



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL
CURSO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL**

WHELTON BRITO DOS SANTOS

**ESTÍMULOS E INCENTIVOS A PRODUÇÃO DE ENERGIA
ELÉTRICA ATRAVÉS DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS NO
BRASIL**

CAMPINA GRANDE – PB
2014

WHELTON BRITO DOS SANTOS

**ESTÍMULOS E INCENTIVOS A PRODUÇÃO DE ENERGIA
ELÉTRICA ATRAVÉS DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS NO
BRASIL**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC)
apresentado ao Departamento de
Engenharia Sanitária e Ambiental da
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)
em cumprimento às exigências para a
obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Sanitária e Ambiental.

Orientador: Prof^o Dr. Carlos Antonio Pereira de Lima

CAMPINA GRANDE – PB
2014

É expressamente proibida a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano da dissertação.

S237e Santos, Whelton Brito dos.

Estímulos e incentivos a produção de energia elétrica através de sistemas fotovoltaicos no Brasil [manuscrito] / Whelton Brito dos Santos. - 2014.

59 p. : il. color.

Digitado.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 2014.

"Orientação: Prof. Dr. Carlos Antonio Pereira de Lima, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental".

1. Energia elétrica. 2. Sistemas fotovoltaicos. 3. Energia solar. I. Título.

21. ed. CDD 333.792 3

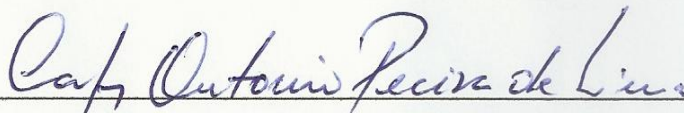
WHELTON BRITO DOS SANTOS

ESTÍMULOS E INCENTIVOS A PRODUÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA ATRAVÉS DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS NO BRASIL

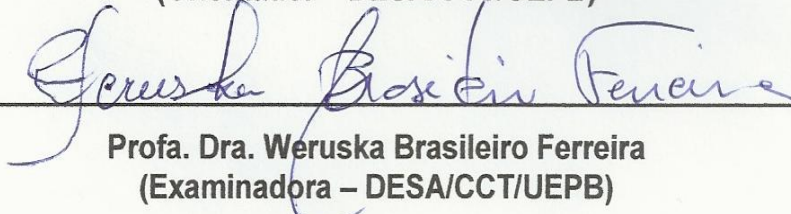
Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado a Coordenação do Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Estadual da Paraíba como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Sanitária e Ambiental.

Aprovado em: 29/07/2014

Examinadores:



Prof. Dr. Carlos Antonio Pereira de Lima
(Orientador – DESA/CCT/UEPB)



Profa. Dra. Weruska Brasileiro Ferreira
(Examinadora – DESA/CCT/UEPB)



Profa. Dra. Keila Machado de Medeiros
(Examinadora – DESA/CCT/UEPB)

AGRADECIMENTOS

A DEUS por ter permitido a realização de um sonho.

As mulheres da minha vida, minha mãe Rubenita, minhas avós Analia e Júlia, e minha querida tia, Mercês, que não mediram esforços para que essa etapa da minha vida fosse concluída, e pelo amor e carinho incondicional.

Ao meu pai, Moaci, pelo carinho, cuidado e por respeitar todas as minhas escolhas.

Aos meus avôs, que por mais que não estejam mais nesse plano foram grandes exemplos de dignidade e companheirismo.

À minha namorada, Danieli dos Anjos, pelo amor, carinho, cumplicidade, apoio e compreensão nos momentos em que a dedicação aos estudos teve que ser exclusiva. Por estar sempre ao meu lado e pelos conselhos e estímulos para superar cada novo desafio.

Ao meu irmão de sangue, José, e a minha irmã que a vida me deu, Priscila Francielly, pelo amor dado, companheirismo e a certeza de nunca estarei sozinho.

Ao meu sobrinho, Emmanoel Brito e sua mãe Daniele Brito, pelo seu imenso amor.

Aos meus primos, Ricardo, Valmi e Leandro Torres, por fazer parte de tudo isso.

Aos meus amados tios, primos e demais familiares, por sempre torcerem pelo meu sucesso e vibrarem a cada conquista minha.

Aos meus melhores amigos, Rodrigo Andrade, Kamila Deys e Henrique Gama, que ao longo desses anos de curso me mostraram cumplicidade, companheirismo, amor e muito cuidado.

Aos demais amigos de turma, Daywison Teles, Matheus Urtiga, Lyanne Oliveira, Salomão Davi, Antonio Tardelli, Ítalo Gusmão, Rauan Trigueiro, Paulo Victor, Rômulo, saibam que guardarei cada momento vivido, e saibam que estarei sempre disponível para ajudar, pra mim vocês são muito mais que amigos.

Aos amigos que adquiri durante a vida acadêmica, Lino Dias, Carlos Costa, Bruno Ambrosino, Eloize Crystinne, Fabiana Calado, Janaina Diniz, Fabiola Albino.

Ao meu orientador, Prof. Carlos Lima, pela orientação, dedicação e confiança dada ao longo desses mais de três anos de pesquisa.

Às Professoras Weruska Brasileiro e Keila Medeiros, pela disponibilidade e prontidão em aceitar compor a banca examinadora deste trabalho.

Aos docentes do curso de Engenharia Sanitária e Ambiental da UEPB, pela constante dedicação e conhecimento compartilhado, que me orgulham por fazer parte desta Universidade.

A todos, Obrigado!

RESUMO

A energia elétrica gerada pela conversão direta da energia luminosa do sol vem sendo largamente utilizada em vários países do mundo, no Brasil desde 1994 com a criação do Programa para Desenvolvimento Energético dos Estados e Municípios (PRODEEM), o governo brasileiro vem inserindo programas de incentivo a geração de energia elétrica através do efeito fotovoltaico, depois do PRODEEM surgiu outros programas, como o Programa Nacional de Universalização do Acesso e Uso da Energia Elétrica, popularmente conhecido como Programa Luz para Todos, Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) e o Programa Nacional de Conservação de Energia, que foram importantes iniciativas para estimular o uso da tecnologia fotovoltaica e inserir essa fonte na matriz energética nacional, mesmo que essa fonte ainda seja incipiente. O presente trabalho foi desenvolvido no âmbito do Laboratório de Pesquisa em Ciências Ambientais (LAPECA), do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental (DESA) localizados no Centro de Ciências e Tecnologia (CCT) da Universidade Estadual da Paraíba (UEPB), e tem como objetivo realizar o levantamento das ações de regulamentação e iniciativas governamentais para o uso de sistemas fotovoltaicos como fonte de geração de energia elétrica. Foi observado no desenvolver do trabalho que as iniciativas e estímulos do que o governo brasileiro vem dando não é suficiente para estimular o uso dessa fonte, que tem grande potencial de geração e que o Brasil apresenta um grande período de insolação durante todo o ano. Então se vê a necessidade da criação de programas e/ou políticas governamentais mais sólidas que incentivem a produção de energia fotovoltaica e estimule a indústria nacional a produzir essa tecnologia, aumentando a contribuição dessa fonte na matriz energética nacional e melhorando positivamente o cenário social, econômico e ambiental do Brasil.

PALAVRAS-CHAVE: Energia solar, Sistemas fotovoltaicos, Programas de incentivo.

ABSTRACT

The electrical energy generated by direct conversion of light energy from the sun has been widely used in many countries around the world, in Brazil since 1994 with the creation of the Energy Development of States and Municipalities Program (PRODEEM), the Brazilian government is entering incentive programs for the generation of electricity through the photovoltaic effect, came after PRODEEM other programs such as the National program for Universal Access and Use of electric Power, popularly known as the Light for All Program, Brazilian Labeling Program (PBE) and the Energy Conservation National Program, which were major initiatives to boost the use of photovoltaic technology and embed this font in national energy policies, even if that source is still incipient. This study was developed under the Research Laboratory Environmental Sciences (LAPECA), Department of Sanitary and Environmental Engineering (DESA) located in the State University of Paraíba (UEPB) Centre for Science and Technology (CCT), and its aim to survey the actions of regulatory and government initiatives for the use of photovoltaic systems as a source of power generation. It has been observed in the work to develop the initiatives and incentives from the Brazilian government is giving is not enough to stimulate the use of this source, which has great potential for generating and that Brazil has a large period of insolation throughout the year. So if you see the need for the creation of programs and consolidate government policies that encourage the production of photovoltaic energy and stimulate the domestic industry by producing this technology, increasing the contribution of this source in the national energy matrix and positively improving the social scene, economic and environmental Brazil.

KEYWORDS: Solar Energy, Photovoltaic Systems, Incentive programs.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Corte transversal de uma célula fotovoltaica	20
Figura 2 - Efeito fotovoltaico na junção pn	20
Figura 3 - Módulos fotovoltaicos.....	22
Figura 4 - Bateria estacionária	24
Figura 5 - Controlador de carga	25
Figura 6 - Inversor de Corrente	25
Figura 7 - Ilustração da configuração básica de um SFI.	26
Figura 8 – Unidade experimental de um sistema isolado.....	27
Figura 9 - Esquema simplificado de um sistema híbrido.	29
Figura 10 - Esquema simplificado de um SFCR.....	30
Figura 11 - Esquema de um sistema de bombeamento de água.....	31
Figura 12 - Tipos de configurações de SBFV.....	32
Figura 13 - Sistema fotovoltaico de bombeamento para elevação de água com aplicações para consumo humano, animal e irrigação.....	33
Figura 14 - Usina de Taiuá.....	34
Figura 15 - Usina fotovoltaica de Tanquinho.....	34
Figura 16 - Usina MEGAWATT SOLAR	35
Figura 17 - Modelo da ENCE para módulo	45
Figura 18 - Modelo de ENCE para baterias.....	46
Figura 19 - Modelo da ENCE para Controlador de Carga e Inversor	46
Figura 20 - Modelo do Selo Procel Eletrobras.....	48
Figura 21 - Aplicação do Selo Procel Eletrobras no módulo fotovoltaico	48
Figura 22 – Potência por tipo de empreendimento de geração de energia outorgados	50
Figura 23 – Potência por tipo de empreendimento de geração de energia em operação	51
Figura 24 - Matriz de energia elétrica.....	51

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Especificações dos SIGIF'S ou MIGDI'S.....	28
Tabela 2 - Distribuição dos sistemas e de potência nas Fases do PRODEEM.....	39
Tabela 3 – Classificação dos módulos de silício monocristalino e policristalino por eficiência	44
Tabela 4 - Classificação dos módulos de filmes finos por eficiência	44
Tabela 5 - Equipamentos fotovoltaicos isentos de ICMS	49

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ABINNE	Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica
BSM	Programa Brasil Sem Miséria
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
CCT	Centro de Ciências e Tecnologia
CDE	Conta de Desenvolvimento Energético
CEPEL	Centro de Pesquisa em Energia Elétrica
CPF	Cadastro de Pessoa Física
CPFL	Companhia Paulista de Força e Luz
CNPJ	Cadastro Nacional de Pessoa Jurídica
DNDE	Departamento Nacional de Desenvolvimento Energético
DESA	Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental
ELETRORAS	Centrais Elétricas Brasileiras S.A.
ENCE	Etiqueta Nacional de Conservação de Energia
ICMS	Imposto sobre Comercialização de Mercadorias e Prestação de Serviço
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
IPI	Imposto sobre Produto Industrializado
LAPECA	Laboratório de Pesquisa em Ciências Ambientais
LPT	Programa Luz para todos
MME	Ministério de Minas Energia
MIGDI	Microsistema Isolado de Geração e Distribuição de Energia Elétrica
PBE	Programa Brasileiro de Etiquetagem
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
PRC	Plano de Revitalização e Capacitação
PRODEEM	Programa de Desenvolvimento de Estados e Municípios
PROINFA	Programa de Incentivo as Fontes Alternativas de Energia Elétrica
RAC	Requisitos de Avaliação de Conformidade
RGR	Reserva Global de Reserva
SBFV	Sistema Fotovoltaico de Bombeamento
SFCR	Sistema Fotovoltaico Conectado a Rede
SFH	Sistema Híbrido

SFI	Sistema Fotovoltaico Isolado
SFV	Sistema Fotovoltaico
SIGFI	Sistema Individual de Geração de Energia Elétrica
SIN	Sistema Elétrico Interligado Nacional
TCU	Tribunal de Contas da União
UC	Unidade Consumidora
UEPB	Universidade Estadual da Paraíba

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
2. OBJETIVOS.....	15
2.1 OBJETIVO GERAL	15
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	16
3.1 ENERGIA SOLAR	16
3.2 ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA	18
3.3 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS.....	21
3.3.1 Componentes Básicos do Sistema.....	21
3.3.1.1 Módulos Fotovoltaicos.....	21
3.3.1.2 Bateria.....	23
3.3.1.3 Controlador de Carga.....	24
3.3.1.4 Inversor de Corrente.....	25
3.3.2 Sistemas Fotovoltaicos Isolados.....	26
3.3.3 Sistemas Fotovoltaicos Híbridos.....	28
3.3.4 Sistemas Fotovoltaicos Conectados a Rede	29
3.3.5 Sistema de Bombeamento de Água.....	31
3.4 USINAS DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA POR EFEITO FOTOVOLTAICO DO BRASIL	33
4. METODOLOGIA	35
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	36
5.1 PROGRAMA DE DESENVOLVIMENTO ENERGÉTICO DE ESTADOS E MUNICÍPIOS.....	36
5.2 PROGRAMA LUZ PARA TODOS.....	40
5.3 PROGRAMA BRASILEIRO DE ETIQUETAGEM.....	42
5.4 PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA.....	46
5.5 INCENTIVOS FISCAIS.....	49
5.6 ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA E SUA PARTICIPAÇÃO NA MATRIZ ELÉTRICA.....	50
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	53
REFERÊNCIAS.....	55

1. INTRODUÇÃO

O território brasileiro apresenta grandes índices de irradiação solar, propiciando um grande potencial de produção de energia solar fotovoltaica, que consiste na conversão direta de energia luminosa do sol em energia elétrica através de materiais semicondutores, mas comparada com outros países principalmente os europeus a geração dessa energia é incipiente, tendo em vista que nesses países a tecnologia fotovoltaica é disseminada para a produção de energia elétrica.

Nas últimas décadas a demanda por energia devido ao aumento das atividades industriais, estimulando à urbanização e o crescimento populacional, gerando um modelo de crescimento econômico em que o setor energético nacional é orientado a produção centralizada, sendo incapaz de suprir a necessidade de toda a população, principalmente a população residente na periferia das cidades e na zona rural.

A energia é indispensável para o processo de desenvolvimento de um país desde que sejam desenvolvidas políticas públicas de universalização do serviço de fornecimento de energia para que a população usufrua desse recurso, possibilitando a geração de emprego e renda, melhorando a sua qualidade de vida.

Na década de 70 ocorreu a crise do petróleo, onde a população mundial percebeu que os combustíveis fósseis eram finitos e sujeitos a grandes perturbações em seu suprimento, daí surgiu o interesse por fontes alternativas de energia (VARELLA, 2008). Segundo Fraidenraich (2005), nessa mesma década começaram a serem produzidos módulos fotovoltaicos no Brasil por uma firma da área de telecomunicação, que segundo ele as primeiras aplicações de importância em âmbito nacional foram nesse segmento, e alguns programas regionais que utilizavam sistemas de bombeamento fotovoltaico foram implantados.

Segundo o CEPEL-CRESESB (2014), no final da década de 70 e início da década de 80, duas fábricas de módulos fotovoltaicos de silício cristalino foram estabelecida no país, no entanto, na década de 80 vários grupos de pesquisa que no momento estudavam e desenvolviam essa tecnologia migraram para outras áreas de

estudo devido à falta de incentivo, e as fábricas reduziram suas produções, ou foram extintas.

Ainda segundo o CEPEL-CRESESB (2014), atualmente existe apenas uma fábrica de encapsulamento de módulos fotovoltaicos em funcionamento no Brasil.

A energia solar fotovoltaica vem surgindo como uma alternativa de energia viável, principalmente para as comunidades isoladas que não são contempladas com o fornecimento de energia elétrica pelo sistema convencional, pois necessitam de investimento para a expansão da rede elétrica e que muitas vezes não compensa devido a grande distância, condições geográficas e/ou a pouca quantidade de energia requerida pelos usuários.

O governo brasileiro pensando fornecer e universalizar o serviço de energia elétrica as comunidades isoladas criou alguns programas em âmbito nacional, o Programa de Desenvolvimento de Estados e municípios (PRODEEM) e o Luz Para Todos (LPT) foram as iniciativas governamentais para isso. Outros programas brasileiros que incentivam o uso de sistemas fotovoltaicos são o Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) e o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL), programas que tem por objetivo promover e oferecer aos consumidores desse tipo de tecnologia informações sobre os aparelhos que os compõe promovendo o consumo consciente e evitar desperdício de energia.

Sabendo da importância dos programas e incentivos regulatórios para a inserção da tecnologia fotovoltaica no contexto de geração de energia no Brasil, esse trabalho vem realizar um levantamento das informações a respeito desse assunto, e despertar o interesse pelas energias renováveis em especial a energia solar fotovoltaica pela sociedade acadêmica propiciando o desenvolvimento dessa técnica, facilitando o acesso a todos bem como a difusão da mesma.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

O presente trabalho tem por objetivo o levantamento de todas as ações de regulamentação e iniciativas governamentais, para o uso de sistemas fotovoltaicos como fonte de geração de energia elétrica.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Pesquisar sobre todo o processo de implantação e expansão da técnica de geração de energia solar fotovoltaica bem como o crescimento e interesse das suas aplicações.
- Levantamento dos programas nacionais de incentivo a geração de energia solar fotovoltaica.
- Levantamento da legislação brasileira que regulamenta os sistemas fotovoltaicos.
- Verificar por meio dos levantamentos efetuados se a energia fotovoltaica terá possibilidade de ampliação na matriz energética nacional.
- Comparar o crescimento da energia fotovoltaica no Brasil e em outras nações que fazem uso desse tipo de fonte de energia.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 ENERGIA SOLAR

A energia é algo vital para a existência de qualquer ser vivo. As plantas e animais existentes necessitam de energia para seu crescimento e sobrevivência, sabendo que o sol é uma fonte inesgotável de energia, ele se torna responsável por diversas formas de vida, com poucas exceções.

A radiação solar desempenha um importante papel em muitos processos ambientais. Quase todas as fontes de energia: hidráulica, biomassa, eólica, combustíveis fósseis e energia dos oceanos, são formas indiretas de energia solar. Existe um crescente interesse na utilização direta da energia solar para diversos fins (BEZERRA,1990).

A superfície da terra recebe anualmente em média cerca de $1,5 \times 10^{18}$ kWh de radiação solar, quantidade muito superior ao consumo mundial de energia no mesmo período, se tornando indispensável, sendo uma fonte inesgotável de energia, energia esta, que pode ser convertida em outras formas de energias (CEPEL-CRESESB, 2004).

Captando-se adequadamente a radiação solar, pode-se obter calor e eletricidade. O calor se alcança mediante coletores térmicos e a eletricidade através de módulos fotovoltaicos. Ambos os processos nada tem a ver entre si, nem quanto à tecnologia nem quanto aplicação prática.

Entre os vários processos de aproveitamento da energia solar, os mais usados atualmente são o aquecimento de água e a geração fotovoltaica de energia elétrica. No Brasil, o primeiro é mais encontrado nas regiões Sul e Sudeste, devido a características climáticas, e o segundo, nas regiões Norte e Nordeste, em comunidades isoladas da rede de energia elétrica.

A incidência dos raios solares que atingem a superfície da Terra varia com a latitude e época do ano, como consequência do ângulo de inclinação. Ao longo do ano, existem dois pontos da órbita da terra em que o efeito do ângulo de inclinação do eixo é máximo, os solstícios, e dois pontos em que é mínimo, os equinócios, quando em qualquer ponto da terra, o dia e a noite duram exatamente 12 horas. A

hora do dia, a altitude, a espessura da camada de ozônio e a turbidez da atmosfera também influenciam a intensidade e distribuição dos raios solares incidentes em uma superfície qualquer (PALZ, 1981).

A quantidade de radiação incidente no Brasil é outro fator muito animador para o aproveitamento da energia solar. De acordo com Silva et al. (2010) o Nordeste do Brasil, é uma região que apresenta 60% de sua área total na parte semiárida, com duração do dia solar médio de aproximadamente 12 horas registrando fluxos instantâneos de até 1200 W.m^{-2} , ou seja, dispõe de condições climáticas favoráveis à utilização da energia solar como fonte primária de energia a ser transformada em energia elétrica.

O atendimento de comunidades isoladas tem impulsionado a busca e o desenvolvimento de fontes renováveis de energia. No Brasil, por exemplo, 15% da população não possui acesso à energia elétrica. Coincidentemente, esta parcela da população vive em regiões onde o atendimento por meio da expansão do sistema elétrico convencional é economicamente inviável. Trata-se de núcleos populacionais esparsos e pouco densos, típicos das regiões Centro-Oeste, Nordeste e Norte (CEPEL-CRESESB, 2004).

A partir daí, pode-se inserir a questão da eletrificação rural. Nas áreas rurais do Nordeste, cerca de 2,5 milhões de famílias vivem sem iluminação. Estas pessoas são vítimas da falta de investimento nessa área, do baixo poder aquisitivo, da falta de infraestrutura para geração de empregos e crescimento econômico. São regiões atrasadas, nas quais as grandes distribuidoras de energia elétrica não estão dispostas a comprometer altos orçamentos ou investimentos para levar energia elétrica a essas populações. É uma energia economicamente inviável, pois está centralizada, isto é, as usinas fornecedoras encontram-se em determinadas regiões, onde o acesso à energia acontece por meio de redes de iluminação, como postes e redes de transmissão. Esses materiais, no entanto, inviabilizariam os investimentos em áreas longínquas de áreas rurais nordestinas. Um dos meios mais viáveis seria utilizar formas de energia alternativa, como a energia solar, no caso, que poderia ser empregada em comunidades ou vilas, ou até mesmo de casa em casa, dessa forma descentralizando o fornecimento de energia (GIAMPIETRO E RACY, 2004).

3.2 ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

De acordo com o CEPEL-CRESESB (2014), a energia solar fotovoltaica é produzida pela conversão direta da luz em eletricidade, sendo as células fotovoltaicas responsáveis pela conversão, e esse fenômeno físico é chamado de efeito fotovoltaico. De acordo com Demonti (2003, p.7):

O efeito fotovoltaico foi relatado pela primeira vez em 1839 por Edmund Becquerel que observou o aparecimento de uma tensão entre eletrodos imersos em um eletrólito, cujo valor dependia da intensidade da luz incidente. Descobriu-se posteriormente que vários materiais tinham a propriedade de gerar eletricidade quando expostos à luz, principalmente à luz solar.

Sobre o efeito fotovoltaico Zilles et al.(2012, p. 13) diz que:

[...] o efeito fotovoltaico ocorre em certos materiais semicondutores com capacidade de absorver a energia contida nos fótons presentes na radiação luminosa incidente, transformando-a em eletricidade. A energia absorvida por esses materiais quebra as ligações químicas entre as moléculas presentes em sua estrutura. Com isso, cargas elétricas são liberadas podendo ser usadas para realizar trabalho. O efeito fotovoltaico é uma característica física intrínseca ao material que compõem o dispositivo de conversão fotovoltaica.

As células fotovoltaicas são feitas de materiais semicondutores, que são escolhidos levando em conta as suas características de absorção de energia de radiação solar, custo de fabricação e os impactos ambientais causados pela sua disposição (ZILLES et al., 2012).

Os semicondutores mais apropriados à conversão da luz solar são aqueles que geram o maior produto corrente-tensão para a luz visível, já que a maior parcela da luz solar está dentro da faixa visível do espectro.

Segundo Zilles et al. (2012), os materiais semicondutores mais utilizados na fabricação de células fotovoltaicas são o silício monocristalino, policristalino, e amorfo, arsenato de gálio, disseleneto de cobre e índio, disseleneto de cobre, gálio e índio e o telureto de cádmio, onde segundo o CEPEL-CRESESB (2014), as células de silício monocristalino e policristalino representam mais de 85% do mercado, devido a sua tecnologia já consolidada, confiável e por possuir melhor eficiência quando comparada com o restante dos produtos comercializados.

O silício amorfo, disseleneto de cobre e índio e o telureto de cádmio, são os materiais que fabricam as células de filmes finos. Esse tipo de célula fotovoltaica foi

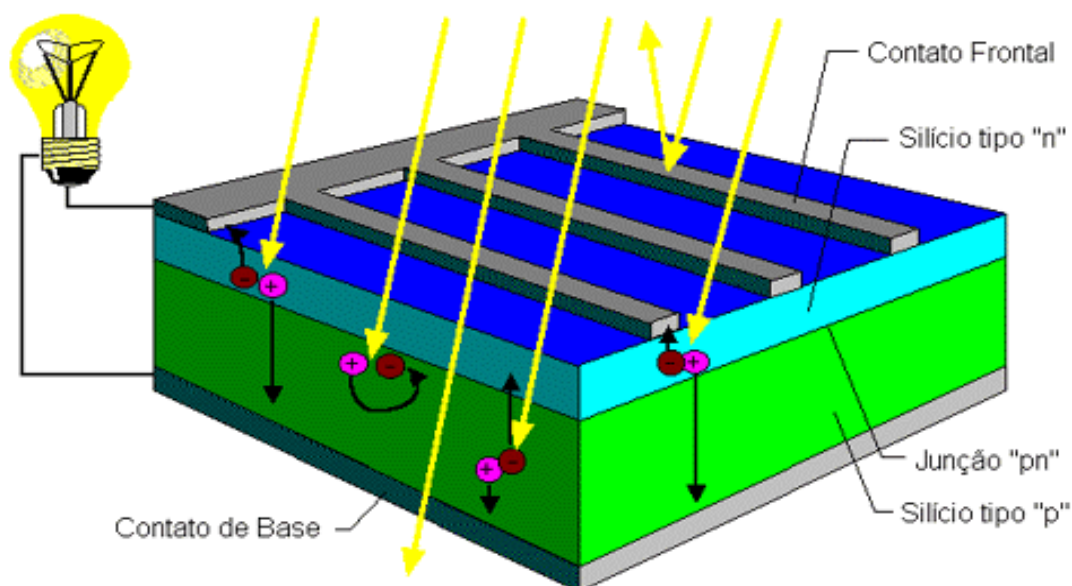
desenvolvida no intuito de se ter formas alternativas de fabricação dessa tecnologia, onde se possa produzir em larga escala as células usando pouco material semicondutor, resultando em custos mais baixo do produto e conseqüentemente a energia gerada. As células de Filmes finos ainda apresentam baixa eficiência de conversão de energia, mas há estudos sendo realizados para aumentar sua eficiência.

Como o silício é o material mais utilizado na fabricação das células fotovoltaicas, e não apresenta uma condutividade elétrica muito elevada, então é usado o processo de dopagem para aumentar a condutividade do material.

A dopagem consiste na adição de impurezas químicas, geralmente boro ou fósforo, e um elemento semicondutor puro, como o silício, essa adição tem como objetivo dotar o silício de propriedades de condução (ZILLES et al., 2012). O silício passa por dois processos de dopagem, um com fósforo (silício tipo n) e outro com boro (silício tipo p) (SÁ, 2010).

Como o silício apresenta, normalmente, quatro elétrons de ligação que se ligam aos vizinhos formando cristais. A dopagem por fósforo que apresentam átomos com cinco elétrons livres para ligação, havendo um elétron em excesso, ficando fracamente ligado ao átomo de origem, fazendo com que o elétron se livre indo para a banda de condução. Já no caso do boro, como apresenta em seu átomo três elétrons livres para ligação, havendo falta de um elétron para ligar-se com os átomos de silício, essa falta de elétrons é chamado de lacuna, fazendo com que um elétron do sítio vizinho passe para essa posição, deslocando a lacuna. A dopagem de fosforo e boro em um silício puro forma a junção pn, conforme apresentado na Figura 1.

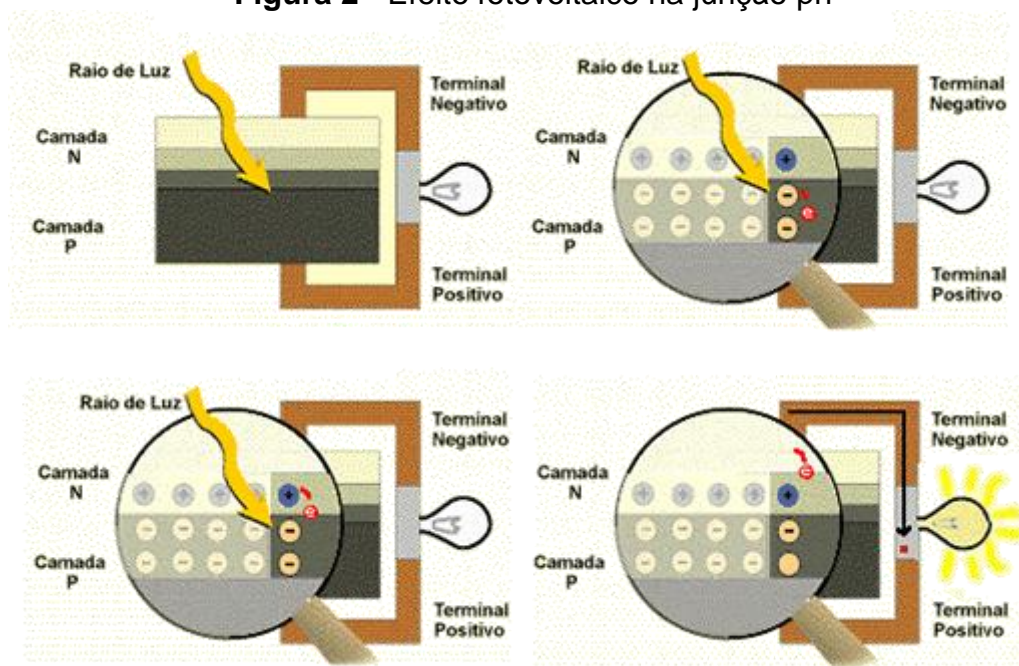
Figura 1 - Corte transversal de uma célula fotovoltaica



Fonte: CRESESB, 2014.

Segundo Sá (2010), quando há incidência de luz sobre a célula fotovoltaica, há a formação de um campo elétrico entre as camadas p e n e os elétrons são orientados a fluírem da camada p para a camada n. O deslocamento das cargas gerará uma diferença de potencial a qual se chama de Efeito Fotovoltaico, e se as duas extremidades da célula forem ligadas por um fio, haverá o fluxo de elétrons, conforme ilustrado na Figura 2.

Figura 2 - Efeito fotovoltaico na junção pn



Fonte: CRESESB, 2014.

3.3 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Segundo o CEPEL-CRESESB (2014), os sistemas fotovoltaicos (SFV) podem ser divididos em duas categorias principais: isolados e conectados a rede. Onde podem funcionar unicamente com a utilização de fontes fotovoltaicas ou combinadas com outra forma de energia, ou seja, a geração de energia não se restringe somente à geração fotovoltaica, assim sendo chamadas de sistemas híbridos.

A utilização de cada tipo de sistema irá depender de cada aplicação, das cargas do uso de cada usuário e da disponibilidade dos recursos energéticos, sabendo que os SFV são empregados para diversos fins, como iluminação pública, domiciliar, edificações, bombeamento de água entre outros.

3.3.1 Componentes Básicos do Sistema

Segundo o CEPEL-CRESESB (2014), um SFV é constituído por um bloco gerador, um bloco de condicionamento de potência e se necessário um bloco de armazenamento. O bloco de geração é composto pelos arranjos fotovoltaicos, constituídos de módulos fotovoltaicos, e o sistema de cabeamento que os interligam, o bloco de condicionamento de potência é composto por um inversor de corrente, controlador de carga, por último, o bloco de armazenamento é constituído por unidades de acumulação de energia, usualmente baterias.

3.3.1.1 Módulos Fotovoltaicos

O módulo fotovoltaico é a unidade básica do sistema fotovoltaico, composto por células fotovoltaicas que ligadas em arranjo produzem tensão e corrente em quantidade necessária para a utilização da energia (CEPEL-CRESESB, 2014). As células podem estar conectadas em série e/ou paralelo, dependendo da aplicabilidade.

O módulo fotovoltaico é a unidade do sistema que tem como objetivo converter energia solar em energia elétrica, conforme já citado, as células fotovoltaicas são as responsáveis por essa conversão, compostas por materiais semicondutores, geralmente de silício, esses materiais tem propriedades

intermediárias entre os metais e os isolantes. A Figura 3 ilustra módulos fotovoltaicos.

Figura 3 - Módulos fotovoltaicos



Fonte: Própria, 2014.

As células fotovoltaicas por produzirem, individualmente, uma tensão baixa na ordem de 0,5 a 0,8 V, para as de silício, são ligadas em série para que gerem uma tensão resultante equivalente à soma das tensões individuais, de modo a produzir níveis de tensão suficiente a sua aplicação (CEPEL-CRESESB, 2014).

Ainda sobre os módulos fotovoltaicos e da associação entre as células, o CEPEL-CRESESB (2014) diz que:

Um módulo é o componente unitário do gerador e, dependendo da associação e das características das células, pode ter diferentes valores de tensão e corrente nominal. Módulos com tensão nominal de 12 V, com 36 células em série, são utilizados para carregar baterias e podem ser associados em série para sistemas de 24 V ou 48 V em corrente contínua. Para outras aplicações, é comum encontrar módulos com tensões nominais diferentes, com maior ocorrência entre 30 V e 120 V.

Os módulos podem ser ligados em série ou em paralelo, dependendo da tensão e potência necessária exigida, para que a demanda da carga instalada seja atendida, a ligação em série aumenta a voltagem à medida que aumenta o número de módulos e a corrente permanece a mesma, já na ligação em paralelo é o inverso, a corrente aumenta com o aumento do número de módulos e a voltagem permanece constante. A eficiência dos módulos pode ser comprometida através de fatores como a radiação solar, mudanças climáticas e hora do dia e da área iluminada.

3.3.1.2 Bateria

Em sistemas puramente fotovoltaicos ou em sistemas híbridos, em geral, há a necessidade de uma unidade de armazenamento. O armazenamento nesses tipos de sistemas são feitos em baterias que tem como função acumular a energia que se produz durante as horas de luminosidade e/ou uso das fontes de energia, a fim de poder ser utilizada em períodos que não há geração de energia elétrica, então parte da energia produzida no período de funcionamento é acumulada pela bateria, para posteriormente atender a demanda das cargas (equipamentos eletrônicos) (CEPEL-CRESESB, 2014).

A bateria é o local que acontece reações químicas reversíveis, que pode transformar a energia elétrica adquirida em energia potencial química, e posteriormente transformar a energia potencial química em energia elétrica.

A bateria pode ser composta por uma única célula ou por um arranjo de várias células, onde a célula é a mais simples unidade de operação de uma bateria. As baterias podem ser classificadas em recarregáveis e não recarregáveis, dependendo do tipo de célula que são compostas. Existem dois tipos de células: primárias e secundárias (CEPEL-CRESESB, 2014).

As células primárias compõem as baterias que só podem ser usadas apenas uma única vez, ou seja, quando descarregadas completamente vem ser descartadas, sendo essas as baterias não recarregáveis, tendo sua aplicação voltada a baixas potências, como relógios de pulso, calculadoras entre outros equipamentos deste tipo. Já as células secundárias são as que compõem as baterias que admitem ser carregadas por fontes externas de tensão ou corrente, possibilitando ser reutilizadas várias vezes, sendo estas as baterias recarregáveis.

Nos SFV são empregadas as baterias recarregáveis, tais como, níquel cádmio, níquel-hidreto metálico, íon de lítio, entre outras, sendo que a mais empregada é a de chumbo-ácido, devido a sua viabilidade econômica, quando comparada com o restante.

As baterias recarregáveis ainda podem ser seladas ou abertas, diferenciadas pela forma de confinamento do eletrólito¹, e quanto a sua aplicação em automotivas, tração, estacionárias (Figura 4) e fotovoltaicas.

Figura 4 - Bateria estacionária



Fonte: MINHA CASA SOLAR. Disponível em:
<<http://minhacasasolar.lojavirtualfc.com.br>> Acesso em: 2014.

As baterias abertas são aquelas que necessitam de manutenção periódica e reposição de seu eletrólito, e as seladas são as que não necessitam de manutenção nem reposição do eletrólito, pois nessa bateria o eletrólito se encontra confinado no separador².

3.3.1.3 Controlador de Carga

O controlador de carga tem como objetivo proteger a bateria contra grandes sobrecargas de energia, e aumentar a transferência de energia entre os módulos fotovoltaicos e o banco de baterias, aumentando a eficiência do sistema (CEPEL-CRESESB, 2014).

O controlador de carga monitora a tensão da bateria interrompendo o fluxo de carga quando a bateria estiver carregada, evitando que a mesma sobrecarregue e reconectando o fluxo caso a bateria não esteja totalmente carregada, tornando esse equipamento indispensável em sistemas fotovoltaicos, funcionando como um

¹ Meio que proporciona o transporte de íons entre os eletrodos positivo e negativo da bateria.

² Material isolado eletricamente, microporoso e permeável ao fluxo de íons, evitando o contato direto entre as placas que compõem a célula.

dispositivo de segurança evitando danos tanto para as baterias quanto para as cargas ligadas ao sistema. A Figura 5 apresenta um tipo de controlador de carga muito aplicado a pequenos SFV.

Figura 5 - Controlador de carga



Fonte: MINHA CASA SOLAR. Disponível em: <<http://minhacasasolar.lojavirtualfc.com.br>> Acesso em: 2014.

3.3.1.4 Inversor de Corrente

Quando a energia solar é transformada em energia elétrica a corrente produzida é do tipo contínua, daí cabe ao inversor transformar a corrente contínua (CC) em alternada (CA) (CEPEL-CRESESB, 2014), pois na grande maioria dos casos as cargas alimentadas pelo sistema serão do tipo alternada (eletrodomésticos convencionais). Na Figura 6 pode ser observado um conversor de corrente normalmente usado em sistemas de pequeno porte.

Figura 6 - Inversor de Corrente



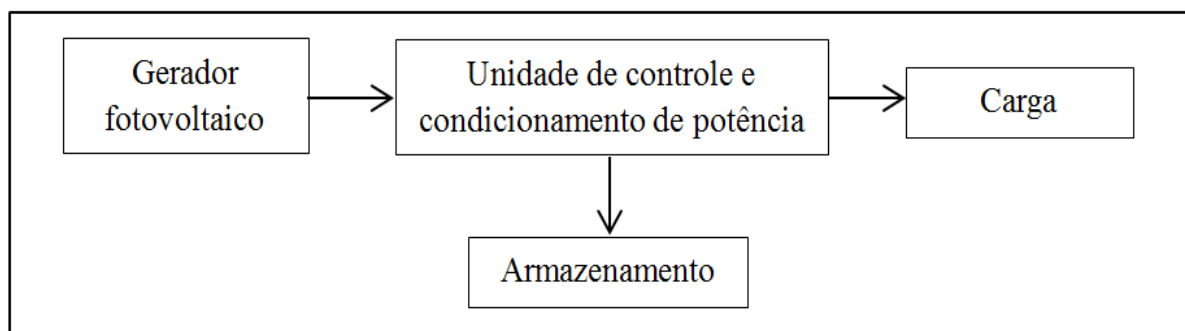
Fonte: MINHA CASA SOLAR. Disponível em: <<http://minhacasasolar.lojavirtualfc.com.br>> Acesso em: 2014.

Ainda segundo o CEPEL-CRESESB (2004), a tensão de saída do inversor deve ter frequência, amplitude e conteúdo harmônico compatível com os aparelhos que serão alimentados, para os sistemas conectados a rede elétrica a tensão de saída do inversor deve ser sincronizada com a da rede.

3.3.2 Sistemas Fotovoltaicos Isolados

Os sistemas Fotovoltaicos isolados (SFI) também conhecidos como autônomos caracterizados pela geração unicamente fotovoltaica. Esse tipo de sistema além de contar com uma unidade geradora de energia que é comum a todo tipo de SFV, conta com uma unidade de controle e condicionamento de potência composta por inversor e controlador de carga, e no geral, uma unidade de armazenamento. Esse tipo de sistema é muito utilizado em pequenas comunidades isoladas, a Figura 7 ilustra a configuração básica de um SFI.

Figura 7 - Ilustração da configuração básica de um SFI.



Fonte: Adaptado de CEPEL-CRESESB, 2014.

Os SFI sem armazenamento são aqueles que a energia produzida pelos módulos fotovoltaicos é usada no momento da geração por equipamentos que operam em corrente contínua e/ou corrente alternada. Já os sistemas com armazenamento são aqueles que o uso da energia gerada é armazenada, geralmente em baterias, para que no momento que não há geração os equipamentos elétricos tanto em corrente contínua quanto em corrente alternada, possam ser utilizados. Para a conversão das correntes é necessário um inversor de corrente para o uso de equipamentos que operam em corrente alternada, sabendo que a corrente gerada pelos módulos fotovoltaicos é contínua. A Figura 8 apresenta uma unidade experimental de um SFI.

Figura 8 – Unidade experimental de um sistema isolado



Fonte: Própria, 2014.

Os SFI ainda podem ser individuais ou em minirredes. Os sistemas individuais correspondem à geração para uma única unidade consumidora e o em minirrede é aquele que gera energia para um grupo pequeno de unidades consumidoras que estão próximas geometricamente (CEPEL-CRESESB, 2014).

A regulamentação dos SFI veio primeiramente por meio da Resolução Aneel nº 83, de 20 de setembro de 2004, que segundo o CEPEL-CRESESB (2014) teve grande importância na inserção dos SFV nos programas de eletrificação de áreas isoladas do país. Posteriormente, em 05 de janeiro de 2012 a Resolução Aneel nº 58 foi substituída pela Resolução Aneel nº 493.

A Resolução Aneel nº 493 estabelece os procedimentos e as condições de fornecimento por meio de Microsistema Isolado de Geração e Distribuição de Energia Elétrica (MIGDI) ou Sistema Individual de Geração de Energia Elétrica (SIGFI)³, que já tinha sido regulamentado pela resolução anterior. O atendimento as Unidades Consumidoras (UC) por SIGFI ou MIGDI, segundo a Resolução Normativa da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL)⁴, devem ser enquadradas conforme as disponibilidades mensais de energia observadas na Tabela 1.

³ Sistema de geração de energia elétrica, utilizado para o atendimento de uma única unidade consumidora, cujo fornecimento se dê exclusivamente por meio de fonte de energia intermitente (ANEEL, 2012).

⁴ Autarquia em regime especial, vinculada ao Ministério de Minas e Energia, criada pela Lei nº 9.427 de 1996, que tem como objetivo regular e fiscalizar a geração, a transmissão, a distribuição e a comercialização da energia elétrica no Brasil.

Tabela 1 - Especificações dos SIGIF'S ou MIGDI'S.

Disponibilidade mensal garantida (kWh/mês UC)	Consumo de referência (Wh/dia/UC)	Autonomia ⁵ mínima (horas)	Potência mínima (W/UC)
13	435	48	250
20	670	48	250
30	1.000	48	500
45	1.500	48	700
60	2.000	48	1.000
80	2.650	48	1.250

Fonte: ANEEL, 2012.

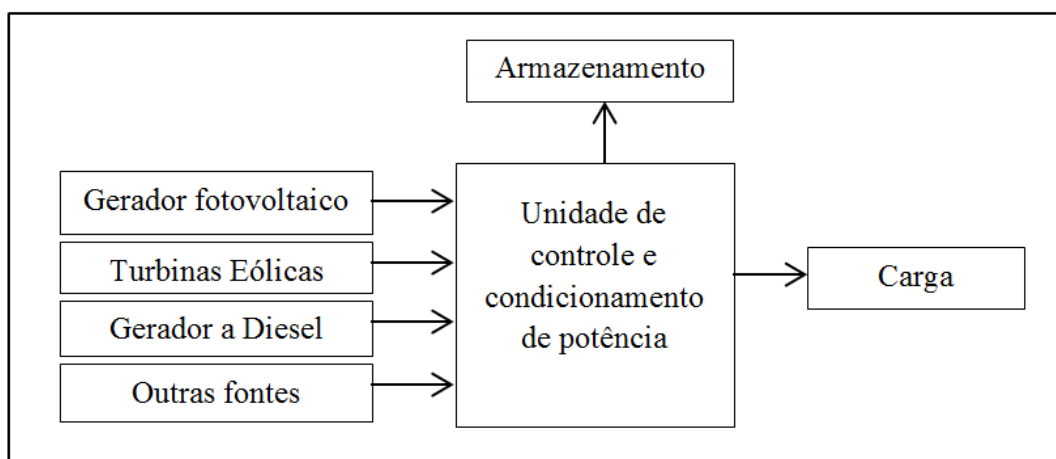
Segundo a Aneel (2012a), a distribuidora de energia pode fornecer, ficando a seu critério, disponibilidade mensal garantida superior a 80 kWh/UC, desde que seja garantida uma autonomia mínima de 48 horas e que deve atender a solicitação de aumento de carga sem ônus ao consumidor, desde que decorrido, no mínimo, um ano da ligação inicial ou desde o último aumento de carga.

3.3.3 Sistemas Fotovoltaicos Híbridos

Os Sistemas Fotovoltaicos Híbridos (SFH) são aqueles sistemas que há mais de uma fonte de geração de energia, podendo ser utilizado turbinas eólicas, gerador a diesel e módulos fotovoltaicos, entre outras fontes, esse tipo de sistema tende a ser mais complexo devido a suas múltiplas fontes de geração, necessitando de algum tipo de controle operacional, uma vantagem desse sistema é a integração das diferentes fonte de energia CEPEL-CRESESB (2014). A Figura 9 apresenta um esquema básico de um sistema híbrido e suas diversas fontes de geração de energia, sabendo que para cada projeto haverá fontes diferentes, que vai depender principalmente do poder aquisitivo do usuário e da disponibilidade dos recursos energéticos.

⁵ Capacidade de fornecimento de energia elétrica pela unidade de acumulação de energia, para que a demanda de energia seja atendida quando não há geração de energia pela fonte, levando como base o consumo diário de referência.

Figura 9 - Esquema simplificado de um sistema híbrido.



Fonte: Adaptado de CEPEL-CRESESB, 2014.

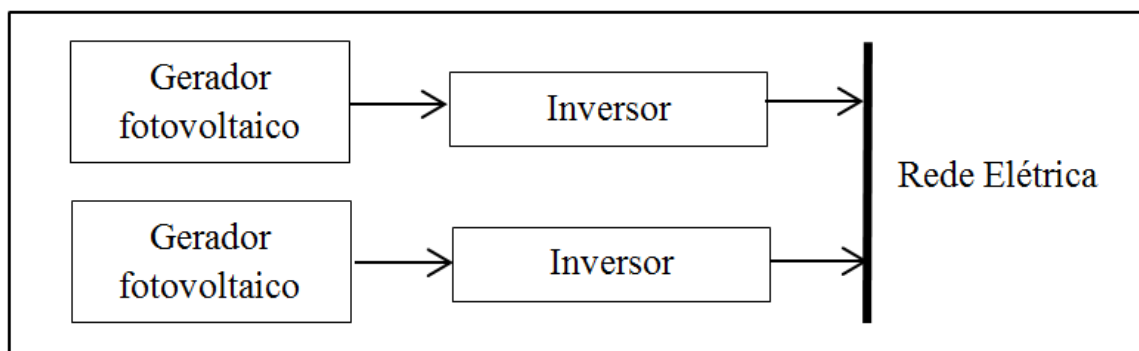
Conforme citado anteriormente, os SFH devido ao uso de múltiplas fontes de energia necessitam de controle operacional e de manutenção, tornando inviável economicamente, principalmente para comunidades localizadas em regiões isoladas.

3.3.4 Sistemas Fotovoltaicos Conectados a Rede

Os sistemas conectados a rede (SFCR) foram inseridos ao contexto de geração fotovoltaica no final da década de 1990, onde antes era empregado apenas o uso de sistemas isolados (ZILLES et al., 2012).

Os SFCR são aqueles onde a energia gerada é entregue diretamente a rede elétrica a qual esta conectada, onde a geração fotovoltaica tem como objetivo complementar a oferta de energia elétrica, para isso, há necessidade de um inversor de corrente para que seja garantida a segurança do sistema e que não haja a degradação do sistema elétrico ao qual interliga o sistema o gerador fotovoltaico (CEPEL-CRESESB, 2014). A Figura 10 ilustra o esquema simplificado de um SFCR.

Figura 10 - Esquema simplificado de um SFCR.



Fonte: Adaptado de CEPTEL-CRESESB, 2014.

A regulamentação desse tipo de sistema veio por meio da Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012, da ANEEL que estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração⁶ e minigeração⁷ distribuída aos sistemas de geração de energia elétrica. A resolução, atualmente diz que se caso faltar energia na rede de distribuição o SFCR para de funcionar.

A resolução 482/2012 trás também o sistema de compensação de energia elétrica, a Aneel (2012b) o define como sendo:

Sistema no qual a energia ativa injetada por unidade consumidora com microgeração distribuída ou minigeração distribuída é cedida, por meio de empréstimo gratuito, à distribuidora local e posteriormente compensada com o consumo de energia elétrica ativa dessa mesma unidade consumidora ou de outra unidade consumidora de mesma titularidade da unidade consumidora onde os créditos foram gerados, desde que possua o mesmo Cadastro de Pessoa Física (CPF) ou Cadastro de Pessoa Jurídica (CNPJ) junto ao Ministério da Fazenda.

O sistema de compensação refere-se à energia gerada por um sistema na UC que será cedida a título de empréstimo a rede e compensada pelo consumo da própria UC, tendo até 36 meses para consumir esse crédito em quantidade de energia ativa (ANEEL, 2012b).

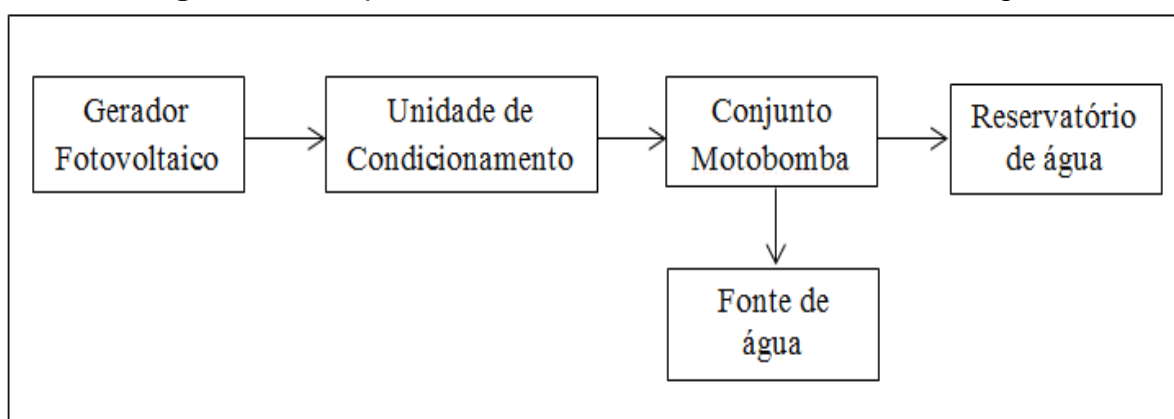
⁶ Central geradora de energia elétrica, com potência instalada menor ou igual a 100 kW e que utilize fontes com base em energia hidráulica, solar, eólica, biomassa ou cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras (ANEEL, 2012b).

⁷ 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 (ANEEL, 2012b).

3.3.5 Sistema de Bombeamento de Água

Segundo o CEPEL-CRESESB (2014), um Sistema Fotovoltaico de Bombeamento (SBFV) é constituído por um gerador de potência, dispositivo de condicionamento de potência, feitos por controlador de bomba e inversor de corrente, conjunto motobomba que é composto por uma bomba hidráulica acionada por um motor elétrico, e um reservatório de água, esse sistema pode visualizado, de forma esquematizada na Figura 11.

Figura 11 - Esquema de um sistema de bombeamento de água



Fonte: Adaptado de CEPEL-CRESESB, 2014.

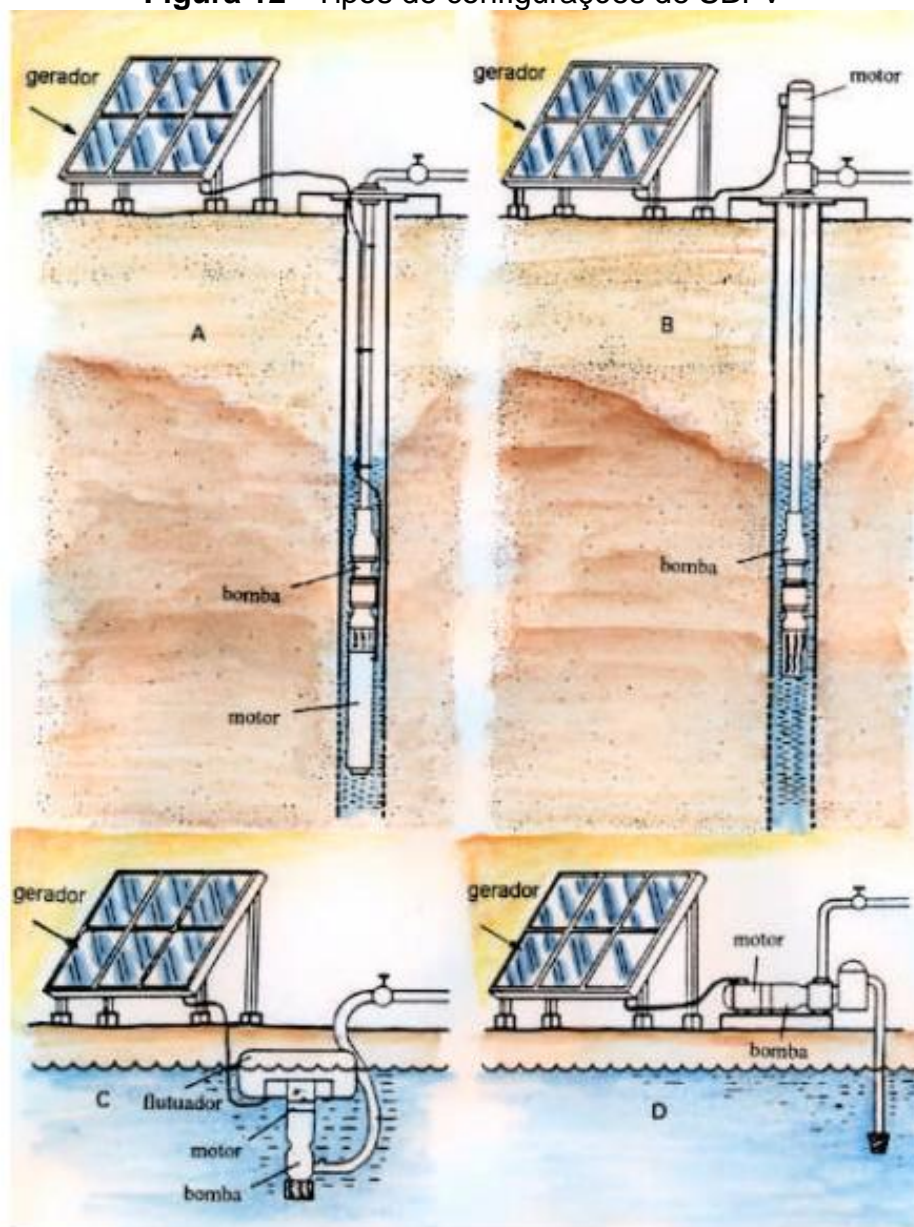
Os SBFV diferentes dos sistemas de geração de energia elétrica, geralmente não utilizam baterias como unidade de armazenamento de potência, só quando o conjunto motobomba faz parte das cargas atendidas por um SFI convencional (CEPEL-CRESESB, 2014).

A água é bombeada pelo motobomba e armazenada em reservatórios, para posterior utilização, onde os reservatórios são projetados para atender a uma determinada autonomia de dias, da mesma forma que as baterias (CEPEL-CRESESB, 2014). Os reservatórios substituem as baterias de forma que a energia elétrica anteriormente gerada pelos módulos fotovoltaicos era consumidas e/ou armazenadas para posteriormente serem usadas, agora é consumida pelo conjunto motobomba, armazenando a água em reservatórios elevados em forma de energia potencial.

Fedrizzi (1997) comenta que a quatro configurações utilizadas em sistemas de bombeamento fotovoltaico pode ser visualizado pela Figura 12, que são motobomba suspenso (A), bomba suspensa e motor em superfície (B), essas duas

configurações são mais empregadas para bombeamento de águas subterrâneas, as configurações empregadas à águas superficiais são os motobombas flutuantes (C) e motobomba em superfície (D).

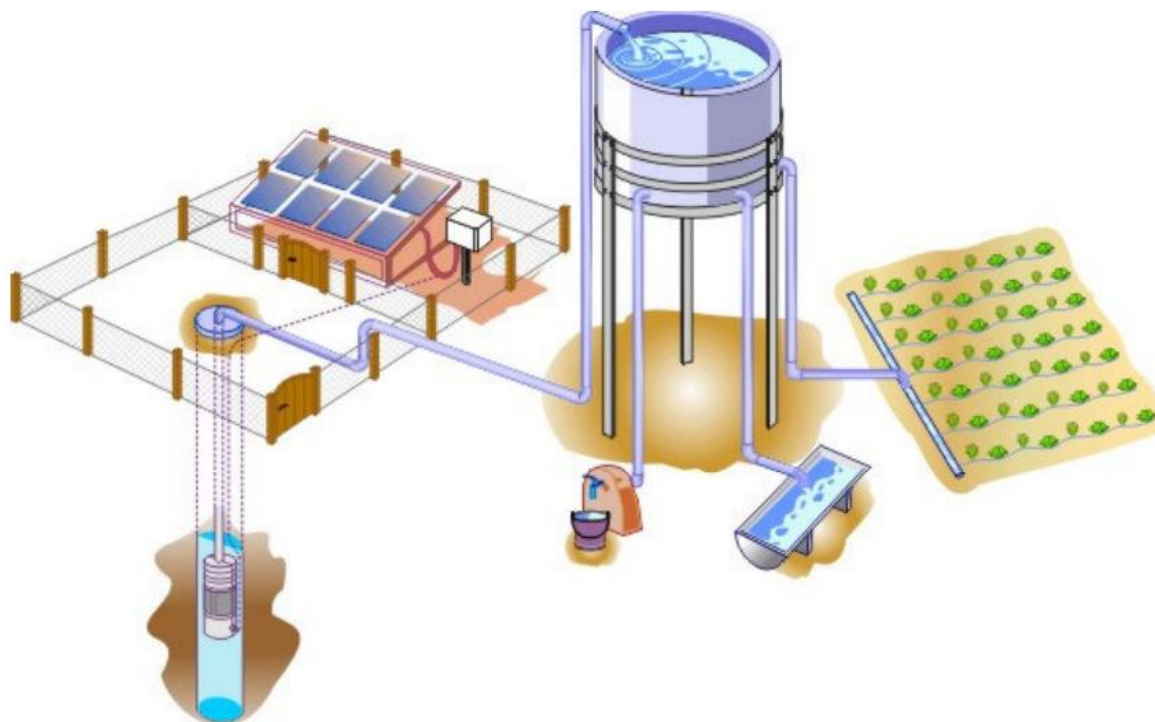
Figura 12 - Tipos de configurações de SBFV



Fonte: FEDRIZZI, 1997.

Os SBFV são frequentemente empregados no abastecimento residencial, para pequenas comunidades, consumo animal e para a irrigação de diversas culturas, conforme ilustrado na Figura 13.

Figura 13 - Sistema fotovoltaico de bombeamento para elevação de água com aplicações para consumo humano, animal e irrigação.



Fonte: MORALES, 2011.

3.4 USINAS DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA POR EFEITO FOTOVOLTAICO DO BRASIL

Atualmente, o Brasil apresenta 147 empreendimentos de geração de energia solar fotovoltaica em operação (ANEEL, 2014). Segundo o CEPEL-CRESESB (2014) as usinas fotovoltaicas podem atingir potências da ordem de MWp, podendo ser operados por produtores independentes e sua conexão com a rede elétrica é feita com tensões médias (13,8 ou 34,5V).

A usina de Taiuá, apresentada na Figura 14, tem 5.000 kW de potência outorgada, mas atualmente tem capacidade de geração de 1.000 kW, localizada no município de Tauá no Ceará, a usina é de propriedade da MPX Tauá Energia Solar Ltda, entrando em operação em julho de 2011. A usina conta com 4.680 módulos fotovoltaicos de silício policristalino de 215 Wp, 9 inversores de 100 kWp e injeta energia a Coelce (Companhia Energética do Ceará) (CEPEL-CRESESB, 2014).

Figura 14 - Usina de Taiuá



Fonte: CEPEL-CRESESB, 2014.

A usina fotovoltaica de Tanquinho, é outro exemplo de usina instalada no Brasil, pela Companhia Paulista de Força e Luz (CPFL), implantada na área da bustestação de Tanquinho da CPFL. Segundo a ANEEL (2014), a usina tem uma potência de geração de 1.082 kW. A Figura 15 apresenta a usina de Tanquinho.

Figura 15 - Usina fotovoltaica de Tanquinho



Fonte: CEPEL-CRESESB, 2014.

Outra grande usina fotovoltaica, é a usina MEGAWATT SOLAR que segundo a ANEEL (2014) é capaz de gerar 1.015,28 kW de potência, localizada em Florianópolis, Santa Catarina, de propriedade da Eletrosul Centrais Elétricas S/A.

A MEGAWATT SOLAR, apresentada na Figura 16, consiste na implantação de um sistema fotovoltaico ligado ao edifício sede da Eletrosul, utilizando a área do telhado e dos estacionamentos entorno do prédio e conectado a rede, é o primeiro

prédio público com uma planta fotovoltaica conectada a sua edificação (ELETROSUL, 2014).

Figura 16 - Usina MEGAWATT SOLAR



Fonte: AMÉRICA DO SOL, 2014.

4. METODOLOGIA

O trabalho foi desenvolvido no âmbito do Laboratório de Pesquisa em Ciências Ambientais (LAPECA), do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental (DESA) localizados no Centro de Ciências e Tecnologia (CCT) da Universidade Estadual da Paraíba (UEPB).

A metodologia desse trabalho consiste no levantamento bibliográfico de todos os incentivos e regulamentação ao uso de sistemas fotovoltaicos no Brasil no período de 1994 aos dias atuais, tendo em vista que em 1994 foi criado o primeiro grande programa em âmbito nacional de eletrificação, utilizando como uma das fontes a energia solar fotovoltaica.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 PROGRAMA DE DESENVOLVIMENTO ENERGÉTICO DE ESTADOS E MUNICÍPIOS

Sabendo que há comunidades isoladas que não são beneficiadas com o fornecimento de energia elétrica pelo sistema convencional, o governo brasileiro criou através do decreto presidencial de 27 de dezembro de 1994 o Programa para Desenvolvimento Energético dos Estados e Municípios (PRODEEM) desenvolvido pelo governo federal com o intuito de suprir as necessidades elétricas de comunidade rurais de baixa renda distantes da rede elétrica convencional de distribuição. Esse programa é coordenado pelo Departamento Nacional de Desenvolvimento Energético (DNDE) do Ministério de Minas Energia (MME), tendo o Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (CEPEL)⁸ dando o suporte técnico necessário para a operação e manutenção dos sistemas usados. Segundo Galdino e Lima (2002), o PRODEEM também contava em seu organograma com um Agente Regional em cada estado brasileiro, normalmente um funcionário público auxiliado por uma pequena equipe. O Agente Regional tinha o papel de realizar o levantamento das comunidades rurais e identificação das suas necessidades, pela apresentação de propostas de projetos ao MME, que liberavam os SFV de acordo com a ordem de chegada das solicitações e com a disponibilidade dos equipamentos.

Esse programa foi à primeira iniciativa governamental para o uso da energia solar fotovoltaica no Brasil. Teve como objetivo complementar a oferta de energia elétrica dos sistemas convencionais, devido ao alto custo da extensão das redes de transmissão, a fatores como a vegetação, grandes distâncias e rios, com isso esse serviço seria inviável devido ao baixo consumo dessas comunidades, tornando a geração de energia através de sistemas isolados.

O decreto que criou o PRODEEM em seu texto prevê a instalação de microssistemas energéticos de produção locais, em comunidades isoladas não servidas por rede elétrica, promovendo o aproveitamento das fontes renováveis de energia, como a energia solar fotovoltaica, onde os sistemas fornecidos pelo

⁸ Companhia estatal localizada no rio de janeiro, subsidiária da ELETROBRAS.

programa eram destinadas as demandas sociais básicas e aplicações públicas e comunitárias como em escolas, postos de saúde, bombeamento de água, entre outros, beneficiando as comunidades e melhorando sua qualidade de vida. Segundo Galdino e Lima (2002), três tipos de sistemas fotovoltaicos autônomos eram empregados no PRODEEM: Sistemas fotovoltaicos de geração de energia elétrica, sistemas fotovoltaicos de bombeamento d'água e sistemas fotovoltaicos de iluminação pública.

Ainda segundo Galdino e Lima (2002), os sistemas de geração de energia elétrica eram destinadas a eletrificação de estabelecimentos como postos de saúde, escolas, igrejas, centros comunitários, posto telefônicos, postos policiais. Os sistemas de geração de energia eram compostos por módulos fotovoltaicos com estrutura de fixação, baterias, controladores de carga, inversores e luminárias, os outros equipamentos como televisores, refrigeradores entre outros, eram obtidos por outras fontes (Prefeituras Municipais, Governos Estaduais, ou até mesmo outros programas do Governo Federal).

Os sistemas de bombeamento de água destinavam-se a suprir a demanda de água para consumo humano, admitindo-se o uso em pequena quantidade para consumo animal e pequena irrigação (horta comunitária), os equipamentos fornecidos desse tipo de sistema incluía módulos fotovoltaicos com estruturas de fixação e bombas d'água, e se necessários, também era fornecido inversor, controlador, cabos elétricos submersíveis e válvulas de retenção. Outros equipamentos como tubulações e conexões hidráulicas, condutores elétricos, reservatórios não eram fornecidos pelo PRODEEM, ficando aos Agentes Regionais a responsabilidade de providenciarem localmente esses materiais. Baterias não eram fornecidas pelo PRODEEM, onde o bombeamento deveria ser de forma direta, sem nenhuma forma de armazenamento de energia elétrica.

Os sistemas fotovoltaicos de iluminação públicos fornecidos eram semelhantes aos sistemas convencionais instalados em postes de vias públicas, só que usavam lâmpadas fluorescentes, onde foi especificado dois tipos de sistemas, um com lâmpada compacta de 11W e outro com duas lâmpadas, os sistemas incluíam módulos fotovoltaicos com ferragem de fixação, lâmpadas/luminárias, baterias, controladores de carga e dispositivo para acendimento automático em

função da iluminação ambiente, operando 12 horas por dia e com uma autonomia de 2 dias.

A ação do PRODEEM estava direcionada para a implementação dos subprogramas de desenvolvimento social, desenvolvimento econômico, complementação da oferta de energia e a base tecnológica e industrial (CRESESB, 1996).

Segundo CRESESB (1996), o subprograma de desenvolvimento social (PRODEEM/Social) visava à instalação de microssistemas de geração de energia para comunidades difusas não servidas pela rede elétrica, apoiando de forma sistemática e permanente o atendimento das demandas sociais básicas como água potável, educação, saúde, saneamento, produção de alimentos, já o subprograma de desenvolvimento econômico (PRODEEM/econômico) tinha como objetivo o aproveitamento das fontes de energias renováveis descentralizadas, possibilitando o atendimento às demandas ligadas a atividades produtivas, favorecendo o aumento de renda e agregação de valor aos produtos rurais.

Ainda de acordo com o CRESESB (1996), o subprograma de complementação da oferta de energia (PRODEEM/Complementar) visava a produção complementar de energia por meio de fontes renováveis descentralizadas, destinada a todos os consumidores, utilizando sistemas individuais ou coletivos e complementando a energia das redes já existente. Por último, o subprograma base tecnológica e industrial que tinha como objetivo a promoção do desenvolvimento das tecnologias de sistemas de geração de energia não convencionais e a capacitação do recurso humano para a instalação, operação e manutenção desses sistemas. O CRESESB (1996, p. 4) ainda ressalta que:

A implantação do PRODEEM contribuiu para a o desenvolvimento tecnológico nacional na área de fontes renováveis de energia, atuando de modo coordenado com os centros de pesquisa e universidades brasileiras e, sobretudo com o Centro de Pesquisa de Energia Elétrica – CEPEL na busca de soluções que promova a redução de custos e o aumento da eficiência dos sistemas.

CRESESB (2002) diz que num período de sete anos o MME realizou seis licitações internacionais para a aquisição de equipamentos necessários a implantação dos sistemas isolados do PRODEEM, onde cada licitação corresponde a uma fase do programa, cinco fases de geração de energia (Fases I, II, III, IV e V) e

uma fase especial chamada de bombeamento. A Tabela 2 apresenta a potência instalada e o número de sistemas fotovoltaicos fornecidos pelo PRODEEM em suas respectivas fases até 2002.

Tabela 2 - Distribuição dos sistemas e de potência nas Fases do PRODEEM.

Fases		I	II	III	Bomb.	IV	V	TOTAL
Sistemas de geração de energia	Qtd	190	387	677	-	1660	3000	5914
	kWp	87	200	419	-	972	2172	3850
Sistema de bombeamento d'água	Qtd	54	179	176	800	1240	-	2449
	kWp	78	211	135	235	696	-	1355
Sistema de iluminação pública	Qtd	137	242	-	-	-	-	379
	kWp	7,5	17	-	-	-	-	24,5
Qtd: quantidades – kWp: potência fotovoltaica						TOTAL	Qtd	8742
							kWp	5209,5

Fonte: GALDINO e LIMA, 2002.

A fase intitulada de bombeamento, segundo Galdino e Lima (2002) foi uma fase extraordinária, executada mediante a uma seca severa ocorrida na região nordeste, compreendendo apenas a 800 sistemas fotovoltaicos de bombeamento de água.

Em 2002 um novo programa nacional foi criado, o Programa de Incentivo as Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA), criada no âmbito do MME pela lei nº 10.438 de 26 de abril de 2002, posteriormente revisada pela lei nº 10.762 de 11 de novembro de 2003.

Segundo Varella et al. (2008 apud PORTO, 2007), o PROINFA não contempla a geração de energia por sistema fotovoltaicos, mas em seu texto há um dispositivo sobre a utilização dos recursos da Reserva Global da Reversão (RGR)⁹, fazendo com que mais tarde o programa Luz para Todos (LPT) utilizasse seus recursos.

⁹ A RGR é usada para financiar o Luz Para Todos, além de projetos de eficiência energética, no âmbito do Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (Procel). Os aportes da RGR, fundo setorial criado em 1957 pelo Decreto nº 41.019, também são direcionados a obras de melhoria e expansão do sistema elétrico, nas áreas de geração, transmissão e distribuição de energia (ELETROBRAS, 2014).

Ainda segundo Varella et al. (2008) no mesmo ano de criação do PROINFA, o Tribunal de Contas da União (TCU) elaborou um relatório de auditoria, de cunho operacional, para analisar os objetivos estratégicos do PRODEEM.

As principais constatações da auditoria foram o descontrole patrimonial, a baixa integração com outros programas públicos, o reduzido envolvimento das comunidades beneficiadas e a baixa participação da tecnologia e da indústria nacional (CRESESB, 2004). O relatório resultou na aprovação do acordo TCU 589/03 recomendando uma reestruturação do programa e determinou que houvesse a implantação do controle patrimonial. Em 2003 teve início o processo de concepção do Plano de Revitalização e Capacitação (PRC) dando uma “nova identidade” ao programa.

O foco do PRC era atender a 14 recomendações e a 8 determinações do acordo do TCU, cumprir a missão para qual o PRODEEM foi concebido que é viabilizar a provisão de serviços energéticos para populações não atendidas pela rede elétrica convencional, utilizando fontes de energia descentralizadas e renováveis, e por último, inserir gradualmente o PRODEEM no LPT (VIEIRA, 2005).

Vieira (2005) ressalta que as diretrizes para implantação do PCR é o contínuo comprometimento do MME perante o acordo do TCU, a migração do PRODEEM para o LPT, o LPT deverá considerar nas suas prioridades de atendimento as localidades que têm sistemas do PRODEEM. Iniciar uma série de reuniões coordenadas pelo LPT, com as concessionárias para discutir a cessão de uso dos sistemas PRODEEM, estruturação dos recursos humanos, e por último, a constituição de grupo de trabalho para compatibilizar e detalhar a operacionalização da integração PRC-LPT.

5.2 PROGRAMA LUZ PARA TODOS

O Programa Luz para Todos (LPT) também conhecido como Programa Nacional de Universalização do Acesso e Uso da Energia Elétrica, instituído pelo Decreto nº 4.873 de 11 de novembro de 2003, foi elaborado pelo governo federal com o objetivo de fornecer energia elétrica para mais de 10 milhões de pessoas no meio rural, até o ano de 2008, e acabar com a exclusão de energia elétrica em todo o país (MME, 2014). Coordenado pelo MME e operacionalizado com a participação

das Centrais Elétricas Brasileiras S.A. (ELETROBRAS) e das empresas que compõem o sistema ELETROBRÁS (BRASIL, 2003).

No entanto, o programa foi prorrogado até o ano de 2010 pelo Decreto nº 6.422 de 25 de abril de 2008, que tinha como objetivo atender as novas demandas, provenientes do crescimento vegetativo, fixação e retorno de famílias no campo (LUZ PARA TODOS, 2008).

No ano de 2010, mais uma vez prorroga o programa, pelo decreto nº 7.324, o objetivo da prorrogação era permitir que as obras contratadas fossem executadas e as famílias inscritas no programa fossem atendidas (LUZ PARA TODOS, 2010). Então, conforme inscrito no decreto nº 7.324 de 5 de outubro de 2010, que dá nova redação ao artigo 1º do decreto nº 4.873, de 11 de novembro de 2003 que institui o programa, tem-se:

Fica prorrogado o prazo de execução do Programa “LUZ PARA TODOS” até 31 de dezembro de 2011, com o objetivo de garantir a finalização das ligações destinadas ao atendimento em energia elétrica, que tenham sido contratadas ou estejam em processo de contratação, até 30 de outubro de 2010.

No ano seguinte, em 2011, foi lançado um novo decreto que institui o Programa Nacional de Universalização do Acesso e Uso da Energia Elétrica, o Luz Para todos, para o período de 2011 a 2014. Então, o decreto nº 7.520, de 8 de junho de 2011 vem para lançar segunda fase do Luz para todos.

Segundo o LUZ PARA TODOS (2011), a nova fase do programa beneficiará as pessoas domiciliadas em áreas de concessão e permissão cujo atendimento resulte em elevado impacto tarifário, de acordo com critérios a serem definidos pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) e às pessoas atendidas pelo Programa Territórios da Cidadania¹⁰ ou pelo Plano Brasil Sem Miséria¹¹. Além desses, ainda serão beneficiados segundo Brasil (2011):

Assentamentos rurais, comunidades indígenas, quilombolas e outras comunidades localizadas em reservas extrativistas ou em áreas de empreendimentos de geração ou transmissão de energia elétrica, cuja

¹⁰ O Programa Territórios da Cidadania tem como objetivos promover o desenvolvimento econômico e universalizar programas básicos de cidadania por meio de uma estratégia de desenvolvimento territorial sustentável. A participação social e a integração de ações entre Governo Federal, estados e municípios são fundamentais para a construção dessa estratégia (TERRITÓRIOS DA CIDADANIA, 2014).

¹¹ Em 2 de junho de 2011, o Governo Federal lançou, por meio do Decreto nº 7.492, o Plano Brasil Sem Miséria (BSM) com o objetivo ambicioso de superar a extrema pobreza até o final de 2014 (BRASL SEM SÉRIA, 2014).

responsabilidade não seja do respectivo concessionário, e as escolas, postos de saúde e poços de água comunitária.

O Luz para Todos tem como meta atender 2,5 milhões de famílias brasileiras residentes da zona rural, fornecendo o serviço de energia elétrica a 12 milhões de pessoas, com isso o programa é considerado o mais ambicioso no mundo (ELETROBRÁS, 2014).

Para atender a toda a população, o Governo Federal destina recursos provenientes de fundos setoriais de energia - a Conta de Desenvolvimento Energético (CDE)¹² e a RGR, o restante do investimento é partilhado entre governos estaduais e as empresas distribuidoras de energia elétrica (LUZ PARA TODOS, 2014).

O programa contempla o atendimento das demandas no meio rural através de alternativas de fornecimento, como a extensão de rede, sistemas de geração descentralizada com redes isoladas e sistemas de geração individuais (LUZ PARA TODOS, 2014).

A lei nº 12.111, de 9 de dezembro de 2009, que dispõe sobre os serviços de energia nos Sistemas Isolados, que para o CEPEL-CRESESB (2014) é um marco para a universalização do atendimento de energia elétrica, pois autoriza a utilização de subsídio governamental para reembolsar o custo de geração de energia, incluindo investimentos e custos de operação e manutenção de qualquer sistema elétrico, agora não só de fontes fósseis, para o atendimento de áreas isoladas ao Sistema elétrico Interligado Nacional (SIN)¹³, assegurando recursos para a universalização do atendimento de energia mesmo com a extinção do LPT.

5.3 PROGRAMA BRASILEIRO DE ETIQUETAGEM

Diante da discussão de um consumo consciente de energia elétrica foi criado o Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), coordenado pelo Instituto Nacional de

¹² Criada em 26 de abril de 2002 pela Lei nº 10.438, a CDE é gerida pela ELETROBRAS, cumprindo programação determinada pelo Ministério de Minas e Energia, é destinada à promoção do desenvolvimento energético dos estados, a projetos de universalização dos serviços de energia elétrica, entre outros projetos (ELETROBRAS, 2014).

¹³ O SIN é um sistema de coordenação e controle, formado por empresas do Sul, Sudeste, Centro-Oeste, Nordeste e parte da região Norte, que congrega o sistema de produção e transmissão de energia elétrica do Brasil é um sistema hidrotérmico de grande porte, com forte predominância de usinas hidrelétricas e com múltiplos proprietários.

Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO) tem como objetivo fornecer informações que influenciam na decisão de compra dos consumidores, que podem levar em conta outros fatores, além do preço na hora da aquisição dos produtos, com isso estimular a competitividade da indústria através da indução do processo de inovação e desenvolvimento tecnológico dos produtos, promovendo cada vez mais o desenvolvimento de aparelhos que consomem menos energia.

O PBE está vinculado com a lei 10.295 de 17 de outubro de 2001, conhecida como a lei de eficiência energética, onde esta lei estabelece que os fabricantes de máquinas e fabricantes de aparelhos que consomem energia devem adotar medidas para obedecer aos níveis máximos de consumo de energia e mínimos de eficiência energética, com isso o Decreto 4059 de 19 de dezembro de 2001, veio para regulamentar à lei, onde diz que o INMETRO é responsável pela fiscalização e pelo acompanhamento dos programas de avaliação de conformidade desses aparelhos a serem regulamentados.

A etiquetagem de sistemas fotovoltaicos foi implementado no PBE em caráter compulsório por meio da portaria do INMETRO nº 004, de 4 de janeiro de 2011, objetivando estabelecer regras para os equipamentos de geração de energia fotovoltaica (INMETRO, 2014). Em anexo a portaria, estão os Requisitos de Avaliação da Conformidade (RAC) para sistemas e equipamento fotovoltaicos, onde tem como objetivo estabelecer critérios para o Programa de Avaliação de Conformidade através do mecanismo da etiquetagem para a utilização da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) atendendo ao PBE, além disso, o RAC estabelece os prazos de adequação, documentação de referência, definições, etapas, instruções para o registro no INMETRO, bem como as obrigações e responsabilidades dos fornecedores dos equipamentos.

A ENCE tem como objetivo informar a eficiência energética e/ou desempenho dos produtos que pretendem adquiri-lo, sabendo que seu uso está subordinado a autorização do INMETRO, então a etiquetagem consiste no atendimento aos requisitos estabelecidos pelo RAC e comprovados em ensaio de laboratório pelo INMETRO através dos relatórios de ensaios emitidos pelos laboratórios credenciados, após a comprovação por parte do INMETRO o fabricante deverá requisitar o registro. O registro explicita a responsabilidade do fabricante, facilita e agiliza o acompanhamento do equipamento no mercado e faz com que haja o efetivo

controle dos equipamentos com conformidade avaliada de forma compulsória, e para serem comercializados os fabricantes necessitam desse registro do INMETRO, conforme a resolução nº 005, de maio de 2008. Em um SFV, estão passíveis de etiquetagem: os módulos fotovoltaicos, inversores, controladores de carga e baterias (INMETRO, 2014).

A ENCE é um selo de conformidade que classifica os equipamentos, veículos e edifícios em faixas coloridas, em geral de “A” para os mais eficientes a “E” para os menos eficientes, e fornece outras informações relevantes. Para os módulos fotovoltaicos RAC, diz que a classe de eficiência energética (A a E) dos módulos fotovoltaicos de silício monocristalino e policristalino, e para os de filmes finos deve ser determinada pelas Tabelas 3 e 4, respectivamente.

Tabela 3 – Classificação dos módulos de silício monocristalino e policristalino por eficiência

Classe de Eficiência Energética
A > 13,5%
13% < B > 13,5%
12% < C > 13%
11% < D > 12%
E < 11%

Fonte: INMETRO, 2011.

Tabela 4 - Classificação dos módulos de filmes finos por eficiência

Classe de Eficiência Energética
A >9,5%
7,5% < B > 9,5%
6,5% < C > 7,5%
5,0% < D > 6,5%
E < 5%

Fonte: INMETRO, 2011.

A etiqueta para os módulos fotovoltaicos apresentam toda uma descrição das características do aparelho e deve ser afixada na superfície posterior do módulo, como ilustra a Figura 17.

Figura 17 - Modelo da ENCE para módulo



Energia (Elétrica)		MÓDULO FOTOVOLTAICO	
Fabricante		ABCDEF	Indica o nome do fabricante
Marca		XYZ(Logo)	Indica a marca comercial (ou logomarca)
Modelo		XPQOPT	Indica o modelo do módulo
Mais eficiente		A	Indica a letra (A, B, C, D ou E) correspondente à eficiência energética do módulo, em alinhamento com a seta correspondente.
	A		
	B		
	C		
	D		
Menos eficiente			
EFICIÊNCIA ENERGÉTICA (%)		XYZ	Indica a eficiência máxima nas condições padrão (STC)
Área Externa do Módulo (m ²)		0,00	Indica a área externa do módulo, em m ²
Produção Média Mensal de Energia (kWh/mês)		0,00	Indica a Produção Média de Energia (kWh/mês)
Potência nas Condições Padrão (W)		0,00	Indica a Potência nas condições padrão (W)
<small>Resultado de Avaliação de Conformidade para Sistemas e Equipamento para Energia Fotovoltaica</small> <small>Instruções de instalação e recomendações de uso. Leia o Manual de aparelho</small>			
<small>PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA</small>			
<small>IMPORTANTE: A REMOÇÃO DESTA ETIQUETA ANTES DA VENDA ESTÁ EM DESACORDO COM O CÓDIGO DE DEFESA DO CONSUMIDOR</small>			

Fonte: Adaptado de INMETRO (2011)

O CEPEL-CRESESB (2014) relata que na prática a eficiência dos módulos fotovoltaicos geralmente não é um fator importante no projeto de sistemas fotovoltaicos, só sendo levado em conta em projetos que tem limitação em área disponível para a instalação dos módulos.

As baterias comercializadas para sistemas fotovoltaicos no Brasil devem conter a ENCE do INMETRO. O âmbito de aplicação da etiquetagem pela portaria do INMETRO nº 004/2011, envolve as baterias estacionárias de baixa densidade alcalinas de chumbo-ácido ou de níquel-cádmio, para a aplicação fotovoltaica, excluindo as baterias automotivas e de tração. A Figura 18 apresenta o modelo de ENCE fornecida pelo INMETRO que deve ser afixada no próprio produto.



Figura 18 - Modelo de ENCE para baterias

LOGOMARCA E INFORMAÇÕES DO FORNECEDOR DO PRODUTO	
TIPO (Tecnologia da bateria)	
MODELO (Código comercial)	CAPACIDADE NOMINAL (120h até 1,80Vpe* @ 25°C) XXXX Ah
TENSÃO NOMINAL XX V	NÚMERO DE CICLOS (Conforme RAC nº 013) XXXX
Regulamento de Avaliação da Conformidade para Sistemas e Equipamentos para Energia Fotovoltaica - RAC/013-FOT - Bateria	
 PROCEL	PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA
 INMETRO	
ESTE PRODUTO TEM SEU DESEMPENHO APROVADO PELO INMETRO E ESTÁ EM CONFORMIDADE COM O PROGRAMA BRASILEIRO DE ETIQUETAGEM	
*1,00Vpe para bateria Ni-Cd	Unidade: mm

Fonte: INMETRO, 2011

A ENCE para controladores de carga e inversores comercializados no Brasil deve estar afixada no próprio produto. Na Figura 19 pode ser observado a ENCE para esses equipamentos.

Figura 19 - Modelo da ENCE para Controlador de Carga e Inversor

Requisitos de Avaliação da Conformidade para Sistemas e Equipamentos para Energia Fotovoltaica - Controlador	
 PROCEL	PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA
 INMETRO	
ESTE PRODUTO TEM SEU DESEMPENHO APROVADO PELO INMETRO E ESTÁ EM CONFORMIDADE COM O PROGRAMA BRASILEIRO DE ETIQUETAGEM	

Fonte: INMETRO, 2011

5.4 PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

O Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL) foi criado em dezembro de 1985 pelos Ministérios de Minas e Energia e da Indústria e Comércio, e gerido por uma Secretaria-Executiva subordinada à ELETROBRAS. Só em 18 de julho de 1991, o PROCEL foi transformado em programa de governo. O

programa utiliza recursos da ELETROBRAS da RGR e de entidades internacionais (PROCEL, 2014a).

Segundo o PROCEL (2014a), “O objetivo do PROCEL é promover a racionalização da produção e do consumo de energia elétrica, para que se eliminem os desperdícios e se reduzam os custos e os investimentos setoriais”.

Dentro desse programa há o Selo PROCEL ELETROBRAS que foi instituído pelo Decreto presencial de 8 de dezembro de 1993. Segundo o PROCEL (2013), o selo tem por objetivo identificar os produtos que tenham os melhores níveis de eficiência energética em uma dada categoria de equipamentos, incentivando os consumidores a adquirir e utilizar produtos mais eficientes.

Para os SFV, os equipamentos passíveis de receber o Selo PROCEL ELETROBRAS são os módulos fotovoltaicos, inversores e baterias (PROCEL, 2010). A avaliação das características dos sistemas e equipamentos para energia fotovoltaica, segundo os critérios para a concessão do selo é o da etiquetagem através do PBE, então para adquirir o Selo PROCEL ELETROBRAS o produto deve submetido as fases de concessão da ENCE, de acordo como o RAC para sistemas e equipamentos para energia fotovoltaica. Após a conclusão dos ensaios, o fabricante deve encaminhar ao PROCEL o relatório de ensaio do equipamento e a documentação necessária, a autorização do uso do Selo só se dará depois de cumprida todas as exigências estabelecidas em regulamento específico do PROCEL e depois da inclusão do modelo aprovado na lista de equipamentos contemplados com o Selo publicada na página eletrônica do programa. Anualmente, o PROCEL promove a reavaliação dos sistemas e equipamentos de energia fotovoltaica através do acompanhamento da produção prevista no RAC específico, verificando se o equipamento permanece com as características e desempenho válidos, para que possa manter a autorização do uso do Selo. A Figura 20 apresenta o Selo PROCEL ELETROBRAS aplicado aos módulos fotovoltaicos que segundo o PROCEL (2014b) deve ter no mínimo 22 cm de altura, mas o fabricante pode optar em Selos com formato maiores desde que sejam mantidas as propriedades e proporções estabelecidas pelo PROCEL.

Figura 20 - Modelo do Selo Procel Eletrobras



Fonte: PROCEL, 2014b.

Segundo o PROCEL (2014b), o Selo PROCEL ELETROBRAS deverá ser produzido em material adesivo e afixado, com destaque, na parte frontal do equipamento, permitindo a perfeita visualização do Selo por parte do consumidor, conforme ilustrado na Figura 21.

Figura 21 - Aplicação do Selo Procel Eletrobras no módulo fotovoltaico



Fonte: PROCEL, 2014b.

Para a obtenção do Selo, os módulos fotovoltaicos devem possuir classificação “A” declarada no processo de etiquetagem, já os inversores e baterias estão em processo de estudo para a determinação desse critério.

Na última atualização feita pelo PROCEL, de janeiro de 2014 em sua lista de módulos fotovoltaicos com Selo mostra 21 modelos de sistemas de 5 fabricantes diferentes apresentando o Selo PROCEL ELETROBRAS, para os outros

equipamentos que compõem o SFV não apresentam fabricantes com modelos registrados (PROCEL, 2014c).

O Selo PROCEL ELETROBAS configura-se em uma importante ferramenta para o combate ao desperdício de energia elétrica, tendo em vista que estimula os fabricantes a cada vez mais aprimorar os produtos, de forma que eles possam melhorar o desempenho energético dos seus equipamentos.

5.5 INCENTIVOS FISCAIS

Os dois impostos que incentivam o uso de alguns equipamentos fotovoltaicos são o Imposto sobre Comercialização de Mercadorias e Prestação de Serviço (ICMS), de competência estadual, e o Imposto sobre Produtos Industrializados (IPI), de competência federal (VARELLA, 2008).

O convênio ICMS 101/97 que foi prorrogado pela última vez pelo convênio ICMS 75/11 até o dia 31 de dezembro de 2015, concede a isenção do ICMS nas operações com equipamentos e componentes para o aproveitamento das energias solar e eólica que especifica. Os equipamentos usados em sistemas fotovoltaicos isentos de ICMS são discriminados na Tabela 5.

Tabela 5 - Equipamentos fotovoltaicos isentos de ICMS

DESCRIMINAÇÃO
Bomba para líquidos, para uso em sistema de energia solar fotovoltaico em corrente contínua, com potência não superior a 2 HP
Gerador fotovoltaico de potência não superior a 750W
Gerador fotovoltaico de potência superior a 750W (não superior a 75kW)
Gerador fotovoltaico de potência superior a 75kW (não superior a 375kW)
Gerador fotovoltaico de potência superior a 375KW
Células solares não montadas
Células solares em módulos ou painéis

Fonte: VARELLA, 2008.

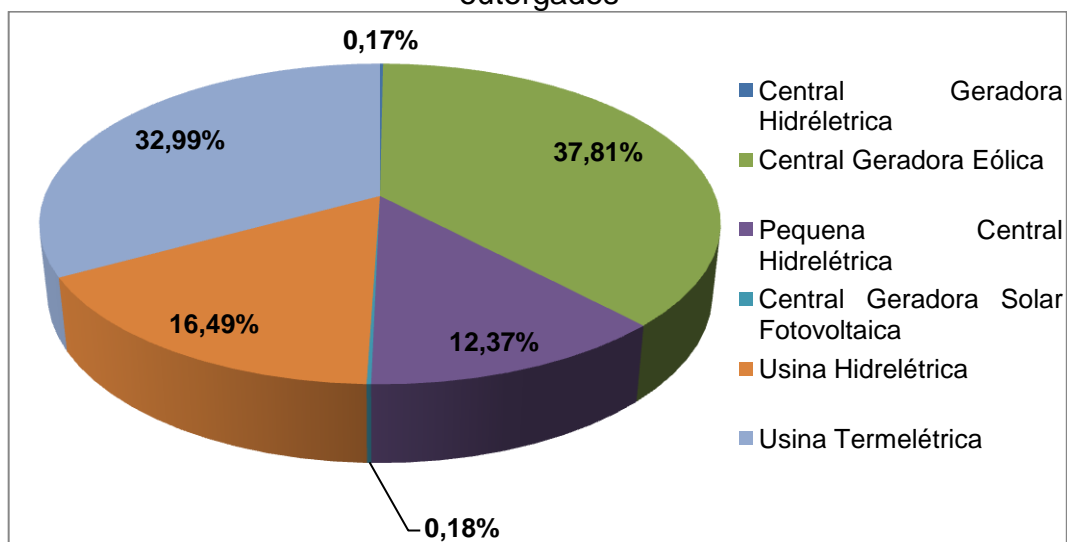
O benefício previsto nesse convênio somente se aplica aos equipamentos que forem isentos ou tributados à alíquota que reduz a zero o IPI sobre os produtos destinados a geração de energia elétrica, através do Decreto nº 7.660, de 23 de dezembro de 2011.

5.6 ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA E SUA PARTICIPAÇÃO NA MATRIZ ELÉTRICA

O Brasil possui no total 3.287 empreendimentos em operação, totalizando 129.638.062 kW de potência instalada, com uma previsão para os próximos anos de uma adição de 36.819.797 kW na capacidade de geração do País, proveniente dos 167 empreendimentos atualmente em construção e mais 607 outorgadas (ANEEL, 2014).

ANEEL (2014) fala que há 147 empreendimentos utilizando fonte fotovoltaica para a geração de energia operando somando uma energia associada de 11.121 kW, e um único empreendimento outorgado com uma potência associada de 30.000 kW. A Figura 22 ilustra a potência atualmente outorgada por tipo de empreendimento de geração para futura expansão da capacidade de geração de energia do Brasil, mas que ainda não iniciaram a construção das usinas, onde a central geradora solar fotovoltaica soma 0,18% do total a ser expandida.

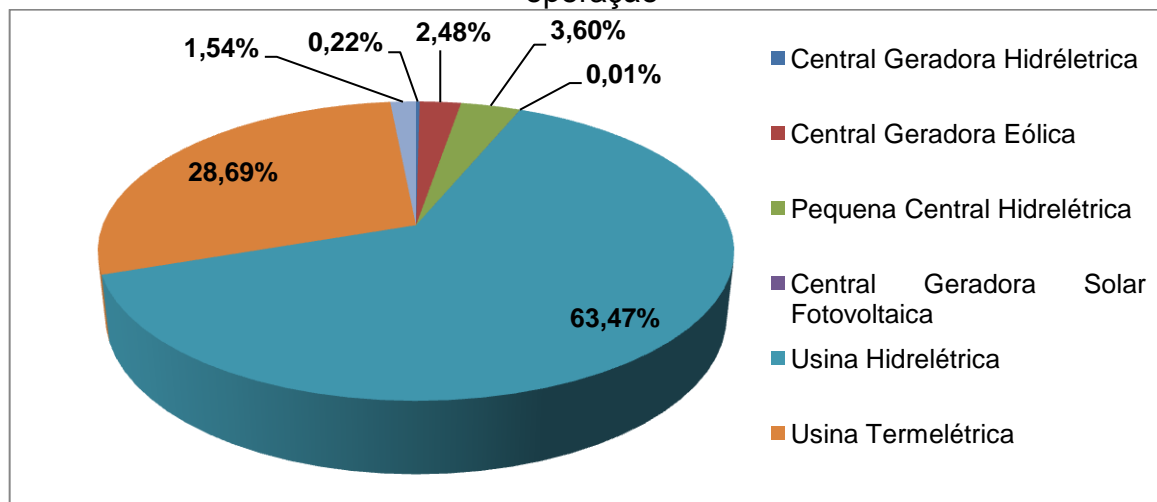
Figura 22 – Potência por tipo de empreendimento de geração de energia outorgados



Fonte: ANEEL, 2014.

A potência atualmente gerada pelo tipo de empreendimento em operação está discriminada na Figura 23, onde a potência gerada pelos 147 empreendimentos de geração solar fotovoltaica somam 0,01% da potência total gerada atualmente no Brasil.

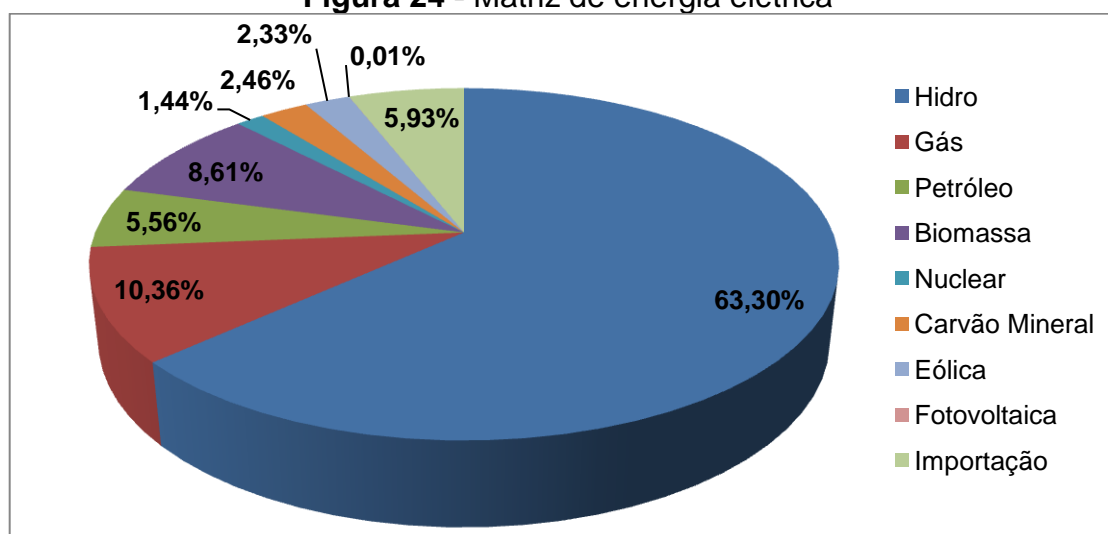
Figura 23 – Potência por tipo de empreendimento de geração de energia em operação



Fonte: ANEEL, 2014.

A matriz de energia elétrica por tipo de fonte de geração de energia é mostrada na Figura 24, onde a fonte fotovoltaica soma 0,01% do total, demonstrando como essa fonte ainda é incipiente no Brasil.

Figura 24 - Matriz de energia elétrica



Fonte: ANEEL, 2014.

Segundo a ABINEE (2012), a fonte solar fotovoltaica vem se tornando uma das tecnologia de geração de eletricidade que mais cresce no mundo, onde a redução nos custo de equipamentos, as novas tecnologias, o grande interesse dos investidores e uma politica de incentivos à geração a partir de energias renováveis explicam esse crescente movimento.

Ainda segundo a ABINEE (2012), a União Europeia responde pela maior parte da produção global de energia elétrica baseada na tecnologia fotovoltaica, e a

Alemanha e Itália são os maiores atores nessa indústria, onde a Alemanha, em 2010, adicionou mais a produção fotovoltaica a sua matriz elétrica que o mundo todo no ano anterior. Fora da Europa, Japão, Estados Unidos e China são os maiores produtores de energia elétrica fotovoltaica do mundo.

A Alemanha é pioneira no uso de *feed-in tariffs*, ou tarifa prêmio, utilizado em todo o mundo como mecanismo de promoção das fontes renováveis na geração de energia elétrica. As tarifas prêmio objetivam acelerar os investimentos em energias renováveis através de contratos de produção de eletricidade tipicamente baseadas no custo de geração de cada tecnologia. Na Índia o programa *Jawaharlal Nehru National Solar Mission* é uma expressiva iniciativa do governo indiano para promover a inserção da fonte fotovoltaica na matriz energética nacional, além de enfrentar os desafios de segurança energética. Esse programa tem como objetivo tornar a Índia um dos líderes mundiais da indústria solar, onde se deverá instalar em sua primeira fase uma potência de 1GW em plantas fotovoltaicas (ABINEE, 2012).

Na China o Programa de incentivo a instalação de plantas fotovoltaicas, foi instituído em 2009, juntamente com o plano para promover a instalação de módulos fotovoltaicos em telhados, chamado de *Solar Roofs Plan*, onde os subsídios seriam da ordem de 50% do valor do investimento em sistemas de geração e em áreas remotas o subsídio poderia chegar aos 70% que se esperava atingir uma capacidade total de 500MW, com o volume de subsídio de 1,6 bilhões de dólares (ABINEE, 2012). Além de todos os exemplos de incentivos de diversos países, se tem os Estados Unidos que são uns dos maiores mercados de energia solar fotovoltaica do mundo e conta com uma diversidade de programas de incentivos, como créditos e incentivos tributários, *net metering* que é uma forma de incentivo que consiste na injeção à rede do excesso de eletricidade gerado pelo consumidor, através de créditos em kWh, similar ao usado pela Resolução Aneel nº 482 de 2012, mecanismo de tarifa prêmio entre outros incentivos.

Os exemplos de incentivo a nível mundial citados, e depois do levantamento dos nacionais se pode perceber que o uso da fonte fotovoltaica é incipiente em relação a iniciativas de todo o mundo, onde a inserção dessa fonte na matriz elétrica é uma realidade.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante do atual contexto energético do Brasil, em que há um período de seca prolongada havendo a diminuição dos níveis dos reservatórios de água, conseqüentemente diminuindo a capacidade de geração de energia elétrica através das hidrelétricas, comprometendo desta forma, o fornecimento de energia, já que a matriz energética nacional é baseada nessa fonte. Então, as fontes alternativas de energia se mostram importante para o desenvolvimento energético nacional e devem ser estudadas, visando racionalizar os meios de produção de energia, principalmente a energia solar que apresenta um grande potencial de geração.

A tecnologia solar fotovoltaica ao longo do tempo vem mostrando um constante desenvolvimento, melhorando a eficiência de conversão da energia luminosa em energia elétrica através das células fotovoltaicas, possibilitando a viabilidade do uso dessa tecnologia.

Diante do que foi visto, os SFV tem sua aplicabilidade voltada ao uso de cada usuário e/ou grupo dependendo da demanda de energia requerida, e na grande maioria, voltadas ao uso em locais isolados da rede elétrica convencional, com exceção dos SFCR que já são muito utilizados em grandes centros urbanos, principalmente em condomínios residenciais.

Como observado, o governo brasileiro ao longo dos anos vem estimulando a produção de energia fotovoltaica através de programas de incentivo a geração de energia em âmbito nacional, possibilitando o aumento na participação dessa fonte de energia na matriz energética nacional.

O PRODEEM mesmo com os seus problemas no decorrer de sua execução, foi de extrema importância para a difusão da tecnologia fotovoltaica em território nacional, levando desenvolvimento para áreas isoladas em aplicações comunitárias, principalmente os sistemas de bombeamento para abastecimento de água e sistemas de geração de energia.

O programa Luz Para Todos, considerado o programa mais ambicioso no mundo, ao longo dos seus quase onze anos já contemplou milhares de pessoas com o atendimento a energia elétrica em suas diferentes formas de fornecimento.

O programa brasileiro de etiquetagem e o programa nacional de conservação de energia elétrica, cuja finalidade é garantir aos consumidores confiabilidade dos equipamentos comercializados mostram-se de significativa importância, pois estimulam os fabricantes a constante desenvolvimento das tecnologias, aumentando a eficiência dos equipamentos, tendo em vista que a grande maioria do público consumidor dos equipamentos que compõem os SFV são cientes da classificação de eficiência do INMETRO e do Selo PROCEL ELETROBRAS, assim demandando produtos de qualidade.

O Brasil possui a alguns anos incentivos fiscais isentando equipamentos que compõem os SFV de impostos, como o ICMS e o IPI, possibilitando a comercialização desses produtos por preços mais baixos, contudo é importante firmar que o país ainda necessita de regulamentação específica para essa finalidade.

Ao decorrer desse trabalho foi levantado incentivos a produção de energia solar fotovoltaica em âmbito nacional, principalmente para a universalização do serviço de fornecimento de energia, mas com pouca influência na matriz energética nacional. Então podemos concluir que há necessidade da criação de programas e/ou políticas governamentais mais sólidas que incentivem a produção de energia fotovoltaica e estimule a indústria nacional a produzir essa tecnologia, aumentando a contribuição dessa fonte na matriz energética nacional e melhorando positivamente o cenário social, econômico e ambiental do Brasil.

REFERÊNCIAS

ABINEE. Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica. **Proposta para Inserção da Energia Solar Fotovoltaica na Matriz Elétrica Brasileira**. ABINEE. p.175. Jun 2012.

AMÉRICA DO SOL. **MEGAWATT SOLAR**. Disponível em: <<http://www.americadosol.org/megawatt-solar/>> Acesso em: 22 jul 2014.

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução Normativa Nº 493/2012**. 5 de junho de 2012a.

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução Normativa Nº 482/2012**. 17 de abril de 2012b.

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Big – Banco de Informação de Geração**. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm> > Acessado em: 21 jul 2014.

BEZERRA, A. M. **Aplicações Práticas da Energia Solar**. Livraria Nobel S.A. São Paulo, 1990.

BRASIL, Decreto nº 4.873, de 11 de novembro de 2003. Institui o Programa Nacional de Universalização do Acesso e Uso da Energia – “LUZ PARA TODOS” e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 12 nov 2003.

BRASIL, Decreto nº 7.520, de 8 de julho de 2011. Institui o Programa Nacional de Universalização do Acesso e Uso da Energia – “LUZ PARA TODOS”, para o período de 2011 a 2014, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 11 jul 2011.

BRASIL SEM MISÉRIA. **Plano Brasil Sem Miséria**. Disponível em: <<http://www.brasilsemiseria.gov.br/apresentacao>> Acesso em: 11 jun 2014.

COMETTA, E. **Energia Solar: Utilização e Empregos**. Hemus, São Paulo, 2000.

CRESESB. Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sergio de Salvo Brito. **Informe PRODEEM. PRODEEM – Programa para o Desenvolvimento da Energia nos Estados e Municípios**. p. 4., 1996.

CRESESB. Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sergio de Salvo Brito. **CRESESB Informe. "Economia Solar Global" Lançamento da Edição Brasileira**. p.15. Nº 7. Maio, 2002.

CRESESB. Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sergio de Salvo Brito. **CRESESB Informe. Conferência de Bonn e PROINFA: Surgem Novas Perspectivas para Energias Renováveis**. p. 22. Nº 9. maio, 2004.

CRESESB. **Tutorial Solar**. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/download/tutorial/tutorial_solar_2006.pdf> Acessado em: 30 jul 2014.

CEPEL-CRESESB. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**, Edição Especial, PRC-PRODEEM, Rio de Janeiro - Agosto – 2004.

CEPEL-CRESESB. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**, Edição revisada e atualizada, Rio de Janeiro - Março – 2014.

DEMONTI, Rogers. **PROCESSAMENTO DA ENERGIA ELÉTRICA PROVENIENTE DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS**. FLORIANÓPOLIS, SC, 2003. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Santa Catarina, 2003.

ELETROBRÁS. Programa Luz para Todos. Disponível em: <<http://www.elektrobras.com/elb/data/Pages/LUMIS32AB99AAPTBRIE.htm>>. Acesso em: 10 jun 2014.

ELETROSUL. **Eletrosul Centrais Elétricas S.A.**. Disponível em: <<http://www.eletrosul.gov.br/home/conteudo.php?cd=1150>> Acessado em: 22 jul 2014.

FEDRIZZI, M. C.. **Fornecimento de Água com Sistema de Bombeamento Fotovoltaico. Dimensionamento Simplificado e Análise de Competitividade para Sistemas de Pequeno Porte**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Energia da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

FRAIDENRAICH, N. **Antecedentes Históricos da Ciência Solar no Brasil. A Tecnologia Solar Fotovoltaica. Grupo de Pesquisas em Fontes Alternativas de Energia – FAE UFPE. II SNESF. Simpósio Nacional de Energia Solar Fotovoltaica**. Mai 2005.

GALDINO, M. A. e LIMA, J. H. G. **PRODEM – O Programa Nacional de Eletrificação Rural Baseado em Energia Solar Fotovoltaica**. CEPEL – Centro de Pesquisas de Energia Elétrica. Congresso Brasileiro de Energia. 2002.

GIAMPIETRO, U. , RACY, J. C. **Viabilidade Econômica da Energia Solar nas Áreas Rurais do Nordeste Brasileiro**, Jovens Pesquisadores, v.1, n. 1, 2004.

INMETRO. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial – Inmetro. **Portaria nº 004, de 04 de janeiro de 2011; Anexo – Requisitos de Avaliação da Conformidade para Sistemas e Equipamentos para Energia Fotovoltaica (Módulo, Controlador de Carga, Inversor e Bateria)**. Brasília. Brasil. 2011.

INMETRO. **Orientações gerais para fabricantes e importadores sobre a regulamentação de equipamentos para geração de energia fotovoltaica**. Disponível em: <http://www2.inmetro.gov.br/pbe/pdf/passoa_a_passo_para_etiquetagem.pdf> Acesso em: 22 jun 2014.

LUZ PARA TODOS. **Informativo Luz para Todos. Presidente Lula Prorroga Luz para Todos até 2010.** Nº 9. Abril 2008.

LUZ PARA TODOS. **Informativo Luz para Todos. Governo Federal Prorroga Luz para Todos até o final de 2011.** Nº 26. Novembro 2010.

LUZ PARA TODOS. **Informativo Luz para Todos. Ministro Edison Lobão Lança Segunda fase do Lu para Todos e Também Comemora 8 anos de Obras do Programa.** Nº 36. Outubro 2011.

LUZ PARA TODOS. **Programa Nacional de Universalização do Acesso e Uso da Energia Elétrica.** Disponível em: <http://luzparatodos.mme.gov.br/luzparatodos/Asp/o_programa.asp> Acesso em: 14 jun 2014.

MINHA CASA SOLAR. Disponível em: <<http://minhacasasolar.lojavirtualfc.com.br>> Acesso em: 2014.

MME. Programa Luz para Todos. Disponível em: <http://luzparatodos.mme.gov.br/luzparatodos/Asp/o_programa.asp> Acesso em: 7 abr 2014.

MORALES, L. R. V. **A utilização de sistemas fotovoltaicos de bombeamento para irrigação em pequenas propriedades rurais.** Dissertação de Mestrado. Energia. Universidade de São Paulo – USP. São Paulo, 2011.

PALZ, W. **Energia Solar e Fontes Alternativas.** Hemus, São Paulo, 1981.

PORTO, L. **Comunicação via e-mail. Diretora do Departamento de Desenvolvimento Energético e Coordenadora da Sala de Monitoramento do PROINFA.** Nov 2007.

PROCEL. **Critério para a Concessão do Selo Procel Eletrobras de Economia de Energia a Sistemas e Equipamentos para Energia Fotovoltaica. Documento complementar ao regulamento para a concessão do Selo Eletrobras de economia de energia.** Eletrobras. 25 ago 2010.

PROCEL. **Regulamento para concessão do Selo Procel Eletrobras de Economia de Energia (Revisão – IV).** Eletrobras. 09 ago 2013.

PROCEL. Disponível em: <<http://www.eletrobras.com/elb/procel/main.asp?TeamID={67469FA5-276E-431F-B9C0-6F40630498EE}>> Acesso em: 22 jun 2014a.

PROCEL. Manual de identificação visual. Disponível em: <<http://www.eletrobras.com/elb/procel/services/DocumentManagement/FileDownload.EZTSvc.asp?DocumentID={2C1E57AA-A80E-44E8-9209-0776549B7143}&ServiceInstUID={AEBE43DA-69AD-4278-B9FC-41031DD07B52}>> Acesso em: 20 jul 2014b.

PROCEL. **Equipamentos com Selo.** Disponível em:
<<http://www.eletronbras.com/elb/procel/main.asp?TeamID={2DEB4057-D085-49A8-A66E-5D946249DC56}>> Acesso em: 22 jun 2014c.

SÁ, Daniel Augusto Pereira de. **Sistemas Fotovoltaicos Para Bombeamento De Água.** Rio de Janeiro, RJ, 2010. Trabalho de conclusão de Curso, Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2010.

SILVA, R. A., SILVA, V.P.R., CAVALCANTI, E.P.e SANTOS,D.N., **Estudo da variabilidade da radiação solar no Nordeste do Brasil**, Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental,v.14, n.5, p.501–509, 2010.

TERRITÓRIOS DA CIDADANIA. **Programa Territórios da Cidadania.** Disponível em:
<<http://www.territoriosdacidadania.gov.br/dotlrn/clubs/territoriosrurais/xowiki/oprograma>> Acesso em: 11 jun2014.

VARELLA, Fabiana Karla de Oliveira Martins, et al. **Energia Solar fotovoltaica no Brasil: Incentivos Regulatórios.** Revista Brasileira de Energia. Vol 14, nº1. p. 9-22, 1º sem. 2008.

VIEIRA, C. E. **A Evolução Recente do PRODEEM.** II SNESF. Simpósio Nacional de Energia Solar Fotovoltaica. “Sistemas Fotovoltaicos em Eletrificação Rural”. Rio de Janeiro, 19 de maio de 2005.

ZILLES, R. MACÊDO, W. N. GALHARDO, M. A. B. OLIVEIRA, S. H. F. de. **Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica.** Oficina de texto, São Paulo, 2012.