

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE A REDAÇÃO FINAL DA
TESE DEFENDIDA POR Fabiana Karla de O.
Martins Varella..... E APROVADA
PELA COMISSÃO JULGADORA EM 17 / 02 / 09.....

Carla Kazue Cavaliere
.....
ORIENTADOR

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA
COMISSÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA
PLANEJAMENTO DE SISTEMAS ENERGÉTICOS**

Estimativa do Índice de Nacionalização dos Sistemas Fotovoltaicos no Brasil

Autora: Fabiana Karla de O. Martins Varella
Orientador(a): Carla Kazue Nakao Cavaliere
Co-orientador: Ennio Peres da Silva

27/2009

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA
COMISSÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA
PLANEJAMENTO DE SISTEMAS ENERGÉTICOS**

Estimativa do Índice de Nacionalização dos Sistemas Fotovoltaicos no Brasil

Autora: Fabiana Karla de Oliveira Martins Varella

Orientador(a): Carla Kazue Nakao Cavaliero

Co-orientador: Ennio Peres da Silva

Curso: Planejamento de Sistemas Energéticos

Tese de doutorado apresentada à comissão de Pós Graduação da Faculdade de Engenharia Mecânica, como requisito para a obtenção do título de Doutor em Planejamento de Sistemas Energéticos.

Campinas, 2009
S.P. – Brasil

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA E ARQUITETURA - BAE - UNICAMP

V423e

Varella, Fabiana Karla de Oliveira Martins

Estimativa do índice de nacionalização dos sistemas
fotovoltaicos no Brasil / Fabiana Karla de Oliveira
Martins Varella. --Campinas, SP: [s.n.], 2009.

Orientadores: Carla Kazue Nakao Cavaliero, Ennio
Peres da Silva.

Tese de Doutorado - Universidade Estadual de
Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica.

1. Geração de energia fotovoltaica. 2. Energia solar.
3. Energia solar - Brasil. 4. Energia - Fontes
alternativas. I. Cavaliero, Carla Kazue Nakao. II. Silva,
Ennio Peres da. III. Universidade Estadual de
Campinas. Faculdade de Engenharia Mecânica. IV.
Título.

Título em Inglês: Estimates of nationalization index of PV systems in Brazil

Palavras-chave em Inglês: Photovoltaic solar energy, Solar energy, Solar energy
- Brasil, Alternative energy sources

Área de concentração:

Titulação: Doutor em Planejamento de Sistemas Energéticos

Banca examinadora: Heitor Scalabrini Costa, Maria Cristina Fedrizzi, Arnaldo
Cesar da Silva Walter, João Carlos Camargo

Data da defesa: 17/02/2009

Programa de Pós Graduação: Engenharia Mecânica

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA
COMISSÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA
PLANEJAMENTO DE SISTEMAS ENERGÉTICOS**

TESE DE DOUTORADO

**Estimativa do Índice de Nacionalização dos
Sistemas Fotovoltaicos no Brasil**

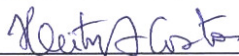
Autora: Fabiana Karla de Oliveira Martins Varella

Orientador(a): Carla Kazue Nakao Cavaliero

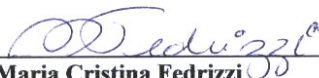
Co-orientador: Ennio Peres da Silva



**Profa. Dra. Carla Kazue Nakao Cavaliero, Presidente
DE/FEM/UNICAMP**



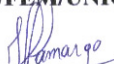
**Prof. Dr. Heitor Scalabrini Costa
UFPE**



**Dra. Maria Cristina Fedrizzi
IEE/USP**



**Prof. Dr. Arnaldo Cesar da Silva Walter
DE/FEM/UNICAMP**



**Dr. João Carlos Camargo
NIPE/UNICAMP**

Campinas, 17 de fevereiro de 2009.

Dedicatória

Dedico este trabalho aos meus pais Américo M. Varela e Albaniza de O. Varela e meus irmãos Fábio Christian de O. M. Varela e Flávia Karla de O. M. Varela (*in memoriam*).

Agradecimentos

Primeiramente agradeço a Deus pelo dom da vida e pela força e perseverança que me concederam tão importante momento.

Agradeço a CAPES pelo suporte financeiro.

Agradeço, especialmente, a Profª. Dra. Carla Kazue Nakao Cavaliero pela orientação e ao Prof. Dr. Ennio Peres da Silva pela co-orientação. Agradeço a ambos pela disponibilidade irrestrita, forma exigente e crítica de argüir as idéias apresentadas; pela confiança em mim depositada; pelos ensinamentos; pela paciência e pela motivação. Todos esses fatores foram fundamentais durante todo o processo de elaboração desta tese. Muito obrigada!

Aos meus pais, Américo Martins Varela e Albaniza de Oliveira Varela, meus irmãos, Fábio Christian de Oliveira Martins Varela e Flávia Karla de Oliveira Martins Varela (*in memoriam*) e minha cunhada, Ana Paula de Assunção Nunes Varela, pelo apoio incondicional, pela compreensão na ausência, pelo amor, carinho, afeto e cumplicidade.

A todos os meus verdadeiros amigos e colegas do doutorado pela afeição e pelas conversas, onde vários *insights* foram possíveis. Especialmente ao amigo Cristiano pela ajuda na formatação da tese.

À Dra. Maria Cristina Fedrizzi e ao Dr. João Carlos Camargo pelas sugestões, recomendações e críticas construtivas no exame de qualificação, que permitiram melhorar a qualidade do trabalho.

A todos os funcionários da FEM/UNICAMP que estiveram sempre disponíveis quando precisei, em especial à Neusinha pelo carinho.

A todos aqueles que não citei, mas que me incentivaram e acreditaram na realização desse trabalho, fica aqui meu profundo agradecimento!

*“A intuição
não testada e não comprovada
é uma garantia insuficiente
de verdade”.*

Bertrand Russel

Resumo

VARELLA, Fabiana Karla de O. M, Estimativa do Índice de Nacionalização dos Sistemas Fotovoltaicos no Brasil, Campinas: Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 2009. 126 p. Tese (Doutorado).

A Lei nº 10.438/02 estabeleceu o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica – PROINFA, único programa nacional a estimular as fontes renováveis alternativas, com o intuito de aumentar a participação da energia elétrica produzida por empreendimentos a partir das fontes eólica, pequenas centrais hidrelétricas – PCHs e biomassa no sistema interligado nacional. Posteriormente, o PROINFA foi revisado pela Lei nº 10.762/03 e alterou em sua regulamentação a obrigatoriedade de um índice mínimo de nacionalização de serviços e equipamentos, que em sua primeira etapa passou a corresponder a 60% do custo total da construção dos projetos contemplados. A energia solar fotovoltaica não foi contemplada pelo Programa, e o objetivo desta tese é estimar o índice de nacionalização para cada um dos três sistemas fotovoltaicos selecionados para estudo (sistema de bombeamento de água, sistema de eletrificação rural e sistema conectado à rede elétrica). Para elaboração desse cálculo foi efetuada uma adaptação da metodologia utilizada pelo PROINFA e considerados somente os custos dos principais equipamentos e não dos serviços. Os resultados obtidos permitiram concluir que os sistemas de bombeamento de água e de eletrificação rural são sistemas que 5% e 35%, respectivamente, dos seus equipamentos já são disponibilizados pela indústria nacional. O mesmo não ocorre com os sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica, que atualmente tem 100% dos seus principais equipamentos importados.

Palavras Chave:

Energia solar fotovoltaica, sistemas fotovoltaicos, índice de nacionalização, PROINFA, fontes renováveis alternativas

Abstract

VARELLA, Fabiana Karla de O. M, *Estimates of Nationalization Index of PV Systems in Brazil*, Campinas: Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 2009. 126 p. Thesis (Doctorate).

The Law nº 10.438/02 established the Program of Incentives for Alternative Electric Power Sources – PROINFA, which is the only national program aimed to foster alternative renewable energy sources and to increase the share of electric energy production from enterprises based on wind power, small hydropower plants and biomass in the interconnected national power grid. PROINFA was later modified by the Law nº 10.762/03 which revised the regulation imposing a minimum nationalization index of services and equipment that in its first stage corresponded to 60% of the total cost of the selected projects. Solar photovoltaic power was not included in PROINFA and because of that the objective of this thesis is to estimate the nationalization index of each of the following photovoltaic systems selected for the study: water pumping PV system, rural electrification PV system and grid-connected PV system. In order to carry out the calculations, the methodology used at PROINFA was adapted and only the costs of the key equipment, not the services, were considered. The results led to the conclusion that the water pumping and the rural electrification systems are those in which 5% and 35%, respectively, equipment is already made available by the national industry. The same is not verified for the grid-connected PV systems in which 100% of the key equipment is imported.

Keywords:

Photovoltaic solar energy, PV systems, nationalization index, PROINFA, alternative renewable energy

Sumário

Lista de Figuras	xiii
Lista de Tabelas	xv
Nomenclatura	xvii
Capítulo 1 Introdução.....	1
1.1 Objetivos	6
1.1.1 Objeto Geral.....	6
1.1.2 Objetivos Secundários.....	6
1.1.3 Metodologia e Estrutura da Tese.....	7
Capítulo 2 Revisão da Literatura	8
2.1 Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica - PROINFA.....	9
2.2 Projeto da Rede Brasil de Tecnologia – RBT	14
2.3 Aplicação dos Sistemas Fotovoltaicos no Mundo e no Brasil	17
2.3.1 Sistemas Fotovoltaicos no Mundo	24
2.3.1.1 Sistemas Fotovoltaicos Domésticos Isolados ou Autônomos	24
2.3.1.2 Sistemas Fotovoltaicos Não Domésticos Isolados.....	24
2.3.1.3 Sistemas Fotovoltaicos Distribuídos Conectados à Rede Elétrica.....	25
2.3.1.4 Sistemas Fotovoltaicos Centralizados Conectados à Rede Elétrica.....	25
2.3.2 Sistemas Fotovoltaicos no Brasil	25

Capítulo 3	Metodologia.....	30
3.1	Levantamento dos Componentes dos Sistemas Fotovoltaicos Seleccionados.....	31
3.2	Identificação dos Revendedores e Fabricantes Atuando no Mercado Nacional.....	32
3.2.1	Revendedores de Equipamentos Fotovoltaicos.....	32
3.2.2.	Fabricantes de Equipamentos Fotovoltaicos.....	33
3.3	Identificação dos Equipamentos Importados pelo Brasil.....	34
3.4	Estimativa do Índice de Nacionalização de Equipamentos.....	34
Capítulo 4	Componentes dos Sistemas Fotovoltaicos	35
4.1	Identificação dos Componentes dos Sistemas Fotovoltaicos.....	35
4.2	Sistemas Fotovoltaicos para Bombeamento de Água	37
4.2.1	Módulo Fotovoltaico.....	38
4.2.2	Conversor de Frequência.....	38
4.2.3	Conjunto Motobomba	38
4.2.4	Equipamentos Complementares.....	39
4.3	Sistemas Fotovoltaicos para Eletrificação Rural.....	40
4.3.1	Controlador de Carga	40
4.3.2	Inversor CC-CA	40
4.3.3	Banco de Baterias.....	40
4.3.4	Periféricos	41
4.3.5	Fios, Cabos e Suporte.....	41
4.4	Sistemas Conectados à Rede Elétrica.....	41
4.4.1	Inversor de Corrente CC-CA para Injeção na Rede Elétrica	41
4.5	Durabilidade e Manutenção dos Equipamentos	42
4.5.1	Módulos Fotovoltaicos.....	43
4.5.2	Inversor e Controlador de Carga	43
4.5.3	Baterias.....	44
4.5.4	Conjunto Motobomba	44
4.5.5	Materiais Hidráulicos	45
4.6	Programa Brasileiro de Etiquetagem - PBE.....	45
Capítulo 5	A indústria de Equipamentos Fotovoltaicos	48
5.1	A indústria Mundial de Equipamentos Fotovoltaicos.....	48

5.1.1 Japão.....	63
5.1.1.1 Células e Módulos Fotovoltaicos.....	63
5.1.1.2 Inversor de Corrente Elétrica.....	64
5.1.2 Alemanha.....	65
5.1.2.1 Células e Módulos Fotovoltaicos.....	65
5.1.2.2 Inversor de Corrente Elétrica.....	66
5.1.3 EUA.....	67
5.1.3.1 Células e Módulos Fotovoltaicos.....	67
5.1.3.2 Inversor de Corrente Elétrica.....	68
5.1.3.3 Controlador de Carga.....	68
5.1.4 Espanha.....	69
5.1.4.1 Células e Módulos Fotovoltaicos.....	69
5.1.4.2 Inversor de Corrente Elétrica e Controlador de Carga.....	69
5.2 A Indústria Brasileira de Equipamentos Fotovoltaicos.....	70
5.2.1 Surgimento e Evolução.....	73
5.2.2 Panorama Atual.....	75
5.2.2.1 Módulos Fotovoltaicos.....	76
5.2.2.2 Controlador de Carga.....	80
5.2.2.3 Inversor CC-CA.....	81
5.2.2.4 Inversor para Sistema Conectado à Rede Elétrica.....	82
5.2.2.5 Conjunto Motobomba.....	83
5.2.2.6 Baterias.....	84
Capítulo 6 Índice de Nacionalização dos Sistemas Fotovoltaicos.....	86
6.1 Metodologia Aplicada.....	86
6.1.1 Metodologia do PROINFA.....	86
6.1.2 Metodologia Adaptada do PROINFA.....	88
6.2 Descrição dos Sistemas Fotovoltaicos Analisados e Estimativa do Índice de Nacionalização.....	89
6.2.1 Sistema Fotovoltaico para Bombeamento de Água: Sistema Proposto.....	89
6.2.2 Índice de Nacionalização: Sistema Fotovoltaico para Bombeamento de Água.....	91
6.2.3 Sistema Fotovoltaico para Eletrificação Rural: Sistema Proposto.....	92

6.2.4 Índice de Nacionalização: Sistema Fotovoltaico para Eletrificação Rural	94
6.2.5 Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede Elétrica: Projeto CPFL PD-28.....	97
6.2.6 Índice de Nacionalização: Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede Elétrica.....	99
6.3 Análise dos Resultados e Perspectivas no Médio e Longo Prazo	100
Capítulo 7 Conclusões e Recomendações para Futuros Trabalhos.....	103
Referências Bibliográficas	108
Anexo	119

Lista de Figuras

Figura 2.1 Célula fotovoltaica e módulo fotovoltaico	17
Figura 2.2 Corte transversal e vista frontal de célula fotovoltaica.....	18
Figura 2.3 Tecnologias de células fotovoltaicas (1999-2007)	20
Figura 2.4 Diagrama esquemático de sistema fotovoltaico isolado	21
Figura 2.5 Diagrama esquemático de sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica.....	22
Figura 2.6 Exemplo de um sistema fotovoltaico distribuído conectado à rede elétrica.....	23
Figura 2.7 Exemplo de um sistema fotovoltaico centralizado conectado à rede elétrica	23
Figura 3.1 Diagrama esquemático da metodologia.....	31
Figura 4.1 Configurações de sistemas fotovoltaicos para bombeamento de água.....	39
Figura 4.2 Equipamentos dos sistemas fotovoltaicos para eletrificação rural	41
Figura 4.3 Sistema fotovoltaico básico conectado à rede elétrica	42
Figura 4.4 Módulos fotovoltaicos	43
Figura 4.5 Inversor de corrente	44
Figura 4.6 Controlador de carga.....	44
Figura 4.7 Baterias estacionárias.....	44
Figura 5.1 Potência acumulada instalada de sistemas fotovoltaicos na Alemanha, Espanha, Japão e EUA, em MW (1992-2007).....	50

Figura 5.2 Potência acumulada instalada de sistemas fotovoltaicos na Coréia, Itália e França, em MW (1992-2007).....	51
Figura 5.3 Potência acumulada instalada de sistemas fotovoltaicos em países no mundo conectados ou não à rede elétrica, em MW (1992–2007).....	52
Figura 5.4 Potência instalada dos sistemas fotovoltaicos por aplicação em alguns países, em porcentagem (2007).....	53
Figura 5.5 Evolução da produção de módulos fotovoltaicos (1990-2007)	54
Figura 5.6 Produção de células fotovoltaicas em MW, por país (2007).....	60
Figura 5.7 Produção de células fotovoltaicas dos países do IEA PVPS, em % por fabricante (2006)	61
Figura 5.8 Produção de módulos fotovoltaicos dos países do IEA-PVPS, em % por fabricante (2006)	62
Figura 5.9 NT-Solar e CB-Solar, PUCRS.....	77
Figura 6.1 Instalação fotovoltaica do sistema de bombeamento fotovoltaico proposto	90
Figura 6.2 Custo do sistema fotovoltaico completo para bombeamento de água, em Porcentagem	92
Figura 6.3 Custo do sistema fotovoltaico completo para eletrificação rural, em Porcentagem.....	95
Figura 6.4 Custo do SIGFI 13 da COELBA, em Porcentagem.....	96
Figura 6.5 Instalação fotovoltaica do Projeto PD-28	98
Figura 6.6 Inversores Sunny Boy (SMA) instalados no PD-28	98
Figura 6.7 Custo do sistema fotovoltaico completo conectado à rede elétrica, em Porcentagem.....	100

Lista de Tabelas

Tabela 2.1 Valores econômicos por fonte.....	10
Tabela 2.2 Fontes contempladas pelo PROINFA, potência por fonte (MW) e quantidade de projetos contratados por fonte.....	11
Tabela 2.3 Situação em 2008 dos projetos contratados pelo PROINFA	12
Tabela 2.4 Eficiências das células fotovoltaicas de filmes finos	19
Tabela 2.5 Sistemas fotovoltaicos conectados à rede instalados no país (1995-2008).....	28
Tabela 3.1 Revendedores de equipamentos fotovoltaicos atuando no mercado (2005)	33
Tabela 4.1 Componentes por categoria e sub-categoria - Sistemas fotovoltaicos para bombeamento de água.....	36
Tabela 4.2 Componentes por categoria e sub-categoria - Sistemas fotovoltaicos para eletrificação rural	37
Tabela 4.3 Componentes por categoria e sub-categoria - Sistemas conectados à rede elétrica.....	37
Tabela 4.4 Fabricantes e equipamentos fotovoltaicos ensaiados e aprovados no PBE (Abril 2008)	47
Tabela 5.1 Potência acumulada instalada de sistemas fotovoltaicos em países do mundo, em MW (1992-2007).....	49
Tabela 5.2 Produção de células fotovoltaicas, por região no mundo (2007)	60
Tabela 5.3 Produção de células e módulos fotovoltaicos no Japão, por fabricante, em 2006	64

Tabela 5.4 Produção de células e módulos fotovoltaicos, em MW, por fabricante nos EUA (1996 – 2003).....	67
Tabela 5.5 Sistemas instalados no PRODEEM.....	70
Tabela 5.6 Equipamentos fotovoltaicos isentos de ICMS (2008).....	72
Tabela 5.7 Fabricantes e revendedores de módulo fotovoltaico (2007)	79
Tabela 5.8 Fabricantes e revendedores de controlador de carga (2007)	81
Tabela 5.9 Fabricantes e revendedores de inversor (2007).....	82
Tabela 5.10 Fabricantes e revendedores de inversor para sistema conectado à rede elétrica (2007)	82
Tabela 5.11 Fabricantes e revendedores de conjunto motobomba (2007).....	83
Tabela 5.12 Fabricantes de bateria (2007)	85
Tabela 6.1 Características técnicas do sistema de bombeamento de água original e revitalizado	90
Tabela 6.2 Equipamentos do sistema de bombeamento de água proposto	91
Tabela 6.3 Custo do sistema fotovoltaico para bombeamento de água	91
Tabela 6.4 Equipamentos do sistema de eletrificação rural proposto	93
Tabela 6.5 Classificação de atendimento dos SIGFI	93
Tabela 6.6 Custo do sistema fotovoltaico para eletrificação rural	94
Tabela 6.7 Custo total do SIGFI 13 da COELBA.....	96
Tabela 6.8 Equipamentos instalados no Projeto PD-28	99
Tabela 6.9 Custo sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica.....	99
Tabela 6.10 Índices de nacionalização dos sistemas fotovoltaicos analisados	100

Nomenclatura

Abreviações

FRA – Fontes Renováveis Alternativas

SHS – Solar Home System

Siglas

ANATEL – Agência Nacional de Telecomunicações

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

BNDES – Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social

CBEE - Centro Brasileiro de Energia Eólica

CEMIG – Companhia Energética de Minas Gerais

CENBIO - Centro Nacional de Referência em Biomassa

CEPEL – Centro de Pesquisa de Energia Elétrica

CHESF - Companhia Hidroelétrica do São Francisco

CPFL – Companhia Paulista de Força e Luz

CRESESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental

EMATER - Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural de Minas Gerais

ELETRORBRAS – Centrais Elétricas Brasileiras S.A

ELETRONORTE - Centrais Elétricas do Norte do Brasil

FINAME - Agência Especial de Financiamento Industrial

FINEP – Financiadora de Estudos e Projetos

FUNCATE – Fundação de Ciência, Aplicações e Tecnologia Espaciais

GD – Geração Distribuída

GT-FOT - Grupo de Trabalho de Sistemas Fotovoltaicos

ICMS – Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços

IEA – International Energy Agency

INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial

INT – Instituto Nacional de Tecnologia

IPI – Impostos sobre Produtos Industrializados

LPT – Luz Para Todos

MCT – Ministério de Ciência e Tecnologia

MME – Ministério de Minas e Energia

PBE – Programa Brasileiro de Etiquetagem

PROCEL – Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica

PRODEEM - Programa de Desenvolvimento Energético de Estados e Municípios

PROINFA - Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica

PVPS - Photovoltaic Power Systems Programme

RBT – Rede Brasil de Tecnologia

SIGFI - Sistemas Individuais de Geração de Energia Elétrica com Fontes Intermitentes

Capítulo 1

Introdução

No século XX, com a crise de energia na década de 70, em que o mundo percebeu sua exagerada dependência dos combustíveis fósseis, ocorreu um despertar para a necessidade de se buscar fontes alternativas às fontes fósseis. A partir de então, esforços significativos foram direcionados para o aproveitamento de outras fontes de energia, como por exemplo, a energia solar. De fato, na época iniciou-se o desenvolvimento de sistemas de energia solar fotovoltaica¹ para o uso residencial e comercial, em aplicações autônomas e conectadas à rede elétrica, já que até a década de 60 a maior parte dos sistemas existentes tinha como finalidade principal gerar energia elétrica para satélites espaciais.

Ainda na década de 70 melhorias na fabricação, no desempenho e na qualidade dos módulos fotovoltaicos ajudaram a reduzir custos e abriram oportunidades para aplicações terrestres em zonas remotas. Em muitos países foram aplicados sistemas fotovoltaicos autônomos em postos de saúde no meio rural, refrigeração, bombeamento de água, telecomunicações, eletrificação rural e o restante atendia ao mercado mundial de produtos fotovoltaicos. Porém, foi o início da década de 90 que ficou marcado pelo crescimento das aplicações dos sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica para uso residencial e comercial no mundo, motivado principalmente pela busca em reduzir a dependência energética dos combustíveis fósseis e pela

preocupação com as mudanças climáticas, em especial com a intensificação do efeito estufa na atmosfera.

Neste sentido, grande parte dos sistemas fotovoltaicos instalados foram decorrentes de programas específicos desenvolvidos pelos governos de cada país para estimular o uso da energia solar fotovoltaica. Tais programas vêm fomentando os sistemas fotovoltaicos através de incentivos fiscais e/ou financeiros para a população, e auxiliando, de certa forma, às indústrias locais de equipamentos a se desenvolverem mais rapidamente.

No Brasil, alguns programas foram desenvolvidos com o objetivo de estimular o uso de fontes renováveis alternativas, porém poucos incluíram também os sistemas fotovoltaicos, já que seus custos de geração são relativamente mais elevados que as demais fontes alternativas. Praticamente todos os sistemas instalados, a saber totalizando mais de 40 mil (Winrock International – Brazil, 2002), referem-se a sistemas fotovoltaicos autônomos destinados ao bombeamento de água e à geração de energia elétrica, principalmente em comunidades rurais de baixa renda, localizadas distantes da rede elétrica convencional.

O maior programa nacional de estímulo à energia solar fotovoltaica foi o Programa de Desenvolvimento Energético de Estados e Municípios – PRODEEM², considerado um dos maiores programas de eletrificação rural utilizando sistemas fotovoltaicos nos países em desenvolvimento (GALDINO & LIMA, 2002).

O PRODEEM instalou aproximadamente 9 mil sistemas fotovoltaicos nas cinco fases de geração de energia e bombeamento de água, e na fase emergencial apenas de sistemas fotovoltaicos de bombeamento de água. Os sistemas foram instalados de junho de 1996 a dezembro de 2001 e implantados em todos os 26 estados brasileiros, especialmente nas regiões Nordeste (semi-árido) e Norte (Amazônia). Neste Programa foram instalados três tipos de

¹ Ao longo do trabalho será utilizada a expressão “sistema fotovoltaico”, em substituição a expressão “sistema de energia solar fotovoltaica”.

² O PRODEEM foi estabelecido pelo Governo Federal brasileiro através de um Decreto Presidencial de dezembro de 1994, com o objetivo de promover o suprimento de energia às comunidades rurais de baixa renda localizadas distantes da rede elétrica convencional. O Programa foi coordenado pelo Departamento Nacional de Desenvolvimento Energético - DNDE, do Ministério de Minas e Energia - MME, e tinha como responsável técnico o Centro de Pesquisas de Energia Elétrica - CEPEL, subsidiária da Centrais Elétricas Brasileiras - ELETROBRÁS, cujas atribuições incluía determinar as especificações dos equipamentos para as licitações, realizar a avaliação de projetos, treinamento técnico de pessoal, estabelecimento dos padrões de instalação, verificação/inspeção de instalações, análise de desempenho e de falhas, etc.

sistemas fotovoltaicos autônomos: os sistemas fotovoltaicos de geração de energia elétrica, os sistemas fotovoltaicos de bombeamento de água e os sistemas fotovoltaicos de iluminação pública, todos atendendo às necessidades comunitárias, em escolas, postos de saúde e centros comunitários (GALDINO & LIMA, 2002).

A quantidade de sistemas fotovoltaicos instalados no âmbito do PRODEEM justificaria por si só um estímulo ao desenvolvimento da indústria nacional de equipamentos. No entanto, a opção na época foi a realização de licitações internacionais para a aquisição de *kits* fotovoltaicos. Assim, praticamente todos os equipamentos utilizados foram importados, ou seja, não havendo nenhum estímulo ao desenvolvimento da indústria nacional.

Com a crise de energia elétrica no país vivida em 2001, a diversificação das fontes de energia passou a ter grande importância, trazendo novamente as fontes renováveis alternativas de energia ao centro das atenções. Neste contexto, através da Lei nº 10.438 foi estabelecido o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica – PROINFA, com o intuito de aumentar a participação da energia elétrica produzida por empreendimentos a partir das fontes eólica, pequenas centrais hidrelétricas – PCHs e biomassa no sistema interligado nacional.

Apesar da energia solar fotovoltaica não ter sido contemplada pelo PROINFA, na própria Lei nº 10.438/02 há um dispositivo sobre a utilização dos recursos da Reserva Global de Reversão - RGR³ para um Programa de fomento a essa tecnologia. De forma indireta poder-se-ia dizer que este dispositivo estaria sendo atendido, pois o Programa Luz para Todos⁴ – LPT, programa federal iniciado em 2004 com o objetivo de acabar com a exclusão do acesso a energia elétrica no país é o maior beneficiário dos recursos da RGR, havendo uma grande oportunidade para a tecnologia solar fotovoltaica ser aplicada, em especial na Região Amazônica e no semi-árido (PORTO, 2007). Inclusive, o Plano Nacional de Mudanças Climáticas - PNMC (2008)

³ Foi instituída pela Lei nº 5.655, de 20 de maio de 1971, "com a finalidade de prover recursos para reversão, encampação, expansão e melhoria dos serviços públicos de energia elétrica", conforme consta do art. 4º da Lei. Com a redação dada pela Lei nº 8.631, de 20 de março de 1993, e a sua cobrança, que deveria terminar em 2002, foi prorrogada até o ano de 2010, conforme estabelecido pela Lei nº 10.438, de 26 de abril de 2002.

⁴ Programa coordenado pelo Ministério de Minas e Energia com participação da ELETROBRÁS e de suas empresas controladas. A meta inicial do Luz Para Todos era atender 12 milhões de domicílios, sendo 2 milhões em áreas urbanas e 10 milhões em áreas rurais. Segundo a Empresa de Pesquisa Energética - EPE, desses 10 milhões já foram atendidos 7,5 milhões de residências. No entanto, o executivo avaliou que essa meta da região rural já aumentou em cerca de dois ou três milhões de domicílios.

sugere o aproveitamento do Programa LPT como uma oportunidade de inserção da indústria fotovoltaica brasileira no mercado, e, desta forma, o Programa serviria como auxílio inicial de fomento à criação de um parque industrial competitivo de sistemas fotovoltaicos. No entanto, os poucos projetos que contemplam o uso da energia solar fotovoltaica no âmbito do LPT não permitem considerá-lo também um programa de fomento a esta tecnologia.

Essa conclusão pode ser comprovada quando se verifica o limitado número de sistemas fotovoltaicos que foram instalados até o momento atendendo às especificações da Resolução Normativa nº 83/2004, regulamentada pela Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL. Essa resolução estabelece os procedimentos e as condições de fornecimento por intermédio de Sistemas Individuais de Geração de Energia Elétrica com Fontes Intermitentes – SIGFI. A utilização dos SIGFI's é considerada uma opção para a universalização dos serviços de energia elétrica no meio rural e suas características exigem uma regulamentação específica (ANEEL, 2004).

De fato, os SIGFI's vêm sendo instalados apenas por poucas concessionárias de energia elétrica no âmbito do LPT, o que demonstra que essa Resolução ainda não está devidamente consolidada no âmbito das empresas concessionárias. Segundo Silva Filho (2007) existem grandes dificuldades na autorização de recursos destinados a aplicação de sistemas fotovoltaicos através do LPT, o que indica uma contradição já que as concessionárias deveriam estar sendo incentivadas a adotarem essa forma de atendimento sempre que possível, tanto do ponto de vista econômico quanto pela oportunidade de utilização de uma fonte renovável alternativa. Isso mostra que os mecanismos criados até o momento para fomentar a utilização dos sistemas fotovoltaicos foram incipientes, o que inclusive justifica, de certa forma, o domínio de empresas multinacionais atendendo ao mercado brasileiro com equipamentos importados.

Analisando ainda a efetividade dos mecanismos regulatórios em fomentar o uso de sistemas com fontes alternativas, pode-se constatar que, o PROINFA tem também como grande mérito incluir na sua regulamentação a obrigatoriedade de um índice mínimo de nacionalização de serviços e equipamentos. Para a primeira fase esse índice é de 60% do custo total de construção dos projetos e para a segunda fase passa a 90% (MME, 2006a).

O índice de nacionalização é considerado como um fomento à indústria nacional da tecnologia contemplada e através da obrigatoriedade de sua utilização é possível prever a demanda do mercado para tal tecnologia. Esse índice é calculado através da metodologia desenvolvida pela Agência Especial de Financiamento Industrial – FINAME, e foi regulamentado através da PORTARIA nº 86 do Ministério de Minas e Energia – MME.

O valor do índice de nacionalização adotado pelo PROINFA, em sua primeira fase, foi um pouco maior do que o grau de nacionalização já existente no Brasil, para as tecnologias consideradas, mas como estava sendo criada uma demanda, exigiu-se uma contrapartida da indústria em benefício do país (PORTO, 2007).

Considerando a importância da criação de um mecanismo específico de estímulo ao uso da energia solar fotovoltaica e seguindo a mesma linha de raciocínio adotada no PROINFA, um índice de nacionalização para esta fonte determina a demanda a ser criada, que assim como a primeira fase do PROINFA, deve ser relativamente superior ao índice calculado, visando promover o desenvolvimento da indústria nacional. Objetivamente, a determinação de um índice de nacionalização para os sistemas fotovoltaicos, deve restringir a importação de equipamentos, evitando, mais uma vez, que seja implantado um Programa que não tenha entre suas prioridades estimular a indústria nacional do setor, como ocorrido no PRODEEM.

Este incentivo à indústria nacional de equipamentos pode se configurar num importante passo para a redução dos custos de geração de energia elétrica a partir da energia solar fotovoltaica ou outras fontes renováveis alternativas e, conseqüentemente, para torná-las mais competitivas e atrativas em relação às fontes tradicionais. Além disso, o investimento realizado para desenvolver a indústria nacional pode, em última instância, retornar à população através do aumento da oferta de empregos, da qualificação de recursos humanos e da redução dos impactos ambientais.

Diante deste contexto foi desenvolvido um estudo entre a Universidade Estadual de Campinas e o Ministério de Ciência e Tecnologia – MCT, no âmbito da Rede Brasil de Tecnologia – RBT, com a finalidade de estimar o potencial do mercado nacional das energias eólica (para equipamentos de pequeno e grande porte), solar fotovoltaica, de biomassa (biodiesel

e gaseificação) e PCHs. Tal estudo identificou os equipamentos utilizados pelas tecnologias das fontes renováveis alternativas citadas que possam vir a ser produzidos no Brasil.

Assim, diante da tendência crescente ao uso da tecnologia solar fotovoltaica no mundo; do potencial energético do Brasil; da necessidade de incentivos regulatórios para torná-la também efetivamente competitiva; da necessidade em se reduzir à dependência às fontes fósseis e como consequência diversificar a matriz energética; e da importância do desenvolvimento da indústria nacional de equipamentos com o intuito de restringir a importação, verificada através do estudo da RBT, acredita-se que a determinação de um índice de nacionalização para os sistemas fotovoltaicos será de fundamental relevância em um programa brasileiro de incentivo ao uso da energia solar fotovoltaica, estimulando diretamente a indústria nacional de equipamentos e trazendo benefícios sociais, econômicos e ambientais importantes para a sociedade.

1.1 Objetivos

Os objetivos da tese estão divididos em geral e secundários.

1.1.1 Objeto Geral

Estimar o índice de nacionalização para cada um dos sistemas fotovoltaicos estudados (sistema de bombeamento de água, sistema de eletrificação rural e sistema conectado à rede elétrica), que poderá ser utilizado na elaboração de uma proposta de programa nacional incentivando o uso da energia solar fotovoltaica e a indústria brasileira desse setor.

1.1.2 Objetivos Secundários

- Identificar os principais componentes utilizados na instalação dos sistemas solares fotovoltaicos;
- Identificar os principais itens importados e a participação das empresas multinacionais no país;
- Analisar as possibilidades de fabricação no país dos equipamentos pertencentes aos sistemas solares fotovoltaicos.

1.1.3 Metodologia e Estrutura da Tese

A metodologia adotada na execução deste estudo seguiu uma sequência lógica de análise, partindo dos dados disponíveis para se atingir o objetivo esperado. Para tanto, a ordem dos estudos que foram desenvolvidos correspondeu a cada capítulo do trabalho, estruturado da seguinte maneira:

No Capítulo 2 é feita a revisão da literatura, em que é apresentada a origem do trabalho, discutindo e comentando as informações já publicadas sobre o tema da tese.

No Capítulo 3 apresenta-se a metodologia de pesquisa utilizada, explicitando a forma como foram construídos e organizados os dados necessários para atender aos objetivos da tese, a sequência lógica das atividades executadas e, todas as ferramentas utilizadas para a coleta de informações.

No Capítulo 4 descreve-se de forma detalhada os sistemas fotovoltaicos que estão sendo analisados neste trabalho, com seus respectivos componentes. São dois sistemas autônomos: sistemas fotovoltaicos para bombeamento de água e sistemas fotovoltaicos para eletrificação rural, e um sistema conectado à rede elétrica. Também são descritas algumas informações sobre a durabilidade e manutenção desses equipamentos, sendo o Capítulo finalizado com o panorama atual do Programa Brasileiro de Etiquetagem dos equipamentos fotovoltaicos.

No Capítulo 5 é apresentado o panorama da indústria mundial e brasileira dos equipamentos pertencentes aos sistemas fotovoltaicos. Inicialmente são apresentados dados da indústria mundial com destaque nos quatro principais mercados de equipamentos fotovoltaicos no mundo, a saber Japão, Alemanha, EUA e Espanha. Em seguida, é mostrada a evolução da indústria brasileira dos equipamentos fotovoltaicos desde o seu surgimento até os dias atuais.

No Capítulo 6 apresenta-se a metodologia utilizada na estimativa do índice de nacionalização para cada um dos sistemas fotovoltaicos considerados e a análise dos resultados obtidos.

No Capítulo 7 analisam-se os resultados obtidos na tese, relacionando-os com os objetivos propostos, apresentando ainda algumas sugestões para trabalhos futuros.

Capítulo 2

Revisão da Literatura

A partir da chamada “Crise de Energia” em 2001, na verdade um déficit na disponibilidade de energia elétrica do Sistema Interligado Nacional - SIN, grande atenção tem sido dada à diversificação das fontes de suprimento, principalmente com o uso de fontes renováveis alternativas de energia, como por exemplo, os sistemas fotovoltaicos. Para estimular o uso de tais fontes, cujas tecnologias de aproveitamento são relativamente mais caras, são necessários incentivos regulatórios que busquem, no médio e longo prazo, torná-las competitivas com as fontes tradicionais. Além dos investimentos em pesquisa e desenvolvimento, a redução dos custos de geração pode ser atingida com o máximo aproveitamento do parque industrial nacional. Neste sentido, o único programa que até o momento introduz especificamente este estímulo é o PROINFA.

Dentro do contexto de desenvolvimento da indústria nacional de equipamentos, um trabalho demandado pela Rede Brasil de Tecnologia – RBT/MCT, foi elaborado em 2005 com o objetivo de estimar o potencial de mercado nacional das energias eólica (para equipamentos de pequeno e grande porte), solar fotovoltaica, de biomassa (biodiesel e gaseificação) e PCHs. A partir de tal estudo foi possível identificar os equipamentos utilizados pelas tecnologias das fontes alternativas renováveis citadas que podem vir a ser produzidos no Brasil.

Como continuação desse estudo, esta tese avançou em determinar o índice de nacionalização de equipamentos dos sistemas fotovoltaicos. Logo, viu-se a necessidade de se realizar uma breve e sucinta descrição desses sistemas, bem como as suas principais aplicações no mundo e no Brasil, com o propósito de indicar o modo como estes sistemas vêm sendo empregados.

Desta forma, a revisão bibliográfica aqui apresentada aborda as três motivações comentadas: o escopo do PROINFA e resultados verificados até o momento na indústria nacional de equipamentos, o estudo do RBT e as características gerais dos sistemas fotovoltaicos no mundo e no Brasil.

2.1 Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica - PROINFA

O PROINFA foi estabelecido em 26 de abril de 2002, através da Lei nº 10.438, no âmbito do Ministério de Minas e Energia – MME, e revisado pela Lei nº 10.762, de 11 de novembro de 2003. A revisão desta lei assegurou a participação de um maior número de estados no Programa, incentivou a indústria nacional com a obrigatoriedade de um índice mínimo de nacionalização de serviços e equipamentos de 60% do custo total de construção dos projetos e excluiu os consumidores de baixa renda do pagamento do rateio da compra da nova energia (MME, 2006a).

Para tanto, o Programa apresenta-se dividido em duas etapas. Na primeira etapa é estabelecida a contratação, pela ELETROBRÁS, em até dois anos, de 3.300 MW de potência no SIN, produzidos por fontes eólica, biomassa e PCHs, sendo 1.100 MW para cada fonte. A capacidade total contratada, por fonte, foi realizada através de chamada pública. Na primeira chamada pública, realizada em outubro de 2004, foram contratados 2.527,46 MW das três fontes, sendo 1.100 MW de eólica, 1.100 MW de PCHs e 327,46 MW de biomassa.

Acredita-se que a energia solar fotovoltaica não tenha sido contemplada pelo PROINFA em virtude do seu elevado custo de geração, quando comparado com as demais fontes tradicionais e alternativas, o que poderia onerar sobremaneira os consumidores cativos do SIN. Além disto, até o momento, a tecnologia solar fotovoltaica tem sido aplicada principalmente em regiões isoladas do Brasil, pois se apresenta como uma solução mais adequada técnica e economicamente. Tudo isso se deve ao baixo consumo local, à grande dispersão dos usuários, à

dificuldade de acesso e às restrições ambientais. Nas comunidades isoladas, os sistemas fotovoltaicos podem ser utilizados de forma individual ou coletiva. Há ainda a possibilidade de utilização puramente fotovoltaica ou de forma híbrida visando reduzir o consumo de óleo Diesel utilizado em motores-geradores (PORTO, 2007).

O PROINFA conta com o suporte do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social - BNDES, que criou um programa de apoio a investimentos em fontes alternativas renováveis de energia elétrica. A linha de crédito prevê o financiamento de até 70% do investimento (MME, 2004b). Na primeira etapa, o preço de compra da energia elétrica corresponderá ao valor econômico correspondente à tecnologia específica de cada fonte, apresentado na Tabela 2.1.

Tabela 2.1 Valores econômicos por fonte

Fontes	Valor Econômico (R\$/MWh)
PCH	117,02
Eólica	204,35
Bagaço de Cana	93,77
Casca de Arroz	103,2
Madeira	101,35

Fonte: MME, 2004a.

De acordo com MME (2004b), o baixo valor econômico das biomassas foi um dos motivos por não ter sido fechada a cota de capacidade desta fonte, havendo a necessidade de realizar uma segunda chamada pública, visando complementar o potencial necessário de biomassa para atender a primeira etapa do PROINFA.

Em 17 de dezembro de 2004, a ELETROBRÁS, em conformidade com as diretrizes estabelecidas pelo MME, encerrou o processo de habilitação dos empreendimentos ao PROINFA para projetos de biomassa apresentados na segunda chamada pública do programa.

Após a segunda chamada, para a complementação da fonte biomassa, os números finais dos empreendimentos contratados no PROINFA podem ser vistos na Tabela 2.2.

Tabela 2.2 Fontes contempladas pelo PROINFA, potência por fonte (MW) e quantidade de projetos contratados por fonte

Fontes contempladas	Potência (MW)	Quantidade de projetos
PCHs	1.191,24	63 (43,75%)
Eólica	1.422,92	54 (37,5%)
Biomassa*	685,24	27 (18,75%)
Total	3.299,40	144 (100%)

Fonte: Adaptada de Machado, 2005.

* Projetos de Bagaço de Cana + Projetos de Resíduos de Madeira.

A Tabela 2.2 mostra que mesmo com a segunda chamada pública realizada, a biomassa não atingiu a meta de contratação de 1.100 MW. Logo, o potencial de biomassa foi preenchido por empreendimentos da fonte eólica e de PCHs.

De acordo com Porto (2005) a Região Centro-Oeste apresentou o maior volume contratado para as PCHs e, segundo a ANEEL (2002), a maioria dos pequenos aproveitamentos hidroelétricos se localiza nas Regiões Sul e Sudeste do país, nas bacias do Paraná e Atlântico Sudeste, próximo dos grandes centros consumidores de energia elétrica. Os demais aproveitamentos estão localizados no Centro-Oeste, principalmente nos Estados de Mato Grosso e Tocantins.

Segundo o Centro Brasileiro de Energia Eólica – CBEE (2005), as áreas com maior potencial eólico do país, encontram-se nas Regiões Nordeste, Sul e Sudeste. Ainda de acordo com o CBEE, o maior volume de biomassa ficou com a Região Sudeste do Brasil. As opções de biomassa contempladas no PROINFA são os resíduos de madeira e bagaço de cana e, segundo o Centro Nacional de Referência em Biomassa - CENBIO (2003), os estados brasileiros com maior potencial de aproveitamento de resíduos da madeira, oriunda de silvicultura, para a geração de energia elétrica, são os Estados do Paraná e de São Paulo, ou seja, as Regiões Sul e Sudeste do país. Já no caso do bagaço de cana, o maior potencial se localiza na Região Sudeste do país.

A situação até outubro de 2008 do total de projetos contratados por fonte encontra-se na Tabela 2.3.

Tabela 2.3 Situação em 2008 dos projetos contratados pelo PROINFA

Fontes	Quant. projetos em operação e em construção	Potência MW	Porcentagem m %
PCHs	61	1.175	99
Eólica	31	782	55
Biomassa	20	514	75
Total	112	2.471	75

Fonte: PROINFA, 2008.

Observa-se que dos 144 projetos contratados, até outubro de 2008, 112 projetos já estão em operação ou em construção, o que equivale a aproximadamente 75% do total.

Cabe aqui lembrar que os contratos firmados terão duração de 20 anos e que deveriam entrar em operação até dezembro de 2006, mas de acordo com a Portaria nº 452, de 28 de setembro de 2005, a ELETROBRÁS estaria autorizada a realizar contratos adicionais de prorrogação dos prazos de entrada em operação comercial de determinados empreendimentos, dependendo de cada situação, contanto que esses contratos fossem realizados até 30 de novembro de 2005. Em caso de prorrogação do prazo, os empreendimentos teriam que entrar em operação comercial de 1º de janeiro de 2006 até 30 de dezembro de 2008 (VARELLA *et al.*, 2007).

Atingida a meta de capacidade da primeira etapa, a segunda etapa do PROINFA prevê que tais fontes alternativas deverão atender, no prazo de 20 anos, a 10% do consumo nacional anual de energia elétrica. Os contratos continuarão sendo celebrados com o prazo de 20 anos, mas haverá uma programação anual de compra da energia, de forma que as referidas fontes atendam o mínimo de 15% do incremento anual de eletricidade a ser fornecida ao mercado nacional. Na segunda etapa do PROINFA, a previsão é de que o índice de nacionalização dos serviços e equipamentos utilizados nos empreendimentos seja de 90% (MME, 2006b).

Em relação ao abastecimento de energia elétrica do país, o PROINFA será um instrumento de complementaridade energética sazonal à energia hidráulica, responsável por mais de 90% da geração do país. Na Região Nordeste, a energia eólica servirá como complemento ao

abastecimento hidráulico, já que o período de chuvas é inverso ao de ventos. O mesmo ocorrerá com a biomassa nas Regiões Sul e Sudeste, onde a colheita de safras propícias à geração de energia elétrica (cana-de-açúcar e arroz, por exemplo) ocorre em período diferente do chuvoso (MME, 2006a). De acordo com PROINFA (2008), a participação da energia elétrica produzida pelo Programa (em MWh) no atendimento à totalidade do mercado consumidor brasileiro, no SIN, representou 0,78% em 2006; 1,33% em 2007 e representará 3,59% em 2009.

Os Guias de Habilitação do PROINFA⁵ para PCH, biomassa e energia eólica do MME apresentaram, no item que trata sobre a habilitação técnica dos projetos contratados, o termo de compromisso garantindo que o índice de nacionalização da instalação, considerando-se os equipamentos e os serviços, será de, no mínimo, 60% em valor, verificado durante a construção e após a entrada em operação por meio de fiscalização da ANEEL (MME, 2004).

De acordo com estes Guias o cálculo do índice de nacionalização do PROINFA adotou o padrão da Agência Especial de Financiamento Industrial – FINAME, quanto aos equipamentos e serviços, conforme o documento intitulado “Critérios e Instruções para Cálculo de Índices de Nacionalização” (CIRCULAR nº 195, de 28/07/2006).

Em 25 de maio de 2007 o MME publicou a Portaria 86/2007 que regulamentou o cálculo do grau de nacionalização de 60% para equipamentos e serviços dos empreendimentos construídos. O documento apresentou a metodologia e as instruções para o cálculo do índice de nacionalização, além dos modelos e planilhas de orçamento para os empreendimentos eólicos, térmicos à biomassa e PCHs (PORTARIA nº 86, de 25/05/2007).

Conforme mencionado acima, dentre as normas estabelecidas pelo PROINFA para os projetos a serem contemplados pelo Programa, está a obrigatoriedade da utilização de um índice de nacionalização de serviços e equipamentos. No entanto, é sabido que as fontes renováveis alternativas no país, como a energia solar, a eólica e de várias biomassas, necessitam de diferentes etapas de desenvolvimento tecnológico de forma a torná-las competitivas com as fontes denominadas convencionais (hidráulica, petróleo, carvão, etc.).

⁵ Estes guias orientaram os interessados em participar do PROINFA, informando e listando os documentos necessários à habilitação dos projetos.

No caso da energia eólica, por exemplo, na época verificou-se que 70% dos investimentos dos projetos cabiam ao aerogerador (PORTO, 2007) e havia apenas um fabricante nacional atuando no mercado, que além de tudo, não estava capacitado a atender a demanda criada pelo Programa. Em razão disso, em 2007, foi apresentado o Projeto de Lei - PL⁶ nº 1.421, visando alterar a lei de criação do PROINFA e eliminar a necessidade de nacionalização dos equipamentos e serviços referentes à produção de energia eólica, por um período de 10 anos (PROJETO DE LEI Nº 1.421, 2007). O argumento do autor desse PL é de que tais restrições são inibidoras do crescimento da geração da energia eólica no Brasil e não têm sido eficaz para desenvolver essa indústria nacional no País. Esse PL foi vetado em 2008 (CANAL ENERGIA, 2008).

Este fato coloca imediatamente em questão qual seria o grau de participação que a indústria nacional poderia ter neste Programa, bem como qual seria o grau de nacionalização que poderia ser aplicado, sem riscos de inviabilidade, para futuras etapas de continuidade do mesmo.

Buscando-se respostas para estas questões, sob orientação e encomenda da Rede Brasil de Tecnologia - RBT do MCT, em 2005 foi elaborado o trabalho intitulado “Estudo do Potencial de Mercado das Fontes Renováveis Alternativas do Brasil” desenvolvido através de um convênio UNICAMP/FINEP/FUNCATE/INT, e coordenado pelo Prof. Dr. Ennio Peres da Silva e pela Profa. Dra. Carla Kazue Nakao Cavaliero (SILVA *et al.*, 2005).

2.2 Projeto da Rede Brasil de Tecnologia – RBT

O objetivo principal do estudo desenvolvido por Silva *et al.* (2005) era estimar o potencial no país da energia eólica (para equipamentos de pequeno e grande porte), energia solar fotovoltaica, biomassa (biodiesel e gaseificação) e PCHs, buscando identificar os equipamentos utilizados nestes sistemas que poderiam vir a ser produzidos no Brasil.

⁶ Para se tornar lei, todo PL precisa ser aprovado no Congresso Nacional (Câmara dos Deputados Federais e Senado Federal). Caso haja modificações em uma das Casas (Câmara ou Senado), o projeto retorna para nova apreciação. Uma vez aprovado no Congresso, o PL deve ser ainda sancionado pelo Presidente da República. Portanto, há um longo percurso e um prazo relativamente extenso até que esse Projeto se transforme em Lei e venha a produzir seus efeitos legais.

Na elaboração do estudo, Silva *et al.* (2005) levantou apenas os processos considerados de maior interesse para o país na atualidade, a saber dois processos de produção de combustíveis (produção de biodiesel e gaseificação de biomassas) e três processos de produção de energia elétrica através de PCHs, módulos fotovoltaicos e aerogeradores).

Para atingir o objetivo o estudo foi dividido em cinco etapas. A primeira etapa descreveu sucintamente as principais características das tecnologias utilizadas atualmente para a geração de energia a partir das fontes renováveis alternativas - FRA. A segunda etapa elencou dados do potencial das FRA consideradas no Brasil, a partir dos Atlas eólico, solar, de biomassa e dos dados do potencial hidráulico (PCH). A terceira etapa identificou os principais equipamentos, materiais, partes e peças, utilizados no aproveitamento das FRA. A quarta etapa identificou os principais itens atualmente importados pelo Brasil na instalação de sistemas baseados no aproveitamento das fontes renováveis selecionadas. E por fim, a quinta e última etapa realizou uma análise das possibilidades de fabricação no país de equipamentos, materiais, partes e peças para aproveitamento das FRA (SILVA *et al.*, 2005).

Nesse trabalho foram abordadas tecnologias para as quais o Brasil possui grandes diferenças em termos de uso, experiência e desenvolvimento tecnológico. Este fato é marcante quando se compara, por exemplo, a longa e intensa utilização da energia hidráulica no país, da qual se deriva a tecnologia das PCHs, em relação à experiência quase toda ela acadêmica dos processos de gaseificação de biomassas.

Uma conclusão geral importante do trabalho desenvolvido por Silva *et al.* (2005) se referiu ao “tamanho” dos empreendimentos energéticos. Quanto menores as potências envolvidas, maiores são as possibilidades de participação das empresas nacionais. Este fato apontou para que fosse dada preferência a sistemas energéticos de menor porte, em maiores quantidades, do que sistemas de grande porte, em quantidades menores. Este raciocínio conduz ao conceito de Geração Distribuída - GD, um conceito que vem sendo cada vez mais considerado, seja por estes aspectos, seja pelas suas características de suprimento, versatilidade, custos de investimento, menores impactos ambientais, etc. Vê-se, portanto, que a GD é uma forma de geração que favorece à indústria nacional brasileira.

Silva *et al.* (2005) também buscou responder às indagações a respeito do grau de nacionalização existente para as tecnologias consideradas. Esta análise foi feita considerando os índices de nacionalização utilizados inicialmente no PROINFA, quando da criação do programa na Lei Nº 10.438 (cujo índice mínimo de nacionalização dos equipamentos exigido foi de 50% - Artigo 3º., Inciso I, alínea f), e os índices revistos e apresentados na Lei Nº 10.762, cujos valores passaram a 60% na primeira etapa e 90% na segunda, em valor (nova redação do Artigo 3º., Inciso I, alínea f).

Um dos resultados obtidos em Silva *et al.* (2005) mostrou que o índice de 50% está muito abaixo da capacidade nacional em atender e participar de programas como este, o mesmo podendo se dizer do índice de 60%. A própria alteração de 50% para 60% já mostra que aquele índice era excessivamente conservador e em nada contribuiria para o desenvolvimento de tecnologia nacional. A busca pelo investidor estrangeiro talvez tenha sido responsável pela fixação de um índice tão baixo.

Finalizando o trabalho, Silva *et al.* (2005) apontou como um dos resultados obtidos, uma disponibilidade tecnológica nacional, para as tecnologias consideradas não inferior a 80%. Este seria um índice médio, pois o que se pôde constatar é que este fator é diferente para as diferentes tecnologias, o que indica a necessidade de um maior refinamento do PROINFA no sentido de adequar melhor cada tecnologia ao seu grau de maturidade e estágio tecnológico nacional.

Vale comentar que a análise feita levando em consideração o PROINFA ficou restrita apenas às fontes eólica, biomassa e PCH, não podendo ser aplicada aos sistemas fotovoltaicos. Assim sendo, como decorrência do estudo desenvolvido por Silva *et al.* (2005), esta tese objetiva estimar um índice de nacionalização para os sistemas fotovoltaicos.

Para tanto, o item 2.3 descreve sucintamente a definição de sistemas fotovoltaicos e suas principais aplicações no mundo e no Brasil, com o intuito de mostrar a forma como estes sistemas vêm sendo empregados. No caso específico do Brasil, são apresentadas informações que servem de base para a escolha das aplicações dos sistemas fotovoltaicos que foram selecionados para realização desta tese.

2.3 Aplicação dos Sistemas Fotovoltaicos no Mundo e no Brasil

Em uma básica definição, sistema fotovoltaico é um conjunto integrado de módulos fotovoltaicos e outros componentes, projetado para converter a energia solar em eletricidade (MAYCOCK, 1981 e TREBLE, 1991).

O princípio físico de funcionamento dos módulos fotovoltaicos é denominado efeito fotovoltaico (foto= luz; volt= eletricidade). Os módulos são compostos por células fotovoltaicas, conforme mostra a Figura 2.1, e a conversão da radiação solar em energia elétrica é obtida utilizando-se material semicondutor como elemento transformador, conhecido como célula solar ou célula fotovoltaica.

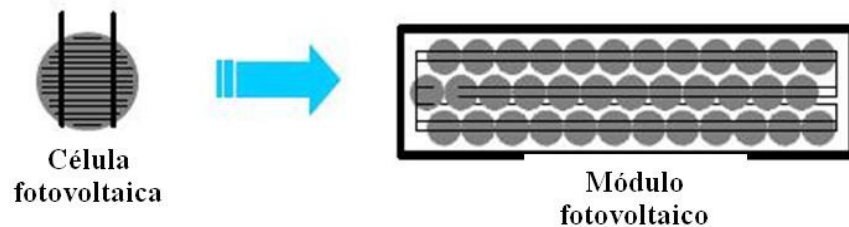


Figura 2.1 Célula fotovoltaica e módulo fotovoltaico

Fonte: Florida Solar Energy Center, 1999.

Para que o material semicondutor se transforme em uma célula fotovoltaica, primeiro passa por uma etapa de purificação, e posteriormente, por uma etapa de dopagem. A dopagem ocorre através da adição de traços de certos elementos químicos, tais como boro e fósforo, dosados em quantidades certas, para formar a união p-n. A Figura 2.2 apresenta com detalhes o corte transversal e uma vista frontal de uma célula fotovoltaica.

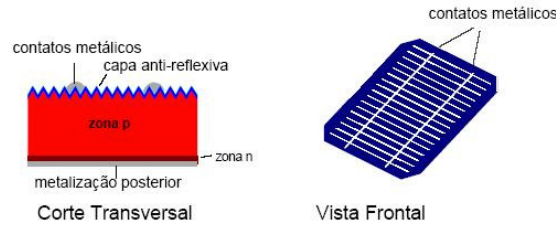


Figura 2.2 Corte transversal e vista frontal de célula fotovoltaica

Fonte: Fedrizzi, 1997.

As células fotovoltaicas disponibilizadas comercialmente são elaboradas à base de silício monocristalino, policristalino e amorfo, mas também há células fabricadas com outros materiais como o disseleneto de cobre-indio (CIS) e telureto de cádmio (CdTe).

Silício Monocristalino

A célula de silício monocristalino é historicamente a mais utilizada e comercializada. Tais células solares são obtidas a partir de barras cilíndricas de silício monocristalino produzidos em fornos especiais. As células são obtidas por corte das barras em forma de planilhas finas, com espessura atual em torno de 200 μm . A eficiência deste tipo de célula fotovoltaica varia de 15% (ASIF, 2008b) a 24,7% (PROGRESS IN PHOTOVOLTAICS, 2008).

Silício Multicristalino

Também chamado de silício policristalino, tais células fotovoltaicas são produzidas a partir de blocos de silício, obtidos por fusão de porções de silício puro em moldes especiais. Uma vez nos moldes, o silício resfria lentamente e solidifica-se. Neste processo, os átomos não se organizam em um único cristal, forma-se uma estrutura policristalina com superfícies de separação entre os cristais. A presença de interfaces entre os vários cristais reduz um pouco a eficiência destas células. A eficiência deste tipo de célula, na conversão de luz em eletricidade, é menor do que as de silício monocristalino, variando de 14% (IEA, 2008a) a 20,3% (PROGRESS IN PHOTOVOLTAICS, 2008).

Filmes Finos

No intuito de se buscar alternativas na fabricação de células fotovoltaicas, muitos trabalhos de pesquisa vêm sendo realizados no mundo todo. Um dos principais campos de investigação é o de células fotovoltaicas de filmes finos. Atualmente há três tipos de módulos fotovoltaicos de filme fino disponíveis no mercado que são fabricados a partir de silício amorfo (Si-a), disseleneto de cobre-indio (CIS) e telureto de cádmio (CdTe). As eficiências das células fotovoltaicas de filmes finos podem ser verificadas na Tabela 2.4.

Tabela 2.4 Eficiências das células fotovoltaicas de filmes finos

Tipo de Célula	Eficiências (%)
Silício amorfo (Si-a)	5% ⁽¹⁾ - 9,5% ⁽²⁾
Disseleneto de cobre-indio (CIS)	7% ⁽¹⁾ - 19,2% ⁽²⁾
Telureto de cádmio (CdTe)	8% ⁽¹⁾ - 16,5% ⁽²⁾

Fonte: ⁽¹⁾ ASIF, 2008a; ⁽²⁾ PROGRESS IN PHOTOVOLTAICS, 2008.

De acordo com ASIF (2008a), o filme fino multicristalino sobre cristal (CGS) é uma tecnologia promissora que está começando a ingressar na fase de produção industrial. Segundo ASIF (2008a) e IEA (2008a), a tecnologia microcristalina, em particular a combinação do silício amorfo com o silício microcristalino (Si-a/Si- μ c) é outro enfoque com resultados promissores. A Figura 2.3 mostra a utilização das diferentes células fotovoltaicas ao longo dos anos (1999-2007).

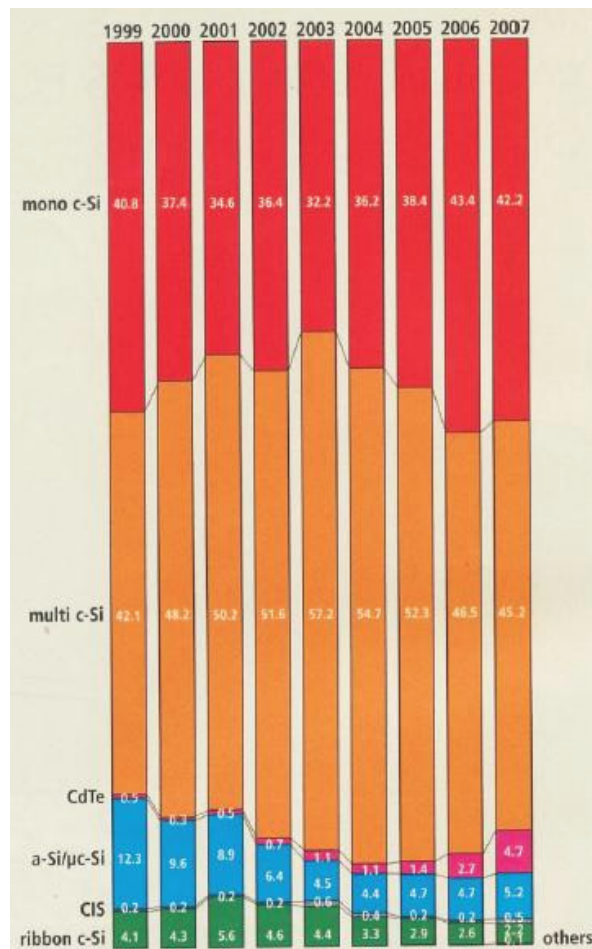


Figura 2.3 Tecnologias de células fotovoltaicas (1999-2007)

Fonte: PHOTON International, 2008.

O crescimento da tecnologia de filme fino, fabricada a partir do CdTe, observado em 2007, na Figura 2.3, ocorreu devido a First Solar, empresa americana, que no ano anterior produziu 60 MW e em 2007 sua produção aumentou para 200 MW, aumento superior a 200%. Observa-se que durante todo esse período a tecnologia do silício (mono e multicristalino) domina o setor mundial, sendo responsável por quase 90% da produção somente em 2007.

A escolha dos componentes que serão integrados aos módulos dependerá em qual categoria os sistemas serão enquadrados (MARKVART, 2000). Segundo Treble (1991) e Markvart (2000), existem duas principais categorias de sistemas fotovoltaicos: os sistemas isolados, ou não

conectados à rede elétrica, e os sistemas conectados à rede elétrica. A diferença fundamental entre esses dois tipos de configuração é a existência ou não de um sistema acumulador de energia, ou seja, as baterias.

Os elementos fundamentais que constituem um sistema fotovoltaico isolado são os módulos fotovoltaicos, bateria, controlador de carga e inversor de corrente elétrica, conforme mostra a Figura 2.4. A energia elétrica gerada pelos módulos é armazenada em bateria e pode ser utilizada à noite, quando na ausência do sol, ou quando o consumo é superior a geração. Entre os módulos fotovoltaicos e a bateria, é conveniente colocar um controlador de carga que tem como objetivo evitar as sobrecargas e descargas profundas nas baterias. Por fim, tem-se o inversor CC-CA que converte a energia elétrica gerada em corrente contínua (12V) para corrente alternada (110/220V) de forma a permitir a utilização de eletrodomésticos (televisor, refrigerador, rádio e outros) com cargas convencionais.

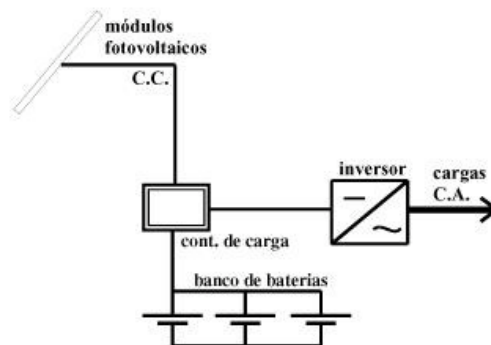


Figura 2.4 Diagrama esquemático de sistema fotovoltaico isolado

Fonte: Camargo et al., 2003.

Os sistemas isolados⁷, ou não conectados à rede, são normalmente utilizados em aplicações rurais e aplicações técnicas (MARKVART, 2000), sendo caracterizados pela necessidade de um banco de acumuladores. Assim, a energia gerada pelos módulos fotovoltaicos é armazenada e posteriormente distribuída aos pontos de consumo (RÜTHER, 2004).

⁷ Também conhecido na literatura como “sistemas autônomos”.

Como exemplo das aplicações rurais têm-se as cercas eletrificadas para criação de animais, irrigação, bombeamento de água, refrigeração de medicamentos e vacinas em postos de saúde, iluminação pública, etc. Já no caso das aplicações técnicas têm-se como exemplo as estações repetidoras de telecomunicações (microondas, TV, rádio, telefone celular), sinalização náutica (faróis e bóias de navegação), sinalização rodoviária e telefones de socorro rodoviários, sinalização ferroviária, estações de monitoramento ambiental (estações meteorológicas, hidrológicas, poluição, etc.), proteção catódica contra corrosão de estruturas metálicas (oleodutos, gasodutos, torres de linhas de transmissão, etc.) e aplicações militares/policiais (instalações de acampamentos, postos avançados, postos de fronteira, etc.) (FRAINDENRAICH & LYRA, 1995; CRESESB, 2005).

Os sistemas fotovoltaicos conectados à rede apresentam duas configurações distintas: os sistemas fotovoltaicos distribuídos e os sistemas fotovoltaicos centralizados (MAYCOCK, 1981; RÜTHER, 1999; MARKVART, 2000; RÜTHER *et al.*, 2005).

A Figura 2.5 apresenta um esquema simplificado da configuração de um sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica. Os dois principais equipamentos pertencentes ao sistema mencionado são o gerador fotovoltaico⁸ e o inversor conectado à rede elétrica que converte a energia elétrica gerada em CC para CA, adequada à conexão na rede de distribuição de energia.

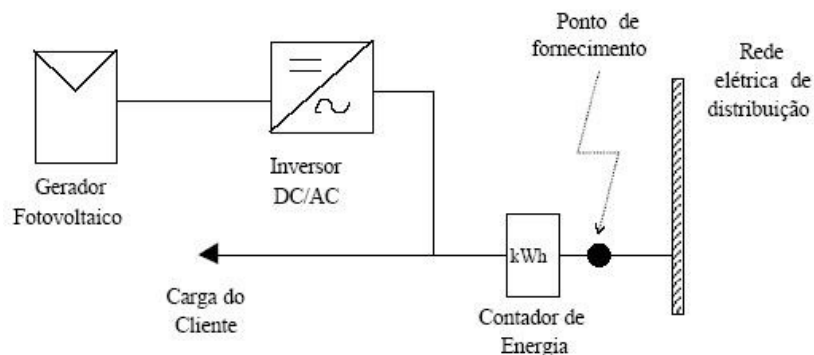


Figura 2.5 Diagrama esquemático de sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica

Fonte: Zumarán, 2000.

⁸ Em algumas literaturas também conhecido como “módulos fotovoltaicos”.

Os sistemas fotovoltaicos distribuídos podem ser instalados de forma integrada a uma edificação, no telhado ou na fachada de um prédio e, portanto, junto ao ponto de consumo, conforme mostra a Figura 2.6; já os sistemas fotovoltaicos centralizados, como em uma usina central geradora convencional, normalmente se localizam a certa distância do ponto de consumo, conforme a Figura 2.7 (MAYCOCK, 1981; FRAINDENRAICH & LYRA, 1995; RÜTHER, 1999; MARKVART, 2000; RÜTHER *et al.*, 2005). Neste último caso, existe, como na geração centralizada convencional, a necessidade dos complexos sistemas de transmissão e distribuição (T&D) tradicionais (RÜTHER *et al.*, 2005).



Figura 2.6 Exemplo de um sistema fotovoltaico distribuído conectado à rede elétrica

Fonte: IEA-PVPS, 2006.



Figura 2.7 Exemplo de um sistema fotovoltaico centralizado conectado à rede elétrica

Fonte: IEA-PVPS, 2006.

No caso dos sistemas distribuídos, algumas vantagens deste tipo de instalação podem ser destacadas, a saber: não requer área extra e pode, portanto, ser utilizada no meio urbano, próximo ao ponto de consumo, o que leva a eliminar perdas por T&D da energia elétrica, como ocorre com usinas geradoras centralizadas, além de não requerer instalações de infra-estrutura adicionais; os módulos fotovoltaicos podem ser também considerados como um material de revestimento arquitetônico no caso de instalações em prédios e casas, reduzindo os custos, dando à edificação uma aparência estética inovadora e *high tech* (FRAINDENRAICH & LYRA, 1995; RÜTHER *et al.*, 2005).

2.3.1 Sistemas Fotovoltaicos no Mundo

Após as definições de sistemas fotovoltaicos e suas categorias, é importante mencionar que mundialmente os sistemas fotovoltaicos restringem-se a quatro principais aplicações que são dois sistemas isolados ou não conectados à rede (sistemas domésticos e sistemas não domésticos) e dois sistemas conectados à rede (sistemas distribuídos e sistemas centralizados).

2.3.1.1 Sistemas Fotovoltaicos Domésticos Isolados ou Autônomos

Os sistemas domésticos isolados são aqueles sistemas que fornecem a eletricidade às residências e que, como o próprio nome já diz, não estão conectados à rede de distribuição de eletricidade da concessionária local (IEA-PVPS, 2006). No Brasil, estes sistemas atendem às comunidades isoladas, fornecendo eletricidade, na maior parte dos casos, para iluminação, refrigeração e outras cargas baixas de energia (CRESESB, 2005).

2.3.1.2 Sistemas Fotovoltaicos Não Domésticos Isolados

Os sistemas fotovoltaicos não domésticos isolados foram as primeiras aplicações comerciais para sistemas terrestres. Esses sistemas fornecem energia para uma escala de aplicações ampla, tais como a telecomunicação, refrigeração de medicamentos e vacinas em postos de saúde, bombeamento de água e outros (MARKVART, 2000; IEA-PVPS, 2006).

2.3.1.3 Sistemas Fotovoltaicos Distribuídos Conectados à Rede Elétrica

Os sistemas fotovoltaicos distribuídos conectados à rede são instalados para fornecer energia ao consumidor, que pode usar a energia da rede elétrica convencional para complementar a quantidade de energia demandada, caso haja algum aumento do consumo de energia em sua residência ou estabelecimento comercial. O consumidor pode também vender energia gerada pelo sistema para a distribuidora, caso use menos energia do que a disponibilizada (MAYCOCK, 1981; MARKVART, 2000; RÜTHER *et al.*, 2005; IEA-PVPS, 2006).

2.3.1.4 Sistemas Fotovoltaicos Centralizados Conectados à Rede Elétrica

Os sistemas centralizados conectados à rede executam a função de estações centralizadas de energia. A fonte de alimentação por tal sistema não é associada com um cliente particular da eletricidade. Estes sistemas são tipicamente instalados em terrenos ou campos e funcionam normalmente a certa distância do ponto de consumo (MAYCOCK, 1981; MARKVART, 2000; RÜTHER *et al.*, 2005; IEA-PVPS, 2006).

2.3.2 Sistemas Fotovoltaicos no Brasil

No Brasil, de acordo com Fraidenraich (2002), Winrock International - Brazil (2002) e Zilles (2004), as principais aplicações da tecnologia solar fotovoltaica são relativas à telecomunicação, à eletrificação rural, aos serviços públicos e ao bombeamento de água.

As telecomunicações, em particular as estações repetidoras de microondas, constituem a aplicação mais antiga da tecnologia fotovoltaica no país (FRAIDENRAICH, 2002). Na sua imensa maioria, as instalações estiveram a cargo de organismos públicos, como a TELEBRÁS⁹. Após a privatização do Sistema TELEBRÁS, ocorrida em julho de 1998, todas as atividades estão sendo administradas pela ANATEL - Agência Nacional de Telecomunicações (TELEBRÁS, 2007).

Apesar do pioneirismo nos serviços de telecomunicações, são os sistemas fotovoltaicos para eletrificação rural e bombeamento de água que têm sido tradicionalmente utilizados no Brasil,

⁹ A Telecomunicações Brasileiras S. A. - TELEBRÁS era uma sociedade anônima aberta, de economia mista, constituída em 09 de novembro de 1972, nos termos da autorização inscrita na Lei nº 5.792, de 11 de julho de 1972, vinculada ao Ministério das Comunicações exercendo, após o processo de desestatização de suas controladas, todas as atividades institucionais como ente integrante da Administração Pública Federal.

atendendo cargas elétricas distantes da rede elétrica convencional, ou seja, normalmente em zonas rurais.

Dependendo do local a ser atendido, tais sistemas representam soluções adequadas e podem ser viáveis economicamente em função dos elevados custos de expansão da rede elétrica (MARKVART, 2000; WINROCK INTERNATIONAL - BRAZIL, 2002). Este é o caso de pequenos sistemas fotovoltaicos autônomos de geração de energia elétrica com a potência variando de 100Wp¹⁰ a 150Wp, que são implantados para atender residências rurais com iluminação básica e alguns periféricos (CRESESB, 2005).

Quanto à aplicação para bombeamento de água, o Brasil conta com uma expressiva quantidade de sistemas instalados por meio de programas institucionais para o abastecimento de comunidades rurais localizadas em zonas remotas e de baixo poder aquisitivo (FEDRIZZI, 2003).

De acordo com o relatório desenvolvido por Winrock International – Brazil (2002), mais de 40 mil sistemas fotovoltaicos autônomos foram instalados com o intuito de amenizar o problema da falta de acesso à energia elétrica em várias regiões do país. Algumas iniciativas envolvendo esses sistemas foram viabilizadas através de concessionárias de energia, instituições de ensino, centros de pesquisa, governos estaduais e municipais. Dentre elas pode-se citar o Programa Luz Solar, desenvolvido em Minas Gerais; o Programa Luz do Sol, na Região Nordeste; e o Programa Luz no Campo, de dimensão nacional¹¹.

Além dos sistemas mencionados, outros inúmeros sistemas fotovoltaicos autônomos continuam sendo instalados em todo o território nacional, através do apoio de Organizações Não Governamentais Internacionais, viabilizados pela cooperação internacional via entidades locais, particularmente pela Agência Alemã de Cooperação Técnica – GTZ e pelo Laboratório de Energia Renovável dos Estados Unidos – NREL/DOE, (ANEEL, 2002).

¹⁰ O W_p (Watt pico) é uma unidade de potência específica da tecnologia solar fotovoltaica. Como a potência entregue por um módulo fotovoltaico depende da intensidade de irradiação solar incidente, estipula-se que cada W_p instalado deverá entregar a potência de 1 W quando submetido às condições padrão de medida (STC – *Standard Test Conditions*), com irradiação de 1 kW/m², temperatura da célula de 25 °C e Massa de ar de 1,5.

¹¹ Para ter acesso a uma descrição mais detalhada desses projetos basta consultar o relatório.

Há também no país alguns sistemas conectados à rede, embora tais sistemas se encontrem atualmente em fase experimental. De 1995 a 2001 foram instalados seis sistemas fotovoltaicos conectados à rede no Brasil, totalizando uma potência instalada de 24,6 kWp (OLIVEIRA & ZILLES, 2002). Desse total, cerca de 11 kWp são de um único sistema pertencente à Companhia Hidroelétrica do São Francisco – CHESF. Esse sistema conectado à rede elétrica foi o primeiro a ser instalado e é considerado como sendo o maior do Brasil, porém encontra-se desativado há anos (WINROCK INTERNATIONAL - BRAZIL, 2002).

De acordo com Zilles (2005) e Zilles (2008a) outros sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica foram instalados no país de 2002 a 2008, equivalente a 120,4 kW_p. A Tabela 2.5 mostra todos os sistemas fotovoltaicos conectados à rede de 1995 até 2008, totalizando 152,5¹² kW_p.

¹² Foi inserido aqui o Projeto Lh2-CPFL (PD-28), utilizado no Capítulo 6 dessa tese, e que não estava incluído em Zilles(2008).

Tabela 2.5 Sistemas fotovoltaicos conectados à rede instalados no país (1995-2008)

Sistema fotovoltaico	Ano de instalação	Potência (kW_p)
CHESF	1995	11
Lab Solar (UFSC)	1997	2,1
LSF (IEE/USP)	1998	0,75
COPEE (UFRJ)	1999	0,85
Lab Solar (UFSC)	2000	1,1
Grupo FAE – UFPE (F. Noronha)	2000	2,5
LSF (IEE/USP)	2001	6,3
Labsolar	2002	10
CEPEL	2002	16
HR	2002	3,3
Grupo FAE - UFPE (F. Noronha)	2002	2,5
CELESC (3x 1,4 kW_p)	2003	4,2
LSF-IEE/USP	2003	6,0
UFRGS	2004	4,8
CEMIG	2004	3,0
Escola Técnica de Pelotas	2004	0,85
LSF-IEE/USP	2004	3,0
Grupo FAE – UFPE	2005	1,7
C Harmonia (SP)	2005	1
CEMIG (3 x 3 kW_p)	2006	9
UFJF	2006	30
GREENPEACE (SP)	2007	2,9
Grupo FAE-UFPE	2007	-
Residência Particular, Recife	2007	1
Lh2 Projeto CPFL	2007	7,5
Residência Particular, São Paulo	2008	2,9
Solaris, Leme - SP	2008	1
Zepini, Motor Z	2008	2,4
Zepini, Fundação Estrela	2008	14,7
TOTAL	-	152,5 kW_p

Fonte: Oliveira & Zilles, 2002; Zilles, 2005; Zilles, 2008a.

Tendo exposto aqui as principais aplicações dos sistemas fotovoltaicos no mundo e no Brasil, o próximo capítulo, o Capítulo 3, que trata da metodologia da tese, descreve também o motivo da escolha dos sistemas fotovoltaicos brasileiros estudados, que serão detalhados no Capítulo 4.

Capítulo 3

Metodologia

Diante da necessidade de estimar um índice de nacionalização para os sistemas fotovoltaicos selecionados, objetivo principal desta tese, que possa vir a ser utilizado na elaboração de um programa de incentivo ao uso desta tecnologia no Brasil, o presente Capítulo apresenta a metodologia de pesquisa utilizada.

Inicialmente definiram-se quais sistemas fotovoltaicos seriam estudados neste trabalho. Optou-se pelos sistemas mais tradicionalmente conhecidos e utilizados no Brasil, que são os sistemas fotovoltaicos autônomos de bombeamento de água e para eletrificação rural. Além destes, foram escolhidos também os sistemas conectados à rede elétrica¹³ que, embora ainda não tenham utilização comercial no país, apenas experimental, são sistemas bastante utilizados em vários países do mundo. Logo, é relevante mostrar o panorama atual do mercado de equipamentos desses sistemas.

Partindo-se da identificação dos sistemas fotovoltaicos (considerando as finalidades de sua utilização), foi feito o levantamento dos equipamentos que compõem esses sistemas. Em seguida foram identificados quais são os revendedores e fabricantes nacionais desses equipamentos e quais são os outros equipamentos que precisam ser importados. A partir dessa análise é possível

¹³ Detalhados no Capítulo 4.

identificar o mercado nacional de equipamentos e determinar o índice de nacionalização hoje existente no Brasil para a tecnologia solar fotovoltaica.

Diante deste contexto cada uma das etapas desta metodologia é apresentada a seguir. Tais etapas podem ser visualizadas no diagrama mostrado na Figura 3.1.

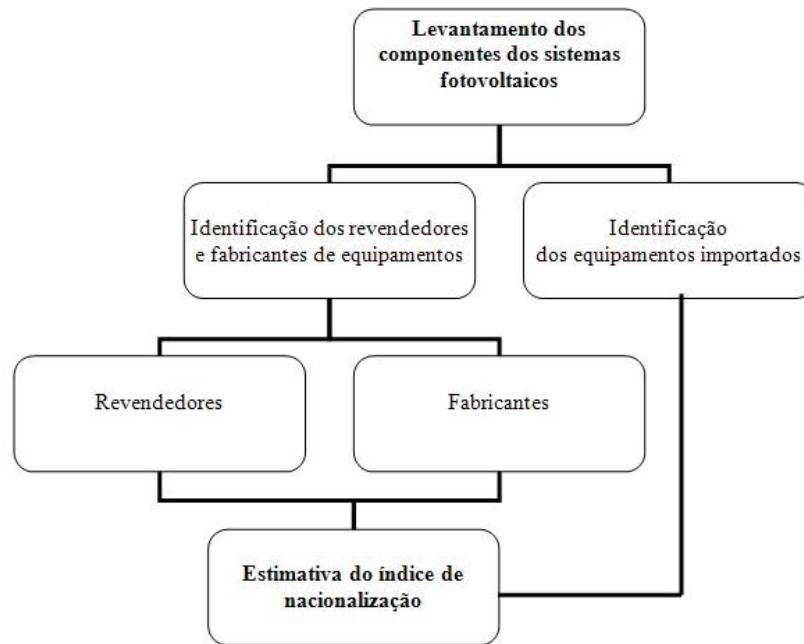


Figura 3.1 Diagrama esquemático da metodologia

3.1 Levantamento dos Componentes dos Sistemas Fotovoltaicos Selecionados

Após a escolha dos sistemas fotovoltaicos, foi realizado um levantamento de todos os componentes pertencentes a estes sistemas¹⁴. Para se fazer a identificação dos principais equipamentos e materiais foram realizadas pesquisas bibliográficas em livros e em *sites* da internet.

Os componentes foram organizados em tabelas, por sistemas fotovoltaicos, sendo divididos em categorias (material ou equipamento) e sub-categorias (automação e controle, equipamentos mecânicos, equipamentos eletromecânicos, equipamentos elétricos, materiais não-metálicos ou metálicos).

¹⁴ O Capítulo 4 mostra com detalhes essa etapa do trabalho.

3.2 Identificação dos Revendedores e Fabricantes Atuando no Mercado Nacional

Feita a identificação dos materiais e equipamentos pertencentes aos sistemas fotovoltaicos, o passo seguinte foi identificar quais eram os fabricantes atuando no mercado brasileiro. Esta etapa é considerada uma das mais importantes, pois através desse levantamento, pode-se verificar qual a participação real da indústria brasileira de equipamentos fotovoltaicos no mercado.

Através de pesquisas realizadas na internet e da utilização do Catálogo de Fabricantes, Revendedores, Consultores e Pesquisadores de Energias Renováveis (2002) elaborado pela Companhia Energética de Minas Gerais – CEMIG, pela Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural de Minas Gerais – EMATER e pela Agência Alemã de Cooperação Técnica – GTZ foi possível levantar, além dos fabricantes, os revendedores que estão atualmente comercializando equipamentos fotovoltaicos no mercado brasileiro.

3.2.1 Revendedores de Equipamentos Fotovoltaicos

De acordo com o Catálogo acima mencionado (CEMIG, 2002), em 2002 haviam 40 revendedores e 9 fabricantes de equipamentos fotovoltaicos atuando no mercado brasileiro. Dos 40 revendedores, um se encontrava no Estado do Amazonas, um no Paraná, um no Ceará, um no Maranhão, dois no Pará, dois na Bahia, três no Rio Grande do Norte, três em Recife, quatro no Rio Grande do Sul, quatro no Rio de Janeiro, oito em Minas Gerais, e dez em São Paulo.

Porém, em 2005, quando foi iniciada a verificação das informações, a situação se mostrou bem diferente da verificada em 2002. Ao entrar em contato com os revendedores através de sites eletrônicos e/ou telefones fornecidos no catálogo foram encontradas algumas dificuldades, tais como mudança de telefone, serviços de telefonia indisponível (telefones constantemente ocupados, temporariamente sem receber chamadas), sites inexistentes ou fora do ar, e até informações de que tais empresas não mais trabalham no ramo. Assim, tornou-se impossível confirmar a participação de algumas destas empresas no mercado brasileiro em 2005, com exceção daquelas que não mais trabalhavam no ramo.

Do total de 40 revendedores foi confirmada a participação no mercado em 2005 de apenas 13 empresas, sendo uma na Bahia, duas no Rio de Janeiro, uma no Ceará, uma no Rio Grande do Norte,

uma no Rio Grande do Sul, uma em Minas Gerais, e seis em São Paulo. Mais uma empresa revendedora de equipamentos fotovoltaicos foi localizada através de sites de busca na internet, estando localizada em Minas Gerais. Assim, 14 empresas revendedoras de equipamentos fotovoltaicos encontravam-se atuando em 2005 no mercado brasileiro, como mostra a Tabela 3.1.

Tabela 3.1 Revendedores de equipamentos fotovoltaicos atuando no mercado (2005)

Revendedor	Localização
Bahia Solar	BA
BR Solar	RJ
BRASELCO	CE
Comercial Elétrica Redimax	SP
Energia Solar	SP
Planeta Solar	RN
Plast Limp IGUAL Solar Brasil	SP
RF COM	SP
SER - Sistemas Energéticos Renováveis	MG
Energia Alternativa	RJ
Solar Brasil	SP
Solaris	SP
Soleco do Brasil	RS
Solenerg	MG
Total	14

Fonte: CEMIG, 2002.

3.2.2. Fabricantes de Equipamentos Fotovoltaicos

Com relação aos fabricantes atuando no mercado nacional, conforme o catálogo mencionado (CEMIG, 2002), havia 9 fabricantes de equipamentos fotovoltaicos em 2002. No entanto, a verificação realizada em 2005 indicou que 8 destes permaneceram atuando no mercado, sendo um em Minas

Gerais, um no Rio de Janeiro, um no Rio Grande do Sul e cinco em São Paulo . Outros fabricantes foram levantados através de pesquisas na internet e contatos pessoais com profissionais da área.

De posse do levantamento, foi feita a separação por equipamento entre fabricantes nacionais e fabricantes estrangeiros¹⁵.

3.3 Identificação dos Equipamentos Importados pelo Brasil

Com a etapa anterior concluída foi possível identificar os principais itens importados pelo país e verificar a participação das empresas multinacionais no mercado brasileiro.

3.4 Estimativa do Índice de Nacionalização de Equipamentos

Os resultados das pesquisas dos itens anteriores permitiram que fossem analisadas as possibilidades de fabricação nacional dos equipamentos fotovoltaicos em três cenários: disponível nacionalmente, disponível em médio prazo e disponível em longo prazo¹⁶.

Após algumas pesquisas buscando uma metodologia para calcular o índice de nacionalização que tivesse sido utilizada em outros países, resolveu-se fazer uma adaptação da metodologia utilizada pelo PROINFA.

Através da análise desenvolvida determinaram-se os índices de nacionalização¹⁷ de equipamentos por aplicação dos sistemas fotovoltaicos no Brasil que poderão servir como referência para a implantação de projetos a partir de tais sistemas e como metas mínimas obrigatórias a serem atendidas por programas de incentivo ao seu uso.

A partir das informações apresentadas, os seus respectivos resultados podem ser verificados nos Capítulos 4, 5 e 6, cabendo ao Capítulo 7 apresentar as conclusões deste trabalho.

¹⁵ Maiores detalhes desta etapa do trabalho encontram-se no Capítulo 5.

¹⁶ Tais informações estão no Capítulo 6 desta tese.

¹⁷ Detalhado no Capítulo 6.

Capítulo 4

Componentes dos Sistemas Fotovoltaicos

O presente capítulo descreve de forma detalhada os sistemas fotovoltaicos que estão sendo analisados neste trabalho com seus respectivos componentes. São dois sistemas autônomos¹⁸: sistemas fotovoltaicos para bombeamento de água e sistemas fotovoltaicos para eletrificação rural; e um sistema conectado à rede elétrica. Em seguida, são apresentadas algumas informações sobre manutenção e durabilidade de tais equipamentos. Por fim, apresenta-se o andamento do Programa Brasileiro de Etiquetagem que visa à contínua melhoria técnica dos equipamentos pertencentes aos sistemas fotovoltaicos utilizados no Brasil.

4.1 Identificação dos Componentes dos Sistemas Fotovoltaicos

Os componentes dos sistemas fotovoltaicos definidos para realização do trabalho foram divididos em categorias e sub-categorias, conforme mostram as Tabela 4.1, Tabela 4.2 e Tabela 4.3. As categorias foram separadas em Equipamentos e em Materiais. As sub-categorias dos Equipamentos foram definidas como elétricos, automação e controle ou eletro/mecânico. Já os Materiais foram separados em metálicos ou não metálicos. Apesar de detalhar todos os componentes para cada sistema, o presente trabalho só analisará os principais equipamentos de tais sistemas.

¹⁸ Também conhecidos em algumas literaturas como “sistemas isolados”.

Tabela 4.1 Componentes por categoria e sub-categoria - Sistemas fotovoltaicos para bombeamento de água

Componente	Categoria	Sub-categoria
Módulo fotovoltaico	Equipamento	Elétrico
Condicionador de potência	Equipamento	Automação e controle
- Conversor de frequência		
Conjunto motobomba	Equipamento	Eletromecânico
Fios/cabos	Material	Metálico
Eletroduto	Material	Não-metálico
Suporte	Material	Metálico/Não metálico
Tubulação hidráulica	Material	Metálico/Não-metálico
Caixa d'água	Material	Não-metálico
Conexões hidráulicas	Material	Metálico/Não-metálico

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 4.2 Componentes por categoria e sub-categoria - Sistemas fotovoltaicos para eletrificação rural

Componente	Categoria	Sub-categoria
Módulo fotovoltaico	Equipamento	Elétrico
Bateria	Equipamento	Elétrico
Controlador de carga	Equipamento	Automação e controle
Inversor CC-CA	Equipamento	Elétrico
Fios/cabos	Material	Metálico
Eletroduto	Material	Não-metálico
Suporte	Material	Metálico/Não metálico

Fonte: Elaboração própria

Tabela 4.3 Componentes por categoria e sub-categoria - Sistemas conectados à rede elétrica

Componente	Categoria	Sub-categoria
Módulo fotovoltaico	Equipamento	Elétrico
Inversor CC-CA para sistema conectado à rede	Equipamento	Elétrico
Medidor de energia	Equipamento	Elétrico
Fios/cabos	Material	Metálico
Eletroduto	Material	Não-metálico
Suporte	Material	Metálico/Não metálico

Fonte: Elaboração própria.

4.2 Sistemas Fotovoltaicos para Bombeamento de Água

Os sistemas fotovoltaicos para bombeamento de água são compostos basicamente pelo módulo fotovoltaico, conversor de frequência (condicionamento de potência), conjunto

motobomba e equipamentos complementares (FEDRIZZI, 1997; CRESESB, 2004a; CRESESB 2005; LORENZO *et al.*, 2005; BRITO, 2006):

4.2.1 Módulo Fotovoltaico

Composto por um conjunto de células fotovoltaicas ligadas em série e em paralelo, funciona como gerador de energia elétrica¹⁹.

Os módulos fotovoltaicos são medidos em determinadas condições padrão internacional, utilizadas por todos os fabricantes. A potência produzida nestas condições é expressa na unidade denominada Wp (Watts pico). Deve-se, contudo, ter sempre em mente que a produção de energia dos módulos fotovoltaicos não é constante neste valor, mas varia de forma diretamente proporcional à irradiância.

4.2.2 Conversor de Freqüência

Responsável por variar a freqüência e a tensão de saída, em função da potência disponível no gerador, que, por sua vez, é função de irradiância que incide sobre ele.

4.2.3 Conjunto Motobomba

São duas as categorias de bombas comerciais: as bombas centrífugas e as volumétricas (ou de deslocamento positivo). Em função de sua mecânica interna as bombas centrífugas são mais indicadas para grandes vazões e menores alturas manométricas, e as de deslocamento positivo para grandes alturas manométricas e menores vazões.

Até pouco tempo atrás, em projetos de bombeamento fotovoltaico no país, utilizava-se unicamente motobombas importadas fabricadas com o condicionamento de potência desenvolvido especialmente para operar em condições específicas da tecnologia fotovoltaica. Atualmente há uma tendência de se utilizar motobombas elétricas convencionais nacionais com a incorporação de conversores de freqüência também convencionais. Essa configuração propicia a redução dos custos e facilita a manutenção e reposição de peças.

¹⁹ Descrito com detalhes no Capítulo 2.

4.2.4 Equipamentos Complementares

São todas as conexões elétricas e hidráulicas, e outros dispositivos utilizados no aprimoramento do funcionamento geral do sistema fotovoltaico de bombeamento de água, tais como mecanismos de *tracking*²⁰, acumuladores de água e de energia elétrica, estruturas de suporte e outros.

Algumas das possíveis configurações utilizadas em um sistema fotovoltaico de bombeamento de água estão ilustradas na Figura 4.1. O sistema 1 mostra o grupo motobomba submersa; o sistema 2 mostra a bomba submersa e motor de superfície; o sistema 3 mostra o grupo motobomba flutuante e o sistema 4 mostra o grupo motobomba em superfície.

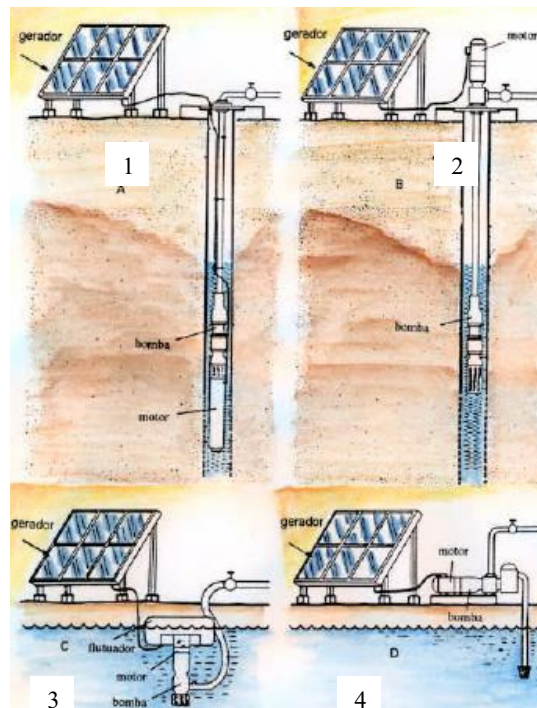


Figura 4.1 Configurações de sistemas fotovoltaicos para bombeamento de água

Fonte: Adaptado de Fraenkel, 1990 apud Fedrizzi, 1997

²⁰ Consiste em um sistema mecânico acoplado ao módulo fotovoltaico com o fim de que este intercepte o máximo da irradiação emitida ao longo de um dia ou mesmo ao longo de um ano. É um seguidor da trajetória do sol. Muito embora proporcione uma maior captação da energia radiante ao longo do tempo, a utilização deste mecanismo não é feita em escala comercial, principalmente pelo custo incremental que acarreta ao sistema, tanto em investimento inicial como em manutenção.

4.3 Sistemas Fotovoltaicos para Eletrificação Rural

Os sistemas fotovoltaicos autônomos para eletrificação rural são compostos, além do módulo fotovoltaico, já mencionado no item 4.2, pelos seguintes equipamentos (FRAINDENRAICH & LYRA, 1995; CRESESB, 2004a; CRESESB, 2005; SOLAR BRASIL, 2005):

4.3.1 Controlador de Carga

Dispositivo eletrônico que protege as baterias contra sobrecarga ou descarga excessiva. Sua função é controlar o estado da carga e descarga da bateria, protegendo-a de uma possível sobrecarga por excesso de eletricidade produzida pelo(s) módulo(s) fotovoltaico(s) e/ou possível descarga pelo uso excessivo dos equipamentos ligados a ele(s).

4.3.2 Inversor CC-CA

Dispositivo eletrônico que converte a energia elétrica de corrente contínua (CC²¹, em geral 12 V) para corrente alternada (CA²², em geral 110 ou 220 V), de forma a permitir a utilização de eletrodomésticos convencionais.

4.3.3 Banco de Baterias

Sua função é acumular a energia elétrica produzida pelo módulo fotovoltaico e disponibilizá-la posteriormente para o uso.

²¹ CC ou em inglês DC - direct current, também chamada de corrente galvânica é o fluxo constante e ordenado de elétrons sempre em uma direção. Esse tipo de corrente é gerado por baterias de automóveis ou de motos (6, 12 ou 24V), pequenas baterias (geralmente de 9V), pilhas (1,2V e 1,5V), dinamos, células fotovoltaicas e fontes de alimentação de várias tecnologias, que retificam a corrente alternada para produzir corrente contínua. Normalmente é utilizada para alimentar aparelhos eletrônicos (entre 1,2V e 24V) e os circuitos digitais de equipamento de informática (computadores, modems, hubs, etc.).

²² CA ou em inglês AC - alternating current, é uma corrente elétrica cuja magnitude e direção da corrente varia ciclicamente, ao contrário da corrente contínua cuja direção permanece constante e que possui pólos positivo e negativo definidos. A forma de onda usual em um circuito de potência CA é senoidal por ser a forma de transmissão e energia mais eficiente. Entretanto, em certas aplicações, diferentes formas de ondas são utilizadas tais como triangular ou ondas quadradas.

4.3.4 Periféricos

São alguns equipamentos alimentados pela energia elétrica gerada pelo sistema, tais como: lâmpadas, TV, rádio, refrigerador, ventilador, telefone rural, cerca eletrificada, e outros.

4.3.5 Fios, Cabos e Suporte

Responsáveis por transmitir a energia, conectar os componentes que fazem parte do sistema e fornecer sustentação física aos módulos. A Figura 4.2 mostra o esquema de um sistema fotovoltaico para eletrificação rural, de acordo com os equipamentos descritos anteriormente.

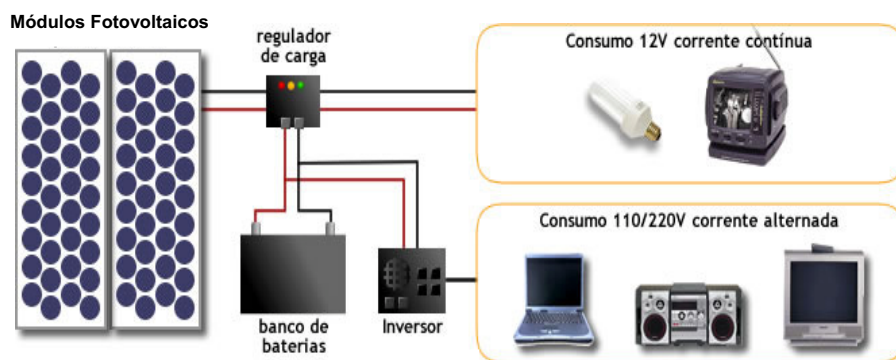


Figura 4.2 Equipamentos dos sistemas fotovoltaicos para eletrificação rural

Fonte: Heliodinâmica, 2006.

4.4 Sistemas Conectados à Rede Elétrica

Os sistemas conectados à rede incluem, além do módulo fotovoltaico e dos fios, cabos e suporte, o inversor conectado à rede elétrica (FRAINDENRAICH & LYRA, 1995; LISITA, 2005; CRESESB, 2005):

4.4.1 Inversor de Corrente CC-CA para Injeção na Rede Elétrica

Este equipamento é um dispositivo eletrônico que converte a energia elétrica CC, gerada pelos módulos fotovoltaicos, para CA senoidal, adequada à injeção direta na rede de distribuição de energia. A Figura 4.3 ilustra a configuração básica de um sistema fotovoltaico conectado à rede.

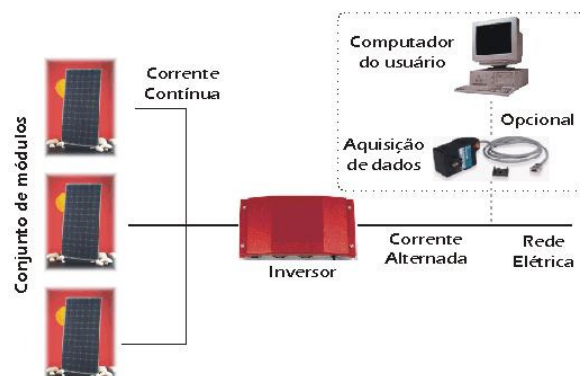


Figura 4.3 Sistema fotovoltaico básico conectado à rede elétrica

Fonte: Solenerg, 2008.

Os sistemas conectados à rede utilizam grande quantidade de módulos fotovoltaicos e são sistemas que não utilizam armazenamento de energia (baterias), pois toda energia elétrica gerada é entregue à rede instantaneamente. Instalações deste tipo vêm se tornando cada vez mais populares em países da Europa e no Japão²³.

Além dos sistemas fotovoltaicos anteriormente citados, existem também os sistemas híbridos²⁴ que não foram mencionados com detalhes nesta tese, pois o presente estudo está considerando somente os três sistemas anteriormente citados.

Visto o detalhamento dos componentes pertencentes aos sistemas fotovoltaicos, cabe ao próximo item apresentar informações sobre a durabilidade e manutenção de tais equipamentos²⁵.

4.5 Durabilidade e Manutenção dos Equipamentos

Os sistemas fotovoltaicos são bastante duráveis e precisam de pouca manutenção, como pode ser visto a seguir.

²³ Maiores detalhes sobre esta informação serão mostrados no Capítulo 5.

²⁴ Os sistemas híbridos de energia são sistemas autônomos de geração elétrica que combinam várias fontes de energia, sendo mais comum no Brasil o uso das fontes renováveis combinados com geradores convencionais à base de combustíveis fósseis.

²⁵ Algumas informações mais detalhadas sobre durabilidade e manutenção de determinados equipamentos não foram encontradas na literatura pesquisada.

4.5.1 Módulos Fotovoltaicos

Normalmente têm garantia de fábrica em torno de 20 a 25 anos quanto à produção de energia elétrica e de 2 anos quanto a defeitos de fabricação (SOLENERG; 2008). Sua vida útil é estimada em 30 anos (ALDABÓ, 2002; REW 2003a; CRESESB, 2005). A manutenção dos módulos requer basicamente verificar se não há projeção de sombras de objetos próximos em nenhuma parte dos módulos fotovoltaicos, e se as ligações elétricas estão bem ajustadas e sem sinais de oxidação.

Os módulos fotovoltaicos, conforme Figura 4.4, são normalmente mantidos limpos pela ocorrência natural de chuva, mas em locais de pouca pluviosidade é adequada a limpeza periódica dos mesmos com água e sabão neutro.

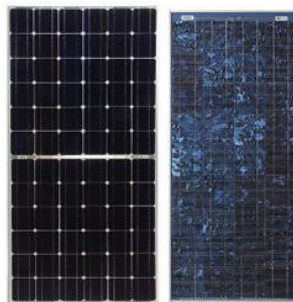


Figura 4.4 Módulos fotovoltaicos

Fonte: Catálogo comercial.

4.5.2 Inversor e Controlador de Carga

Os dispositivos eletrônicos (inversor, controlador de carga) têm vida útil superior a 10 anos (ALDABÓ, 2002; REW, 2003a) e garantia de fábrica contra defeitos de fabricação de 3 anos. A Figura 4.5 e Figura 4.6 ilustram exemplo de inversor e controlador de carga, respectivamente.



Figura 4.5 Inversor de corrente

Fonte: Catálogo comercial.



Figura 4.6 Controlador de carga

Fonte: Catálogo comercial.

4.5.3 Baterias

As baterias são consideradas o ponto fraco do sistema em termos de durabilidade, não sendo recomendável a utilização de baterias automotivas em sistemas fotovoltaicos, pois a vida útil dessas baterias nesse tipo de aplicação é estimada em cerca de 2 anos (CRESESB, 2005).

Recomenda-se a utilização de baterias estacionárias seladas de ciclo profundo, conforme Figura 4.7, que têm vida útil de 4 a 5 anos, com garantia de fábrica de 2 anos, sem a necessidade de manutenção (SOLAR BRASIL, 2008; SOLENERG, 2008).



Figura 4.7 Baterias estacionárias

Fonte: Catálogo comercial

4.5.4 Conjunto Motobomba

No caso específico dos grupos motobombas fotovoltaicos, estes têm grande durabilidade e eficiência no funcionamento, especificada de acordo com o consumo de água previsto, com as características do poço e com a posição do reservatório (SOLENERG, 2008).

O estado da arte da tecnologia de bombeamento fotovoltaico busca substituir os sistemas de poços tipo *cacimba* com bombas submersas e motores em superfície, por poços do tipo tubular de pequeno diâmetro, com o grupo motobomba de localização submersa e de fabricação especial para utilização fotovoltaica, já que são bombas mais eficientes, com uma maior vida útil e menor necessidade de manutenção (FEDRIZZI, 1997).

Segundo Fedrizzi (2003), apesar do visível crescimento do número de projetos de bombeamento fotovoltaico, a experiência no país vem mostrando que problemas são recorrentes, podendo ser de caráter estrutural do próprio planejamento, das especificações técnicas dos equipamentos, das formas de introdução da tecnologia, da adaptação dos usuários à nova tecnologia e da estrutura de operação e manutenção, dentre outros motivos.

4.5.5 Materiais Hidráulicos

A manutenção e a limpeza dos reservatórios, tubulações e recipientes de coleta, bem como a desinfecção da água, são procedimentos de suma importância e que não costumam ser tratados com a devida relevância, nem pelos idealizadores de projetos e nem pelos próprios usuários (FEDRIZZI, 1997).

Além dos cuidados com a manutenção dos equipamentos é de grande relevância que todos os equipamentos pertencentes aos sistemas solares fotovoltaicos que venham a ser instalados façam parte do Programa Brasileiro de Etiquetagem - PBE. As características deste Programa, bem como seu estágio atual, são apresentadas a seguir.

4.6 Programa Brasileiro de Etiquetagem - PBE

O Instituto Brasileiro de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial - INMETRO constituiu, em 9 de fevereiro de 2002, dentro do escopo do PBE²⁶, o Grupo de Trabalho de Sistemas Fotovoltaicos - GT-FOT. O grupo foi formado com o objetivo de estabelecer as normas para etiquetagem de sistemas fotovoltaicos e seus componentes, visando à contínua melhoria técnica destes produtos, a exemplo dos programas de sucesso para outros equipamentos tais como

²⁶ Programa de conservação de energia, que atua através de etiquetas informativas, com o objetivo de alertar o consumidor quanto à eficiência energética de alguns dos principais eletrodomésticos nacionais.

refrigeradores domésticos, motores elétricos, lâmpadas e sistemas de aquecimento solar de água (CRESESB, 2004b).

Os laboratórios participantes do PBE para sistemas fotovoltaicos são Centro de Pesquisa de Energia Elétrica - CEPEL, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro – PUC-RJ, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul - LABELO/PUC-RS, Instituto de Eletrotécnica e Energia da Universidade do Estado de São Paulo - IEE/USP, Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais - GREEN/PUC-MG e Laboratório de Energia Solar da Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS (INMETRO, 2008).

Os equipamentos etiquetados pertencentes aos sistemas fotovoltaicos são módulos fotovoltaicos, inversores, controladores de carga e baterias. De acordo com CRESESB (2004), inicialmente estão sendo avaliados somente os módulos fotovoltaicos de silício cristalino (mono-Si e poli-Si) em relação a itens como eficiência nas condições padrão de teste (STC), resistência mecânica, estanqueidade e corrosão, entre outros. Os módulos fotovoltaicos recebem etiquetas apresentando sua faixa de eficiência de A até E, sendo a classificação A mais eficiente, com nível de eficiência energética superior a 14%, e a classificação E, com nível de eficiência energética inferior a 11%, ou seja, menos eficiente energeticamente (PROCEL INFO, 2008).

Em PROCEL INFO (2008), o Professor Roberto Zilles, coordenador do Laboratório de Etiquetagem de Sistemas Fotovoltaicos do IEE/USP, afirmou que a etiqueta de qualificação e classificação dos módulos fotovoltaicos, de acordo com o seu nível de eficiência energética, é pioneira no mundo.

De acordo com Gonçalves (2008), em 2008, já se encontram ensaiados e aprovados²⁷ alguns modelos de inversores, controladores de carga, baterias e módulos fotovoltaicos, podendo ser verificados na Tabela 4.4.

²⁷ Informações mais detalhadas podem ser obtidas em <http://www.inmetro.gov.br/qualidade/eficiencia.asp>

Tabela 4.4 Fabricantes e equipamentos fotovoltaicos ensaiados e aprovados no PBE (Abril 2008)

Fabricante	Equipamento	Marca	Família/Modelo
UNITRON* Engenharia Ind. e Com. Ltda	Inversor	XANTREX/PROSINE	SW 1000i SW 1800i XS 1000 XS 1800
ORBE Brasil Ind. e Com. Ltda	Inversor	ORBE	ICS-500-024-127-1G01 ICS-300-012-127-1G01
PHOCUS AG	Controlador de carga	PHOCUS	CX10 CX20 CX40
Acumuladores MOURA	Bateria	MOURA	12MC150M
KYOCERA Solar do Brasil Ltda	Controlador de carga	MORNINGSTAR	SS10 SHS10 PS15 PS30
	Módulo fotovoltaico	KYOCERA	KC50T KC65T KC85T KC130TM

Fonte: Gonçalves, 2008.

* Representante da Xantrex no Brasil.

Dos equipamentos atualmente ensaiados e aprovados, como mostrou a Tabela 4.4, a ORBE Brasil e a Acumuladores Moura são fabricantes brasileiras, sendo a primeira de inversores e a segunda de baterias. Dos quatro modelos de módulos fotovoltaicos ensaiados do fabricante Kyocera Solar, um recebeu a classificação A e os outros três classificação B (PROCEL INFO, 2008).

Quando comparado aos equipamentos dos sistemas solares de aquecimento de água, o PBE para equipamentos dos sistemas fotovoltaicos encontra-se ainda em fase incipiente. No entanto, é necessário destacar a importância do controle de qualidade na fabricação dos equipamentos, oferecendo ao consumidor produtos mais eficientes e passando credibilidade sobre o uso de tais equipamentos e da tecnologia.

Detalhados os sistemas fotovoltaicos selecionados e seus devidos componentes, o Capítulo 5 apresenta o panorama atual da indústria de equipamentos para estes sistemas, com o objetivo de analisar o mercado nacional de equipamentos fotovoltaicos.

Capítulo 5

A indústria de Equipamentos Fotovoltaicos

Esse capítulo apresenta o panorama da indústria mundial e brasileira dos equipamentos pertencentes aos sistemas solares fotovoltaicos. Inicialmente são apresentados dados da indústria mundial de equipamentos fotovoltaicos com destaque nos quatro principais mercados de equipamentos fotovoltaicos no mundo, que são o Japão, Alemanha, EUA e Espanha. Em seguida, é mostrada a evolução da indústria brasileira de equipamentos fotovoltaicos desde o seu surgimento até os dias atuais.

5.1 A indústria Mundial de Equipamentos Fotovoltaicos

A indústria fotovoltaica tem experimentado nos últimos anos um acelerado crescimento. Em 2002 celebrou seu primeiro GWp de produção acumulada, como mostra a Tabela 5.1. Os dados foram retirados do *International Energy Agency - IEA Photovoltaic Power Systems Programme – PVPS*, que é um dos acordos colaborativos estabelecidos dentro do IEA e desde 1992, ano de sua criação, seus participantes têm conduzido uma variedade de projetos comuns na aplicação da conversão da energia solar em eletricidade. O PVPS conta com 23 países membros e infelizmente o Brasil não está incluído neste Programa. Na Tabela 5.1²⁸ só estão ilustrados os dados dos 10 principais países que vem se destacando mundialmente.

²⁸ O “Total” da Tabela 5.1 equivale ao total acumulado pelos 23 países do IEA-PVPS.

Tabela 5.1 Potência acumulada instalada de sistemas fotovoltaicos em países do mundo, em MW
(1992-2007)

Pais	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Austrália	7,3	8,9	10,7	12,7	15,7	18,7	22,5	25,3	29,2	33,6	39,1	45,6	52,3	60,6	70,3	82,5
Suíça	4,7	5,8	6,7	7,5	8,4	9,7	11,5	13,4	15,3	17,6	19,5	21,0	23,1	27,1	29,7	36,2
Alemanha	5,6	8,9	12,4	17,7	27,8	41,8	53,8	69,4	113,7	194,6	278,0	431,0	1 044,0	1 910,0	2 863,0	3 862 (1)
Espanha	4,0	4,6	5,7	6,5	6,9	7,1	8,0	9,1	12,1	15,7	20,5	27,0	37,4	57,7	118,2	655 (4)
França	1,8	2,1	2,4	2,9	4,4	6,1	7,6	9,1	11,3	13,9	17,2	21,1	26,0	33,0	43,9	75,2
Itália	8,5	12,1	14,1	15,8	16,0	16,7	17,7	18,5	19,0	20,0	22,0	26,0	30,7	37,5	50,0	120,2
Japão	19,0	24,3	31,2	43,4	59,6	91,3	133,4	208,6	330,2	452,8	636,8	859,6	1 132,0	1 421,9	1 708,5	1 918,9 (2)
Coreia	1,5	1,6	1,7	1,8	2,1	2,5	3,0	3,5	4,0	4,8	5,4	6,0	8,5	13,5	34,7	77,6
Países Baixos	1,3	1,6	2,0	2,4	3,3	4,0	6,5	9,2	12,8	20,5	26,3	45,9	49,5	51,2	52,7	53,3
EUA	43,5	50,3	57,8	66,8	76,5	88,2	100,1	117,3	138,8	167,8	212,2	275,2	376	479,0	624,0	830,5 (3)
Total	110	136	164	199	244	314	396	520	729	989	1 334	1 828	2 858	4 180	5 695	7 841

Fonte: IEA-PVPS, 2008b.

A Figura 5.1 mostra claramente que os quatro países que estão se destacando no mercado mundial são Alemanha, Japão, EUA e Espanha. Em 2007, estes quatro países foram responsáveis por aproximadamente 90% do total instalado, sendo 50% instalado somente na Alemanha. Observa-se que a Alemanha tem claramente o nível mais elevado de potência instalada, com capacidade total acumulada de 3.862 MW.

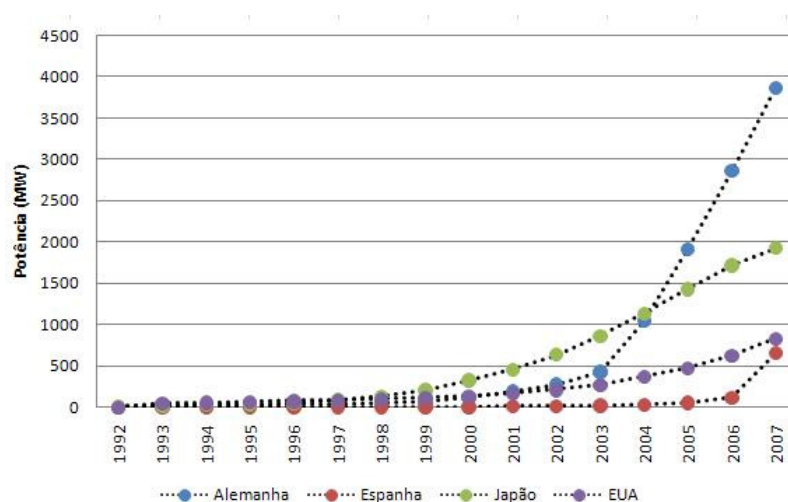


Figura 5.1 Potência acumulada instalada de sistemas fotovoltaicos na Alemanha, Espanha, Japão e EUA, em MW (1992-2007)

Apesar do mercado japonês aparecer na segunda posição do mercado mundial, em 2007 tal país foi responsável pela instalação de apenas 210 MW, um decréscimo de aproximadamente 26% quando comparado ao ano anterior. Enquanto isso, a Espanha instalou 537 MW e os EUA, 206 MW, ou seja, em 2007 a Espanha se destacou em segundo lugar no mundo na instalação de sistemas fotovoltaicos, perdendo a primeira posição apenas para Alemanha.

A Figura 5.2 mostra nitidamente que não foi somente o mercado espanhol que começou a decolar durante o ano de 2007, mas também a Coreia, Itália e França tiveram um bom crescimento. Isso ocorreu porque tais países, assim como a Espanha, estão sendo apoiados através de incentivos dos seus próprios governos.

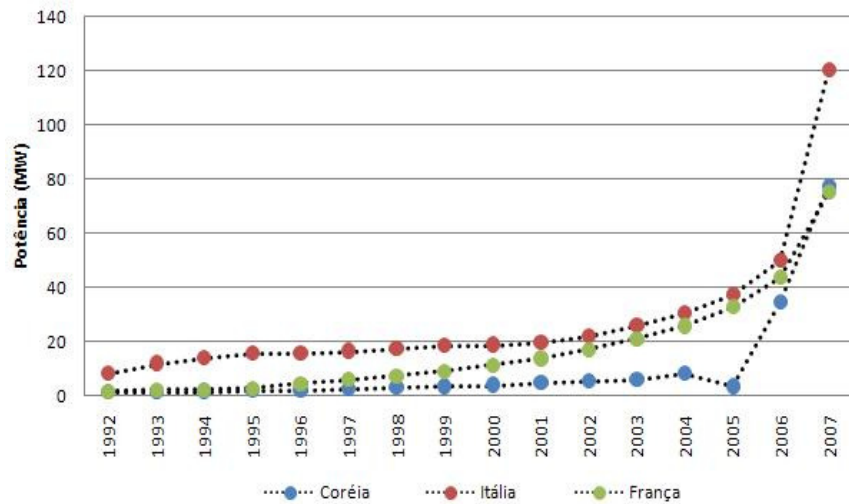


Figura 5.2 Potência acumulada instalada de sistemas fotovoltaicos na Coréia, Itália e França, em MW (1992-2007)

A potência total instalada de sistemas conectados à rede vem crescendo significativamente ao longo dos anos, conforme a Figura 5.3. Somente em 2007 tais sistemas foram responsáveis por 94% do total instalado, ou seja, os 6% restantes, o equivalente a 128 MW, corresponderam aos sistemas não conectados à rede.

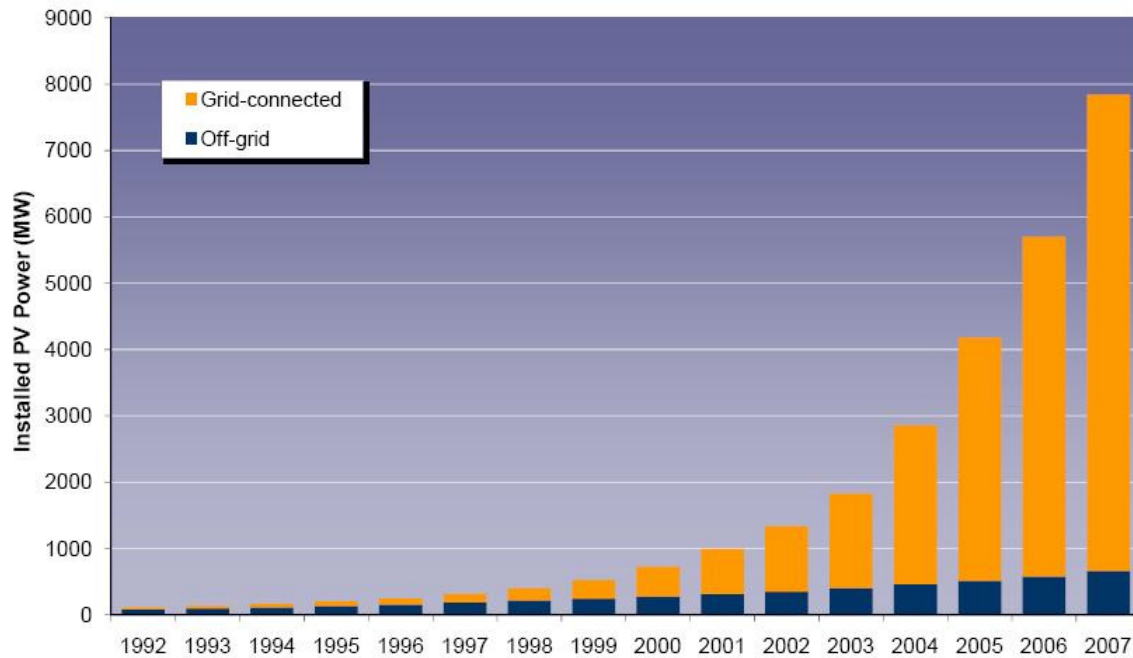


Figura 5.3 Potência acumulada instalada de sistemas fotovoltaicos em países no mundo conectados ou não à rede elétrica, em MW (1992–2007)

Fonte: IEA – PVPS, 2008b.

Apesar disso, segundo o Relatório *Trends in Photovoltaic Applications* (2007), elaborado pelo IEA, 1/3 dos países pertencentes ao PVPS relatam que as aplicações não conectadas à rede dominam seus mercados, como pode ser visto na Figura 5.4. No entanto, esses mesmos países relatam que estas aplicações vêm diminuindo ao longo do tempo e que a forte tendência é o mercado de sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica.

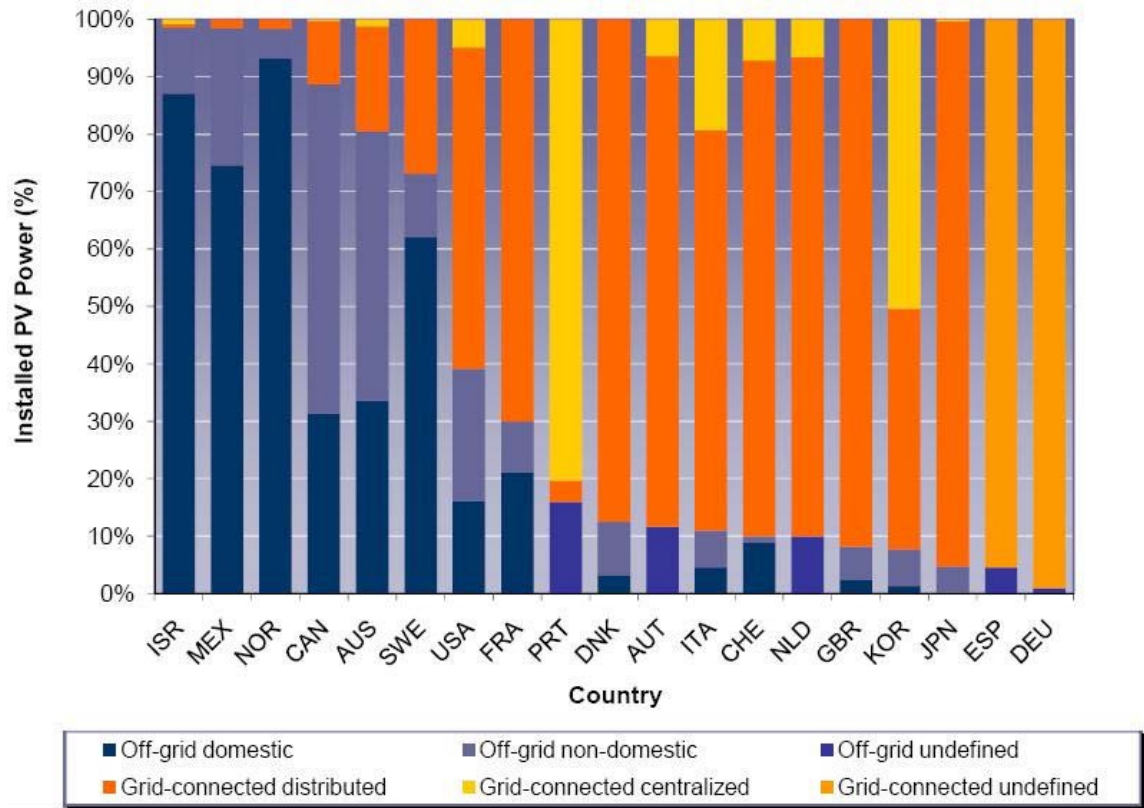


Figura 5.4 Potência instalada dos sistemas fotovoltaicos por aplicação em alguns países²⁹, em porcentagem³⁰ (2007)

Fonte: IEA- PVPS, 2008b.

Os tipos de aplicações não conectadas à rede elétrica variam de acordo com cada mercado. Por exemplo, na Austrália, Canadá e México a aplicação mais comum são os sistemas de eletrificação rural e em todos estes mercados, a aplicação em telecomunicações é a mais importante (IEA, 2007).

²⁹ Off-grid undefined = sistemas não conectados à rede que não foram quantificados separadamente em domésticos ou não domésticos. Grid-connected undefined = sistemas conectados à rede que não foram quantificados separadamente em distribuídos ou centralizados.

³⁰ Na Figura 5.2: MEX = México; NOR = Noruega; ISR = Israel; CAN = Canadá; SWE = Suécia; AUS = Austrália; PRT = Portugal; FRA = França; KOR = Coreia; USA = Estados Unidos; ITA = Itália; ESP = Espanha; AUT = Áustria; CHE = Suíça; DNK = Dinamarca; NLD = Países Baixos; GBR = Reino Unido; JPN = Japão e DEU = Alemanha.

Durante a década de 90 o mercado da indústria fotovoltaica cresceu a uma taxa média de 15% ao ano (RÜTHER, 1999) e entre os anos de 2000 e 2007 este crescimento foi de 40%. Em 2007 a produção mundial de módulos fotovoltaicos ultrapassou os 2,5 GW, um aumento de 34% quando comparado ao ano anterior, e uma produção acumulada de quase 8 GW_p, dos quais 73% foram instalados na Alemanha e na Espanha, sendo somente a Alemanha responsável por 50% desse total. A Figura 5.5 apresenta a evolução da produção mundial de módulos fotovoltaicos no período de 1990 até 2007.

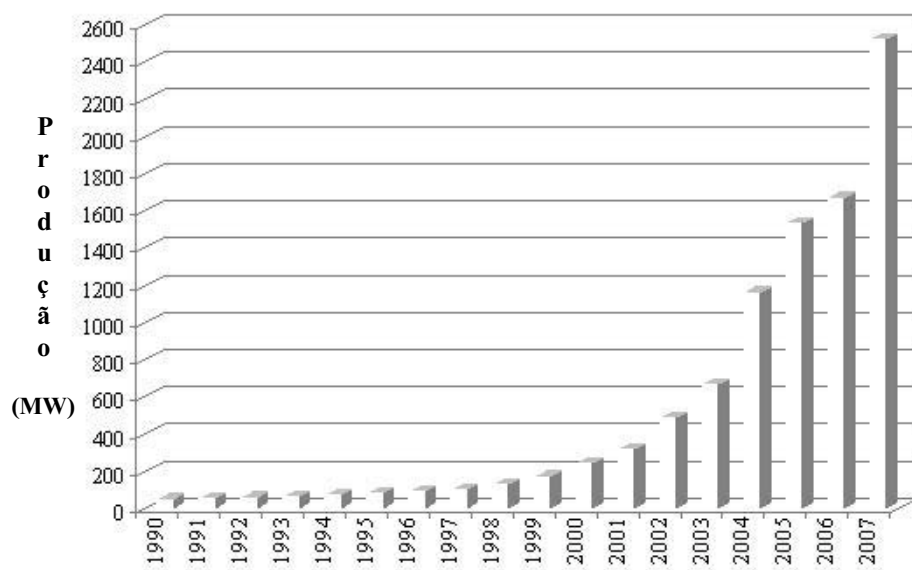


Figura 5.5 Evolução da produção de módulos fotovoltaicos (1990-2007)

Fonte: Elaboração própria a partir de Fenhann, 1998 e IEA-PVPS, 2008b.

Apesar do crescimento acelerado e da redução acentuada do preço, que ocorre à medida que o mercado cresce, passando de US\$ 30/W_p em 1975 (TOLMASQUIM, 2003) para cerca de US\$ 3,75/W_p em 2006 (IEA-PVPS, 2006), a indústria fotovoltaica é uma indústria cujo avanço ainda se faz com auxílio de subsídios e incentivos governamentais. Conforme os dados apresentados na Figura 5.1, a Alemanha, o Japão, EUA e Espanha são destacados como sendo os quatro países que tiveram a maior potência acumulada instalada de sistemas fotovoltaicos no mundo, mas observa-se que esse aumento ocorreu em épocas diferentes.

Um fator importante a ser lembrado é que por trás dos níveis de crescimento experimentados por estes países estão os programas de incentivos desenvolvidos nos mesmos, aumentando a participação dos sistemas fotovoltaicos na geração de energia elétrica através de subsídios fornecidos pelo governo. As principais motivações comuns em tais programas são a diversificação das fontes de energia tradicionalmente utilizadas, ou seja, a necessidade de se adotar um modelo energético sustentável; o incentivo à indústria de equipamentos fotovoltaicos; o barateamento da tecnologia; e a preocupação com o meio ambiente, principalmente com a redução das emissões de CO₂.

Apesar de motivados por questões comuns, cada país adotou suas próprias linhas de incentivo e fica evidente que todos convergem para a obrigatoriedade em adquirir a energia gerada a partir de sistemas fotovoltaicos ou através de outras fontes renováveis alternativas.

No caso da Alemanha, no ano 2000, a potência instalada acumulada aumentou 64% em relação ao ano anterior e daí por diante a tendência foi aumentar. Tal fato deveu-se ao “*100.000 Roofs Programme*” (SCHEER, 1999) que teve início em 1999 e terminou em 2003. Neste período foram instalados mais de 360 MW, com um total de 65.700 sistemas conectados à rede.

O “*100.000 Roofs Programme*” é considerado o maior programa do mundo a introduzir a energia solar fotovoltaica (SCHEER, 1999; REW, 2003c) e disponibilizou à população empréstimos para a instalação de sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica. Este regime de apoio através de empréstimos bonificados não foi interrompido e passou a ser chamado de *Solarstrom Erzeugen - Solar Power Generation* (IEA-PVPS, 2006).

Do ano de 2004 para o de 2006, conforme mostrado na Tabela 5.1, houve um bom acréscimo da potência acumulada instalada na Alemanha e tal fato ocorreu devido à aplicação da nova Lei de Energia Renovável, *German Renewable Energy Act - EGG*³¹ que entrou em vigor em 2004 (WISSING, 2006; HAAS *et al.*, 2006; IEA-PVPS, 2007).

Essa Lei determinou a obrigatoriedade de compra de toda a energia elétrica proveniente de fontes renováveis por parte das empresas fornecedoras de energia elétrica que operassem redes

³¹ As tarifas para novos sistemas fotovoltaicos instalados passaram a ter 5% de redução ao ano durante o período de 20 anos.

para o abastecimento público (chamados de operadores de rede) (EREC, 2004; CAVALIERO *et al.*, 2004; HAAS *et al.*, 2006; WISSING 2006). A partir de então a Alemanha passou a ser considerado o país com maior potência instalada de sistemas fotovoltaicos no mundo (IEA-PVPS, 2006), ficando o Japão com a segunda posição.

O crescimento verificado na potência acumulada do Japão também ocorreu em função do estímulo do governo, que subsidiou o custo da instalação de sistemas fotovoltaicos residenciais. De 1994 a 2005 foram instalados mais de 250 mil sistemas, o equivalente a um pouco mais de 1,4 GW de potência instalada, através do *Japanese Residential PV System Dissemination Program*³² (REW, 2003b, IKKI & TANAKA, 2004; IEA/PVPS, 2006; IKKI & MATSUBARA, 2007a e IKKI & MATSUBARA, 2007b).

A política energética do Japão, incluindo a energia solar para geração de energia elétrica, é baseada na *Basic Act on Energy Policy (Energy Policy Law)*, executada em 2002, que estabelece três princípios: garantia de um estável fornecimento; a adequação ambiental; e a utilização dos mecanismos de mercado. A divulgação dos sistemas fotovoltaicos é definida no "New Energy Innovation Plan" sob a "New National Energy Strategy", que é o alicerce da estratégia energética do Japão, estabelecidas em 2006 (IEA-PVPS, 2007).

A partir de 2007 foram implementados sete programas de demonstração no Japão. Um desses programas é o *Field Test Project on New Photovoltaic Power Generation Technology* (IEA-PVPS, 2007). Todos os programas foram criados especificamente para promover em larga escala a instalação de sistemas fotovoltaicos nos segmentos comercial, industrial e outras aplicações não-residenciais (HAAS *et al.*, 2006).

No caso dos EUA nota-se que o crescimento da quantidade de sistemas fotovoltaicos lá instalados não foi tão acentuado e acelerado como na Alemanha e Japão, ocorrendo de forma gradativa, apesar da existência de alguns incentivos locais por parte do governo americano.

³² Também chamado de "70.000 Roofs Programme".

O número de estados americanos que estão implementando programas de subsídio para a introdução de tecnologias de energia limpa está crescendo anualmente³³, mas os dois maiores programas de incentivo, considerados programas bem sucedidos, são o *California Solar Initiative* – CSI, da Califórnia, e o *New Jersey Renewable Portfolio Standard* – RPS, de New Jersey (IEA-PVPS, 2006).

O CSI foi criado em janeiro de 2006 pela *California Public Utilities Commission* fornecendo descontos ao consumidor residencial de energia renovável. Este novo programa de incentivo para sistemas inferiores a 1 MW começou em janeiro de 2007 e prevê um investimento total de US\$ 2.9 bilhões em dez anos (CEC, 2008).

Dentre os mecanismos regulatórios atualmente existentes para incentivar o uso das fontes renováveis alternativas nos EUA, o *Renewable Portfolio Standard* - RPS é um dos programas mais adotados pelos estados americanos. Também chamado de *Renewable Electricity Standard* – RES foi estabelecido em 2002. O objetivo do RPS é aumentar a porcentagem das energias renováveis na matriz energética, visando atingir 20% até 2017 (CAVALIERO *et al.*, 2004).

O mercado espanhol iniciou seu desenvolvimento através da aplicação de sistemas isolados, mas foi devido à importância dada a Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação que a iniciativa empresarial “disparou” na indústria fotovoltaica nos anos 80 e 90 do século passado.

Em 1997 através da Lei 54/1997, iniciou-se o processo de liberalização do setor de eletricidade e foi permitida a conexão de sistemas fotovoltaicos à rede elétrica, mesmo sem tarifas específicas (CAVALIERO *et al.*, 2004 e ASIF, 2008). No ano seguinte, em 1998, o *Real Decreto* 2818/1998 (RD 2818/1998) reparou essa lacuna e criou uma tarifa específica para a energia solar fotovoltaica, criando um novo mercado com características de nicho para as instalações conectadas à rede elétrica. Mesmo com esse RD o mercado espanhol não podia decolar porque as incertezas quanto ao retorno no investimento eram imensas e as tarifas específicas só estariam disponíveis até que a Espanha instalasse 50 MW de potência fotovoltaica (CAVALIERO *et al.*, 2004 e ASIF, 2008).

³³ Para obter maiores detalhes sobre tais programas e os subsídios federais existentes, sugere-se visitar a página eletrônica <http://www.dsireusa.org>.

Visando resolver esse impasse, em 2004, através do RD 436/2004 a situação mudou consideravelmente, pois foi proporcionada uma tarifa durante um período de tempo concreto e suficiente para amortizar o investimento e obter uma rentabilidade razoável. Com isso, o mercado nacional começou a decolar, impulsionado também pela alta do petróleo e o exemplo do grande salto dado pelo mercado fotovoltaico alemão nesse mesmo ano (ASIF, 2008).

Posteriormente, em 2007, foi criado o *Real Decreto* 661/2007 que além de incorporar novos elementos, tais como o estabelecimento de um forte apoio de 500 €/kW fotovoltaico instalado ou a obrigação de vender a eletricidade fotovoltaica gerada no mercado de energia elétrica, no lugar de vender para a distribuidora, manteve a tarifa fixada pelo RD 436/2004. A tarifa foi mantida para consolidar a indústria espanhola e alcançar os 400 MW fixados pelo *Plan de Energias Renovables* – PER. O PER foi criado em 1999 com o objetivo de instalar 400 MW de potência fotovoltaica na Espanha até 2010 (IEA, 2007; EUROBSERV'ER, 2008; ASIF, 2008b).

Como consequência do mercado fotovoltaico espanhol ter experimentado um notável crescimento da ordem de 450% somente em 2007 (EUROBSERV'ER, 2008; ASIF, 2008b), o PER atingiu sua meta 3 anos antes do prazo estimado, tornando desta forma obsoleto o marco regulatório estabelecido pelo RD 661/2007.

Logo, o sistema de tarifa (em inglês *feed-in tariff*) aplicado na Espanha até 28 de setembro de 2008 foi o definido pelo RD 661/2007, mas o novo sistema de tarifa que será utilizado a partir de 29 de setembro estava em discussão (EUROBSERV'ER, 2008).

A tarifa válida, até 28 de setembro de 2008, para os primeiros 25 anos varia de 0,4404 €/kWh para instalações menores ou iguais a 100 kWp (0,3523 €/kWh após 25 anos); de 0,4175 €/kWh para instalações entre 100 e 10 MWp incluídos (e, em seguida, 0,3340 €/kWh) e de 0,2294 €/kWh para as centrais elétricas até 50 MWp (e, em seguida, 0,1838 € / kWh) (EUROBSERV'ER, 2008).

A proposta proveniente do Ministério da Indústria é para distinguir as usinas que estão integradas na construção (variando de 0,44 €/kWh para centrais de energia menor ou igual a 20 kWp e 0,33 €/kWh para centrais de energia maiores do que 200 kWp) e as não integradas na

construção, ou seja, as instaladas no solo, baseadas nos sistemas fotovoltaicos (0,33 €/kWh). Esse novo sistema de tarifa será válido até 31 de dezembro de 2009 ou até a capacidade instalada de 1.200 MWp ser atingida.

Resumidamente cada um desses quatro países, considerados atualmente os mercados mais dinâmicos do mundo, tem seu próprio sistema de incentivo. No caso da Alemanha e Espanha está sendo utilizado o sistema de tarifas, denominado *feed in tariff*³⁴, mas o Japão e os EUA também tem estabelecido mercados importantes sem necessariamente utilizarem esse mesmo sistema. Na Califórnia, por exemplo, um dos mercados regionais considerados de maior importância no mundo, ainda que não implantem o sistema de tarifas para incrementar a penetração no mercado da tecnologia solar fotovoltaica, o investimento está se revelando atrativo devido à combinação de subsídios e redução de impostos. Observa-se então que o tipo de incentivo a ser utilizado dependerá do perfil de cada país, pois, conforme supracitado, cada país adota seus próprios mecanismos e políticas de incentivo e tem alcançado resultados positivos.

Segundo o relatório *Trends in Photovoltaic Applications* (2007), a produção total de células fotovoltaicas nos países do IEA PVPS em 2007 foi de aproximadamente 2.402 MW, como pode ser verificado na Tabela 5.2. Um aumento de 26% quando comparado ao ano anterior, que produziu 1.900 MW. O acréscimo verificado ocorreu principalmente devido à Alemanha, que contribuiu com 330 MW do total produzido. Ainda segundo este mesmo relatório, o crescimento global está mais forte e a produção está aumentando também rapidamente fora da área coberta pelos países do IEA PVPS.

³⁴ Com esse tipo de sistema as companhias de energia elétrica são obrigadas pelo marco regulatório a conectar todos os sistemas fotovoltaicos à rede elétrica, e o mercado de energia elétrica paga aos proprietários da instalação um preço fixo por cada kWh injetado de origem fotovoltaica durante um período de tempo suficiente para tornar rentável o investimento inicial. Quando a remuneração recebida decresce com o tempo, se estimula a redução dos custos.

Tabela 5.2 Produção de células fotovoltaicas, por região no mundo (2007)

País	Produção de células fotovoltaicas – todos os tipos (MW)
Japão	923
Alemanha	842
EUA	266
Espanha	120
Resto do mundo	251
Total	2.402

Fonte: Adaptada de IEA, 2008b.

A liderança do Japão na produção de células fotovoltaicas em 2007 pode ser verificada na Tabela 5.2, mas quando comparada ao ano anterior, que correspondeu a 920 MW, não houve aumento significativo na produção nesse país. A produção de células fotovoltaicas no Japão representou 39% da produção total dos países pertencentes ao PVPS, com a Alemanha em segundo lugar sendo responsável por 35% da produção total em 2007, conforme mostra a Figura 5.6.

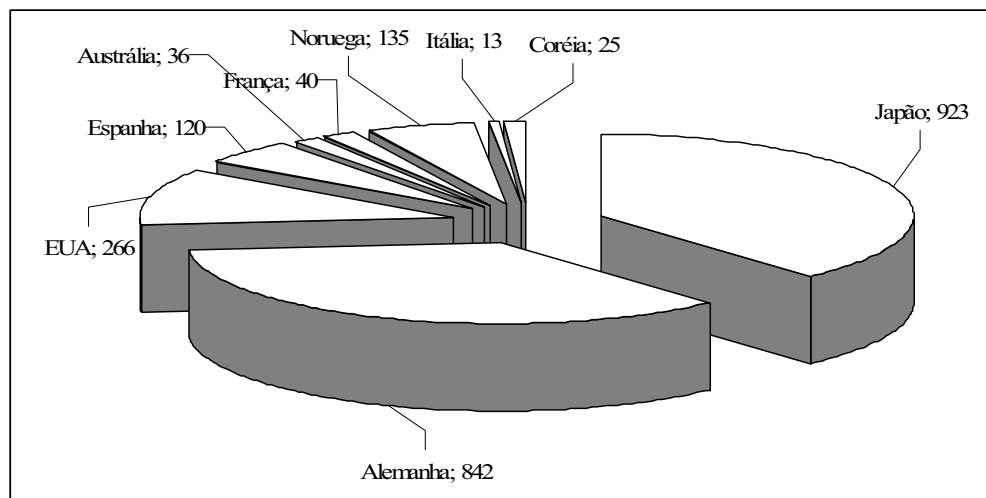


Figura 5.6 Produção de células fotovoltaicas em MW, por país (2007)

Fonte: IEA, 2008b.

O fabricante japonês Sharp é considerado líder mundial na fabricação de células fotovoltaicas e de acordo com Holihan (2000), vem liderando o mercado desde o ano de 2000.

Entretanto a Q-Cells, fabricante alemã, ocupa a segunda posição, seguida dos fabricantes japoneses Kyocera, Sanyo Electric e Mitsubishi Electric, conforme mostra a Figura 5.7. Estas cinco empresas representaram cerca de 60% da produção total de célula fotovoltaica em 2006.

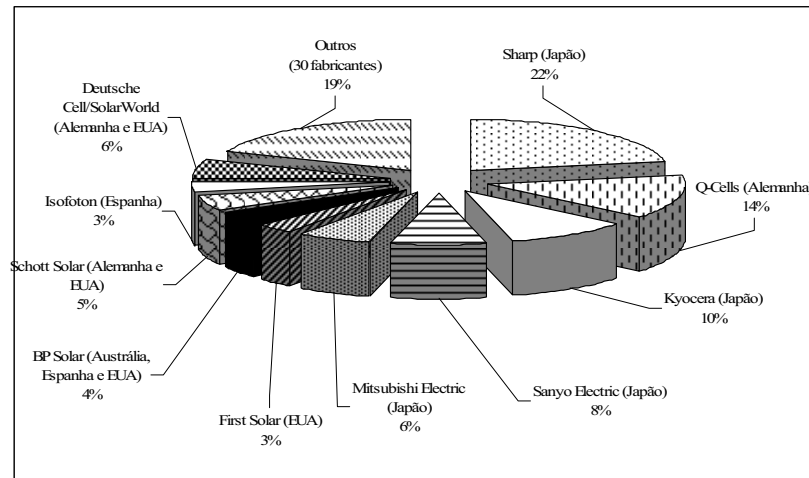


Figura 5.7 Produção de células fotovoltaicas dos países do IEA PVPS, em % por fabricante (2006)

Fonte: IEA, 2007.

Quanto à produção de módulos fotovoltaicos, as empresas japonesas Sharp, Kyocera e Mitsubishi Electric estão liderando o mercado, com uma produção equivalente a quase metade do total, conforme mostra a Figura 5.8. De acordo com Solarbuzz (2006) o Japão e os EUA são os dois maiores exportadores de módulos fotovoltaicos do mundo.

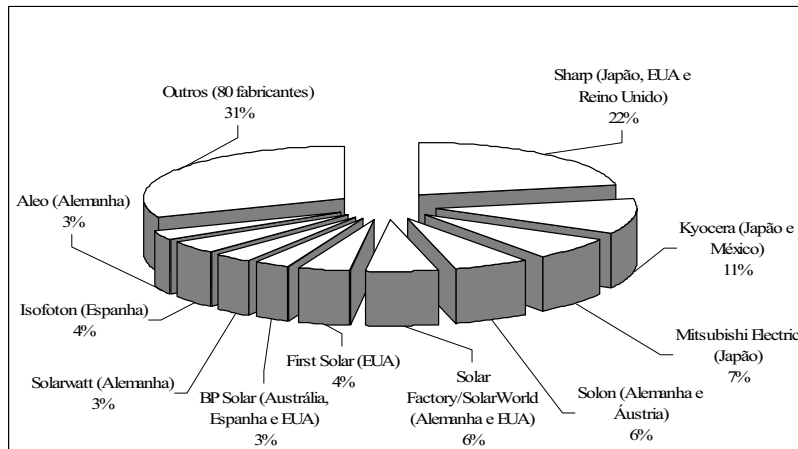


Figura 5.8 Produção de módulos fotovoltaicos dos países do IEA-PVPS, em % por fabricante (2006)

Fonte: IEA, 2007.

Conforme supracitado o mercado internacional de sistemas fotovoltaicos tem tido taxas de crescimento notáveis. Este crescimento, entretanto, tem ocorrido mais fortemente somente em quatro países: Japão, Alemanha, EUA e Espanha, nos quais estão instalados mais de 4/5 da capacidade atual dos módulos fotovoltaicos. Infelizmente não existe ainda nenhum documento fornecendo informações com exatidão sobre o mercado mundial, sendo as informações existentes muito desencontradas.

As informações mais completas que se têm atualmente sobre a indústria de sistemas fotovoltaicos para pesquisa são do IEA, que publica relatórios anuais de 23 países membros do IEA-PVPS (IEA, 2007).

Como o mercado de sistemas fotovoltaicos tem se concentrado nos quatro países mencionados é importante dar atenção especial aos mesmos neste trabalho. Os itens 5.1.1, 5.1.2, 5.1.3 e 5.1.4 apresentam maiores informações sobre a indústria de equipamentos fotovoltaicos pertencentes a estes países.

5.1.1 Japão

5.1.1.1 Células e Módulos Fotovoltaicos

De acordo com Ikki & Matsubara (2007b), os dez principais fabricantes de células e módulos fotovoltaicos do Japão são Sharp, Kyocera, Sanyo Electric, Mitsubishi Electric, Kaneka, Mitsubishi Heavy Industries (MHI), Hitachi, Fuji Electric Systems, Honda Motor and FujiPream/CleanVenture 21 (CV21). Dentre eles, a Hitachi fabrica células fotovoltaicas de silício bifacial; a Fuji Electric, a Honda Motor, a Mitsubishi Heavy Industries e a Kaneka começaram a fabricar módulos fotovoltaicos de silício amorfo em escala piloto; a FujiPream/CleanVenture 21 tem produzido experimentalmente módulos fotovoltaicos de silício esférico; e a Sharp tem fabricado células fotovoltaicas com tecnologia de filme fino tipo silício amorfo com silício microcristalino (Si-a/Si- μ c).

Em 2006 o fabricante MSK, especializado na fabricação de módulos fotovoltaicos foi adquirido pela Suntech Power Holdings, um dos principais fabricantes de células e módulos fotovoltaicos da China. Somente em 2006 mais de 600 MW de módulos fotovoltaicos foram produzidos no Japão, conforme mostra a Tabela 5.3. Do total de células e módulos fotovoltaicos produzidos neste mesmo ano, foram exportados 629,1 MW.

Tabela 5.3 Produção de células e módulos fotovoltaicos no Japão, por fabricante, em 2006

Fabricante Célula/ Módulo fotovoltaico	Produção total (MW)	
	Célula	Módulo
Sharp	434,73	272,3
Kyocera	180	180
Sanyo Electric	150	5
Mitsubishi Electric	111	111
Hitachi	4	0,06
Fuji Pream/CleanVenture 21	-	0,1
MSK	-	36,9
Kaneca	27	27
Mitsubishi Heavy Industries	13	13
Fuji Electric Systems	0,05	0,05
Total	919,8	645,4

Fonte: Elaboração própria a partir de Ikki & Matsubara (2007b).

Observa-se na Tabela 5.3 que, mais uma vez, o destaque vai para o fabricante Sharp, correspondendo a aproximadamente 55% do total de células e módulos fotovoltaicos produzidos no País. Quando comparado à quantidade de células e módulos fotovoltaicos produzidos pela Sharp em 2003³⁵ (Ikki & Tanaka, 2004), observa-se um incremento de 55% e 34% respectivamente, ou seja, bastante significativo.

5.1.1.2 Inversor de Corrente Elétrica

Segundo Ikki & Tanaka (2004), até 2004 havia mais de 10 fabricantes de inversores no Japão. A maioria deles são fabricantes de dispositivos elétricos, de sistemas de fonte de alimentação, de componentes elétricos e de máquinas elétricas em geral. Os fabricantes que estão produzindo inversores para sistema residencial são a Sharp, Sanyo Electric, a Mitsubishi Electric,

³⁵ Ano das últimas informações disponíveis.

a Omron, a Japan Storage Battery, a Matsushita Electric Works, a Sanyo Denki e, a Sansha Electric Manufacturing. A capacidade da maioria dos inversores para uso residencial varia principalmente de 3 a 5 kW. A padronização e a produção maciça dos inversores para sistemas residenciais foram promovidas pensando-se na economia do tamanho e do peso.

Os sistemas de 10 a 500 kW são instalados em segmentos comerciais e industriais. Os fabricantes destes tipos de inversores são Japan Storage Battery, Sanyo Denki, Kyocera, Nichicon, Furukawa electric, Yuasa Corporation, Nissin Electric, Fuji Electric, Sansha Electric Manufacturing, Nippon Electric Industry, Mitsubishi Electric Corporation, e outros. É importante ressaltar que inversores com capacidade de saída acima de 10 kW possuem aplicação limitada para finalidades especiais, e o custo destes inversores é relativamente alto. Geralmente, os inversores de 10 kW são conectados em paralelo com instalações até 200 kW.

Nestas circunstâncias, a Sharp comercializou um inversor de 100 kW para corresponder ao aumento da capacidade de saída de sistemas fotovoltaicos. Se a disseminação de sistemas fotovoltaicos com 100 kW, ou maiores capacidades de saída for promovida, espera-se que haja uma redução do custo de inversores de 100 kW quando produzidos em escala.

Os sistemas conectados à rede elétrica dominam o mercado japonês, de modo que a demanda por baterias e inversores para sistemas autônomos é limitada a usos especiais (IKKI & TANAKA, 2004; IKKI & MATSUBARA, 2007b).

5.1.2 Alemanha

5.1.2.1 Células e Módulos Fotovoltaicos

A produção de células fotovoltaicas na Alemanha revela crescimento estável. A produção em 2002 era de 58 MW passando para 510 MW em 2006. De acordo com Wissing (2007), em 2006 havia oito principais fabricantes de células fotovoltaicas no mercado alemão, aplicando tecnologias diferentes, tais como silício monocristalino, silício policristalino, EFG (Edge defined Film-Fed

Growth)³⁶, silício amorfo, entre outros. As oito empresas são Deutsche Cell, ErSol Solar Energy, EverQ, Q-Cells, Scheuten Solar (ex- Shell Solar), Schott Solar, Solarwatt Cells e Sunways.

A produção de módulos fotovoltaicos na Alemanha teve um aumento muito significativo. Em 2002 foram produzidos 40 MW, e em 2006 este número aumentou para 330 MW (WISSING, 2007). Segundo Stubenrauch (2003), estão disponíveis no mercado alemão mais de 400 tipos de módulos fotovoltaicos. A quantidade de fabricantes atualmente neste mercado já ultrapassa 20 e estão produzindo módulos fotovoltaicos para todos os tipos de aplicações.

Os fabricantes de módulos fotovoltaicos são Alfasolar GmbH, Deutsche Cell GmbH, Ersol Solar Energy GmbH, Scheuten Solar Technology, GSS GmbH, IPEG GmbH, Q-Cells AG, RWE Schott Solar GmbH, Saint Gobain Glass Solar GmbH, Shell Solar GmbH, Solara AG, Solar Fabrik GmbH, Solar Factory GmbH, Solarnova GmbH, Solarwatt Solar-Systeme GmbH, SOLOJ AG, S.M.D Solar- Manufaktur Deutschland GmbH, Sunset Energietechnik, Webasto Systemkomp GmbH, Antec Solar GmbH, RWE Schott Solar GmbH e Wurth Solar GmbH (STUBENRAUCH, 2003).

Ainda segundo Stubenrauch (2003), dos 22 fabricantes alemães de módulos fotovoltaicos listados anteriormente, três são fabricantes de módulos fotovoltaicos filme fino na fase de desenvolvimento ou otimização com uma produção total de 7.4 MW que são os fabricantes AnTec Solar GmbH, RWE Schott Solar GmbH e Wurth Solar GmbH.

5.1.2.2 Inversor de Corrente Elétrica

Segundo uma pesquisa de mercado sobre a disponibilidade de inversores na Alemanha, descobriu-se que 27 fabricantes estão oferecendo aproximadamente 166 tipos de inversores de tamanhos diferentes para as aplicações conectadas à rede elétrica e não-conectada à rede elétrica (STUBENRAUCH, 2003).

Os fabricantes do mercado alemão aumentaram sua produção de inversores de 127 MW, em 2001, para 165 MW, em 2002, passando para 282 MW, em 2003. A porcentagem de exportação é desconhecida, e o principal fabricante alemão dos inversores conectados à rede,

³⁶ Método mais moderno de produção, pelo qual o filme de silício é retirado diretamente da mistura de silício

SMA, produziu sozinho 148 MW. Como uma tendência real, os fabricantes alemães de inversores começaram a ter novos competidores e um número crescente de companhias estrangeiras está tentando se inserir no mercado alemão (STUBENRAUCH, 2003).

5.1.3 EUA

5.1.3.1 Células e Módulos Fotovoltaicos

Segundo Maycock & Bower (2004), em 2003 a produção de células e módulos fotovoltaicos nos Estados Unidos totalizou 103,02 MW, apresentando 15% de redução quando comparado ao mesmo período em 2002. Essa redução ocorreu devido à dificuldade experimentada pela AstroPower, entrando em falência naquele ano; à produção reduzida da BP Solarex causada pela produção de novas plantas na Ásia e na Europa; e por mudanças da BP Solarex dos EUA. A produção por fabricante se encontra na Tabela 5.4, que também mostra a liderança do fabricante Shell Solar no mercado americano, responsável por 50% do total produzido em 2003.

Tabela 5.4 Produção de células e módulos fotovoltaicos, em MW, por fabricante nos EUA (1996 – 2003)

Fabricante	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Shell Solar	17,00	22,00	20,00	22,20	28,00	39,00	46,50	52,00
BP Solarex	10,80	14,80	15,90	18,00	20,47	25,22	31,00	13,42
Solec International	3,50	4,00	4,00	0,60				
AstroPower	2,85	4,30	7,00	12,00	18,00	26,00	29,70	17,00
USSC	0,60	1,70	2,20	3,00	3,00	3,80	4,00	7,00
RWE Schott (ASE)	3,00	4,00	4,00	4,00	4,00	5,00	5,00	4,00
Evergreen Solar							1,90	2,80
First Solar							1,00	3,00
Global Solar								2,00
Outros	1,10	0,20	0,60	1,00	1,50	1,30	2,50	1,80
Total	38,85	51,00	53,70	60,80	74,97	100,32	120,60	103,02

Fonte: Maycock & Bower, 2004.

derretido e depois cortado em lâminas por laser.

5.1.3.2 Inversor de Corrente Elétrica

Apesar de em 2006 terem sido instalados mais do que 100 MW de sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica, aproximadamente a metade dos sistemas americanos instalados são não conectados à rede elétrica, ou seja, sistemas autônomos (MAYCOCK *et al.*, 2007).

De acordo com Maycock & Bower (2004), há vários fabricantes de inversores nacionais que atendem ao mercado americano. Todos têm mercados para outros tipos de inversores, não somente para inversores fotovoltaicos, e alguns exportam uma porcentagem grande de seu produto.

Mais de 15 fabricantes de inversores atuam no mercado americano, mas grande parte desses são importados (MAYCOCK *et al.*, 2007). Em 2000, muitas das indústrias de inversores dos EUA foram consolidadas pela Xantrex no Canadá. A Xantrex adquiriu a Trace Engineering, a Heart Interface e a StatPower. A Trace Engineering era o maior fabricante de inversores fotovoltaicos, com mais de 30.000 inversores (a maioria não conectado à rede) expedidos em 2002. Outros fabricantes de inversores são a Advanced Energy Systems In., a Heliotrope General, e a Vanner Weldon (MAYCOCK & BOWER, 2004).

Ainda segundo Maycock & Bower (2004), a SMA, fabricante alemã, abriu em 2000 um escritório de vendas nos Estados Unidos dos seus inversores residenciais conectados à rede. A Sharp, fabricante japonês, que instalou mais de 100.000 inversores no Japão, entrou no mercado dos EUA em 2003 (MAYCOCK *et al.*, 2007).

5.1.3.3 Controlador de Carga

Os Estados Unidos têm diversos fabricantes de controladores de carga. Segundo Maycock & Bower (2004) o maior fabricante é a Morningstar Corporation com produção superior a 75.000 controladores de carga.

Outros grandes fabricantes com produção anual de 10.000 unidades são a Xantrex, a Specialty Concepts, a Sun Selector e a RV Power Products. Há também outros fabricantes atuando no mercado americano, que são a ETA Engineering, a Orion, a PICO, a ICP Global Tech e a Dynage Power (MAYCOCK & BOWER, 2004; MAYCOCK *et al.*, 2007).

A produção total é estimada entre 130.000-150.000 unidades por ano e mais de 60% dos controladores de carga fabricados nos EUA são exportados (MAYCOCK & BOWER, 2004; MAYCOCK *et al.*, 2007).

5.1.4 Espanha

5.1.4.1 Células e Módulos Fotovoltaicos

O principal foco da indústria espanhola tem sido a fabricação de células e módulos fotovoltaicos, com exceção da Isofotón que está evoluindo na área de fabricação de *Wafer*. No entanto, existe um claro movimento com o objetivo de redução da dependência externa. Com relação a este ponto, já existem alguns projetos relacionados com o desenvolvimento da produção de lingote de silício (IEA, 2008b).

Segundo IEA (2008b) a produção de módulos fotovoltaicos tem crescido continuamente, pois enquanto em 2001 a Espanha tinha produzido 1 MW de módulos, em 2007 a produção foi de 400 MW. A indústria espanhola, inclusive, já tem planos para duplicar esse número.

Os fabricantes de módulos fotovoltaicos responsáveis por estes números são relatados pela ASIF (2008) como sendo Atersa, BP Solar, Gamesa Solar, Isofotón, Aleo Solar, Ensol, Eurener, Pevafersa, Siliken, Solaria, Quantum Solar, Gruposolar, Iatso, Vidursolar e Yohkon Energia.

Ainda de acordo com ASIF (2008b) e IEA (2008), são quatro os principais fabricantes de células fotovoltaicas atuando no mercado espanhol, a saber BP Solar, Isofotón, Pevafersa e Solaria. Segundo ASIF (2007), em 2007, toda a produção de células fotovoltaicas da Espanha foi de silício cristalino, sendo a grande maioria de silício multicristalino.

5.1.4.2 Inversor de Corrente Elétrica e Controlador de Carga

De acordo com a ASIF (2008) há 10 fabricantes de inversores de corrente contínua e controladores de carga atuando no mercado espanhol que são Atersa, Ecotecnia, Enertron, Ingeteam, Siliken, Zigor, Solener, Fagor Automation, Green Power Technologies e Jema.

5.2 A Indústria Brasileira de Equipamentos Fotovoltaicos

Segundo Zilles (2004) estima-se que a potência total instalada de sistemas fotovoltaicos no Brasil seja de aproximadamente 15 MW_p, dos quais 70% estão localizados nas Regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste.

Só o PRODEEM foi responsável por grande parte, pois no período de junho de 1996 a dezembro de 2001 foram instalados 5,2 MW nas cinco fases que contemplaram sistemas de geração de energia e sistemas de bombeamento de água, e na fase emergencial denominada fase bombeamento de água, como mostra a Tabela 5.5 (GALDINO & LIMA, 2002).

Tabela 5.5 Sistemas instalados no PRODEEM

Fase		I	II	III	Bombeamento	IV	V	Total
Sistema de eletrificação rural	Quant.	190	387	677	X	1660	3000	5914
	kW _p	87	200	419	x	972	2172	3850
Sistema de bombeamento de água	Quant.	54	179	176	800	1240	X	2449
	kW _p	78	211	135	235	696	X	1355
Sistema de iluminação pública	Quant.	137	242	X	X	X	X	379
	kW _p	7,5	17	X	X	X	X	24,5
						Total de sistemas	Quant.	8742
							kW _p	5229,5

Fonte: Galdino & Lima, 2002.

Esses números evidenciam que o Brasil vem tentando ao longo dos anos introduzir o uso da energia solar fotovoltaica, que é uma fonte de energia renovável alternativa, através de programas de incentivo. Porém, o que foi feito até o momento infelizmente não é suficiente para promover o uso intensivo desta, pois apesar do país já ter iniciado os incentivos às fontes renováveis alternativas de energia e tendo um vasto potencial para a aplicação dessas fontes, a energia solar fotovoltaica não tem sido contemplada efetivamente pela legislação em vigor.

Conforme já mencionado no Capítulo 1, há os SIGFI's, regulamentados pela Resolução Normativa nº 83/2004, mas que são específicos para os sistemas autônomos para eletrificação

rural. Em novembro de 2008 a Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento Energético criou a Portaria nº 36 (ver Anexo) que cria um Grupo de Trabalho de Geração Distribuída com Sistemas Fotovoltaicos – GT - GDSF, com a finalidade de elaborar uma proposta de política de utilização de geração fotovoltaica conectada à rede elétrica, em particular em edificações urbanas, como fator de otimização de gestão da demanda de energia e de promoção ambiental do país, em curto, médio e longo prazo, mas apesar dessa iniciativa os sistemas fotovoltaicos para bombeamento de água e conexão à rede elétrica não possuem nenhuma legislação específica. Atualmente somente a hidroeletricidade e a biomassa estão contribuindo significativamente para o suprimento energético do país (RÜTHER *apud* KRAUTER & KISSEL (2005), 2008).

Em 2008, Rüther *et al.* (2008), publicou um trabalho que foi desenvolvido com o objetivo de elaborar um conjunto de procedimentos que viabilize e facilite a inserção, em larga escala, da tecnologia solar fotovoltaica no Brasil. Este estudo simulou um programa solar fotovoltaico brasileiro e usou como base o programa alemão, adotando os sistemas de tarifas. No entanto, enquanto no modelo alemão todos os consumidores finais de energia rateiam os custos da energia elétrica gerada, no caso do Brasil, a proposta apresentada excluiu do rateio os consumidores de baixa renda.

A análise realizada por Rüther *et al.* (2008), apresentou um cenário desenvolvido para um programa de 1.000 MW_p a serem instalados em um período de 10 anos. Isso corresponde a 100 MW_p como meta anual. A duração do pagamento da tarifa prêmio, por cada kWh produzido pelo sistema solar fotovoltaico, foi determinada como sendo de 25 anos. Foi adotado um preço de 5.000 €/kW_p instalado, assumindo que tal preço declinará 5% ao ano. A taxa interna de retorno ao investidor foi assumida como sendo de 7% aa e foi considerada uma geração média anual de 1.662 kWh/kW_p/ano (exemplo realizado para a cidade de Fortaleza/CE). Outros detalhes dessa análise podem ser vistos no trabalho de Rüther *et al.* (2008).

Os resultados do trabalho de Rüther *et al.*, mostram que devido à redução dos custos da tecnologia solar fotovoltaica no mundo e ao mesmo tempo ao acréscimo nas tarifas convencionais, estima-se que a paridade de rede³⁷ no Brasil poderá ocorrer entre os anos de 2012

³⁷ Paridade de rede significa o momento em que o preço da energia solar fotovoltaica se iguala ao preço da energia convencional.

e 2013, dependendo das taxas de juros aplicadas no país. As primeiras regiões do Brasil que poderiam atingir paridade de rede seriam os estados de Minas Gerais, Mato Grosso do Sul e Piauí. Já a paridade total poderá acontecer entre 2015 e 2020.

Mesmo com o pouco avanço do Brasil na introdução da tecnologia solar fotovoltaica, já há alguns incentivos fiscais para alguns equipamentos fotovoltaicos. Os dois impostos mais relevantes que incentivam o uso de alguns equipamentos fotovoltaicos são o Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Prestação de Serviços – ICMS, de competência estadual, e o Imposto sobre Produtos Industrializados – IPI, de competência federal.

Até dezembro de 2008, o convênio ICMS 101/97³⁸ concede isenção do ICMS nas operações com alguns equipamentos e componentes para o aproveitamento das energias solar e eólica. Os equipamentos especificados, isentos de ICMS, podem ser vistos na Tabela 5.6.

Tabela 5.6 Equipamentos fotovoltaicos isentos de ICMS (2008)

Discriminação equipamentos
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 igual a 750W até potência superior a 375kW
Células solares não montadas
Células solares em módulos ou painéis

Fonte: Adaptada do Convênio ICMS 101/97.

O benefício previsto somente se aplica aos equipamentos que forem isentos ou tributados através do Decreto 3827/01, que reduz a zero o IPI sobre diversos equipamentos e acessórios destinados à geração de energia elétrica.

De acordo com fabricantes e revendedores de equipamentos fotovoltaicos, os módulos fotovoltaicos são os únicos equipamentos que atualmente são isentos de IPI e ICMS. Na compra

³⁸ Prorrogado até 31 de dezembro de 2008 através do convênio ICMS 71/08. Esse convênio é renovado mensalmente.

de inversores no mercado nacional são incluídos 12% de ICMS e no caso dos controladores de carga são incluídos 12% de ICMS e 15% de IPI.

5.2.1 Surgimento e Evolução

De acordo com Fraidenraich (2005), o desenvolvimento da tecnologia fotovoltaica no Brasil ocorreu no final da década de 70, impulsionado pela crise do petróleo. Iniciava-se, nesta época, a comercialização de produtos fotovoltaicos no país. Em 1979, começaram a ser produzidos pela empresa Fone-Mat, da área das telecomunicações, os módulos fotovoltaicos a partir de células importadas, fabricadas nos EUA pela empresa Solarex. A Fone-Mat, na época sediada na Cidade de São Paulo, fabricou os primeiros módulos fotovoltaicos no Brasil e também desenvolveu outros equipamentos como controladores de carga, solarímetros com sensores fotovoltaicos, controladores de Ampere-hora e outros dispositivos de interesse para usuários e pesquisadores da área.

No início de 1980 surgiu a empresa Heliodinâmica, sediada em Vargem Grande Paulista/SP, que tinha como objetivo fundamental participar efetivamente no desenvolvimento da indústria da energia solar no Brasil (FRAIDENRAICH, 2005).

A Heliodinâmica iniciou sua atuação industrial fabricando coletores solares planos para aquecimento de água de uso residencial e industrial e segundo a Heliodinâmica (2006), em 1981 a empresa realizou a primeira instalação de um sistema de bombeamento fotovoltaico em território nacional, em Caicó/RN.

Em 1982, a Heliodinâmica, começou a produzir tarugos cilíndricos pelo método Czochralski e em 1983 recebeu as primeiras encomendas de sistemas fotovoltaicos para acionamento de estações repetidoras de microondas. Em 1984 começou a exportar para diversos mercados do “primeiro mundo” lâminas de silício para microeletrônica e energia solar (HELIODINÂMICA, 2006).

Adicionalmente à fabricação de células solares e módulos fotovoltaicos, a Heliodinâmica desenvolveu componentes para sistemas de eletrificação rural, motores de corrente contínua para sistemas de bombeamento de águas superficiais e profundas, sistemas de telecomunicações e

cercas elétricas. A partir de 1987 exportou lâminas para o Vale do Silício/EUA para a confecção de componentes para microeletrônica e informática (HELIODINÂMICA, 2006).

Quando a Heliodinâmica iniciou suas atividades, começou a vigorar no país a chamada “Lei da informática”, criada com o intuito de preservar o mercado interno para fornecedores nacionais de equipamentos e programas de computador. Essa lei pretendia oferecer um prazo para a consolidação da indústria de informática nacional ao ponto de competir de forma mais leal com empresas estrangeiras (TOLMASQUIM, 2003).

A utilização comum do silício monocristalino por parte da indústria de microeletrônica e de células solares permitiu que os equipamentos fotovoltaicos fossem protegidos pela lei. Logo, a Heliodinâmica contou com a reserva de mercado por um período de aproximadamente 10 anos, porém aparentemente não foi suficiente para garantir a estabilidade financeira necessária para seu posterior crescimento e produção de componentes e sistemas a preços compatíveis com os existentes no mercado internacional (TOLMASQUIM, 2003).

Em outubro de 1992, as barreiras alfandegárias à importação de equipamentos de informática começaram a ser retiradas e as empresas Siemens Solar (empresa alemã) e Solarex (empresa americana) passaram a disputar o mercado interno de equipamentos fotovoltaicos, inicialmente na área de telecomunicações (FRAIDENRAICH, 2005).

Em 1994, com a criação do PRODEEM, abriu-se um mercado bastante atrativo para as empresas estrangeiras, pois como mencionado no Capítulo 1, a compra dos equipamentos pertencentes aos sistemas fotovoltaicos deste programa foi realizada através de licitações internacionais, ou seja, a indústria nacional não foi incentivada (TOLMASQUIM, 2003).

Em 2002, o PRODEEM foi suspenso, pois o Tribunal de Contas da União - TCU iniciou uma auditoria de natureza operacional no programa. Em função das recomendações do TCU o PRODEEM foi incorporado ao programa Luz para Todos – LPT (VIEIRA, 2005).

No LPT, a energia solar fotovoltaica é contemplada em alguns projetos, mas não a ponto de ser considerado um programa de fomento à essa fonte de energia.

5.2.2 Panorama Atual

Após a identificação no Capítulo 4, de todos os equipamentos dos sistemas fotovoltaicos selecionados para este estudo, o presente item trata do levantamento realizado em 2005 sobre os fabricantes dos principais equipamentos destes sistemas e de sua atualização visando conhecer melhor o mercado brasileiro.

Conforme mostrado no Capítulo 4, alguns dos equipamentos pertencentes aos sistemas fotovoltaicos são comuns em suas aplicações; logo os equipamentos pesquisados neste estudo foram:

- Módulo fotovoltaico;
- Controlador de carga;
- Inversor CC-CA;
- Inversor CC-CA para sistema conectado à rede elétrica;
- Baterias;
- Conjunto motobomba.

Outros equipamentos complementares também listados na pesquisa foram:

- Fios e cabos;
- Eletrodutos;
- Suporte para módulos fotovoltaicos;
- Periféricos;
- Tubulação hidráulica;
- Caixa d'água e
- Conexões hidráulicas.

Entretanto, não foi levantado o mercado nacional atual destes últimos equipamentos já que são equipamentos encontrados mais facilmente em diversas lojas de materiais, com tecnologia nacional.

5.2.2.1 Módulos Fotovoltaicos

O único fabricante nacional de módulos fotovoltaicos até 2005 era a empresa Heliodinâmica, sendo o mercado dominado por empresas multinacionais, tais como Kyocera Solar (Japão), Shell Solar (Holanda), Siemens (Alemanha), Conergy (Alemanha), Isofotón (Espanha) e Atersa (Espanha).

Em um contato com o Presidente da Heliodinâmica, Sr. Bruno Topel, obteve-se a informação de que a empresa estava passando por um processo de reestruturação até o fim do mês de setembro de 2005. Em 2008 a empresa continuou fechada e segundo Aparecido (2008) está esperando o melhor momento para retornar ao mercado.

Houve uma forte tentativa em visitar as instalações do fabricante nacional Heliodinâmica, porém não foi possível. Após longa espera para o agendamento de visita, o fabricante ficou incomunicável, tanto por correio eletrônico quanto por telefone. Como a única empresa nacional de módulos fotovoltaicos era a Heliodinâmica, o mercado brasileiro ficou sem a participação de um fabricante nacional, mesmo que fosse responsável por uma pequena fração do mercado.

Apesar de atualmente não haver fabricante nacional de módulos fotovoltaicos no Brasil, em maio de 2004 foi firmado um acordo de cooperação técnico-científico para implantação do Centro Brasileiro para o Desenvolvimento de Energia Solar Fotovoltaica – CB-SOLAR nas instalações do NT-Solar³⁹, na Faculdade de Física da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul – PUCRS, conforme mostra a Figura 5.9. Tal acordo foi estabelecido entre o MCT; Secretaria Estadual da Ciência e Tecnologia; Secretaria Estadual de Energia, Minas e Comunicações; Secretaria Municipal da Produção, Indústria e Comércio, Companhia Estadual de Energia Elétrica - CEEE e PUCRS (CB-SOLAR, 2008).

O CB-Solar está desenvolvendo um projeto chamado planta-piloto para produção industrial de módulos fotovoltaicos nacionais. O objetivo desse projeto é implantar e analisar

³⁹ Considerado o mais moderno laboratório da área na América Latina para fabricação de módulos fotovoltaicos.

uma unidade piloto de produção de módulos fotovoltaicos com tecnologia nacional de alta eficiência e baixo custo, avaliando a viabilidade técnica e econômica da produção em escala industrial (CB-SOLAR, 2008).



Figura 5.9 NT-Solar e CB-Solar, PUCRS.

Segundo a AGÊNCIA CT (2008), o Professor Adriano Moehlecke, um dos coordenadores do NT-Solar, afirmou que as pesquisas permitiram a descoberta de matérias-primas e processos mais econômicos e, segundo ele, as previsões preliminares apontam que será possível reduzir o preço dos módulos em até 15%. Ainda na AGÊNCIA CT (2008), Moehlecke enfatizou que o objetivo é produzir equipamentos com a mesma eficiência dos concorrentes internacionais, porém a custos menores.

De acordo com a PUCRS (2007), estava previsto para setembro de 2007 a entrega dos primeiros módulos de energia fotovoltaica da planta-piloto para até maio de 2008, a produção de 200 módulos fotovoltaicos. De fato em maio de 2008 foi produzido o primeiro módulo fotovoltaico deste projeto, mas de acordo com a Professora Izete Zanescio e o Professor Adriano Moehlecke⁴⁰, este prazo foi alterado, sendo estendido até agosto de 2009.

Ainda segundo os professores Adriano e Izete, os resultados diretos deste projeto serão o processo de fabricação de células e módulos fotovoltaicos em fase pré-industrial; a fabricação e

caracterização de 200 módulos fotovoltaicos; planilha de custos de cada processo envolvido na fabricação dos módulos fotovoltaicos e projeção de custos segundo a escala de produção; e a formação de recursos humanos na área de dispositivos fotovoltaicos.

No caso da Kyocera Solar, há no mercado a Kyocera Solar do Brasil Ltda, que é uma empresa brasileira e tem como sócio majoritário a empresa americana Kyocera Solar Inc., pertencente à Kyocera Corporation (Japão). Os módulos fotovoltaicos comercializados no mercado brasileiro são fabricados pela Kyocera Corporation no Japão. A comercialização dos módulos fotovoltaicos é realizada através de distribuidores e revendedores, não havendo vendas no varejo. O Sr. José Walter⁴¹, funcionário da Kyocera Solar Brasil, em setembro de 2007 afirmou que o principal distribuidor de seus produtos no Brasil é a empresa Solar Brasil.

Segundo o Sr. Marcelo Nadai⁴², funcionário da BP Solar (Ex-Solarex) no Brasil, a empresa retirou do Brasil seus produtos a partir do mês de setembro de 2005.

Durante a pesquisa descobriu-se, através da Sra. Cátia Stoyan⁴³, responsável pelo departamento de vendas e comunicação da Shell no Brasil, que o Fabricante Siemens (Alemanha) vendeu seu segmento de equipamentos solares fotovoltaicos para a Shell (Holanda) em meados de outubro de 2002.

De acordo com o Sr. Moacyr Dias Filho⁴⁴, funcionário da empresa Solenerg, a Shell (Holanda) foi incorporada à empresa alemã Conergy, que continua comercializando alguns módulos da Shell ainda em seu estoque.

Os demais fabricantes espanhóis, Atersa e Isofotón, têm seus módulos fotovoltaicos comercializados por algumas empresas revendedoras que adquirem os mesmos através de importação.

⁴⁰ Informação obtida pessoalmente em uma reunião no NT-Solar, Porto Alegre, no dia 06 de novembro de 2008.

⁴¹ Comunicação via *e-mail*.

⁴² Comunicação via telefone em setembro de 2005.

⁴³ Comunicação via telefone em outubro de 2005.

⁴⁴ Comunicação via *e-mail* em julho de 2007.

Através da pesquisa realizada foi possível levantar, além dos fabricantes, os revendedores que estão atualmente comercializando módulos fotovoltaicos dos fabricantes estrangeiros, conforme mostrado na Tabela 5.7.

Vale salientar que através do Catálogo de Fabricantes, Revendedores, Consultores e Pesquisadores de Energias Renováveis (2002) elaborado pela Companhia Energética de Minas Gerais – CEMIG, Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural de Minas Gerais – EMATER e Agência Alemã de Cooperação Técnica – GTZ, a avaliação do mercado nacional foi realizada para todos os equipamentos listados anteriormente.

Tabela 5.7 Fabricantes e revendedores de módulo fotovoltaico (2007)

Fabricantes	Revendedores	Localização
Kyocera (Japão)	Solar Brasil	RJ e SP
	Solaris	SP
Shell (Holanda)	Energia Alternativa	RJ
	RF Com	SP
	Planeta Solar	RN
	Bahia Solar	BA
	Solenerg	MG
	Solaris	SP
Siemens (Alemanha)	Planeta Solar	RN
Conergy (Alemanha)	Energia Alternativa	RJ
	Solenerg	MG
Isofotón (Espanha)	Energia Alternativa	RJ
	Solenerg	MG
	Solaris	SP
Atersa (Espanha)	Solaris	SP

Fonte: Elaboração própria.

Conforme a Tabela 5.7, há uma maior participação no mercado brasileiro de revenda do fabricante Shell Solar (Ex-Siemens e atual Conergy) e posteriormente do fabricante Isofotón,

fabricante espanhol. Nota-se também que no mercado brasileiro só há fabricante japonês e europeu.

5.2.2.2 Controlador de Carga

De acordo com a pesquisa realizada, desde 1998 existe em São Paulo um fabricante nacional de controlador de carga que é a empresa UNITRON (SP).

Em Baldini (2005) consta que há também o fabricante nacional Sunrio atuando no mercado brasileiro, com pequena produção em São Paulo, porém não foi possível obter mais informações sobre este fabricante.

A empresa Solar Brasil (2007) também comercializa os controladores de carga Lead Nacional e Solar Control. De acordo com a empresa, tais controladores são nacionais e desenvolvidos exclusivamente sob encomenda para a empresa. Tentou-se algumas vezes conseguir mais informações a respeito dos fabricantes com a Solar Brasil, mas sem êxito.

Existem também fabricantes estrangeiros atuando no mercado brasileiro, que são Morning Star (EUA), Trace Xantrex (Canadá), Phocos (Alemanha), Atersa (Espanha) e Isofotón (Espanha). A Tabela 5.8 mostra os fabricantes nacionais e estrangeiros de controladores de carga e seus respectivos revendedores.

Tabela 5.8 Fabricantes e revendedores de controlador de carga (2007)

Fabricante	Revendedor	Localização
UNITRON (Brasil)	Solar Brasil	SP
Sunrio (Brasil)	-	SP
Lead Nacional (Brasil)	Solar Brasil	SP
Solar Control (Brasil)	Solar Brasil	SP
Morning Star (EUA)	Energia Alternativa	RJ
	RF Com	SP
	Solar Brasil	SP
Trace/Xantrex (Canadá)	Energia Alternativa	RJ
Phocos (Alemanha)	Solaris	SP
Atersa (Espanha)	Solaris	SP
Isofotón (Espanha)	Solenerg	MG

Fonte: Elaboração própria.

5.2.2.3 Inversor CC-CA

Há duas empresas nacionais fabricando inversores, que são os fabricantes UNITRON e Orbe Brasil, ambas localizadas em São Paulo/SP. Além de fabricar seus próprios inversores a UNITRON é representante da Xantrex no Brasil. No mercado também se encontram disponíveis inversores importados dos fabricantes espanhóis Isofotón e Atersa, e do fabricante canadense Statpower/Xantrex (Canadá), como mostra a Tabela 5.9.

Tabela 5.9 Fabricantes e revendedores de inversor (2007)

Fabricante	Revendedor	Localização
UNITRON (Brasil)	-	SP
Orbe Brasil (Brasil)	-	SP
Isofotón (Espanha)	Solaris	SP
Atersa (Espanha)	Solaris	SP
Xantrex (Canadá)	Energia Alternativa	RJ
	RF Com	SP
	Solaris	SP
	Solar Brasil	SP
	Solenerg	MG
	Planeta Solar	RN
	Solaris	SP

Fonte: Elaboração própria.

5.2.2.4 Inversor para Sistema Conectado à Rede Elétrica

No mercado brasileiro não há fabricante nacional de inversor para sistema conectado à rede elétrica, até porque no Brasil não existem sistemas fotovoltaicos conectados à rede em utilização comercial, somente sistemas experimentais, como já foi mostrado anteriormente.

O único fabricante de inversor para sistema conectado à rede que se encontra atualmente à venda no mercado brasileiro é o do fabricante alemão SMA, que é comercializado através dos revendedores Solaris (SP), Solenerg (MG), Energia Alternativa (RJ) e Planeta Solar (RN), conforme mostra a Tabela 5.10.

Tabela 5.10 Fabricantes e revendedores de inversor para sistema conectado à rede elétrica (2007)

Fabricante	Revendedor	Localização
SMA (Alemanha)	Solaris	SP
	Solenerg	MG
	Energia Alternativa	RJ
	Planeta Solar	RN

Fonte: Elaboração própria.

5.2.2.5 Conjunto Motobomba

A marca de excelência do conjunto motobomba que pode ser encontrada no mercado brasileiro é a Grundfos, um fabricante dinamarquês. Há também a motobomba Shurflo de fabricação americana atuando no mercado nacional. O conjunto motobomba Grundfos tem todo o sistema de acondicionamento de potência já encapsulados na carcaça do motor.

A Grundfos⁴⁵ tem uma fábrica no Brasil sediada em São Bernardo do Campo/SP e suas atividades foram iniciadas a partir de 1998 em Pinhais/PR. De acordo com Kenis (2008) os conjuntos motobombas Grundfos utilizados nos sistemas fotovoltaicos e comercializados no mercado brasileiro são importados.

No mercado também são encontradas motobombas convencionais hidráulicas nacionais de qualidade e com boa eficiência que podem ser utilizadas na geração fotovoltaica, que são a Somar (SC), Leão (SP), Ebara (SP), Dancor (RJ), dentre outras, como mostra a Tabela 5.11.

Tabela 5.11 Fabricantes e revendedores de conjunto motobomba (2007)

Fabricantes	Revendedores	Localização
Somar (Brasil)	Solaris	SP
Leão (Brasil)	-	SP
Dancor (Brasil)	-	RJ
Shurflo (EUA)	Solar Brasil	SP
EBARA (Brasil e Japão)	Empresa subsidiária	SP
Grundfos (Dinamarca)	Energia Alternativa	RJ
	Solenerg	MG
	Solaris	SP
	Campinaq*	SP

Fonte: Elaboração própria.

* distribuidora da Grundfos e responsável por atender Campinas e toda Região Metropolitana de Campinas.

No caso dos conversores de frequência para motobombas convencionais são encontradas as marcas Weg (Brasil), Yaskawa (Brasil) e Siemens (Alemanha).

⁴⁵ A empresa distribui e revende para algumas cidades no Brasil.

O trabalho desenvolvido por Brito (2006) mostra que é possível usar conjunto motobomba e condicionador de potência nacional e segundo Zilles (2008), já há sistemas de bombeamento de água em operação no país utilizando conjunto motobomba com condicionamento de potência nacional.

5.2.2.6 Baterias

De acordo com a pesquisa, atualmente, encontram-se disponíveis no mercado brasileiro seis fabricantes de baterias estacionárias, que são as baterias Moura Clean⁴⁶, atuando no mercado desde 1957, com uma fábrica em Pernambuco e outra em São Paulo; as baterias Tudor⁴⁷, que estão no mercado desde 1993 com duas fábricas, sendo uma em São Paulo e outra em Minas Gerais; as baterias Freedom Estacionárias⁴⁸ (ex-Delphi), com fábrica em Sorocaba/SP; as baterias SEC POWER, localizada em São Paulo, empresa que distribui no Brasil e representa na América do Sul algumas baterias chinesas e americanas; as baterias Ajax sediada em São Paulo; e as baterias AcDelco⁴⁹, conforme mostra a Tabela 5.12.

⁴⁶ Segundo a Moura (2007) suas baterias mantêm um canal de comercialização que inclui 21 centros de distribuição própria e 27 centros de distribuição terceirizados no país e mais 30 centros de distribuição internacional na América do Sul, América Central, América do Norte, Ilhas do Caribe, África, Oriente Médio e Europa. Ao todo são mais de 10.000 revendedores autorizados.

⁴⁷ Segundo a Tudor (2007) suas baterias mantêm um canal de comercialização que inclui 21 centros de distribuição própria e 27 centros de distribuição terceirizados no país e mais 30 centros de distribuição internacional na América do Sul, América Central, América do Norte, Ilhas do Caribe, África, Oriente Médio e Europa. Ao todo são mais de 10.000 revendedores autorizados.

⁴⁸ Em junho de 2005 a empresa Johnson Controls passou a fabricar as baterias estacionárias da Delphi.

⁴⁹ Embora a marca tenha uma longa tradição internacional, sua presença no Brasil é recente. A divisão brasileira iniciou suas atividades no final de 1999. Naquele momento a Delphi que mantinha o direito de uso da marca Delco no Brasil estava se separando da General Motors - GM.

Tabela 5.12 Fabricantes de bateria (2007)

Fabricantes	Localização
Tudor	SP e MG
Freedom Estacionárias (Ex-Delphi)	SP
Moura Clean	PE e SP
SEC POWER	SP
Ajax	SP
AcDelco	-

Fonte: Elaboração própria.

Conforme mencionado no Capítulo 4, não é recomendável a utilização de baterias automotivas em sistemas fotovoltaicos, pois a vida útil dessas baterias neste tipo de aplicação é estimada em cerca de 2 anos. Recomenda-se a utilização de baterias estacionárias de ciclo constante, que têm vida útil de 4 a 5 anos.

As baterias estacionárias são distribuídas para vários revendedores no país e podem ser encontradas à venda em diversas empresas de peças e equipamentos automotivos. Estas baterias estão normalmente disponibilizadas apenas sob encomenda, com garantia de 2 anos.

As informações apresentadas neste Capítulo servem de elemento para estimar o índice de nacionalização existente para os equipamentos pertencentes aos sistemas fotovoltaicos considerados no Brasil, como mostra o Capítulo 6.

Capítulo 6

Índice de Nacionalização dos Sistemas Fotovoltaicos

Neste capítulo é apresentada a metodologia utilizada na definição do índice de nacionalização dos sistemas fotovoltaicos considerados e realizada a análise dos resultados obtidos. Vale lembrar que como foram consideradas três aplicações de sistemas fotovoltaicos no Brasil, definiu-se um índice de nacionalização para cada sistema.

6.1 Metodologia Aplicada

Para definir a metodologia a ser aplicada nesta etapa do trabalho foram realizadas algumas pesquisas com o intuito de se conseguir localizar experiências bem sucedidas em outros países que utilizassem uma metodologia para determinar um índice de nacionalização de sistemas fotovoltaicos. Como não se obteve êxito, pois os países com a tecnologia solar fotovoltaica bem estabelecida não têm explícito entre suas metas, em seus respectivos programas de incentivo, estimular a indústria nacional através da determinação de um índice para equipamentos e serviços, optou-se por fazer uma adaptação da metodologia utilizada pelo PROINFA.

6.1.1 Metodologia do PROINFA

Conforme já mencionado em detalhes no Capítulo 2, o PROINFA é um programa de incentivo às fontes alternativas de geração de energia elétrica e em sua primeira etapa incentiva a

indústria nacional com a obrigatoriedade de um índice mínimo de nacionalização de serviços e equipamentos de 60% do custo total de construção dos projetos contemplados.

Para elaboração deste cálculo e comprovação do atendimento ao índice de nacionalização foi adotado o padrão da Agência Especial de Financiamento Industrial – FINAME quanto aos equipamentos e serviços, conforme o documento intitulado “Critérios e Instruções para Cálculo de Índices de Nacionalização de Equipamentos e Serviços dos Empreendimentos do PROINFA” (PORTARIA MME nº 86, 2007).

A Portaria MME nº 86/2007, de 25 de maio de 2007, que regulamenta o cálculo do grau de nacionalização de 60% para equipamentos e serviços dos empreendimentos construídos, apresentou em seu Anexo I a fórmula para elaboração deste cálculo.

O índice de nacionalização em valor (Iv), na primeira etapa do Programa, deve ser calculado pela Equação (6.1):

$$Iv = \left(1 - \frac{X}{Y}\right) \cdot 100 \quad (\text{Equação 6.1})$$

Onde:

X = valor dos componentes importados, composto pelo somatório das seguintes parcelas:

- (a) Valor FOB⁵⁰ dos componentes importados diretamente pelo fabricante e incorporados ao equipamento, acrescido do frete, do seguro de transporte e do Imposto de Importação, convertido em reais pela taxa de câmbio;
- (b) Valor FOB dos componentes importados diretamente pela compradora e incorporados ao equipamento, acrescido do frete, do seguro de transporte e do Imposto de Importação, convertido em reais pela taxa de câmbio;

⁵⁰ O termo FOB - *Free on Board* (livre a bordo) significa que o exportador entrega as mercadorias quando elas transpõem a amurada do navio no porto de embarque nomeado. É o chamado transporte não pago.

(c) Valor dos componentes importados por terceiros e adquiridos no mercado interno pela fabricante, excluindo-se Imposto sobre Produtos Industrializados - IPI e Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Prestação de Serviços – ICMS:

(i) quando o valor do frete for contratado com navio de bandeira brasileira, em moeda nacional, terá seu valor deduzido das respectivas parcelas acima e incorporado aos custos dos serviços nacionais;

(ii) quando o seguro for contratado com seguradora brasileira, em moeda nacional, terá seu valor deduzido das respectivas parcelas acima e incorporado aos custos dos serviços nacionais;

(d) Valor dos serviços contratados no exterior, em moeda estrangeira, excluídos os impostos; e

(e) Taxas e outras despesas pagas em moeda estrangeira, excluídos os impostos.

Y = Valor composto pelo somatório das seguintes parcelas:

(a) Valor dos componentes importados (X);

(b) Valor dos componentes nacionais, adquiridos no mercado interno, excluindo-se IPI e ICMS;

(c) Valor dos serviços contratados no Brasil, em moeda nacional, excluídos os impostos; e

(d) Taxas, aluguéis e demais despesas em moeda nacional, excluídos os impostos.

6.1.2 Metodologia Adaptada do PROINFA

Conforme supracitado, para a determinação do índice de nacionalização dos equipamentos pertencentes aos sistemas fotovoltaicos considerados foi efetuada uma adaptação da metodologia utilizada pelo PROINFA. Para tanto, o índice aqui definido inclui somente os equipamentos e não os serviços.

O cálculo utilizado segue o mesmo princípio do PROINFA e a fórmula utilizada é a mesma, porém para simplificar os critérios estabelecidos no item 6.1.1, o índice de nacionalização em valor foi calculado considerando-se:

X = valor unitário dos equipamentos importados, excluindo-se IPI e ICMS.

Y = valor total do sistema fotovoltaico (somatório de todos os equipamentos do sistema), excluindo-se IPI e ICMS.

6.2 Descrição dos Sistemas Fotovoltaicos Analisados e Estimativa do Índice de Nacionalização

Para calcular o índice de nacionalização, objetivo principal deste trabalho, foram selecionados três sistemas fotovoltaicos, sendo um para cada uma das três aplicações já citadas detalhadamente no Capítulo 4.

Considerou-se conveniente selecionar estes sistemas, pois cada sistema fotovoltaico (bombeamento de água, eletrificação rural e conectado à rede elétrica) tem suas especificidades. Assim, obteve-se ao final três índices diferentes, ou seja, um para cada aplicação.

Os sistemas escolhidos para esta análise, bem como a justificativa pela escolha dos mesmos, são mostrados nos itens 6.2.1, 6.2.3 e 6.2.5.

Escolhidos os três sistemas fotovoltaicos propostos, realizou-se uma cotação para cada um dos sistemas com seus respectivos equipamentos. Essa cotação foi realizada através de consulta a alguns revendedores mencionados no Capítulo 5, e desta forma foi possível estimar o índice de nacionalização para cada um dos sistemas, como pode ser visto nos itens 6.2.2, 6.2.4 e 6.2.6.

6.2.1 Sistema Fotovoltaico para Bombeamento de Água: Sistema Proposto

O sistema fotovoltaico de bombeamento de água selecionado para análise nesta tese foi instalado pelo PRODEEM e está localizado no assentamento Palú no município de Presidente Bernardes às margens da rodovia que comunica as cidades de Presidente Prudente e Mirante Paranapanema. Este sistema foi revitalizado através do Plano de Revitalização e Capacitação – PRC⁵¹.

⁵¹ Em 2002, o Tribunal de Contas da União – TCU elaborou um relatório de auditoria de natureza operacional, objetivando avaliar o resultado dos objetivos estratégicos do PRODEEM. Tal relatório culminou com a aprovação do Acórdão TCU nº 598/03, em maio de 2003, que recomendou uma reestruturação completa do programa e

As características técnicas do sistema fotovoltaico de bombeamento de água antes e após a revitalização são apresentadas na Tabela 6.1.

Tabela 6.1 Características técnicas do sistema de bombeamento de água original e revitalizado

	Sistema original	Sistema revitalizado
Gerador fotovoltaico	16 módulos KC 80	40 módulos KC 80
Configuração	8 série x 2 paralelo	20 série x 2 paralelo
Potência máxima instalada	1.280 W _p	3.200 W _p
Posicionamento da motobomba	72 m	54 m
Reservatório (7,5 m)	7.500 l	7.500 l
Motobomba	SCS10-230	BMSAF407/ 2-13/ 2 CV
Condicionador de potência	Booster PCB 8-90B	CFW08 <i>plus</i>

O sistema de bombeamento de água proposto, conforme mostra a Figura 6.1, é constituído por um arranjo com 40 módulos fotovoltaicos com potência de 80 W_p cada, totalizando 3.200 W_p.



Figura 6.1 Instalação fotovoltaica do sistema de bombeamento fotovoltaico proposto

Fonte: Brito⁵², 2006.

determinou que se implantasse um controle patrimonial adequado. Em julho de 2003, teve início o processo de concepção do Plano de Revitalização e Capacitação – PRC.

⁵² O trabalho de Brito (2006) dedica atenção à otimização do acoplamento de geradores fotovoltaicos a motores de corrente alternada através de conversores de frequência comerciais, para acionar bombas centrífugas para fins de bombeamento de água. Os resultados mostrados comprovam que este novo tipo de configuração é confiável e economicamente viável, podendo ser adotada como uma solução universal para sistemas de bombeamento de água que utilizam motobombas com potência igual ou superior a 1/2 CV.

Os módulos utilizados no sistema são da marca japonesa Kyocera modelo KC80, a motobomba é da marca nacional Somar, no modelo BMSAF407/2-13/2 CV, e o conversor de frequência é da marca nacional Weg, no modelo CFW08 *plus*. Estes equipamentos estão listados na Tabela 6.2.

Tabela 6.2 Equipamentos do sistema de bombeamento de água proposto

Equipamento	Quantidade (Und.)
Módulo fotovoltaico 80 W_p	40
Conjunto motobomba 2 CV	01
Conversor de frequência	01

Fonte: Brito, 2006.

6.2.2 Índice de Nacionalização: Sistema Fotovoltaico para Bombeamento de Água

Para esse sistema, apenas os módulos fotovoltaicos não são fabricados nacionalmente. A Tabela 6.3 apresenta as informações sobre os respectivos custos.

Tabela 6.3 Custo do sistema fotovoltaico para bombeamento de água

Equipamento	Quantidade (Und.)	Preço médio unitário* (R\$)	Preço total (R\$)
Módulo fotovoltaico 80 W_p	40	1521,00	60.840,00
Conjunto motobomba 2 CV	01	2738,50	2.738,50
Conversor de frequência	01	759,13	759,13
Preço total sistema	-	-	64.337,63

Fonte: Elaboração própria.

* Cotação realizada em novembro de 2008 com alguns revendedores.

Os dados da Tabela 6.3 evidenciam o quanto a participação do módulo fotovoltaico é relevante e onera o sistema, equivalendo nesta situação a 95% do custo total do sistema orçado, mesmo com a utilização do conjunto motobomba e conversor de frequência de fabricação

nacional. Assim, conclui-se que atualmente o índice de nacionalização correspondente é de apenas 5%, conforme verifica-se na Figura 6.2.

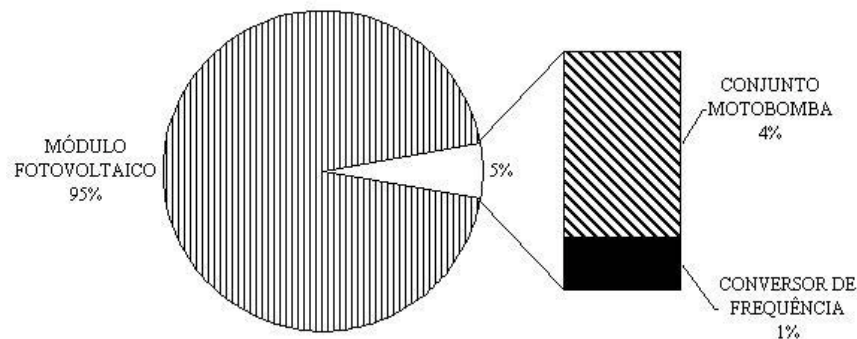


Figura 6.2 Custo do sistema fotovoltaico completo para bombeamento de água, em Porcentagem

Fonte: Elaboração própria.

Apesar da definição do índice de nacionalização de 5% mostrado na Figura 6.2, é importante lembrar que o sistema de bombeamento de água aqui analisado é apenas um exemplo proposto para o cálculo do índice, pois o dimensionamento de um sistema é realizado de acordo com a quantidade de água prevista para uso que satisfará às necessidades do usuário, as características do poço, a altura manométrica, as características da insolação local e outras circunstâncias do projeto. Assim, não há como determinar um único índice, mas há como prevê-lo para cada caso específico.

6.2.3 Sistema Fotovoltaico para Eletrificação Rural: Sistema Proposto

A literatura pesquisada aponta como pequenos sistemas fotovoltaicos individuais domiciliares para eletrificação rural, também conhecidos como *Solar Home System* – SHS, aqueles que satisfaçam as necessidades elétricas básicas de uma residência, como por exemplo, suprir as necessidades de iluminação e de alguns periféricos (televisão, rádio, entre outros) (COSTA, 1998; OLIVER & JACKSON, 2002).

Normalmente estes sistemas consistem de um *kit* com módulos fotovoltaicos com potência variando de 50 a 150 Wp, gerando corrente elétrica contínua armazenada em baterias de 105 a 220 Ah (COSTA, 1998; OLIVER & JACKSON, 2002; CRESESB, 2005).

Através da literatura e consulta com alguns revendedores, definiu-se para esta análise o sistema proposto, mostrado na Tabela 6.4. Os periféricos que podem ser ligados a este sistema, utilizando o módulo fotovoltaico de 150 Wp, são um conjunto de iluminação com 8 lâmpadas fluorescentes compactas até 11 W cada, ligadas até 2 horas por dia, um rádio gravador de pequena potência, uma televisão, por até 3h/dia (SOLENERG, 2007).

Tabela 6.4 Equipamentos do sistema de eletrificação rural proposto

Equipamento	Quantidade (Und.)
Módulo fotovoltaico 150 Wp	01
Controlador de carga 10 A	01
Inversor de corrente 400 W	01
Bateria 220 Ah	01

Fonte: Elaborada a partir de Costa (1998), CRESESB (2005) e SOLENERG (2007).

Em setembro de 2004, através da Resolução Normativa nº 83/2004 (ver Anexo), a ANEEL regulamentou o uso dos Sistemas Individuais de Geração de Energia Elétrica com Fontes Intermitentes - SIGFI's. Uma das principais características obrigatórias aos SIGFI's implantados é que deverá enquadrar-se em uma das cinco classificações de atendimento, conforme mostra a Tabela 6.5 (Artigo 3º, inciso II, f.3) (ANEEL, 2004).

Tabela 6.5 Classificação de atendimento dos SIGFI

Classes de atendimento	Consumo diário de referência (Wh/dia)	Autonomia mínima (dias)	Potência mínima disponibilizada (W)	Disponibilidade mensal garantida (kWh)
SIGFI13	435	2	250	13
SIGFI30	1000	2	500	30
SIGFI45	1500	2	700	45
SIGFI60	2000	2	1000	60
SIGFI80	2650	2	1250	80

Fonte: ANEEL, 2004.

No Artigo 2º, inciso XV, em ANEEL (2004), o SIGFI⁵³ é definido como sendo um sistema de geração de energia elétrica implantado por concessionária ou permissionária de distribuição de energia elétrica, utilizando exclusivamente fonte de energia intermitente para o fornecimento a unidade consumidora única, constituído basicamente de um sistema de geração, um sistema de acumulação e um sistema condicionador de potência.

Atualmente há três concessionárias de energia no Brasil que estão instalando SIGFI no Programa LPT, que são a Companhia de Eletricidade do Estado da Bahia – COELBA, Companhia Energética de Minas Gerais – CEMIG⁵⁴ e a Centrais Elétricas do Pará – CELPA. Tal fato mostra que o SIGFI ainda não está devidamente consolidado no âmbito das empresas concessionárias de distribuição de energia e nem do próprio MME.

6.2.4 Índice de Nacionalização: Sistema Fotovoltaico para Eletrificação Rural

Para calcular o índice de nacionalização do sistema fotovoltaico para eletrificação rural proposto cotaram-se os equipamentos mostrados na Tabela 6.6.

Tabela 6.6 Custo do sistema fotovoltaico para eletrificação rural

Equipamento	Quantidade (Und.)	Preço médio unitário* (R\$)	Preço total (R\$)
Módulo fotovoltaico 150 Wp	01	2.496,2	2.496,2
Controlador de carga 10 A	01	183,43	183,43
Inversor de corrente 400 W	01	161,7	161,7
Bateria 220 Ah	01	1.020,77	1.020,77
Preço total sistema	-	-	3.862,1

Fonte: Elaboração própria.

* Cotação realizada em agosto de 2008 com alguns revendedores listados no Capítulo 5.

A Tabela 6.6 mostra que somente o gerador fotovoltaico equivale a aproximadamente 65% do custo total do sistema. Logo, como o único equipamento importado pertencente a este

⁵³ As características obrigatórias aos SIGFI's implantados podem ser verificadas na Resolução Normativa nº 83/2004 da ANEEL.

⁵⁴ Tentou-se contato com a CEMIG e a CELPA, mas não se obteve êxito.

tipo de sistema é o módulo fotovoltaico, conforme visto no Capítulo 5, pode-se concluir que o índice de nacionalização para sistema fotovoltaico de eletrificação rural proposto é de 35%⁵⁵, conforme mostra a Figura 6.3.

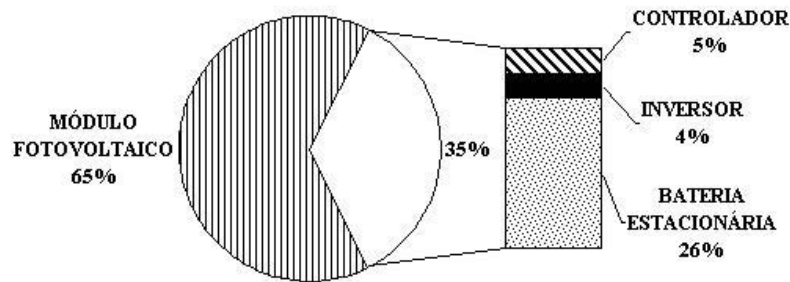


Figura 6.3 Custo do sistema fotovoltaico completo para eletrificação rural, em Porcentagem

Fonte: Elaboração própria.

O índice aqui estimado poderá variar com sistemas maiores. Como os sistemas para eletrificação rural são modulares (podem ter quantidades variadas de módulos fotovoltaicos a depender da sua finalidade), dependendo da carga a ser atendida poderá haver um aumento da quantidade de módulos, variando conseqüentemente a potência e quantidade dos demais equipamentos.

Considerando que algumas concessionárias de energia elétrica estão instalando SIGFI's, decidiu-se estimar o índice de nacionalização dos sistemas instalados pela COELBA⁵⁶, que tem avançado mais na instalação desses sistemas quando comparada às demais.

Em Silva Filho (2007), são apresentados o “dimensionamento e especificações técnicas dos primeiros 3 mil sistemas⁵⁷ fotovoltaicos instalados pela COELBA⁵⁸, em 2005, atendendo à classificação SIGFI 13⁵⁹, com fornecimento de energia elétrica mensal de 13 kWh.

⁵⁵ Da mesma forma que acontece com os sistemas de bombeamento de água, esse índice poderá ter uma variação de $\pm 5\%$, dependendo do preço dos equipamentos utilizados no sistema.

⁵⁶ Segundo Silva Filho (2008) já foram instalados 12 mil sistemas e em 2008 pretende-se instalar mais 3 mil.

⁵⁷ Informações mais detalhadas desses sistemas, tais como a escolha do local de instalação dos mesmos, cidades que foram atendidas, entre outras, podem ser consultadas em Silva Filho (2007).

⁵⁸ Os sistemas que foram instalados pela COELBA seguiram o modelo de contratação do tipo *turn key*. Nesse tipo de contratação, a empresa contratada se responsabiliza pelo projeto, aquisição de equipamentos, instalação dos materiais e equipamentos, e

Através destes dados realizou-se uma cotação para os equipamentos utilizados nesses SIGFI's, como mostra a Tabela 6.7, e foi possível estimar o índice de nacionalização para tal sistema, que pode ser visualizado na Figura 6.4.

Tabela 6.7 Custo total do SIGFI 13 da COELBA.

Equipamento	Fabricante	Quantidade (Und.)	Preço Médio Unitário* (R\$)	Preço Total (R\$)
Módulo fotovoltaico KC70 (70Wp)	Kyocera (Japão)	02	1.333,00	2.666,00
Controlador de carga, modelo TC1212, 12Vcc/12A	UNITRON (Brasil)	01	174,20	174,20
Inversor, potência de saída 300W, 12 Vcc/110Vca	SAMLEX (Canadá)	01	161,70	161,70
Bateria, modelo 12MC220 de 244Ah/100h, 12 V	Moura Clean (Brasil)	01	887,56	887,56
Preço total do sistema	-	-	-	3.889,46

Fonte: Elaboração própria.

* Cotação realizada em agosto de 2008 com alguns revendedores listados no Capítulo 5.

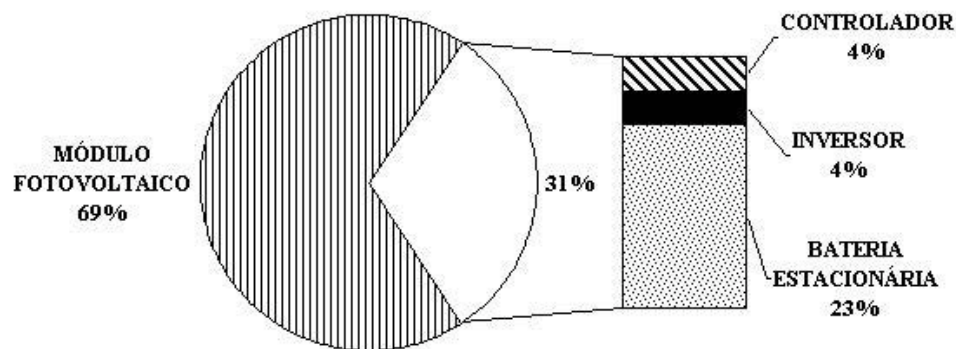


Figura 6.4 Custo do SIGFI 13 da COELBA, em Porcentagem

Fonte: Elaboração própria.

Apesar do inversor utilizado no sistema da COELBA ser de marca canadense, para o cálculo do índice considerou-se como sendo equipamento nacional, pois conforme supracitado há fabricante brasileiro de inversores.

orientação ao usuário sobre o funcionamento do sistema, ou seja, a empresa é responsável por fornecer todas as especificações da

Comparando o índice de nacionalização do sistema fotovoltaico para eletrificação rural proposto com o índice do SIGFI 13 da COELBA, observou-se que a diferença foi de apenas 4%. Outro ponto a ser observado e destacado é que o sistema de eletrificação rural proposto nesse trabalho é bem semelhante ao SIGFI 13 da COELBA, ou seja, teria condições de atender a Resolução nº 83/04 da ANEEL.

6.2.5 Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede Elétrica: Projeto CPFL PD-28

No Capítulo 4 foram mostrados os projetos experimentais brasileiros envolvendo sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica. No entanto, devido à existência de um projeto de pesquisa em andamento na UNICAMP com a Companhia Paulista de Força e Luz – CPFL, o PD-28, no âmbito dos projetos de P&D da ANEEL, optou-se por selecioná-lo para definir o índice de nacionalização destes tipos de sistemas.

O PD-28 não envolve unicamente um sistema fotovoltaico, mas sim um sistema híbrido, ou seja, é um estudo da geração distribuída de energia elétrica através da implementação de três tipos de geração: célula a combustível alimentada com hidrogênio a partir da reforma de gás natural, microturbina a gás natural e módulos fotovoltaicos. Este Projeto está montado nas instalações do Laboratório de Hidrogênio – LH2, do Instituto de Física “Gleb Wataghin” da UNICAMP.

A instalação fotovoltaica do PD-28, conforme a Figura 6.5, é constituída por um arranjo de 60 módulos fotovoltaicos com potência de 125 Wp cada, totalizando 7,5 kWp.

Resolução nº 83/04 da ANEEL.

⁵⁹ O SIGFI 13 é dimensionado para fornecer mensalmente 13 kWh de energia elétrica.



Figura 6.5 Instalação fotovoltaica do Projeto PD-28

Os módulos são da marca Kyocera modelo KC125TM e estão conectados eletricamente em série, em 3 grupos de 20 módulos. Cada grupo está conectado a um inversor para conexão à rede da marca SMA, modelo Sunny Boy 2500 U, que pode ser visualizado na Figura 6.6. A Tabela 6.8 mostra estes dados.



Figura 6.6 Inversores Sunny Boy (SMA) instalados no PD-28

Tabela 6.8 Equipamentos instalados no Projeto PD-28

Equipamento	Quantidade (Und.)
Módulo fotovoltaico 125 W_p	60
Inversor para sistema conectado à rede 2500U	03

Fonte: Elaborada a partir de Camargo, 2007.

6.2.6 Índice de Nacionalização: Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede Elétrica

De acordo com os dados mostrados no Capítulo 5 não há fabricantes nacionais para módulo fotovoltaico e inversor para sistema conectado à rede. Logo, no momento os equipamentos pertencentes aos sistemas conectados à rede são 100% importados. Isso quer dizer que atualmente, quando considerados os principais equipamentos deste tipo de sistema, não há índice de nacionalização. A Tabela 6.9 mostra os custos unitário e total de cada equipamento e do sistema completo.

Tabela 6.9 Custo sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica

Equipamento	Quantidade (Und.)	Preço Médio Unitário* (R\$)	Preço total (R\$)
Módulo fotovoltaico 125 W	60	2.046,80	122.808,00
Inversor para sistema conectado à rede 2500U	03	9.359,00	28.077,00
Preço total sistema	-	-	150.885,00

Fonte: Elaboração própria.

* Cotação realizada em julho de 2007 com alguns revendedores listados no Capítulo 5.

Observa-se, na Tabela 6.9, que o índice correspondente ao inversor conectado à rede equivale a aproximadamente 19% do custo total do sistema e os módulos fotovoltaicos aos 81% restantes, conforme Figura 6.7.

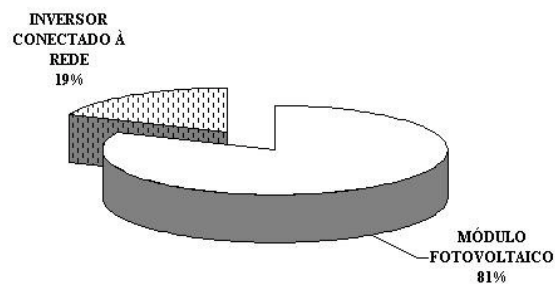


Figura 6.7 Custo do sistema fotovoltaico completo conectado à rede elétrica, em Porcentagem

Fonte: Elaboração própria.

6.3 Análise dos Resultados e Perspectivas no Médio e Longo Prazo

A Tabela 6.10 resume os índices de nacionalização obtidos para os três sistemas fotovoltaicos.

Tabela 6.10 Índices de nacionalização dos sistemas fotovoltaicos analisados

Sistema Fotovoltaico	Índice de Nacionalização (%)
Bombeamento de água	5
Eletrificação rural	35
Conectado à rede elétrica	0

Fonte: Elaboração a partir dos resultados obtidos no item 6.2.

A análise dos três sistemas fotovoltaicos, bem como os índices de nacionalização estimados, revelaram que os equipamentos elétricos, eletromecânicos e automação e controle (controlador de carga, inversor CC-CA, conjunto motobomba e bateria) estão disponíveis nacionalmente, porém sofrem grande competição de empresas estrangeiras no mercado brasileiro.

No caso dos sistemas de eletrificação rural e bombeamento de água o único equipamento que não existe na indústria nacional é o módulo fotovoltaico. Sua contribuição no valor final de cada um destes dois sistemas é muito grande, ficando claro que os módulos fotovoltaicos são os equipamentos determinantes no índice de nacionalização. Já os sistemas conectados à rede não

dispõem de nenhum dos seus dois principais equipamentos fabricados no Brasil, que são os inversores para conexão à rede elétrica e os módulos fotovoltaicos.

Como a tecnologia dos inversores CC-CA já está bem desenvolvida nacionalmente, acredita-se que tal fato possa facilitar o desenvolvimento e amadurecimento dos inversores CC-CA para conexão à rede elétrica possibilitando significativos avanços tecnológicos no país. Em comunicação pessoal com o Prof. Dr. Roberto Zilles⁶⁰, em setembro de 2005, o mesmo informou que um grupo do Departamento de Energia Elétrica da Universidade Federal do Ceará – UFCE está desenvolvendo um inversor para sistemas conectados à rede elétrica utilizando tecnologia semelhante ao fabricante alemão SMA. Assim, considera-se aqui que no médio prazo este equipamento pode vir a ser fabricado no país e o sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica poderá atender um índice de nacionalização de cerca de 19%, que corresponderia ao inversor para conexão à rede elétrica fabricado no Brasil, mostrado no item 6.2.6. Esse índice também pode variar de 14 a 24%, quando se considera uma margem de erro de 5% devido à variação de orçamento, de custos, etc..

Diferentemente dos inversores CC-CA para conexão à rede elétrica, para a fabricação de módulos fotovoltaicos é preciso um investimento inicial muito alto, que segundo Zanesco e Moehlecke (2008), é em torno de R\$ 50 milhões, o que equivaleria a uma fábrica produzindo aproximadamente 10 MW⁶¹ por ano inicialmente. Tratando-se de tamanho investimento inicial, o interesse em investir na indústria deste equipamento só será viável se for criada uma demanda que possua um horizonte mínimo capaz de possibilitar a amortização dos investimentos realizados. Assim, acredita-se que somente no longo prazo módulos fotovoltaicos poderão vir a ser produzidos no país.

Como mencionado no Capítulo 5, atualmente o CB-Solar, localizado no NT-SOLAR da PUCRS, está desenvolvendo uma planta-piloto com 200 módulos fotovoltaicos. Um dos resultados diretos desse projeto é o processo de fabricação de células solares e módulos fotovoltaicos em fase pré-industrial. Dessa forma, esse projeto representa a maior iniciativa de

⁶⁰ Informação obtida em uma visita ao IEE/USP.

⁶¹ Este valor é a potência em módulos fotovoltaicos fabricados por ano, medida nas condições padrão internacionalmente estabelecidas: irradiância de 1000 W/m², espectro AM1,5G e temperatura do módulo a 25°C.

estímulo à pesquisa, desenvolvimento de novas tecnologias⁶² e formação de recursos humanos que se tem atualmente envolvendo as células fotovoltaicas e módulos fotovoltaicos no país. Mesmo assim, levará algum tempo para que tais módulos venham a ser fabricados em escala industrial, pois de acordo com os próprios coordenadores do Projeto, Zanesco e Moehlecke (2008), é necessário um alto investimento inicial.

Apesar da dificuldade em produzi-los, acredita-se que no médio prazo os módulos poderiam ser montados no Brasil, não sendo necessário importá-los prontos e montados. Para isso, seria necessário investir na capacitação de recursos humanos e na formação de boa competência nacional para a montagem dos módulos a partir das células. No entanto, acredita-se que isso somente ocorrerá se houver uma exigência contratual para que assim seja feito, como no caso de compras feitas por empresas ou instituições públicas.

Ainda pensando no longo prazo, o país poderia purificar o silício aqui mesmo, pois é um grande produtor de silício metalúrgico, e conforme mostrado no Capítulo 2, em 2007, o silício (mono e multicristalino) continuou sendo o material responsável por 90% da produção mundial de células. Tal quadro mostra que a tecnologia do silício continuará dominando as aplicações fotovoltaicas nos próximos anos, apesar de novas tecnologias estarem sendo inseridas no mercado. A disponibilidade de silício purificado no mercado local certamente estimularia investimentos na fabricação de células e módulos fotovoltaicos. Segundo Zilles (2006), “é estratégico associar programas de incentivo ao uso de sistemas fotovoltaicos a programas de fomento à purificação do silício nacional”.

⁶² Segundo os Professores Adriano Moehlecke e Izete Zanesco, em contato pessoalmente na PUCRS, em 06 de novembro de 2008, ao longo das pesquisas desenvolvidas, durante o projeto, foram descobertas três novas tecnologias que aliam baixo custo e boa eficiência.

Capítulo 7

Conclusões e Recomendações para Futuros Trabalhos

Apesar do elevado potencial de aproveitamento solar que o país dispõe, no decorrer da pesquisa foi possível perceber que até então somente pequenas tentativas foram realizadas visando incentivar a energia solar fotovoltaica, mas ainda assim bem ínfimas quando comparadas a Alemanha, Japão, EUA e Espanha.

Percebe-se nitidamente que o país necessita de um mecanismo regulatório específico de fomento caso pretenda, assim como mostrado nos programas bem sucedidos do Japão, Alemanha, EUA e Espanha, ampliar a participação dessa fonte na matriz energética nacional. Tais programas vêm conseguindo aumentar a participação dos sistemas fotovoltaicos na geração de energia elétrica através de subsídios fornecidos pelo governo. É importante ressaltar aqui que tais programas não têm entre suas metas prioritárias estimular a indústria nacional de forma direta, ou seja, não determinaram nenhum índice de nacionalização com esta finalidade, mas acabam por estimular a indústria de equipamentos indiretamente.

Os programas de sucesso implantados no Japão, Alemanha, EUA (especialmente na Califórnia) e Espanha podem servir de referência na elaboração de um programa nacional de incentivo a essa fonte, mas sempre levando em consideração as características dos sistemas aqui utilizados, da população que será beneficiada, bem como as diferenças dos sistemas lá instalados, em sua grande maioria sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica.

Na verdade isso já está ocorrendo, pois em 2008, Rüther et al (2008), publicou um trabalho contendo um conjunto de procedimentos para viabilizar e facilitar a inserção, em larga escala, da tecnologia solar fotovoltaica no Brasil. Conforme já mencionado no Capítulo 5, este estudo simula um programa solar fotovoltaico brasileiro e usou como base o programa alemão, utilizando os sistemas de tarifas.

Diferentemente do Japão, Alemanha, EUA e Espanha, os sistemas utilizados até o momento no Brasil são sistemas autônomos (sistemas de eletrificação rural e bombeamento de água), instalados em comunidades isoladas e na zona rural, viabilizados principalmente através de projetos de pesquisa desenvolvidos por instituições do governo. Isso ocorre devido ao elevado preço de um sistema solar fotovoltaico e à ausência de legislação específica para esta fonte, o que o mantém pouco competitivo em relação aos valores das tarifas cobradas pelas concessionárias.

Assim, ainda não há como se ter a utilização economicamente viável de sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica, o que aponta, mais uma vez, para a necessidade de uma legislação específica para essa fonte. O que há até então, e já foi mencionado no Capítulo 5, é a Portaria nº 36/2008 que criou um GT – GDSF com a finalidade de elaborar estudos, propor condições e sugerir critérios destinados à elaboração de uma proposta de política de utilização da energia solar fotovoltaica conectada à rede, em particular em edificações urbanas.

A desejável diversificação das fontes de energia elétrica do país, hoje ainda centralizada na energia hidráulica, passa também pela elaboração de um programa nacional específico de fomento ao uso de sistemas fotovoltaicos que inclua, em sua regulamentação, a obrigatoriedade de atender um índice de nacionalização de equipamentos, tal qual o PROINFA. Desta forma, acredita-se que esse estímulo, além de aumentar a participação da energia solar na matriz energética, poderá auxiliar na melhoria de sua competitividade econômica frente às fontes convencionais, através do incentivo à indústria nacional, trazendo, ainda, grandes benefícios ao meio ambiente e à sociedade brasileira.

Assim sendo, este trabalho teve como objetivo estimar um índice de nacionalização, para cada sistema especificado, que possa vir a ser utilizado conjuntamente na elaboração de uma proposta de programa de estímulo nacional ao uso da energia solar fotovoltaica e à indústria brasileira desse setor. A motivação para o desenvolvimento da pesquisa se traduz nos diversos

benefícios que a determinação destes índices pode proporcionar à sociedade, em termos de diversificação da matriz energética, não dependência à importação de equipamentos, geração de empregos, formação de recursos humanos, fácil manutenção e reposição de equipamentos, confiabilidade na tecnologia e redução dos impactos causados ao meio ambiente.

Os resultados obtidos permitiram concluir que esse objetivo foi atingido. De acordo com os mesmos, o sistema de bombeamento de água e de eletrificação rural são sistemas que 5% e 35%, respectivamente, dos seus equipamentos já são disponibilizados pela indústria nacional. De posse dos índices é possível saber com mais precisão qual a disponibilidade nacional dos equipamentos pertencentes às três aplicações estudadas, ou seja, são índices representativos nacionalmente.

Apesar desses resultados serem estimativas, pois foram considerados aqui determinados sistemas fotovoltaicos cujos índices podem variar um pouco de acordo com a utilização de cada sistema, ainda assim os índices seriam maiores se houvesse fabricante nacional de módulos fotovoltaicos. Conforme visto nos sistemas analisados, o módulo é responsável pela maior parte do custo dos sistemas, até mesmo no caso dos sistemas conectados à rede elétrica em que os inversores também são importados.

O estabelecimento destes índices também permite que a partir deles uma determinada demanda seja criada, através de um programa de incentivo ao uso desta tecnologia. Vale lembrar que os índices estimados referem-se à capacidade atual da indústria brasileira atender os sistemas fotovoltaicos. Para um programa de incentivo, certamente os índices precisariam ser ligeiramente superiores aos valores calculados pois, desta forma, a exemplo do próprio PROINFA, estará estimulando a indústria nacional do setor. Outro ponto importante a ser lembrado é que os índices foram determinados a partir dos principais equipamentos de cada um dos três sistemas, mas se levado em consideração outras partes e peças já fabricadas nacionalmente (suporte para o módulo fotovoltaico, equipamentos para conexões hidráulicas e elétricas, entre outros), tais índices seriam naturalmente mais elevados.

No entanto vale ressaltar a preocupação com a imposição de um índice de nacionalização que não seja factível de ser atendido. Como mostrado no Capítulo 2, no caso da energia eólica no PROINFA, na época verificou-se que 70% dos investimentos dos projetos cabiam ao

aerogerador e havia apenas um fabricante nacional atuando no mercado que, além de tudo, não estava capacitado a atender a demanda criada pelo Programa. Tudo isso levou a uma grande preocupação de que a exigência do índice limitasse a implantação dos parques eólicos no Brasil. Em razão disso, em 2007, foi apresentado o Projeto de Lei nº 1.421 visando alterar a lei de criação do PROINFA e eliminar a necessidade de nacionalização dos equipamentos e serviços referentes à produção de energia eólica por um período de 10 anos. O autor do Projeto argumentou que tal medida não tinha sido eficaz para desenvolver a indústria nacional e impedia a utilização do potencial energético dos ventos. Em 2008 esse Projeto foi vetado.

Dessa forma, deve-se ter cautela e bom senso ao implantar um programa de incentivo ao uso da energia solar fotovoltaica, pois ao aplicar a exigência de um índice que não possa atender a demanda requerida, ao invés de estimular, pode-se acabar desestimulando e até impedindo a utilização do potencial energético nacional proveniente do sol.

Considerando os sistemas fotovoltaicos, os resultados das análises deste trabalho mostraram que os módulos são considerados o gargalo de todos os sistemas estudados, pois representa em média 80%⁶³ do investimento inicial de um sistema. Logo, ao restringir a importação de equipamentos, através da obrigatoriedade de um índice de nacionalização, é fundamental que a demanda criada possua um horizonte mínimo de amortização dos investimentos realizados.

Outra conclusão decorrente da pesquisa é que um maior índice de nacionalização dos sistemas fotovoltaicos só será obtido possivelmente no médio prazo, para o caso dos inversores para sistemas conectados à rede, e no longo prazo, para os módulos fotovoltaicos, períodos estes necessários para o desenvolvimento e o amadurecimento destas tecnologias. Como mostrado no Capítulo 6, investir atualmente em uma fábrica de módulos fotovoltaicos implicaria em gastos superiores a R\$ 50 milhões para fabricar aproximadamente 10 MW por ano, ou seja, um montante muito elevado. Não é qualquer investidor que pode e se interessaria em instalar uma fábrica com investimento inicial tão alto. Já no caso dos inversores para conexão à rede elétrica o investimento seria bem inferior e como já há tecnologia nacional para os inversores CC-CA,

⁶³ Média calculada através da contribuição dos módulos fotovoltaicos em cada sistema analisado.

acredita-se que em um espaço de tempo não muito longo poderão estar sendo fabricados nacionalmente.

Por fim, este trabalho de pesquisa estimou índices representativos nacionalmente que podem vir a ser utilizados na elaboração de uma proposta de programa para fomentar o uso dos sistemas fotovoltaicos, mas não se pretende aqui colocá-los como única alternativa para incentivar a energia solar fotovoltaica e promover o desenvolvimento da indústria nacional de equipamentos. O que se busca nesse trabalho é contribuir para promover o uso de tal fonte, visando diversificar a matriz energética nacional, qualificar recursos humanos; e desenvolver e amadurecer esta tecnologia.

Resumidamente, esta tese aponta para a necessidade do governo brasileiro promover incentivos estratégicos ao uso dos sistemas solares fotovoltaicos e estabelecer políticas de incentivo ao desenvolvimento industrial nacional de equipamentos do setor, pois tais iniciativas proporcionarão ganhos econômicos, tecnológicos, energéticos, sociais e ambientais ao país.

Para trabalhos futuros propõem-se a utilização dos índices de nacionalização aqui determinados para elaboração de uma minuta de programa de fomento ao uso dos sistemas solares fotovoltaicos e o desenvolvimento de uma análise econômica mais aprofundada dos sistemas considerados.

Referências Bibliográficas

AGÊNCIA CT. MCT. Ministério de Ciência e Tecnologia. **Pesquisa reduz custo de equipamentos de geração de energia solar.** Disponível em: <http://agenciact.mct.gov.br/index.php/content/view/47757.html> Acesso em: abr 2008.

ALDABÓ, L. **Energia solar.** São Paulo: Artliber. 2002.

ANEEL Agência Nacional de Energia Elétrica. **Atlas de Energia Elétrica do Brasil. Energia Solar.** Brasília: ANEEL, 2002. 153p.

_____. **RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 83**, de 20 de setembro de 2004. Estabelece os procedimentos e as condições de fornecimento por intermédio de Sistemas Individuais de Geração de Energia Elétrica com Fontes Intermitentes – SIGFI.

ASIF. Asociación de La Industria Fotovoltaica. **Situación de La Energía Solar Fotovoltaica en 2007.** 9p. 2007.

ASIF. Asociación de La Industria Fotovoltaica. **Solar Generation V – 2008.** Electricidad Solar para Más de Mil Millones de Personas y dos Millones de Puestos de Trabajo para el Año 2020. 2008a.

ASIF. Asociación de La Industria Fotovoltaica. **Hacia Un Suministro Sostenible de Electricidad: La Energía Solar Fotovoltaica En España.** Informe Anual, 2008b.

BALDINI, R. **Fabricação de Componentes de Sistemas Fotovoltaicos. Mercado no Brasil: O Ponto de Vista da Associação Brasileira das Empresas de Energia Renovável – ABEER.** II Simpósio de Energia Solar Fotovoltaica – SNESF. Rio de Janeiro. 2005.

BRITO, A.U. **Otimização do Acoplamento de Geradores Fotovoltaicos a Motores de Corrente Alternada Através de Conversores de Frequência Comerciais para Acionar Bombas Centrífugas.** Universidade de São Paulo. Instituto de Eletrotécnica e Energia. 2006. (Tese de Doutorado).

CAMARGO, J.C. *et al.*. **Potencial fotovoltaico no uso rural para o estado de São Paulo.** In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL. AGRENER, 5., 2003. Campinas/SP. **Anais....** CD-ROM. 2003.

CAMARGO, J.C. *Comunicação pessoal.* Laboratório de Hidrogênio. Instituto de Física “Gleb Wataghin”. UNICAMP. Julho 2007.

CANAL ENERGIA. **Eólicas: Câmara vota PL que retira índice de nacionalização para usinas do Proinfa.** Disponível em:
<<http://www.canalenergia.com.br/zpublisher/materias/Newsletter.asp?id=68621>> Acesso em: Dez 2008.

CAVALIERO, C.K.N. *et al.*. **Mecanismos Regulatórios para Geração de Energia Elétrica a Partir de Fontes Renováveis Alternativas de Energia.** Setembro 2004.

CBEE **Centro Brasileiro de Energia Eólica.** Disponível em:
<http://www.eolica.com.br/index_por.html> Acesso em: nov 2005.

CB-SOLAR. Centro Brasileiro para Desenvolvimento da Energia Solar Fotovoltaica. Disponível em: < <http://www.pucrs.br/cbsolar/ntsolar/index.htm> > Acesso em: Nov 2008.

CEC. **Califórnia Energy Commission. Renewable Energy Program.** Disponível em:
<<http://www.energy.ca.gov/renewables/index.html>>. Acesso em: jun 2008.

CEMIG. Companhia Energética de Minas Gerais. **Catálogo de Fabricantes, Revendedores, Consultores e Pesquisadores de Energias Renováveis**. 2002.

CENBIO. Centro Nacional de Referência em Biomassa. **Panorama do Potencial de Biomassa no Brasil**. Brasília; Dupligráfica, 2003. 80 p. Disponível em: <[http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/05-Biomassa\(2\).pdf](http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/05-Biomassa(2).pdf)> Acesso em: jun 2006.

CIRCULAR nº 195, de 28 de julho de 2006. **Critérios e Instruções para Cálculo de Índices de Nacionalização**. Anexo II. 2006.

CONVÊNIO ICMS 101/97, de 12 de dezembro de 1997. Concede isenção do ICMS nas operações com equipamentos e componentes para o aproveitamento das energias solar e eólica que especifica. Disponível em: <http://www.fazenda.gov.br/confaz/confaz/Convenios/ICMS/1997/cv101_97.htm> Acesso em: abr 2008.

CONVÊNIO ICMS 71/08, de 04 de julho de 2008. Prorroga disposições de Convênios que concedem benefícios fiscais. Disponível em: <<http://www.fazenda.gov.br/confaz/>> Acesso em: nov 2008.

COSTA, H.S. **Análise Econômica Comparativa entre Diferentes Opções para Eletrificação Domiciliar Rural**. Recife/PE. 1998.

CRESESB. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. Grupo de Trabalho de Energia Solar – GTES. CEPEL-CRESESB. Ed. Especial. PRC - PRODEEM. 2004a.

_____. Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito. CRESESB Informe. **CB-Solar produz células solares de alta eficiência**. p. 18. Nº 12. Outubro 2004b.

_____. **Energia Solar: Princípios e Aplicações**. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br>>. Acesso em: dez 2005.

_____. CRESESB Informe. **CB-Solar produz células solares de alta eficiência**. p. 18. Nº 12. Outubro 2007.

DECRETO Nº 3827/01, de 21 de maio de 2001. Reduz a zero o IPI sobre diversos equipamentos e acessórios destinados a geração de energia elétrica. Disponível em: <<http://www.fisconet.com.br/user/legis01/decreto/3827.htm>> Acesso em: abr 2008.

EREC. European Renewable Energy Council. **Renewable Energy Policy Review** Germany. 2004.

EUROSERV'ER. **Photovoltaic Energy Barometer**. 2008. 17 p.

FEDRIZZI, M. C. **Fornecimento de água com sistemas de bombeamento fotovoltaicos: dimensionamento simplificado e análise de competitividade para sistemas de pequeno porte**. Universidade de São Paulo. Instituto de Eletrotécnica e Energia. 1997. (Dissertação de mestrado).

FEDRIZZI, M. C. **Sistemas Fotovoltaicos de Abastecimento de Água para Uso Comunitário: Lições Aprendidas e Procedimentos para Potencializar sua Difusão**. Universidade de São Paulo. Instituto de Eletrotécnica e Energia. 2003. (Tese de Doutorado).

FENHANN, J. **Solar Photovoltaic Development – Status and Perspectives**. Risø National Laboratory, Roskilde, Dinamarca. 1998.

FRAINDENRAICH, N.; LYRA, F. **Energia Solar: Fundamentos e Tecnologias de Conversão Helietermoelétrica e Fotovoltaica**. p. 423 – 436. 1995.

FRAINDENRAICH, N. **Tecnologia Solar no Brasil. Os próximos 20 anos**. In: Sustentabilidade na geração e uso de energia no Brasil: os próximos vinte anos. Campinas, SP: UNICAMP, 2002.

FRAINDENRAICH, N. **Antecedentes Históricos da Ciência Solar no Brasil. A Tecnologia Solar Fotovoltaica**. Grupo de Pesquisas em Fontes Alternativas de Energia. FAE. UFPE. 2005.

GALDINO, Marco A.; LIMA, Jorge H. G. **PRODEEM - O Programa Nacional de Eletrificação Rural Baseado em Energia Solar Fotovoltaica**. In: IX CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA. Hotel Glória. **Anais...** . Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 2002. CD-ROM.

GONÇALVES, A. R. *Comunicação via e-mail*. Grupo de Trabalho de Sistemas Fotovoltaicos (GT-FOT). DIPAC/INMETRO. Abril, 2008.

HAAS, R.; DEMET, S.; LOPEZ-POLO, A. **An International Comparison of Market Drivers for Grid Connected PV Systems**. 21st European Photovoltaic Solar Energy Conference, 4-8 september 2006. Dresden, Germany.

HELIODINÂMICA. Disponível em: <<http://www.heliodinamica.com.br>> . Acesso em: nov 2006.

HOLIHAN, P. **Technology, Manufacturing and Market Trends in The U.S. and International Photovoltaics Industry**. Renewable Energy, 2000: Issues and Trends. Fevereiro 2001. Disponível em: <http://www.iea.doe.gov/cneaf/solar.renewables/rea_issues/solar.html> Acesso em: mar 2005.

IEA. International Energy Agency. **PVPS Annual Report 2006**. 2006.

_____. **PVPS Annual Report 2007**. 2007.

_____. **Trends in Photovoltaic Applications. 2007. Survey Report of Selected IEA Countries Between 1992 and 2006**. Disponível em: <http://www.iea-pvps.org/products/download/rep1_16.pdf> Acesso em: jul 2008.

_____. **Technical Concepts and Process**. Disponível em: <<http://www.iea-pvps.org/>> Acesso em: out 2008a.

_____. **Trends in Photovoltaic Applications. 2008b. Survey Report of Selected IEA Countries Between 1992 and 2007**. Disponível em: <http://www.iea-pvps.org/products/download/rep1_17.pdf> Acesso em: out 2008b.

IKKI, O; TANAKA, Y. **National Survey Report of PV Power Applications in Japan 2003**. IEA, 2004.

IKKI, O; MATSUBARA, K. **National survey report of PV Power Applications in Japan 2006**. IEA, 2007a.

- IKKI, O.; MATSUBARA, K. **Japan: PV Technology and Prospects. PVPS Annual Report 2007.** IEA, 2007b.
- INMETRO. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial. Programa Brasileiro de Etiquetagem. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/qualidade/eficiencia.asp> Acesso em: abr 2008.
- KENIS, M. J. *Comunicação via e-mail.* Supervisor de Vendas da Grundfos no Brasil. Julho, 2008.
- LISITA, O. **Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede: Estudo de Caso – 3kWp instalados no IEE – USP.** Universidade de São Paulo. Instituto de Eletrotécnica e Energia. 2005. (Dissertação de Mestrado).
- LORENZO, E. *et al.*. **Boas Práticas na Implantação de Sistemas de Bombeamento Fotovoltaico.** Instituto de Energía Solar, Universidad Politécnica de Madrid. 2005. 56 p.
- MACHADO, Augusto. *Comunicação via e-mail.* **Coordenador-Geral de Sustentabilidade Ambiental do Setor Energético do Departamento de Desenvolvimento Energético da Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento Energético.** Agosto 2005.
- MARKVART, T. Solar Electricity. 2nd ed. 1994 e 2000.
- MAYCOCK, P. D. **Photovoltaics : Sunlight to Electricity in One Step.** Andover: Brick House. 222 p. 1981.
- MAYCOCK, P.D.; BOWER, W. **National Survey Report of PV Power Applications in The United States of America 2003.** IEA, 2004.
- MAYCOCK, P.D. *et al.*. **National Survey Report of PV Power Applications in The United States of America 2006.** IEA, 2007.
- MME. Ministério de Minas e Energia. PROINFA. Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica. Rio de Janeiro: 17 de maio de 2004. **Apresentação: Laura Porto.** COPPE 2004a.

- _____. **Programa de Incentivo as Fontes Alternativa de Energia Elétrica no Brasil – PROINFA.** Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/proinfa/default.asp>>. Acesso em: set 2004b.
- _____. **Guias de Habilitação do PROINFA: Biomassa, PCH e Energia Eólica.** MME. 2004.
- _____. **Programa de Incentivo as Fontes Alternativas de Energia Elétrica – PROINFA.** Disponível em: <http://www.mme.gov.br/programs_display.do?prg=5> Acesso em: abr 2006a.
- _____. **PORTARIA N° 452 – Contratos do PROINFA.** Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/site/news/detail.do?newsId=5381¤tArea>> Acesso em: jun 2006b.
- MOURA. Baterias Moura. Disponível em: <<http://www.moura.com.br/>> Acesso em: 2007.
- OLIVER, M.; JACKSON, T. **The market for solar photovoltaics.** Energy Policy, v. 27, p. 371-385, 2002.
- OLIVEIRA, S.H.F; ZILLES, R. **Geração Distribuída de Eletricidade: Inserção de Edificações Fotovoltaicas Conectadas à Rede no Estado de São Paulo.** Universidade de São Paulo. Instituto de Eletrotécnica e Energia. 2002. 198 p. (Tese de Doutorado).
- PHOTON International. **Market Survey: Cell and Module Production 2007.** March 2008. 140 – 174p.
- PNMC. **Plano Nacional Sobre Mudança do Clima.** Setembro, 2008. Decreto nº 6. 263 de 21 de novembro de 2007. 154p.
- PORTARIA nº 86, de 25 de maio de 2007. **Regulamenta o cálculo do grau de nacionalização de 60% para equipamentos e serviços dos empreendimentos construídos.** 2007.
- PORTO, Laura. **Energias Alternativas Renováveis.** Seminário: Cenários de Energia. Curitiba. Junho 2005.

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

PROCEL INFO. Centro Brasileiro de Informação de Eficiência Energética. **Pioneirismo na Etiquetagem de Sistemas Fotovoltaicos: Procel e Universidade de São Paulo inauguram laboratório que vai fazer classificação da eficiência energética de módulos fotovoltaicos**. Disponível em: <<http://www.procelinfo.com.br>>. Acesso em: jun 2008.

PROGRESS IN PHOTOVOLTAICS: RESEARCH AND APPLICATIONS. Short Communication: **Solar Cell Efficiency Tables (Version 32)**. Jun, 2008.

PROINFA. **Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica**. Coordenação Geral de Fontes Alternativas. Departamento de Desenvolvimento Energético. Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento Energético. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/programs_display.do?chn=7678>. Acesso em: Nov 2008.

PROJETO DE LEI FEDERAL Nº 1.421. Altera a Lei nº 10.438, de 26 de abril de 2002, de forma a eliminar a necessidade da nacionalização dos equipamentos e serviços referentes à produção de energia eólica. S/D, 2007.

PUCRS. Revista da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul. **Sol e dispositivos orgânicos na física**. Ano XXX. nº 135. p. 18. Julho-Agosto 2007.

REW. Renewable Energy World. May – June. Financing PV Growth. 2003a. 112-127p.

_____. July – August. PV Market Update. 2003b. 84 – 101p.

_____. November – December. Germany's Solar Success. 2003c. 68 – 79p.

RÜTHER, R. **Panorama Atual da Utilização da Energia Solar Fotovoltaica e o Trabalho do LABSOLAR nesta Área**. 1999. 02 – 18p.

RÜTHER, R. Edifícios Solares Fotovoltaicos. Florianópolis: LABSOLAR. 114 p. 2004.

RÜTHER, R. *et al.*. **Avaliação do impacto da geração distribuída utilizando sistemas solares fotovoltaicos integrados à rede de distribuição.** 2005. Disponível em: <http://www.unisinos.br/_diversos/revistas/estudos_tecnologicos/index.php?e=1&s=9&a=3> Acesso em: dez 2007.

RÜTHER, R. *et al.*. **Programa de Telhados Solares Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica Pública no Brasil.** In: XII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Geração de Valor no Ambiente Construído: Inovação e Sustentabilidade. 7 a 10 outubro de 2008. Fortaleza/CE. ISBN: 978-85-89478-27-4. 2008.

SCHEER, H. **Germany's 100,000 Roof Photovoltaic Programme.** 1999.

SILVA, Ennio P.; VARELLA, F. K. O. M.; CAVALIERO, C. K. N.; MIGUEL, A. R. F.; ARAUJO, P. D. **Estudo do Potencial de Mercado das Fontes Renováveis Alternativas no Brasil.** Campinas/SP. Dezembro 2005.

SILVA FILHO, H.M. **Aplicação de sistemas fotovoltaicos na universalização do serviço de energia elétrica na Bahia: uma mudança de paradigma no setor elétrico brasileiro.** Universidade de Salvador – UNIFACS. Regulação da Indústria de Energia. 2007. 160 p.(Dissertação de mestrado).

SOLAR BRASIL. Disponível em: <<http://www.solarbrasil.com.br>> Acesso em: jan. 2007.

_____. Disponível em: <<http://www.solarbrasil.com.br/Cartilha%20Solar%202008.pdf>> Acesso em: ago 2008.

SOLARBUZZ. **Fast Solar Energy Facts.** Global Performance. Disponível em: <<http://www.solarbuzz.com/FastFactsIndustry.htm>> Acesso em: dez 2006.

SOLENERG. Disponível em: <http://www.solenerg.com.br>. Acesso em: jul 2007 e jul 2008.

STUBENRAUCH, F. **National Survey Report of PV Power Applications in Germany 2003.** IEA, 2003.

- TELEBRAS Telecomunicações Brasileiras S.A. Disponível em: <<http://www.telebras.com.br>>
Acesso em: fev 2007.
- TOLMASQUIM, M. T. (organizador). Fontes Renováveis de Energia no Brasil. Rio de Janeiro. Interciência: CENERGIA, 2003.
- TREBLE, F.C. **Generating electricity from the sun**. Oxford : Pergamon. 293 p. 1991.
- TUDOR. Baterias Tudor. Disponível em: <<http://www.tudor.com.br/>> Acesso em: 2007
- VARELLA, F. K. O.M.; CAVALIERO, C. K. N.; SILVA, E. P.; MIGUEL, A. R. F.; ARAUJO, P. **D. Impacto do PROINFA sobre a indústria de equipamentos: o caso da energia eólica**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR, 1., 2007, Fortaleza. **Anais... . ABENS**, 2007. CD-ROM.
- 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.
- WINROCK INTERNATIONAL – BRAZIL. **Trade Guide on Renewable Energy in Brazil**. Outubro 2002.
- WISSING, L. **National Survey Report of PV Power Applications in Germany 2006**. IEA, 2006.
- ZANESCO, I.; MOEHLECKE, A. *Comunicação pessoal*. **Visita ao Núcleo Tecnológico de Energia Solar - NT-Solar**. Porto Alegre, no dia 06 de novembro de 2008.
- ZILLES, R. **Geração de Eletricidade a Partir da Energia Solar: Sistemas Fotovoltaicos**. Dossiê Energia GREENPEACE. 2004.
- ZILLES, R. **Visão sobre a energia solar fotovoltaica**. 2006. Disponível em: <<http://www.revistaopinioes.com.br/Conteudo/Sucroalcooleiro/Edicao012/Artigos/Artigo012-23-A.htm>> Acesso em: jul 2008.

ZILLES, R. **Aplicações e Regulamentação: Sistemas Fotovoltaicos Domiciliares, Miniredes e Sistemas Interligados.** II SIMPÓSIO NACIONAL DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA. CRESESB. 2005. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/snesf/palestras/18-05-2005/ZILLES.pdf> Acesso em: dez 2007.

ZILLES, R. *Comunicação pessoal.* Coordenador do Laboratório de Sistemas Fotovoltaicos do IEE/USP. Julho 2008.

ZILLES, R. Geração Distribuída com Sistemas Fotovoltaicos. 1ª Reunião do Grupo de Trabalho GT-GDSF. 15 dezembro 2008a.

ZUMARÁN, D.R.O. **Avaliação Econômica da Geração de Energia Elétrica Fotovoltaica Conectada à Rede em Mercados Elétricos Desregulados.** 2000. 78 p. Dissertação (Mestrado) - Curso de Energia, Departamento de Energia, USP, 2000.

Anexo

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL

RESOLUÇÃO NORMATIVA N° 83, DE 20 DE SETEMBRO DE 2004

Estabelece os procedimentos e as condições de fornecimento por intermédio de Sistemas Individuais de Geração de Energia Elétrica com Fontes Intermitentes – SIGFI.

Relatório

Voto

O DIRETOR-GERAL DA AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL, no uso de suas atribuições regimentais, de acordo com deliberação da Diretoria, tendo em vista o disposto no art. 15, § 3º, da Lei nº 10.438, de 26 de abril de 2002, nos arts. 3º, inciso VI, e 4º, incisos III, IV, XXV e XXXI, Anexo I, do Decreto nº 2.335, de 6 de outubro de 1997, no art. 6º do Decreto nº 4.873, de 11 de novembro de 2003, no art. 2º da Resolução nº 223, de 29 de abril de 2003, alterada pelas Resoluções Normativas nº 052, de 25 de março de 2004, e nº 073, de 09 de julho de 2004, o que consta dos Processos nº 48500.005863/02-31 e nº 48500.003424/02-20, e considerando que:

na execução do Programa “LUZ PARA TODOS” serão contempladas, como alternativa para o atendimento à população-alvo, tanto a extensão de redes convencionais, como os sistemas de geração descentralizados, com redes isoladas ou sistemas individuais;

existe a possibilidade de prestação de serviço público de distribuição de energia elétrica, por

meio de outorga de permissão, podendo, neste caso, o serviço ser prestado mediante a associação ou

contratação com agentes detentores de tecnologia ou titulares de autorização para fontes solar, eólica, biomassa e pequenas centrais hidroelétricas;

a utilização de Sistemas Individuais de Geração de Energia Elétrica com Fontes Intermitentes – SIGFI é uma opção para a universalização dos serviços de energia elétrica e suas características exigem uma regulamentação específica; e

as contribuições recebidas dos diversos agentes e setores da sociedade, por meio da Audiência

Pública nº 012, realizada no dia 28 de abril de 2004, permitiram o aperfeiçoamento deste ato regulamentar, resolve:

Art. 1º Estabelecer, na forma desta Resolução, os procedimentos e as condições de fornecimento de energia elétrica por intermédio de Sistemas Individuais de Geração de Energia Elétrica com Fontes Intermitentes – SIGFI.

DAS DEFINIÇÕES

Art. 2º Para os fins e efeitos desta Resolução são adotadas as seguintes definições:

I - Autonomia: capacidade de fornecimento de energia elétrica do sistema de acumulação, expressa em dias, necessária para suprir o consumo na completa ausência da fonte primária, tendo como base o consumo diário de referência;

II - Concessionária ou Permissionária: agente titular de concessão ou permissão federal para explorar a prestação de serviços públicos de energia elétrica, referenciado, doravante, nesta Resolução, apenas pelo termo concessionária;

III - Consumo diário de referência: quantidade de energia que o SIGFI é capaz de fornecer diariamente calculada a partir da Disponibilidade Mensal Garantida;

IV – Disponibilidade Mensal Garantida: quantidade mínima de energia que o SIGFI é capaz de fornecer, em qualquer mês, à unidade consumidora;

V – Fonte de Energia Intermitente: recurso energético renovável que, para fins de conversão em energia elétrica pelo sistema de geração, não pode ser armazenado em sua forma original;

VI – Indicador de Continuidade: quantificação do desempenho de um sistema elétrico, utilizada para a mensuração da continuidade apurada e análise comparativa com os padrões estabelecidos;

VII – Interrupção: descontinuidade do fornecimento de energia elétrica a uma determinada unidade consumidora, provocada por falha de dimensionamento ou dos componentes do sistema;

VIII – Padrão de Continuidade: valor máximo estabelecido para um indicador de continuidade no período de observação e utilizado para a análise comparativa com os respectivos valores apurados;

IX – Período de Observação: intervalo de tempo mensal e anual utilizado para apuração do indicador de continuidade;

X – Ponto de entrega: ponto de conexão do SIGFI com as instalações elétricas da unidade consumidora, caracterizando-se como o limite de responsabilidade do fornecimento;

XI – Potência Mínima Disponibilizada: potência mínima que o SIGFI deve disponibilizar, no ponto de entrega, para atender às instalações elétricas da unidade consumidora, segundo os critérios estabelecidos nesta Resolução;

XII – Sistema de Acumulação de Energia: parte do SIGFI que acumula energia para uso em momentos de indisponibilidade ou insuficiência da Fonte de Energia Intermitente;

XIII – Sistema Condicionador: componente do SIGFI cuja função é a conversão de tensão contínua em tensão alternada, incluindo circuitos de proteção associados, de modo a condicionar a energia elétrica às exigências de qualidade pré-estabelecidas;

XIV – Sistema de Geração de Energia: parte do SIGFI que converte energia primária em energia elétrica;

XV – Sistema Individual de Geração de Energia Elétrica com Fonte Intermitente – SIGFI: sistema de geração de energia elétrica implantado por concessionária ou permissionária de distribuição de energia elétrica, utilizando exclusivamente fonte de energia intermitente, para o fornecimento a unidade consumidora única, constituído basicamente de um sistema de geração, um sistema de acumulação e um sistema condicionador;

XVI – Unidade Consumidora: conjunto de instalações e equipamentos elétricos caracterizado pelo recebimento de energia elétrica em um só ponto de entrega, com medição individualizada e correspondente a um único consumidor.

DAS CONDIÇÕES GERAIS DE ATENDIMENTO

Art. 3º As características obrigatórias aos SIGFI implantados a partir da publicação desta Resolução são as seguintes:

I – o fornecimento da energia elétrica deverá ser em corrente alternada (CA-senoidal), com observância dos níveis de tensão e frequência predominantes no município onde estiver localizada a unidade consumidora e conforme padrões de referência vigente; e

II – o sistema deverá estar enquadrado em uma das classes de atendimento explicitadas na tabela a seguir:

Classificação e disponibilidade de atendimento

Classes de Atendimento	Consumo Diário de Referência (Wh/dia)	Autonomia mínima (dias)	Potência Mínima Disponibilizada (W)	Disponibilidade Mensal Garantida (kWh)
SIGFI13	435	2	250	13
SIGFI30	1000	2	500	30
SIGFI45	1500	2	700	45
SIGFI60	2000	2	1000	60
SIGFI80	2650	2	1250	80

§ 1º A concessionária poderá utilizar SIGFI com Disponibilidade Mensal Garantida superior a 80 kWh/mês, desde que garantida uma autonomia mínima de 2 dias.

§ 2º Os componentes do SIGFI e demais equipamentos necessários para o fornecimento de energia elétrica à unidade consumidora devem ser fornecidos e instalados sob a responsabilidade e às expensas da concessionária, de acordo com regulamentação vigente que estabelece a responsabilidade pelo atendimento a pedidos de fornecimento.

§ 3º Os componentes do SIGFI devem atender às exigências das normas expedidas pelos órgãos oficiais competentes, pelo Programa Brasileiro de Etiquetagem do Instituto Nacional de Metrologia(INMETRO) ou outra organização credenciada pelo Conselho Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial(CONMETRO).

DA MEDIÇÃO, DA LEITURA E DO FATURAMENTO

Art. 4º A concessionária é obrigada a instalar equipamentos de medição em todas as unidades consumidoras com fornecimento por SIGFI, atendidas a partir da publicação desta Resolução, cuja Disponibilidade Mensal Garantida seja superior a 30 kWh, além de cumprir os seguintes procedimentos:

I - as leituras e os faturamentos poderão ser efetuados em intervalo de tempo definido pela respectiva concessionária, de acordo com calendário específico a ser submetido a aprovação da ANEEL, de modo a atender as particularidades de cada área atendida e desde que não cause prejuízos ao consumidor;

II - caso a disponibilidade mensal garantida seja superior a 30 kWh, o faturamento deverá ser realizado com base no consumo verificado e respeitado o valor mínimo faturável de 30 kWh;

III – quando a disponibilidade mensal garantida for igual ou inferior a 30 kWh, o faturamento deverá ser realizado com base na disponibilidade mensal garantida, relativa à respectiva classe de atendimento, conforme disposto na tabela integrante do art. 3º, inciso II, desta Resolução; e

IV - para efeito de aplicação de tarifas as unidades consumidoras serão classificadas de acordo com o disposto no art. 20 da Resolução nº 456, de 29 de novembro de 2000.

DA QUALIDADE DO SERVIÇO

Art 5º A qualidade do fornecimento de energia elétrica deverá ser supervisionada, avaliada e controlada por meio de indicador de continuidade individual, associado à duração de interrupções, conforme dispõe o art. 8º desta Resolução.

DAS INTERRUPTÕES A SEREM CONSIDERADAS

Art. 6º Na apuração do indicador DIC deverão ser consideradas todas as interrupções, admitindo-se as seguintes exceções:

I – interrupções provocadas diretamente pelo consumidor por uso indevido dos equipamentos e componentes do sistema, desde que tecnicamente comprovado pela concessionária; ou

II – interrupções de ordem técnica oriundas de desligamentos efetuados pela concessionária para manutenção, reparos ou ampliação do sistema com duração igual ou inferior a 72 horas;

III – interrupções provocadas por furtos de componentes ou vandalismo ao sistema.

DA COLETA E DO ARMAZENAMENTO DOS DADOS DE INTERRUPTÕES

Art. 7º O indicador de continuidade individual deverá ser apurado por meio de procedimentos auditáveis e que contemplem desde o processo de coleta de dados das interrupções até a transformação desses dados em indicador.

§ 1º Os dados das interrupções e do indicador correspondente deverão ser mantidos na concessionária por período mínimo de 5 (cinco) anos, para uso da ANEEL e dos consumidores.

§ 2º Para cada interrupção ocorrida na unidade consumidora deverão ser registradas, pela concessionária, as seguintes informações:

I – o fato gerador (causa e componente danificado); e

II – a data, hora e os minutos do início da interrupção, bem como do efetivo restabelecimento.

§ 3º Para efeito de registro das informações e contagem do tempo de cada interrupção deverá ser considerada a data de recebimento, pela concessionária, da reclamação formal do consumidor ou seu representante legal, desde que constatada sua procedência.

DO INDICADOR DE CONTINUIDADE

Art. 8º A concessionária deverá apurar, quando da reclamação de interrupções procedentes, e manter em arquivo próprio para fins de fiscalização da ANEEL, o indicador individual de continuidade “Duração de Interrupção por Unidade Consumidora (DIC)”, utilizando a seguinte fórmula:

$$DIC = \sum_{i=1}^n t(i)$$

Onde:

DIC Duração das Interrupções por Unidade Consumidora considerada, expressa em horas e por período de observação;

I Índice da interrupção na unidade consumidora, no período de observação, variando de 1 a *n*; *n* Número de interrupções na unidade consumidora considerada, no período de observação; e

t(i) Tempo de duração da interrupção (i) na unidade consumidora considerada, no período de observação, expressa em horas.

DO ENVIO DE DADOS ESTATÍSTICOS

Art. 9º A partir de 2005, a concessionária deverá enviar à ANEEL, semestralmente, relatório estatístico contemplando o desempenho dos sistemas intermitentes instalados na área de concessão, contendo, no mínimo, as seguintes informações:

quantidade de unidades instaladas, por classe de atendimento e fonte primária;

II- número de reclamações recebidas no período, por classe de atendimento e fonte primária; e

III – relação da frequência de falhas, por componente do sistema.

Parágrafo único. Os dados a que se refere o “caput” deverão ser encaminhados respectivamente até 31 de julho de cada ano e 31 de janeiro do ano subsequente.

DOS PADRÕES DE CONTINUIDADE

Art. 10. A partir da publicação desta Resolução, a concessionária deverá observar os padrões de referência de DIC conforme tabela a seguir:

INDICADOR	PADRÃO DE REFERÊNCIA (horas)
DIC mensal	216
DIC anual	648

§ 1º A partir de janeiro de 2008, a ANEEL estabelecerá, em resolução específica, os respectivos padrões de atendimento a serem observados pela concessionária, tendo como referência os valores apurados de DIC e os relatórios estatísticos encaminhados.

§ 2º No caso de o histórico de dados ser insuficiente para a definição dos padrões, caberá à ANEEL estabelecer outra metodologia e critério para a fixação dos mesmos.

§3º Quando do estabelecimento dos padrões de DIC em resolução específica, a concessionária estará sujeita ao pagamento de compensação ao consumidor, conforme procedimentos de cálculo estabelecido na Resolução nº 024, de 27 de janeiro de 2000.

DO SISTEMA DE ATENDIMENTO ÀS RECLAMAÇÕES DOS CONSUMIDORES

Art. 11. A concessionária deverá dispor de sistemas de atendimento acessíveis aos consumidores, para que os mesmos apresentem suas reclamações quanto a problemas relacionados ao fornecimento de energia elétrica. Parágrafo único. A concessionária deverá introduzir procedimentos específicos para o registro das reclamações dos consumidores e implementar estrutura logística adequada para a reposição de componentes.

DA SUSPENSÃO DO FORNECIMENTO

Art. 12. A concessionária poderá suspender o fornecimento, de imediato, quando verificar a ocorrência de qualquer das seguintes situações:

I – utilização de procedimento irregular, de responsabilidade do consumidor e que tenha provocado faturamento inferior ao correto;

II – revenda ou fornecimento de energia elétrica a terceiros sem a devida autorização federal;

III – religação à revelia; e

IV – deficiência técnica ou de segurança das instalações da unidade consumidora, que ofereça risco iminente de danos a pessoas ou bens, inclusive ao funcionamento do SIGFI.

Art. 13. A concessionária poderá suspender o fornecimento, após prévia comunicação formal ao consumidor, nas seguintes situações:

I – atraso no pagamento da fatura relativa a prestação do serviço público de energia elétrica;

II – atraso no pagamento de encargos e serviços vinculados ao fornecimento de energia elétrica, prestados mediante autorização formal do consumidor;

III - atraso no pagamento dos serviços cobráveis estabelecidos no art. 109 da Resolução nº 456, de 2000;

IV – atraso no pagamento de prejuízos causados às instalações do SIGFI, cuja responsabilidade tenha sido imputada ao consumidor;

V – aumento da carga instalada à revelia da concessionária; e

VI – impedimento ao acesso de empregados e prepostos da concessionária para fins de leitura e inspeções necessárias.

§ 1º A comunicação a que se refere o *caput* deverá ser por escrito, específica e com entrega comprovada de forma individual ou impressa em destaque na própria fatura, observado o prazo mínimo de antecedência de 15 (dias) dias.

§ 2º Constatada que a suspensão do fornecimento foi indevida, a concessionária fica obrigada a efetuar a religação no prazo máximo de 72 (setenta e duas) horas, sem ônus para o consumidor.

§ 3º No caso de suspensão indevida do fornecimento, a concessionária deverá creditar na fatura subsequente, a título de indenização ao consumidor, a importância correspondente a 20% (vinte por cento) do valor líquido da primeira fatura emitida após a religação da unidade consumidora.

Art. 14. Ao efetuar a suspensão do fornecimento a concessionária deverá entregar, na unidade consumidora, aviso discriminando o motivo gerador e, quando pertinente, informações referentes a cada uma das faturas que caracterizam a inadimplência.

§ 1º Cessado o motivo da suspensão, a concessionária restabelecerá o fornecimento no prazo de até 120 horas, após a solicitação do consumidor ou a constatação do pagamento.

§ 2º O calendário de leitura e faturamento de que trata o art. 4º, inciso I, poderá contemplar prazos e procedimentos diferenciados para religação de modo a atender as particularidades de cada área atendida e desde que não cause prejuízos ao consumidor.

DAS DISPOSIÇÕES GERAIS

Art. 15. Sem prejuízo do disposto nesta Resolução, deverá ser observado, no que couber, o disposto nas Resoluções nº 456, de 29 de dezembro de 2000, e nº 024, de 27 de janeiro de 2000.

Art. 16. As relações entre a concessionária e o responsável por unidade consumidora atendida por SIGFI serão reguladas por meio de contrato de adesão. Parágrafo único. Após a publicação, pela ANEEL, do modelo do contrato de adesão a concessionária deverá encaminhá-lo ao consumidor responsável pela unidade consumidora no prazo de 60(sessenta dias).

Art. 17. Para unidades consumidoras com carga instalada até 50 kW, o fornecimento por meio de SIGFI não deverá acarretar ônus para o solicitante ou consumidor, observadas as metas estabelecidas no Plano de Universalização de Energia Elétrica da concessionária a que se refere o art. 4º da Resolução ANEEL nº 223, de 29 de abril de 2003, alterada pela Resolução Normativa nº 052, de 25 de março de 2004 e pela Resolução Normativa nº 073 de 09 de julho de 2004. Parágrafo único. O atendimento por meio de SIGFI poderá ser diferido pela concessionária, observado o cronograma do respectivo Plano de Universalização de Energia Elétrica, sendo aplicável, por opção do consumidor, o mecanismo de antecipação de que trata o art. 11 da Resolução ANEEL nº 223, de 2003.

Art. 18. A concessionária é a responsável pela integridade dos equipamentos, devendo contratar adequada apólice de seguro, visando dar cobertura, pelo menos, às situações de roubo, furto e danos causados por acidentes ou vandalismo.

Art. 19. O atendimento por meio de SIGFI deverá ser submetido previamente à autorização da ANEEL.

Art. 20. As omissões, dúvidas e casos não previstos nesta Resolução serão resolvidos e decididos pela Superintendência de Regulação da Comercialização da Eletricidade da ANEEL.

Art. 21. Esta Resolução entra em vigor na data de sua publicação.

JOSÉ MÁRIO MIRANDA ABDO

Publicado no D.O de 24.09.2004, seção 1, p. 126, v. 141, n. 185.

Este texto não substitui o publicado no D.O de 24.09.2004.

D.O.U.	28/11/2008
Seção:	2
Página:	56

PORTARIA Nº 36 , DE 26 DE NOVEMBRO DE 2008.

O SECRETÁRIO DE PLANEJAMENTO E DESENVOLVIMENTO ENERGÉTICO, no uso das atribuições conferidas pelo art. 5º e seguintes do Decreto nº 5.267, de 9 de janeiro de 2004, resolve:

Art. 1º Criar Grupo de Trabalho de Geração Distribuída com Sistemas Fotovoltaicos - GT-GDSF, com a finalidade de elaborar estudos, propor condições e sugerir critérios destinados a subsidiar definições competentes acerca de uma proposta de política de utilização de geração fotovoltaica conectada à rede, em particular em edificações urbanas, como um fator de otimização de gestão da demanda de energia e de promoção ambiental do País, em curto, médio e longo prazo.

Art. 2º O Grupo de Trabalho será integrado pelos seguintes membros:

I - da Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento Energético - SPE:

PAULO AUGUSTO LEONELLI, Diretor Substituto do Departamento de Desenvolvimento Energético - DDE, que o coordenará; e

THIAGO GUILHERME FERREIRA PRADO, Gerente de Projetos do Departamento de Planejamento Energético - DPE;

II - da Secretaria de Energia Elétrica - SEE:

SÉRGIO DE AMORIM PACHECO, do Departamento de Gestão do Setor Elétrico - DGSE;

III - do Centro de Pesquisas de Energia Elétrica - CEPEL:

MARCO ANTÔNIO ESTEVES GALDINO, Pesquisador;

IV - da Universidade Salvador - UNIFACS:

OSVALDO LÍVIO SOLIANO PEREIRA, Professor, Dr;

V - da Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC:

RICARDO RÚTHER, Professor, Dr;

VI - do Instituto de Eletrotécnica e Energia - USP:

ROBERTO ZILLES, Professor, Dr.

Art. 3º O Coordenador do Grupo de Trabalho poderá convidar técnicos e especialistas de outros Órgãos e Entidades da Administração Pública e do setor privado, com o objetivo de reunir contribuições e aperfeiçoamentos, especificamente no que tange às questões inerentes às atividades a serem desenvolvidas pelo Grupo de Trabalho de que trata esta Portaria.

Art. 4º O Grupo de Trabalho terá o prazo de até seis meses contados a partir da publicação desta Portaria para concluir as atividades propostas no Plano de Trabalho do GT e apresentar relatório contendo sugestões e recomendações pertinentes ao seu objetivo.

AN

Portaria SPE nº 36 , de 26 de novembro de 2008 - fl. 2

Art. 5º O apoio administrativo necessário ao Grupo de Trabalho será de responsabilidade da Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento Energético e os custos de deslocamento e estada dos representantes indicados pelas Universidades correrão por conta desta Secretaria.

Parágrafo único. Eventuais despesas de deslocamento e estada dos demais integrantes do Grupo de Trabalho correrão por conta dos Órgãos e Entidades que representam.

Art. 6º Esta Portaria entra em vigor na data de sua publicação.


ALTINO VENTURA FILHO