18 abr. 2016

SENADO. **Saque do FGTS para gerar energia em casa é aprovado pela Comissão de Infraestrutura.** 2016. Disponível em: <<http://www12.senado.leg.br/noticias/materias/2016/02/24/saque-do-fgts-para-gerar-energia-em-casa-e-aprovado-pela-comissao-de-infraestrutura>> Acesso em 01 mai. 2016

SILVA, R. M. **ENERGIA SOLAR NO BRASIL: dos incentivos aos desafios.** Brasília: Núcleo de Estudos e Pesquisas da Consultoria Legislativa/CONLEG/Senado, Fevereiro/2015 (Texto para Discussão nº 166). Disponível em: <[www.senado.leg.br/estudos](http://www.senado.leg.br/estudos)> Acesso em: 08 abr. 2016

**SILICIO dei pannelli fotovoltaici, da dove arriva?** 2014. Disponível em: <<http://www.fotovoltaiconorditalia.it/idee/silicio-dei-pannelli-fotovoltaici-da-dove-arriva>> Acesso em: 08 mar. 2016

**SOLARGRID. Por dentro da energia solar:** o papel do silício. 2015. Disponível em: <<http://blog.solargrid.com.br/blog/por-dentro-da-energia-solar-o-papel-do-sil%C3%ADcio>> Acesso em: 08 mar. 2016

**SOLARIR, Brasil. Potencial solar e eólico.** Disponível em: <<http://www.brasilsoilair.com.br/potencial-solar-e-eolico>> Acesso em 08 abr. 2016

**SUSTENTABILIDADE Energética Solar Termosolar e Eólica: Energias Limpas e Renováveis. Noções básicas de Energia Solar.** 2014. Disponível em: <<http://solventoenergia.blogspot.com.br/2014/01/nocoes-basicas-de-energia-solar-modelo.html>> Acesso em: 18 mar. 2016

**TIBA, C. et al. Atlas Solarimétrico do Brasil: banco de dados solarimétricos.** Recife: Ed. Universitária da UFPE, 2000. Disponível em: <[http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Atlas\\_Solarimetrico\\_do\\_Brasil\\_2000.pdf](http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Atlas_Solarimetrico_do_Brasil_2000.pdf)> Acesso em: 08 abr. 2016

**UCZAI, P. ENERGIAS RENOVÁVEIS: RIQUEZA RENOVÁVEL AO ALCANCE DA SOCIEDADE.** In: **Série cadernos de altos estudos**; nº 10. 273 p. Disponível em: <<http://www2.camara.leg.br/a-camara/altosestudios/pdf/energias-renovaveis-riqueza-sustentavel-ao-alcance-da-sociedade>> Acesso em: 05 abr. 2016

**VALLÊRA, A. M.; BRITO, M.C.** Meio século de história fotovoltaica. **Gazeta de Física**, 2006. Disponível em: <<http://solar.fc.ul.pt/gazeta2006.pdf>> Acesso em: 02 mar. 2016

**VILLALVA, M. G. Energia Solar Fotovoltaica Conceitos e Aplicações: Sistemas Isolados e Conectados à rede.** 2. ed. rev. e atual. São Paulo: Érica, 2015.

**ZILLES, R. et al. Sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica.** São Paulo: Oficina de Textos, 2012.