UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ENERGIA E AMBIENTE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENERGIA

PATRICIA ABDALA RAIMO

**A DISSEMINAÇÃO DOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS E A QUALIFICAÇÃO
PROFISSIONAL**

SÃO PAULO

2018

PATRÍCIA ABDALA RAIMO

**A DISSEMINAÇÃO DOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS E A QUALIFICAÇÃO
PROFISSIONAL**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Energia do Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Doutora em Ciências.

Orientador: Prof. Dr. Adnei Melges de Andrade

Versão revisada

SÃO PAULO

2018

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTES TRABALHOS, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

FICHA CATALOGRÁFICA

Raimo, Patrícia Abdala

A disseminação dos sistemas fotovoltaicos e a qualificação profissional / Patrícia Abdala Raimo; orientador Adnei Melges de Andrade - São Paulo, 2018.
156 p. : il. 30cm.

Tese (Doutorado em Ciências) – Programa de Pós-Graduação em Energia – Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo.

1. Sistemas fotovoltaicos. 2. Qualificação profissional. 3. Energia solar. I. Título.

CRB-8/6961

Nome: RAIMO, Patrícia Abdala

Título: A disseminação dos sistemas fotovoltaicos e a qualificação profissional

Tese apresentada ao programa de pós-graduação em energia do Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Doutora em Ciências.

Aprovada em: 24 de maio de 2018

Banca Examinadora

Prof. Dr. João Tavares Pinho

Instituição: Universidade Federal do Pará

Prof. Dr. Wilson Negrão Macêdo

Instituição: Universidade Federal do Pará

Prof. Dr. Federico Bernardino Morante Trigos

Instituição: Universidade Federal do ABC

Prof. Dr. Roberto Zilles

Instituição: Instituto de Energia e Ambiente – Universidade São Paulo

Prof. Dr. André Ricardo Mocelin

Instituição: Instituto de Energia e Ambiente – Universidade São Paulo

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, à energia do universo pelos caminhos que foram colocados à minha frente para a elaboração deste trabalho.

À minha família, que tem sido sempre uma fonte de ânimo e, principalmente, de compreensão ao longo de toda a minha trajetória.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Adnei Melges de Andrade, pelo tempo, dedicação e perseverança no desenvolvimento deste trabalho.

Aos amigos, colegas e professores que passaram pelo meu caminho e que, apesar de não estarem todos aqui nomeados, reconheço a importância de cada um deles, pois contribuíram e agregaram valor na concretização desta tese de doutorado.

Finalizando, e não menos importante, ao Instituto de Energia e Ambiente (IEE/USP) e ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo (IFSP), pela excelência no desenvolvimento e transferência do conhecimento, sua divulgação e aplicação.

RESUMO

RAIMO, Patrícia Abdala. **A disseminação dos sistemas fotovoltaicos e a qualificação profissional**. 2018. 156 p. Tese (Doutorado em Ciências) – Programa de Pós-Graduação em Energia da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018.

O Brasil é afortunado com sua riqueza natural e tradicionalmente faz bom uso do potencial hídrico e de biocombustíveis para compor sua matriz energética. Na década de 2010, o destaque está na implementação na matriz elétrica nacional, de sistemas de energia eólica e de energia solar fotovoltaica, estes últimos com expectativa de acentuada expansão. Alguns fatores levam a esta expectativa, como a boa irradiação solar em grande parte do país, custo da energia fotovoltaica próximo às tarifas de energia elétrica vigente, e ambiente regulatório que estimula investidores. Este trabalho descreve a saga dos atores do setor elétrico brasileiro em propiciar o desenvolvimento da cadeia da energia fotovoltaica e enfatiza a importância dos recursos humanos especializados na área. O arcabouço legal e tributário, que embasa as políticas públicas de estímulo, as ações de padronização dos sistemas, as pesquisas desenvolvidas e as ações para capacitar profissionais, a partir de 1991 até 2017, estão ordenados. O cenário mundial mostra que o aumento da potência instalada de sistemas que utilizam as fontes alternativas de energia renovável leva à geração de empregos, que exigem novos conhecimentos e habilidades. A expansão, no Brasil, do número de instalações de usinas centralizadas e sistemas de geração distribuída fotovoltaica no país leva ao aumento de postos de trabalho. Um dos desafios para a continuidade da disseminação dos sistemas fotovoltaicos, que exige um contingente elevado de recursos humanos, está na formação de profissionais. São profissionais para concepção, instalação, comercialização, operação e manutenção dos sistemas. No cenário mundial, entre as modalidades de energia renovável, a cadeia da energia fotovoltaica é a que apresenta maior número de postos de trabalho por quilowatt instalado, representando cerca de 30% dos postos de trabalho. Este trabalho também aponta caminhos para a implementação de cursos na área de energia renovável e eficiência energética na Rede Federal de Educação Profissional, Científica e Tecnológica, com foco na inserção da energia fotovoltaica, seus sistemas e instalações. Para a consolidação do mercado da energia fotovoltaica é essencial que haja disponibilidade de profissionais que garantam a segurança e a eficiência na produção das instalações dos sistemas ao longo de sua vida útil. O desenvolvimento da cadeia de energia solar fotovoltaica promove a oportunidade de agregar

energia sustentável à matriz energética, promove a geração de empregos e renda pelo extenso território nacional. O desenvolvimento da referida cadeia não prescinde da estruturação de uma rede de ensino com foco na área fotovoltaica.

Palavras-chave: Geração fotovoltaica. Sistemas de mini e micro geração fotovoltaica. Educação em energia fotovoltaica.

ABSTRACT

RAIMO, Patrícia Abdala. **Photovoltaic systems dissemination and the professional qualification.** 2018 . 156 p. Doctoral Thesis – Graduate Program on Energy, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018.

Brazil is fortunate in natural resources and traditionally makes good use of water potential and biofuels in its energy matrix. In the 2010-decade the highlight is in the setting up of large-scale wind energy and photovoltaic solar energy systems, these last with a forecast of marked expansion. Some factors give support to this expectation; good solar irradiation in most of the country's surface, cost reduction of photovoltaic energy being close to the current electricity tariffs and a regulatory system stimulating investors. This work describes the Brazilian electric sector actors saga on the photovoltaic energy chain development, whilst highlights the importance of photovoltaic specialized human resources. The legal and tributary framework, which is the basis of the public policy stimulus, PV systems standardization actions, the developed research, as well as the professionals training actions, from 1991 to 2017, are described. The world scenario shows that the capacity increase of renewable energy systems leads to jobs creation, which requires new knowledge and skills. The growth number of centralized generation plants and distributed photovoltaic generation systems, leads to the increase of jobs in Brazil. One of the challenges for the continuity of the photovoltaic systems dissemination, which requires a high contingent of human resources, lies in the training of professionals. These are professionals trained for the design, installation, commercialization and systems operation and maintenance. In the world scenario, among the renewable energy modalities, the photovoltaic energy chain is the one that exhibits the highest number of jobs per installed kilowatt, representing about 30% of the jobs. This work describes the renewable energy and energy efficiency courses implanted at the *Rede Federal de Educação Profissional, Científica e Tecnológica* focusing on the insertion of photovoltaic energy, its systems and facilities. The availability of skilled personnel is mandatory to ensure the photovoltaic energy market consolidation. Those professionals are needed to ensure the safety and the efficiency of energy production systems throughout their life cycle. The development of the photovoltaic solar energy chain promotes the opportunity to add sustainable energy to the energy matrix, promotes the generation of jobs and financial income throughout the

national territory. The development of the PV chain cannot neglect the need to increase of a teaching network focused on the photovoltaic area.

Keywords: Photovoltaic generation. Mini and micro photovoltaic generation systems.
Education for photovoltaic energy.

LISTA DE FIGURAS

Figura I.1 - Matriz Elétrica Brasileira – Ano Base 2017	21
Figura I.2 - Empregos gerados por fontes renováveis em MW instalado – entre países do mundo	24
Figura 1.1 – Transferência do consumo de energia convencional para renováveis	30
Figura 1.2 – Estimativa da parcela de renováveis na energia total produzida em 2017....	31
Figura 1.3 – Investimento em fontes renováveis no Brasil	33
Figura 1.4 – Preço dos módulos fotovoltaicos desde 1976 a partir da curva de aprendizagem	36
Figura 1.5 – Regiões do mundo que alcançaram a paridade do custo de energia FV com o preço da energia elétrica em 2013	33
Figura 1.6 – Evolução das instalações fotovoltaicas regionais pelo mundo	37
Figura 2.1 – Distribuição da potência instalada de usinas centralizadas de energia elétrica	54
Figura 2.2 – Sistemas de micro e mini geradores FV conectados à rede	61
Figura 2.3 – Potência acumulada de mini e micro geradores FV conectados à rede	61
Figura 2.4 – Faixas de potência instalada na geração FV distribuída	62
Figura 3.1 – Capacidade instalada e número de postos de trabalho nos EUA, 2010 - 2017	65
Figura 3.2 – Custos médios de instalação de geração FV no mercado norte-americano	69
Figura 3.3 – Distribuição dos custos da instalação residencial no Brasil e nos EUA	70
Figura 3.4 - Investimento em treinamento e custo de mão de obra por kW instalado	71
Figura 4.1 - Distribuição das unidades de ensino da Rede Federal de Educação nos estados brasileiros	87
Figura 4.2 – Distribuição das USF e da mini e micro geração distribuída FV	88
Figura 4.3 – Empresas que atuam na área solar fotovoltaica	89
Figura 4.4 – Unidades de ensino da Rede Federal com cursos na área elétrica	90
Figura A.1a e b – Dados para cálculo da produção de energia nas cidades de São Paulo e Salvador	112
Figura A.2 – Ilustração dos diferentes percursos da radiação solar na atmosfera ao longo do dia	116
Figura A.3 – Irradiância em dias com diferentes nebulosidades	117
Figura A.4 – Linearidade entre irradiação e potência	117

Figura A.5 – Curva da variação de corrente e tensão de operação	119
Figura A.6 – Exemplo típico de arranjo FV de um sistema conectado à rede.....	120
Figura A.7 – Soma da I x V de cada arranjo FV	121
Figura A.8 – Curva típica de um inversor c.c./c.a. de 20 kW conectado à rede	123
Figura A.9 – Degradação em potência de um módulo policristalino ao longo da vida útil	125
Figura A.10 – Curva I x V do arranjo de 10 módulos FV em série	127
Figura B.1 – Diagrama de blocos do Arranjo FV com Única Série	134
Figura B.2 – Diagrama de blocos do Arranjo FV com Duas Séries	135
Figura B.3 - Diagrama de blocos do Arranjo FV – Múltiplos Subarranjos	136
Figura B.4 - Diagrama de blocos do Arranjo FV - UCP com múltiplas entradas e SPMP individuais	137
Figura B.5 - Diagrama de blocos do Arranjo FV - UCP com múltiplas entradas conectadas internamente a um barramento	138
Figura B.6 – Série FV montada com UCP c.c	139
Figura B.7 - Configuração de um subarranjo com as séries em paralelo e um único dispositivo de proteção	145
Figura B.8 – Três exemplos de disposição de condutores (+) e (-) entre módulos FV	146
Figura B.9 – Diagrama esquemático da localização dos DPSs	155

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1 – Status Global de Capacidade Instalada – Renováveis 2004 – 2013 – 2017 ...	32
Tabela 1.2 – Estimativa mundial de empregos em energia renovável	34
Tabela 2.1 – Análise SWOT – Energia solar fotovoltaica no Brasil	39
Tabela 2.2 – Número de projetos cadastrados e potência total	55
Tabela 2.3 – Contratações dos leilões de energia – Capacidade das USF instaladas por estados brasileiros	56
Tabela 2.4 – Implementação das USF contratadas nos leilões e empreendimentos independentes	60
Tabela 2.5 – Projeção da potência instalada da geração fotovoltaica distribuída	63
Tabela 3.1 – Postos de trabalho solar FV por setor nos Estados Unidos	70
Tabela 4.1 – Unidades curriculares dos cursos em sistemas fotovoltaicos	77
Tabela 4.2 Conteúdo de unidades curriculares incluindo tópicos da energia fotovoltaica .	85
Tabela A.1 – Dados da irradiação solar de São Paulo	115
Tabela A.2 – Típicos valores de albedo para diferentes tipos de superfície	116
Tabela A.3 – Variação das grandezas de saída dos módulos em função dos coeficientes de temperatura	119

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABIOVE	Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais
AM	Massa de ar - <i>Air Mass</i>
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
BEP	Barramento de equipotencialização
BEN	Balanco Energético Nacional
BNB	Banco do Nordeste
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
CBO	Classificação Brasileira de Ocupações
CCEE	Câmara de Comercialização de Energia Elétrica
CEFET	Centro Federal de Educação Tecnológica
CRESESB/CEPEL	Centro de Pesquisas de Energia Elétrica
CGH	Central Geradora Hidrelétrica
CNCT	Catálogo Nacional dos Cursos Técnicos
COFINS	Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
CONFAZ	Conselho Nacional de Política Fazendária
CONFEA/CREA	Conselho Nacional e Regional de Engenharia e Agronomia
COP 21	Conferência das Partes - vigésima primeira conferencia
CPS	Centro Paula Souza
DPS	Dispositivo de proteção de surto
EBT	Extra baixa tensão
EPC	<i>Engineering, Procurement and Construction Contracts</i>
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
FC	Fator de Capacidade
FIC	Formação Inicial e Continuada
FIESP	Federação das Indústrias do Estado de São Paulo
FOTOVOLTAICA/UFSC	Grupo de Pesquisa Estratégica em Energia Solar da Universidade Federal de Santa Catarina
FV	Fotovoltaico (a)
GEDAE/UFPA	Grupo de Estudos e Desenvolvidos de Alternativas Energéticas da Universidade Federal do Pará

GIZ	<i>Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit</i>
GRUPO/FAE	Grupo de Pesquisas em Fontes Alternativas de Energia do Departamento de Energia Nuclear da Universidade Federal de Pernambuco
GT – Solar FV	Grupo de Trabalho: Solar Fotovoltaico
HSP	Horas de sol pleno
IAM	Efeito do ângulo de incidência da radiação solar – <i>Incidence Angle Modifier</i>
ICMS	Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços
IEA	<i>International Energy Agency</i>
IEC	Comissão Eletrotécnica Internacional - <i>International Electrotechnical Commission</i>
IFC	<i>International Finance Corporation</i>
IFBA	Instituto Federal da Bahia
IFSP	Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Estado de São Paulo
IFSP-SPO	Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Estado de São Paulo – Campus São Paulo
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IRENA	<i>International Renewable Energy Agency</i>
LABSOL/UFRGS	Laboratório de Energia Solar da Universidade Federal do Rio Grande do Sul
LCOE	Custo nivelado de energia elétrica - <i>Levelized cost of electricity</i>
LID	Degradação Induzida pela Luz - <i>Light Induced Degradation</i>
LER	Leilão de Energia de Reserva
LME/EPUSP	Laboratório de Microeletrônica da Escola Politécnica da USP
LSF/ IEE	Laboratório de Sistemas Fotovoltaicos do Instituto de Energia e Ambiente
MEC	Ministério de Educação e Cultura
MIGDI	Microsistema Isolado de Geração e Distribuição de Energia Elétrica

MME	Ministério de Minas e Energia
NBR	Norma Brasileira
NOCT	Temperatura nominal de operação da célula - <i>Nominal Operating Cell Temperature</i>
NT- Solar/PUC-RS	Núcleo de Tecnologia em Energia Solar da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul
OCS	Outros componentes do sistema
ONS	Operador Nacional do Sistema
P&D	Pesquisa e Desenvolvimento
PADIS	Programa de Apoio ao Desenvolvimento Tecnológico da Indústria de Semicondutores
PBE	Programa Brasileiro de Etiquetagem
PCH	Pequenas Centrais Hidroelétricas
PE	Condutor de proteção
PELV	<i>Protected-extra-low-voltage</i>
PID	Degradação Induzida por Potencial - <i>Potential Induced Degradation</i>
PIS/PASEP	Programa de Integração Social e de Formação do Patrimônio do Servidor Público
PPC	Planejamento do Plano de Curso
PRODIST	Procedimentos de distribuição de energia elétrica no Sistema Elétrico Nacional
PROEJA	Programa Nacional de Integração da Educação Profissional com a Educação Básica na Modalidade de Educação de Jovens e Adultos
PRONATEC	Programa de Integração da Educação Profissional de Jovens e Adultos
REIDI	Regime Especial de Incentivos para o Desenvolvimento da Infraestrutura
REN 21	<i>Renewable energy police network for the 21^o Century</i>
RTAC	Regulamentos Técnicos Metrológicos e de Avaliação da Conformidade
SEDCITEC	Semana de Educação Ciência e Tecnologia

SELV	Extra Baixa Tensão – <i>separated-extra-low-voltage</i>
SENAI	Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial
SETEC	Secretaria de Educação Profissional e Tecnológica
SIGFI	Sistema Individual de Geração de Energia Elétrica com Fonte Intermitente
SIN	Sistema Interligado Nacional
SPDA	Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas
SPMP	Seguidor do ponto de máxima potência
SPO	Campus São Paulo do Instituto Federal de São Paulo
STC	Condições padrão de ensaio - <i>Standard Test Conditions</i>
SUDAM	Superintendência do Desenvolvimento da Amazônia
SUDECO	Superintendência do Desenvolvimento do Centro-Oeste
SUDENE	Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste
TD	Taxa de desempenho
TSF	<i>The Solar Foundation</i>
TUSD	Tarifa de Uso dos Sistemas de Distribuição
TUST	Tarifa de Uso dos Sistemas de Transmissão
UCP	Unidades Condicionadoras de Potência
UHE	Usina hidroelétrica
USF	Usina solar fotovoltaica
USP	Universidade São Paulo

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	20
1. O MERCADO DA ENERGIA RENOVÁVEL E O MERCADO PROFISSIONAL	30
1.1. O crescimento do mercado das energias renováveis: visão global	30
1.2. Força de trabalho em energia renovável	33
1.3. O desenvolvimento do mercado solar fotovoltaico global	36
2. A DISSEMINAÇÃO DOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS NO BRASIL	39
2.1. Ações políticas	40
2.1.1. Estímulos de ordem legislativa e tributária à disseminação	40
2.1.2. Normas técnicas para padronização de equipamentos e sistemas fotovoltaicos	45
2.1.3. Ensaio e avaliação de equipamentos fotovoltaicos	48
2.1.4. Pesquisa e desenvolvimento para o setor de energia	49
2.1.5. Formação profissional	51
2.2. Aumento da potência fotovoltaica instalada.....	53
2.2.1. Implantações das usinas centralizadas fotovoltaicas	55
2.2.2. Implantações de mini e micro geração fotovoltaica conectada à rede..	60
3. FORÇA DE TRABALHO EM ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA	64
3.1. Mercado fotovoltaico e de número de postos de trabalho	64
3.2. Aprendizagem independente e qualidade das instalações fotovoltaicas	66
3.3. Impacto econômico da força de trabalho no custo dos sistemas FV	68
3.3.1. O impacto econômico da disponibilidade de profissionais qualificados	70
3.3.2. Postos de trabalho de instalador e treinamento inicial	71
4. ESTUDO DE CASO: A FORMAÇÃO DE PROFISSIONAIS EM ENERGIA SOLAR PELA REDE FEDERAL DE EDUCAÇÃO	72
4.1. Educação profissional - Rede Federal de Educação	73
4.2. Comitê temático – GT – Solar FV	73
4.3. Os cursos de formação em sistemas fotovoltaicos: Padrão GT- Solar FV..	75
4.3.1. Instalador de Sistemas Fotovoltaicos	76
4.3.2. Especialista Técnico em Energia Solar Fotovoltaica	76

4.3.3. Especialista em Sistemas Fotovoltaicos (Pós-Graduação <i>latu-sensu</i>)..	77
4.3.4. Unidades curriculares dos cursos: Padrão GT-Solar FV	77
4.3.5. Descrições das ementas das unidades curriculares	78
4.4. Atualização do catálogo nacional dos cursos técnicos	82
4.4.1. Cursos técnicos sistematizados pela SETEC/MEC – Cenário atual	82
4.4.2. Cursos técnicos sistematizados pela SETEC/MEC – Cenário preconizado	86
4.5 Educação profissional em geração FV pela Rede Federal de Educação	87
CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÕES	90
5.1 Considerações finais	90
5.2 Conclusões	97
REFERÊNCIAS	99
APÊNDICE A – Planejamento de instalações de micro e mini geração fotovoltaica ..	109
A.1. Área e condições disponível para instalação do sistema FV	109
A.2. Orientação dos módulos fotovoltaicos	111
A.3. Grandezas solarimétricas e condições ambientais	113
A.4. Seleção dos arranjos FV e inversores c.c./c.a.	120
A.5. Armazenamento de energia	123
A.6. Proteções da instalação do sistema fotovoltaico	124
A.7. Perdas no sistema e produção de energia em c.a.	124
A.8. Análise econômica dos sistemas FV	127
APÊNDICE B – Instalações elétricas de arranjos fotovoltaicos	132
B.1. O arranjo fotovoltaico	133
B.2 UCP Auxiliares c.c.	139
B.3. Orientações para elaboração do projeto de Arranjos FVs	139
B.3.1. Configuração série – paralelo do arranjo fotovoltaico	140
B.3.2. Considerações quanto a temperatura de operação dos arranjos fotovoltaicos	140
B.3.3. Considerações sobre o desempenho energético dos arranjos fotovoltaicos	141
B.3.4. Considerações gerais para elaboração do projeto eletromecânico do arranjo	141
B.4. Proteções para a segurança de instalações elétricas dos arranjos FV	142

B.4.1. Proteção para segurança de risco de sobrecorrente	142
B.4.2. Proteção para segurança de risco de sobretensões e perturbações eletromagnéticas	145
B.4.3. Proteção para segurança de risco de choque elétrico	147
B.5. Seleção e instalação de componentes do arranjo FV	150
B.5.1. Cabos e cabeamentos	151
B.5.2. Caixas de junção, conectores e conexões	151
B.5.3. Micro inversor	152
B.5.4. Dispositivos UCPs auxiliares em corrente contínua (UCP cc)	152
B.5.5. Dispositivos de proteção de sobrecorrente	153
B.5.6. Dispositivos de seccionamento e de comando	153
B.7.7. Dispositivos de proteção contra surtos (DPS)	154
B.6. Verificação final da instalação fotovoltaica, manutenção e operação	155

INTRODUÇÃO

Por ser essencial para a vida humana o fornecimento da energia deve ser serviço público e ter disponibilidade universal. A energia é responsável pelo transporte de bens e pessoas, pela iluminação, por prover aquecimento, refrigeração, cocção, comunicação e é indispensável para a indústria. Verifica-se uma contínua tendência ao aumento do consumo de energia dada sua relação com o bem estar dos habitantes do planeta. Deve-se ressaltar que a disponibilidade de fontes para gerar energia é regionalmente limitada e se faz necessário o provimento de processos de conversão, transporte e distribuição que acarretam custos, impactos sociais e ambientais. O desenvolvimento sustentável deve ser apoiado em planejamento que tenha sensatez econômica, equilíbrio social e respeito ao meio ambiente.

Através de estudos realizados pela Organização das Nações Unidas para o desenvolvimento sustentável estima-se que em 2015 ainda havia cerca de 3 bilhões de pessoas sem acesso a serviços energéticos modernos e mais de 1 bilhão sem acesso à energia elétrica. Cerca de 4 milhões de pessoas morrem prematuramente a cada ano devido à poluição resultante do aquecimento de ambientes e cocção de alimentos com uso de combustíveis fósseis (ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS, 2018). Os combustíveis fósseis trazem significativa emissão de gases de efeito estufa e particulados nocivos à saúde.

O aumento da demanda de energia leva ao desafio de encontrar formas de conciliar a oferta de serviços energéticos sustentáveis preservando os recursos naturais e o ambiente de forma econômica e atendendo ao cidadão. Uma das soluções é o incentivo ao planejamento energético utilizando uma matriz com a inserção das fontes renováveis e o combate ao desperdício, com a participação em ações de fomento à evolução tecnológica e à educação da sociedade e seus agentes. A evolução tecnológica leva à eficiência energética com o propósito de poupar as fontes finitas e as perdas nos processos, distribuição e uso da energia.

Até 2030, o Brasil assumiu o compromisso no acordo da Conferência das Partes, COP-21, no âmbito energético de: alcançar participação estimada de 45% de energias renováveis na composição da matriz energética; aumentar a participação de bioenergia na matriz energética em cerca de 18%; expandir o uso das fontes renováveis, além da hídrica, em aproximadamente 28% a 33%; expandir o uso residencial com o aumento da parcela de energias renováveis no fornecimento de energia elétrica para ao menos 23% e alcançar 10% de ganhos de eficiência no setor elétrico (BRASIL, 2015).

O Brasil utiliza energia de origem de fontes renováveis em cerca de 45% em sua matriz energética. As principais fontes renováveis utilizadas são a biomassa da cana, energia hidráulica, de lenha e carvão vegetal e outras, que somadas, chegaram ao montante de 125 Mtep de energia em 2016. As fontes não renováveis são o petróleo e derivados, gás natural, carvão mineral, urânio e outras, que somadas, chegam ao valor de 160 Mtep de energia (EPE, 2017).

Com a criação de programas de incentivo à produção e uso do etanol, do biodiesel e altos investimentos em usinas hidroelétricas (UHE), a partir de 1970, o Brasil tem desenvolvido a expertise de utilizar fontes renováveis de energia.

A matriz elétrica nacional de oferta de energia elétrica é composta por aproximadamente 80% de recursos renováveis. O Brasil possui recurso hidrológico, nível elevado de irradiação solar em grande parte de seu território possui altos índices de energia cinética em ventos em algumas regiões e possui importante produção de biomassa. A Figura I.1 apresenta a composição da oferta interna de energia elétrica por fonte, que somadas asseguram 620 TWh.

Figura I.1 Matriz Elétrica Brasileira – Ano base 2017

Fonte: (MME, 2018)

A participação da hidroeletricidade na matriz elétrica brasileira em 2017 foi de 65,2%, tendo sido muito maior anteriormente (MME, 2018). Em 2007 havia sido 85,6% (EPE, 2008). Esta variação de geração hidráulica em parte ocorre devido à sazonalidade do recurso água e por decisões políticas de investimento a complementaridade da matriz com as usinas térmicas

a gás natural e óleo. A construção de grandes usinas hidrelétricas traz impactos ambientais e sociais e as usinas termelétricas, que utilizam combustíveis fósseis, trazem significativa emissão de gases de efeito estufa, o que levou a diversificar a matriz com outras fontes de energia, entre elas as renováveis: pequenas centrais hidrelétricas (PCH), biomassa, energia eólica, energia fotovoltaica (FV) e energia solar térmica.

Através de Leilões de Energia promovidos pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), a implantação de geração de energia elétrica utilizando os recursos de energia solar, eólica e biomassa estão sendo estimulados. A inclusão de usinas centralizadas de grande porte, que utilizam fontes renováveis, leva à diversificação da oferta de energia interna e eleva a segurança no fornecimento de energia elétrica ao Sistema Interligado Nacional (SIN) (ANEEL, 2016a).

A inserção da energia de fontes renováveis na matriz elétrica brasileira ocorre não somente com a inclusão de usinas centralizadas mas, recentemente, com a inclusão da geração distribuída conectada à rede de distribuição. A expansão da mini e micro geração permite que novos investimentos em grandes parques geradores e linhas de transmissão possam ser redimensionados e realocados no tempo. Esta geração geralmente próxima aos centros de consumo, reduz a necessidade de construção de longas linhas de transmissão e reduz as perdas nas mesmas. Gerar energia de forma distribuída a partir de fontes renováveis significa reduzir o uso de fontes poluentes, como térmicas a combustível fóssil evitando emissões de toneladas equivalentes de CO₂.

A geração distribuída tem como base a micro e mini geração¹ elétrica conectada à rede de distribuição e podem, ou não, estar conectadas diretamente à uma unidade consumidora utilizando um medidor bidirecional (ACKERMANN; ANDERSON; SÖDER, 2001). A micro e a mini geração distribuída pode estar baseada em diferentes tecnologias, como a energia hidráulica, solar, eólica e a produção combinada de calor e eletricidade.

Com ambiente regulatório propício e com custos dos sistemas de fontes eólica e solar FV menores, o Brasil vem aumentando a participação da energia renovável em sua matriz elétrica. O destaque está no aumento da potência instalada de usinas eólica e solar fotovoltaica. Em 2014, a matriz elétrica contava com 5 GW de potência instalada em usinas eólicas e ao final de 2017, contava com cerca de 13 GW. Enquanto que em 2014, em sistemas

¹ A partir de 1º de março de 2016, no Brasil, a micro geração é considerada como até 75 kW de potência instalada e a mini geração de 75 kW a 5MW.

fotovoltaicos contava-se com 30 MW de potência instalada e ao final de 2017 contava-se com cerca de 1 GW em usinas e 173 MW na geração distribuída (ANEEL, 2018a; ANEEL, 2018b). Em construção tem-se 3 GW de usinas eólicas e 2,8 GW em usinas fotovoltaicas, com previsões de início de operação até 2021 (ANEEL, 2018c).

Os resultados dos estudos apresentado no Plano Decenal de Expansão de Energia para 2026 indicam em 87 % a parcela de renovável na matriz elétrica. No período de 2017 a 2026, são esperados investimentos da ordem de R\$ 1,4 trilhões de empreendimentos em energia renovável. Destas renováveis destaca-se o cenário de expansão em adicionar 12 GW de potência instalada para a fonte eólica e 7 GW para a fonte solar fotovoltaica. Nestes resultados, a fonte solar também apresenta a expectativa de expansão de 770 mil sistemas de mini e micro geração conectada à rede de distribuição, com capacidade instalada de 3,3 GW (MME, 2017b).

Novos investimentos fazem surgir emprego e renda para a implementação de usinas centralizadas e para a geração distribuída. Os empregos acontecem em nível nacional, regional e local. Novas exigências de conhecimentos devem aprimorar os profissionais para o mercado da energia renovável. O sistema educacional deve estar preparando em atender a esta crescente demanda por profissionais capacitados.

O estudo apresentado pela Agencia Internacional de Energia Renovável (IRENA) considera que a estimativa de números de postos de trabalho está ligada ao desenvolvimento de indústrias, ao desenvolvimento de mercado e, principalmente, ao necessário setor de serviços de concepção, instalação e manutenção dos sistemas, com diferenças importantes de um país para outro devido a especificidades locais. (FERROUKHI, 2017).

Simas (2012) em seu estudo mostra grande a variação dos empregos gerados por MW instalado em energia renovável. O setor solar fotovoltaico é o que apresenta maior média de 32 postos de trabalho por MW instalado. A figura I.2 apresenta o resultado desta variação entre empregos gerados por fontes renováveis em função da potência instalada entre diversos países.

Figura I.2 Empregos gerados por fontes renováveis em MW instalado – entre países do mundo

*não especifica a tecnologia
Fonte: (SIMAS, 2012)

Segundo Oliveira (2002) considerando a aleatoriedade do recurso solar e conhecendo as características da geração FV, o sistema só não produzirá a energia esperada se ocorrerem problemas de projeto e instalação, fatores exógenos à tecnologia em questão (OLIVEIRA, 2002).

Morais (2015), realizou o levantamento sobre o sucesso de 34 Sistemas Fotovoltaicos de Bombeamento de água, em 17 municípios em regiões semiáridas brasileiras (Piauí, Ceará, Pernambuco, Alagoas e Sergipe). A implantação destes sistemas está ligada a projetos de desenvolvimento por entidades de cooperação internacional, institutos de pesquisa, Organizações não Governamentais e poder público federal, estadual e municipal. Dentre os resultados observados destaca-se que após o período término do projeto, as instituições responsáveis, não executavam a manutenção e vários sistemas tornam-se inoperantes. Na época do estudo, 10 dos 34 Sistemas se encontravam desativados ou paralisados e a manutenção corretiva ocorre de forma demorada e onerosa para a população local. Foi identificada como obstáculo ao sucesso dos 34 Sistemas de Bombeamento de água a falta de profissionais especializados locais, nos diversos níveis, para realização de assistência técnica. Outros entraves como o financeiro e de gestão dos sistemas também foram destacados (MORAIS, 2015).

Estudo de Valer (2017), analisou os principais problemas enfrentados pelos sistemas fotovoltaicos de eletrificação rural. Sistemas estes comumente instalados por concessionárias

de energia para atender ao serviço público do direito de todos os cidadãos brasileiros à eletricidade. Foram detectados casos de má instalação e grande atraso na manutenção resultando em frustrações por parte dos usuários. Uma das grandes dificuldades na eletrificação rural no Brasil está na falta de profissionais qualificados para operar e manter os sistemas fotovoltaicos. Muitos destes sistemas não estão fornecendo a energia prevista nos projetos (VALER et al., 2017).

O Guia de Desenvolvimento de Projetos de usinas fotovoltaicas elaborado pela Cooperação Financeira Internacional do Banco Mundial² relata consequências não previstas nos projetos que ocorreram em 55 investimentos em usinas fotovoltaicas. São usinas localizadas na Tailândia, Filipinas, Índia, China, Jordânia, México, África do Sul, Honduras e Chile com capacidade instalada somada de 1.400 MW. O guia ressalta que muitas das consequências não previstas ocorreram por falta de acesso ao conhecimento de como construir, operar e manter estas usinas. A falta de conhecimento e suas consequências ocorreram e podem ser evitadas com os conhecimentos dos sistemas FV. Como resultado, das consequências não previstas, ocorrem atrasos na entrega das instalações, retrabalhos e aumento dos valores despendidos (INTERNATIONAL FINANCE CORPORATION, 2015).

Este Guia de Desenvolvimento de Projetos relata ocorrências de falhas na construção, operação e manutenção das usinas que podem também ocorrer na mini e micro geração FV. Estas falhas devem ser evitadas na mini e micro geração FV. As ocorrências apontadas são: sensores do sistema de monitoramento sujos ou mal posicionados, estrutura de suporte que promovem desalinhamento das superfícies dos módulos, sujeira pesada que devam ser consideradas como parte da estratégia de operação e manutenção, sombreamento de módulos adjacentes, cabos c.c. dos módulos sem abraçadeiras, entrada de cabos em caixas sem preenchimento com material adequado para reduzir risco de entrada de água e roedores, cabos expostos a bordas de canaletas metálicas, parte de cabos imersos poças de água de chuva e falta de controle de vegetação do entorno leva ao sombreamento do módulos (INTERNATIONAL FINANCE CORPORATION, 2015).

² IFC – *International Finance Corporation*, pertencente ao Banco Mundial, tem como fim garantir preço acessível, energia confiável e sustentável em radicalizar a pobreza e permitir prosperidade compartilhada

HIPOTESE

O presente trabalho parte da premissa que o aumento da potência instalada de usinas centralizadas e mini e micro geração fotovoltaica prevista até 2026 de cerca de 13 GW, demanda aumento da oferta de recursos humanos especializados. Dentre as barreiras para a disseminação destes sistemas, uma muito importante está relacionada com a escassez de recursos humanos com conhecimentos específicos. Haverá, nestes próximos anos, profissionais capacitados e em número suficiente para implantar e manter as usinas centralizadas e as mini e micro usinas com os níveis previstos de produção de energia e segurança ao longo da vida útil dos sistemas? A geração distribuída FV é a que apresenta maior contingente de profissionais. Trata-se de profissionais com diversas competências para atuar na concepção, comercialização, instalação e manutenção destas instalações. O sistema educacional deve estar preparado para esta oferta de trabalho sob pena de limitar a expansão da geração de energia solar FV com a devida segurança e eficiência.

TESE

Há a necessidade de se atuar fortemente, e muito rapidamente, na formação de recursos humanos em qualidade e em número necessário aos desafios que o setor de energia solar fotovoltaica exige.

A formação de recursos humanos deve provir de instituições de ensino através de cursos reconhecidos pelo sistema de educação nacional, e nos níveis de aprendizagem profissional, técnico, tecnológico e da engenharia. A formação de profissionais para atuar na área fotovoltaica deve prover os conhecimentos para trabalhar com energia elétrica e mais com os conhecimentos das especificidades dos sistemas fotovoltaicos.

OBJETIVO PRINCIPAL

Este trabalho tem como objetivo principal apontar possíveis caminhos da inclusão da tecnologia solar FV no processo ensino-aprendizagem na formação técnica das instituições de ensino e identificar obstáculos para sua implantação.

Os objetivos específicos são:

- Ordenar os fatos que contribuíram com a disseminação dos sistemas fotovoltaicos no Brasil;
- Avaliar o impacto da força de trabalho, com profissionais capacitados³, na implementação dos sistemas fotovoltaicos.
- Desenvolver roteiro de um projeto básico para instalação do sistema fotovoltaico evidenciando as boas práticas de como projetá-los e como instalá-los. Um roteiro para a formação de profissionais técnicos de nível médio.

Procedimentos:

A realização deste trabalho considera análise qualitativa. A autora participou de atividades que serviram como investigação que auxiliaram no desenvolvimento deste trabalho, participando, observando e realizando entrevistas não estruturadas. As principais atividades foram:

(1) O Instituto Federal de São Paulo - Campus São Paulo (IFSP-SPO) foi utilizado como observatório para a análise e avaliação do itinerário da implementação dos conhecimentos da energia solar FV nos cursos da área da elétrica. O IFSP-SPO possui a infraestrutura necessária aos cursos de controle e processos industriais na área da elétrica, que inclui laboratório de instalações elétricas para formação de recursos humanos em produção de energia.

(2) O trabalho utilizou a experiência de acompanhamento da Implantação da Usina Solar Fotovoltaicos de 70 kW no telhado do IFSP-SPO. A compra desta usina é proveniente da manifestação de interesse para inclusão no processo de Regime Diferenciado de Contratações Públicas. O edital foi elaborado pelo Instituto Federal do Sul de Minas em 2016. Neste caso, a autora participou da implementação como fiscal de obras.

(3) Integração na Comissão para reformulação do Planejamento do Plano de Curso (PPC) do Técnico Modular de Eletrotécnica do IFSP-SPO, de fevereiro de 2014 a junho de 2017.

(4) Integração no Grupo de Trabalho: Solar Fotovoltaico (GT-Solar FV) até a sua finalização em 2017. A Secretaria de Educação Profissional e Tecnológica, do Ministério de Educação e Cultura (SETEC/MEC) criou, em agosto de 2015, visando os Institutos e Centros Federais de ensino (IFSP e CEFET), o Comitê Temático de Formação Profissional e Tecnológica em Energias Renováveis e Eficiência Energética. O comitê foi subdividido em

³Com certificação reconhecida pelo MEC

quatro grupos de trabalho (Energia Solar Fotovoltaica, Energia Eólica, Biogás e Eficiência Energética).

(5) Preparação do projeto de norma para Instalações Elétricas de Baixa Tensão – Requisitos complementares para instalações de Arranjos FV, promovido pela comissão de estudo da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), subsidia parte do desenvolvimento desta tese para a formação do arcabouço necessário às boas práticas destas instalações.

(6) Utilização de subsídios do projeto de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) da ANEEL “Desenvolvimento de Competências e Avaliação de Arranjos Técnicos e Comercial em Geração Distribuída com Sistemas Fotovoltaicos conectados à Rede”, da Companhia de Transmissão de Energia Elétrica Paulista e Companhia Energética de São Paulo. Este projeto de pesquisa foi realizado pelo Laboratório de Sistemas Fotovoltaicos do Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo (LSF-IEE/USP) e compreende a instalação de uma usina de mini geração com 540 kWp de capacidade instalada, utilizada com fins didáticos, de pesquisas e de capacitações. No desenvolvimento desta pesquisa acompanhamos, de forma presencial, a instalação da usina fotovoltaica da Biblioteca Brasileira e seu comissionamento em 2014/2015.

Estrutura do trabalho

1 – O mercado da energia renovável e o mercado profissional no mundo

Aborda o crescimento do mercado em energia renovável pelo mundo e o nacional. Destaca o aumento da força de trabalho especializada nas novas tecnologias de geração de energia.

2 - A disseminação dos sistemas fotovoltaicos no Brasil

São apresentadas as ações do governo e da indústria desde 1991, para a disseminação da cadeia solar fotovoltaica. Aborda ações na área política (tributária e legislativa), técnica (regulamentos e normas), pesquisa e educação.

O capítulo mostra o crescimento do uso da energia solar fotovoltaica na matriz elétrica nacional, com a implantação das usinas centralizadas e da mini e micro geração.

3 – Força de trabalho em energia solar fotovoltaica

Destaca a importância da força de trabalho com profissionais adequadamente qualificados para o mercado solar fotovoltaicos. É apresentado o custo da mão de obra e o impacto

econômico da indisponibilidade de profissionais com os conhecimentos necessários durante a implementação e manutenção dos sistemas fotovoltaicos.

4 – Estudo de caso: A formação de profissionais em energia renovável na Rede Federal de Ensino - IFSP

Apresenta os desafios e as possibilidades das instituições da Rede Federal de Educação no processo ensino-aprendizagem das fontes renováveis como consolidação da formação de profissionais para o mercado renovável.

Para auxiliar a elaboração do Planejamento básico do sistema fotovoltaico, colaborando com o processo ensino-aprendizagem nas unidades curriculares do nível técnico este trabalho contempla os apêndices A e B. O apêndice A trata de um roteiro para elaboração do planejamento básico do sistema fotovoltaico e o apêndice B trata dos requisitos técnicos de instalações elétricas, de baixa tensão, para arranjos fotovoltaicos.

5 – Considerações finais e conclusão

APÊNDICE A – Implementação dos sistemas fotovoltaicos

Apresenta o arcabouço de conhecimentos para a elaboração do projeto básico uma instalação fotovoltaica. Este apêndice visa auxiliar a elaboração do projeto, instalação, operação e manutenção dos sistemas fotovoltaicos, a serem realizados por profissionais técnicos de nível médio.

APÊNDICE B – Instalações Elétricas de Arranjos Fotovoltaicos

Apresenta uma síntese do projeto de norma de instalações elétricas em baixa tensão para arranjos fotovoltaicos, para ser utilizada no processo ensino – aprendizagem do curso técnico. Esta norma, da ABNT, se encontrava em elaboração pelas comissões de estudos de eletricidade e de sistemas de conversão FV de energia solar (CE – 003:064.001/CE-03:082.01), até a entrega desta tese.

1. O MERCADO DA ENERGIA RENOVÁVEL E O MERCADO PROFISSIONAL GLOBAL

As tecnologias que utilizam energias renováveis podem trazer soluções sustentáveis para a geração e distribuição de energia. Tais tecnologias são vistas como ferramentas para conduzir a um futuro com segurança no fornecimento de energia e com menor impacto ao meio ambiente. O surgimento e adoção das mesmas também impulsionam a economia e a criação de novos postos de trabalho.

1.1 O CRESCIMENTO DO MERCADO DAS ENERGIAS RENOVÁVEIS: VISÃO GLOBAL

De acordo com o relatório especial do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (EDENHOFER, 2012), a transição do uso de energia de fontes exauríveis para o uso das energias renováveis está ocorrendo para trazer segurança energética e a mitigação das emissões de carbono. O crescimento do mercado da energia renovável é um desafio para a economia internacional, pois a mudança do paradigma estabelecido implica em adaptação para a sociedade, que passa ao uso de tecnologias limpas e eficientes exigindo, em muitos casos, investimentos elevados. A Figura 1.1 apresenta a transferência do consumo da energia primária, no período de 1965 a 2014 e a expectativa até 2035, para renováveis.

Figura 1.1. Transferência do consumo de energia convencional para renováveis

Fonte: (BRITISH PETROLEUM, 2016)

Os custos dos produtos das tecnologias associadas à energia renovável decrescem, ao passo que a evolução do uso em capacidade instalada e produção de energia elétrica aumentam progressivamente. Simultaneamente, políticas de apoio à energia renovável continuam a ser inseridas e adaptadas nas várias regiões do planeta. Em 2007 o fornecimento de energia renovável foi de cerca de 1.000 GW, em 2017 foi de 2.175 GW (REN21, 2018). A Figura 1.2 mostra a estimativa da parcela de renováveis e não renováveis na produção global de energia elétrica, em 2017.

Figura 1.2. Estimativa da parcela de renováveis na energia total produzida em 2017

Fonte: (REN21, 2018)

A indústria de energia renovável compreende a bioenergia, a geotermia, a hidroeletricidade, a energia das marés, a energia dos ventos, a solar fotovoltaica e a concentração termo solar.

Ações na área da eficiência energética ocorrem em sinergia com o desenvolvimento da energia renovável. Cria-se o mercado da eficiência energética para auxiliar o serviço energético a produzir um sistema de distribuição com uso inteligente e flexível. Exemplo desta sinergia está em projetos de edificações que combinam o sistema de geração distribuída juntamente com melhorias de eficiência energética em equipamentos e distribuição, reduzindo o pico de demanda de eletricidade.

O relatório *Dez Anos de Progresso em Energias Renováveis* (REN21, 2015), que trata da evolução das energias renováveis na década de 2004 – 2014 destaca: (1) o estímulo ao incentivo do uso de energia renovável em muitos países, cujo número triplicou de 48 para cerca de 140, com destaque para os países em desenvolvimento e países emergentes, (2) os

investimentos no setor, de US\$ 40 bilhões para US\$ 214 bilhões, (3) a dependência do mercado principalmente quanto ao custo nivelado de energia elétrica (LCOE⁴) para tomada de decisão para a implantação de novas geradoras de energia, (4) o cenário que mostra que, de 65% a 94% da eletricidade e de 30% a 72% do transporte serão providas por energia renovável em 2035.

O avanço da tecnologia proporcionou um rápido crescimento, particularmente, na geração de eletricidade, com a contribuição de fontes renováveis. Destaca-se a estimativa da energia para aquecimento e processos e a hidroeletricidade. Para a demanda do transporte, o uso de biocombustíveis líquidos. Além disso, de 2004 até 2017, ocorreram iniciativas para utilizar a eletricidade com energia renovável nos sistemas de transporte, particularmente no meio urbano (REN 21, 2018). A tabela 1.1 apresenta a capacidade instalada acumulada que utilizam as fontes renováveis até os anos de 2004, 2013 e 2017.

Tabela 1.1. Status Global de Capacidade Instalada – Renováveis 2004 - 2013 - 2017

		2004	2013	2017
Capacidades - produção do ano				
Capacidade - renovável total; excluindo UHE	GW	85	560	1.081
Capacidade - renovável total; incluindo UHE	GW	800	1560	2.195
<i>Hidrelétrica Capacidade</i>	GW	715	1.000	1.114
<i>Biomassa</i>	GW	39	88	122
<i>Geotermia</i>	GW	8.9	12	13
<i>Solar Fotovoltaico</i>	GW	2.6	139	402
<i>Concentrador solar</i>	GW	0.4	3.4	5
<i>Eólica</i>	GW	48	418	539
<i>Solar térmico - Água</i>	GW th	98	326	472
<i>Etanol</i>	bilhões litros	28.5	87.2	106
<i>Biodiesel</i>	bilhões litros	2.4	26.3	31

Fonte: (REN21, 2015), (REN,2018)

A COP 21, realizada em dezembro de 2015, teve como principal objetivo preparar um novo acordo entre as partes para diminuir a emissão de gases de efeito estufa, diminuindo o aquecimento global e, em consequência, limitar o aumento da temperatura global em 2°C até 2100. O setor da energia é considerado responsável por dois terços das emissões de poluentes na atmosfera global. Uma das iniciativas para este controle de temperatura está no uso das

⁴ (LCOE) *Levelized cost of electricity*

energias renováveis e no uso de eficiência energética. Pois este uso pode ser implementado a tempo de controlar este aumento de temperatura, no período considerado.

O cenário mostra que o consumo global de energia irá aumentar em 21% até 2030, promovendo o aumento das emissões globais. Para alcançar a meta de limitação do aquecimento em 2°C até 2100, o investimento em energias renováveis deve chegar a mais de US\$ 500 bilhões até 2020, e serão necessários investimentos anuais médios de US\$ 900 bilhões entre 2021 e 2030 (INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY, 2015).

Em 2017, o investimento em aumento da capacidade de energia renovável foi de aproximadamente US\$ 280 bilhões, sendo que ultrapassou o investimento na capacidade de combustível fóssil. Dentre as diversas fontes de energia renovável, a eólica e a solar foram as que mais incentivos receberam (REN21, 2018). O setor de energia tem uma parcela global média de cerca de 8% sobre o Produto Interno Bruto (INTERNATIONAL ECONOMIC REVIEW, 2010).

Em 2017, o Brasil investiu US\$ 6 bilhões em energia renovável. A Figura 1.3 apresenta os investimentos nacionais na energia renovável, ao longo dos últimos 10 anos.

Figura 1.3 Investimentos em fontes renováveis no Brasil.

Fonte: (REN21, 2018)

1.2. FORÇA DE TRABALHO EM ENERGIA RENOVÁVEL

A força de trabalho, necessária em energia renovável em um país, depende do nível de conscientização do uso de fontes geradoras limpas, do tamanho de sua população, do grau de verticalização da indústria, da origem dos insumos para a produção dos sistemas, entre outros fatores (IEA, 2014).

O aumento de investimentos no setor de energias renováveis promove a perspectiva de maior empregabilidade dentro do mercado de energia (FERROUKHI, 2017).

O estudo apresentado estima que os empregos no setor alcançaram 8,8 milhões de postos de trabalho diretos e indiretos no ano de 2017⁵. Países da Ásia foram responsáveis por 60% dos postos de trabalho e o setor com maior empregabilidade foi o do solar fotovoltaico com cerca de 30%. A tabela 1.2 mostra a estimativa mundial de empregos diretos e indiretos em energia renovável.

Tabela 1.2 Estimativa mundial de empregos em energia renovável (milhares de postos de trabalho)

	Mundo	China	Brasil	EUA	Índia	Japão	Alemanha	Outros países-U.E.

<i>Solar</i>								
<i>Fotovoltaico</i>	3.365	2.216	10	233	164	272	36	100
<i>Biocombustíveis</i>	1.931	51	795	299	35	3	24	200
<i>Eólica</i>	1.148	510	34	106	61	5	160	344
<i>Aquecimento Solar</i>	807	670	42	13	17	0,7	8,9	34
<i>Biomassa</i>	780	180		80	58		41	389
<i>Biogás</i>	344	145		7	85		41	71
<i>PCH</i>	290	95	12	9,3	12		7,3	74
<i>Geotermia</i>	93	1,5		35		2	6,5	25
<i>Concentrador Solar Térmico</i>	34	11		5,2			0,6	6
Resultado parcial	8.829	3.880	893	786	432	283	332	1.268
<i>UHE</i>	1.514	312	184	26	289	20	7,3	74
Total	10.343	4.192	1.076	812	721	303	332	1.268

Fonte: (REN21, 2018)

A estimativa de números de postos de trabalho é uma tarefa complexa. Os números apresentam variações que dependem do desenvolvimento da indústria e do mercado local. Dado o dinamismo do mercado em energia renovável, em função de mudanças em políticas públicas e modificação de preços, pode ocorrer diminuição de postos de trabalho (FERROUKHI, 2017).

⁵ Sem contabilizar as grandes hidroelétricas, em que se estima 1,5 mil postos de trabalho. Bem como se estima, não descritos neste estudo, os postos de trabalho no setor de resíduos de mineração, urbanos e industriais, pesquisas e ensino.

O número de postos de trabalho em bioenergia e biomassa varia com a safra do produto, portanto depende das condições meteorológicas e do mercado econômico. Neste setor o Brasil é o primeiro em empregabilidade com aproximadamente 800 mil postos de trabalho. Muitos destes postos são referentes a colheita manual da cana de açúcar para produzir o etanol e da soja para produzir o biodiesel (ABIOVE, 2015). A mecanização, a automatização e a informatização fazem com que profissionais qualificados ocupem os postos de trabalho.

A seguir está apresentada, de forma sintetizada, a situação de cada setor e o número de postos de trabalho no Brasil (FERROUKHI, 2017):

- ✓ Nos estudos globais as potências das PCHs são consideradas com capacidade de até 10 MW. O Brasil adota a capacidade de até 50 MW e conta com cerca de 12 mil postos de trabalho, muitos deles informais.
- ✓ Segundo a Associação Brasileira de Energia Eólica, a implementação de usinas com contratação através dos leilões de energia da ANEEL e incentivo à indústria nacional, finalizou o ano de 2016 com uma capacidade instalada de aproximadamente 10 GW. No ano de 2016 foram instalados aproximadamente 2 GW, apresentando uma diminuição em número de postos de trabalho em relação a 2015;
- ✓ Apresentando 43 mil postos de trabalho, o setor de aquecimento termossolar tem grande dependência dos programas de habitação social com "Minha Casa, Minha Vida". A redução destes programas e do poder de compra e investimentos impacta o crescimento e o número de postos de trabalho. Estes postos são distribuídos em fabricação de coletores solares e reservatórios (aproximadamente 30 mil) e o restante (13 mil) em instalação.
- ✓ No Brasil, até 2016 o emprego na energia solar fotovoltaica foi de aproximadamente 4 mil postos de trabalho.

O Brasil aparece, em 2016, como o segundo maior empregador nas grandes hidroelétricas, com aproximadamente 10% dos 8,3 mil do total, sendo o primeiro a China. Os postos de trabalho têm número elevado durante a construção e instalação destas e das linhas de transmissão. Após a instalação das UHE os postos de trabalho diminuem e são direcionados para a operação e a manutenção. Estes empreendimentos costumam causar

elevado impacto ambiental e social para as regiões e necessitam de detalhados estudos de impacto ambiental.

1.3 O DESENVOLVIMENTO DO MERCADO SOLAR FOTOVOLTAICO GLOBAL

Em nível global o recurso solar é abundante e melhor distribuído geograficamente que outras fontes de energia. A energia solar fotovoltaica é considerada com potencial suficiente para atender a crescente demanda de energia global (LEWIS, 2007).

Durante muitos anos a geração fotovoltaica teve como empecilho ao seu crescimento de mercado, o alto custo de produção das células fotovoltaicas. Como reflexo da curva de aprendizagem e ganhos de escala, os custos têm se reduzido significativamente, conforme aumenta a capacidade instalada. Ao final de 2017, o custo médio do módulo fotovoltaico estava em US\$ 0,35/Wp, com a previsão de redução (INTERNACIONAL TECHNOLOGY ROADMAP FOR PHOTOVOLTAIC, 2018). A Figura 1.4 mostra a curva de aprendizagem para o preço do módulo em função do ganho de escala, a partir de 1976.

Fonte: (INTERNACIONAL TECHNOLOGY ROADMAP FOR PHOTOVOLTAIC, 2018)

Com a diminuição do custo dos sistemas fotovoltaicos, o custo da energia de geração fotovoltaica se aproxima da paridade com o preço da eletricidade comercializada pelas concessionárias de distribuição de energia elétrica, podendo ficar ainda mais barato em localidades específicas. Em momentos de pico de demanda de energia elétrica, principalmente quando se utiliza combustíveis de origem fóssil, a tarifa da energia cobrada pelas concessionárias de distribuição é maior.

Em 2017, o estudo da *International Energy Agency* (IEA) (2018a) confirmou um maior aumento de sistemas fotovoltaicos dentro do mercado global de energia renovável. Os sistemas fotovoltaicos estão com os custos nivelados com a tarifa de energia elétrica, alcançando US\$ 0,02/kWh (IEA, 2018a).

Os sistemas fotovoltaicos contribuíram na matriz energética mundial, até 2017, com uma parcela de 402,5 GWp, como mostra a Figura 1.6.

Figura 1.6 Evolução das instalações fotovoltaicas regionais pelo mundo

Fonte: (IEA, 2018a)

A evolução da capacidade instalada de sistemas fotovoltaicos foi acelerada e aconteceu em função de programas de incentivos promovidos em países como Alemanha, China, Japão, Itália, EUA, entre outros. Tais programas foram característicos de cada país e ocorreram por combinações de política econômica, energética, social e ambiental.

Em 2017, China, EUA, Índia e Japão representaram os maiores mercados com mais de 80% da capacidade instalada de sistemas FV. Neste mesmo ano os sistemas FV contribuíram com cerca de 2% do fornecimento anual de eletricidade (IEA, 2018b).

O potencial da disseminação da implantação de sistemas de energia solar fotovoltaica está condicionado a aspectos ligados ao recurso solar, às técnicas, às questões econômicas e ao mercado. O recurso solar se refere à intensidade da irradiação solar, ao potencial físico teórico das células solares. Os aspectos técnicos dizem respeito às limitações topográficas, desempenho dos equipamentos e sistemas e limitações do uso da terra. Os aspectos econômicos estão ligados ao custo dos módulos fotovoltaicos e à evolução da tarifa da energia elétrica obtida de fontes convencionais. Quanto ao mercado, este depende da implementação e do impacto de políticas públicas, dos limites regulatórios, da resposta aos investidores e da competição regional com outras fontes de energia (LOPEZ, 2012).

2. A DISSEMINAÇÃO DOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS NO BRASIL

A boa irradiação solar que o Brasil recebe em seu vasto território e a diminuição dos custos das células solares estimula o crescimento da oferta de energia elétrica proveniente da energia solar fotovoltaica.

A média anual de irradiação solar se apresenta razoavelmente uniforme nas diferentes regiões climáticas do Brasil, em comparação com outras regiões do planeta. O valor máximo de irradiação global, cerca de 6,2 kWh/m² diária, ocorre na região norte do estado da Bahia, caracterizada por um clima semiárido com baixa precipitação ao longo do ano. O valor mínimo de irradiação solar global, cerca de 3,7 kWh/m² diária, ocorre no litoral norte de Santa Catarina, caracterizado pela ocorrência de precipitação bem distribuída ao longo do ano e por apresentar a média anual de cobertura de nuvens mais elevada do país (INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS, 2017).

Estudos de Análise de Forças, Fraquezas, Oportunidades e Ameaças (SWOT⁶) mostram o Brasil com um mercado favorável a investimentos em energia solar fotovoltaica. A tabela 2.1 apresenta o resultado desta análise SWOT elaborada pelo Ministério da Economia da Holanda, em 2015.

Tabela 2.1 – Análise SWOT – Energia solar fotovoltaica no Brasil

FORÇAS	OPORTUNIDADES
<ul style="list-style-type: none">• Condições naturais de ambientes favoráveis• Culturalmente conectadas com renováveis• Forte demanda	<ul style="list-style-type: none">• Amplas parcerias internacionais• Mini e micro geração sendo implantada• Diversas fontes• Desenvolvimento de todas as tecnologias
FRAQUEZAS	DESAFIOS
<ul style="list-style-type: none">• Vasto território, alto custo para transmissão• Infraestrutura pequena• Culturalmente desconhecem a energia fotovoltaica• Baixo nível educacional• Dependentes de hidroeletricidade	<ul style="list-style-type: none">• Aumento da demanda• Construção de infraestrutura• Mudança climática• Política instável• Taxas altas

Fonte: (RIJKSDIENST VOOR ONDERNEMEND, 2015)

⁶ SWOT: Strengths, Weaknesses, Opportunities e Threats

No setor elétrico brasileiro, os agentes de governo são responsáveis pela política energética, seu planejamento (Ministério de Minas e Energia–MME e Empresa de Pesquisa Energética-EPE), operação (Operador Nacional do Sistema Elétrico-ONS), regulação (Agência Nacional de Energia Elétrica–ANEEL) e comercialização (Câmara de Comercialização de Energia Elétrica-CCEE). Ações de impacto político têm sido tomadas pelos agentes públicos para estimular a disseminação do mercado solar fotovoltaico no país.

Destacam-se, a seguir, as ações políticas para a disseminação dos sistemas fotovoltaicos e o aumento da potência instalada em energia solar fotovoltaica na matriz elétrica nacional.

2.1 AÇÕES POLÍTICAS

São muitas as ações que contribuíram, e estão contribuindo, com a disseminação da implantação de sistemas fotovoltaicos no Brasil: estímulos de ordem legislativa e tributária; estabelecimento de normas técnicas, ensaios e registro de equipamentos e sistemas fotovoltaicos; pesquisa e desenvolvimento; e formação profissional.

2.1.1 Estímulos de ordem legislativa e tributária à disseminação

As principais ações tributárias e legislativas que contribuíram com o desenvolvimento do setor fotovoltaico a partir de 1991 são apresentadas. Muitas destas ações foram direcionadas para estimular o desenvolvimento de módulos de energia solar fotovoltaica no país. Estas ações são listadas em ordem cronológica (elaboração própria a partir de (SILVA, 2015):

1991 - Lei da Informática: isenções tributárias para bens de informática e de automação. A produção de células solares e equipamentos destinados ao condicionamento e controle da energia elétrica produzida pela fonte solar foi beneficiada por esta Lei⁷;

⁷ Instituído pela Lei nº 8.248, de 23 de outubro de 1991, modificada pela Lei nº 11.077, de 30 de dezembro de 2004. Os benefícios tributários estão condicionados a investimentos em pesquisa e desenvolvimento. Os benefícios não são restritos à fonte solar.

1994 – Programa de Desenvolvimento Energético de Estados e Municípios (PRODEEM), promovido pelo MME, para atender localidades isoladas não supridas por energia elétrica da rede convencional, por fontes renováveis locais. Referido programa foi renovado em 2004;

1996 - Descontos na Tarifa de Uso dos Sistemas de Transmissão (TUST) e na Tarifa de Uso dos Sistemas de Distribuição (TUSD). Aplicam-se à TUST e à TUSD em empreendimentos cuja potência injetada nos sistemas de transmissão e distribuição sejam menores ou iguais a 30.000 kW⁸;

1997 - Convênio nº 101 do Conselho Nacional de Política Fazendária (CONFAZ): isenção do Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS) em operações que envolvem vários equipamentos destinados à geração de energia elétrica por células fotovoltaicas. O Convênio não abrange todos os equipamentos utilizados para geração de energia solar;

2001 – Resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente-CONAMA nº 279: Estabelece procedimentos para o licenciamento ambiental simplificado de empreendimentos elétricos com pequeno potencial de impacto ambiental (CONAMA, 2001);

2002 - Lei Federal Nº 10.438: surge o Programa de Incentivo às Fontes de Energia Alternativa (PROINFA) com incentivos à instalação de sistemas de geração em energia renovável. Naquele momento, a geração solar fotovoltaica não foi incluída, tendo como justificativa seu alto custo;

2003 – Decreto Federal Nº 4.873-Programa Luz para Todos: desafio de eliminar a exclusão elétrica no país com a meta de tornar acessível a energia elétrica, para mais de 10 milhões de pessoas do meio rural até o ano de 2008. Este programa teve várias prorrogações, devendo finalizar em 2022 (Decreto Nº 9.357, 2018) (SENADO, 2018);

⁸ O § 1º do art. 26 da Lei nº 9.427, de 26 de dezembro de 1996, estabelece que o desconto na TUST ou TUSD para empreendimentos de fonte solar cuja potência injetada seja inferior a 30.000 kW deve ser no mínimo de 50%. A Resolução Normativa nº 77, de 18 de agosto de 2004, da Aneel, alterada pela Resolução nº 481, de 17 de abril de 2012, fixa, nos 10 primeiros anos de operação da usina, o desconto de 80% na TUST e TUSD a que tem direito a fonte solar, com as características descritas pela Lei nº 9.427, de 1996, e que entrarem em operação até 31 de dezembro de 2017. Outras fontes alternativas, como a eólica, contam com o desconto na TUST e na TUSD, em percentual menor.

2004 - Resolução Normativa ANEEL Nº 83, que regula a geração solar fotovoltaica para Sistemas Individuais de Geração com Fontes Intermitentes (SIGFI) para atender comunidades isoladas, regulando tecnicamente o programa “Luz Para Todos”;

2005 – Resolução Normativa ANEEL Nº 167, que estabelece as regras e condições para compra e venda de energia da geração distribuída. As opções de contratação ocorriam por processo de chamada pública ou por compra produzida pela empresa de geração. Todos os contratos deveriam ser registrados na ANEEL e na CCEE;

2007 – Regime Especial de Incentivos para o Desenvolvimento da Infraestrutura (REIDI): suspensão da Contribuição para o Programa de Integração Social e de Formação do Patrimônio do Servidor Público (PIS/PASEP) e da Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social (COFINS). O REIDI é aplicado no caso de venda ou de importação de máquinas, aparelhos, instrumentos e equipamentos novos, de materiais de construção e de serviços para obras de infraestrutura, entre as quais as usinas geradoras de energia solar;

2007 – Programa de Apoio ao Desenvolvimento Tecnológico da Indústria de Semicondutores (PADIS)⁹: este programa inclui a produção de células fotovoltaicas. Este programa de benefícios fiscais é um estímulo à nacionalização de produtos para sistemas fotovoltaicos. Pela edição da Lei No 13.169/2015, o PADIS foi prorrogado até 2020;

2009 – Implantação de Condições Diferenciadas de Financiamento relacionadas à geração fotovoltaica por instituições tais como: Ministério do Meio Ambiente - Programa Fundo Clima; Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) - Programa Inova Energia; Caixa Econômica Federal (CEF – Juazeiro – BA) Projeto de Geração de Renda e Energia em conjunto com o programa Minha casa Minha Vida, Banco do Nordeste (BNB) e Fundo Solar-Programa de Financiamento FNE Sol, Agência de Desenvolvimento Paulista/Desenvolve São Paulo - Projetos Sustentáveis/Linha Economia Verde, Agência de Fomento do Estado de Pernambuco - Linha Economia Verde/ PE Solar , Agência de Fomento de Goiás/ Goiás Fomento - Programa Goiás Solar e outros;

⁹ Instituído pela Lei nº 11.484, de 31/03/2007, regulamentada pelo Decreto nº 6.233, de 11/10/ 2007. Não é restrito à fonte solar.

2011 – Debêntures Incentivadas: isenção de Imposto de Renda dos rendimentos de investimentos relacionados a implementar projetos na área de infraestrutura. Entre os projetos estão os destinados à geração de energia elétrica por fonte solar¹⁰;

2012 – Redução de Imposto de Renda em projetos de setores prioritários implementados nas áreas de atuação da Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE), da Superintendência do Desenvolvimento da Amazônia (SUDAM) e da Superintendência do Desenvolvimento do Centro-Oeste (SUDECO)¹¹;

2012 – Resolução Normativa da ANEEL nº 482: regula a micro e mini geração¹² conectada à rede de distribuição. Estabelece a possibilidade de compensação, do produtor/consumidor, da energia excedente produzida por estes sistemas de geração. Na Resolução, a micro e mini geração deve ter como fontes as energias de origem hidráulica, solar, eólica, biomassa ou a cogeração qualificada;

2012 – Resolução Normativa da ANEEL nº 488: Estabelece as condições para revisão dos planos de universalização dos serviços de distribuição de energia elétrica na área rural;

2012 – Resolução Normativa da ANEEL nº 493: Estabelece os procedimentos e as condições de fornecimento por meio de Microssistema Isolado de Geração e Distribuição de Energia Elétrica (MIGDI) ou Sistema Individual de Geração de Energia Elétrica com Fonte Intermitente (SIGFI);

2012 – Resolução Normativa da ANEEL nº 517: Altera a REN nº 482 e o Módulo 3 dos Procedimentos de distribuição de energia elétrica no Sistema Elétrico Nacional (PRODIST), seção 3.7 – Acesso de micro e mini geração distribuída.

¹⁰ Debênture é um título de crédito representativo de empréstimo. O benefício foi instituído pela Lei nº 12.431, de 24/06/2011, regulamentada pelo Decreto nº 7.603, de 9/11/2011. Benefício não restrito à fonte solar.

¹¹ Os Decretos nº 4.212, de 26/04/2012 e nº 4.213, de 26/04/2002, priorizam a energia respectivamente nas áreas da SUDAM e SUDENE. A Resolução CONDEL/SUDECO nº 016, 6/09/2013, definiu como prioritários os projetos que utilizem tecnologias inovadoras e/ou contribuam para a geração e difusão de novas tecnologias de várias áreas, dentre as quais energia elétrica e energia renovável.

¹² Em 2012 é considerada a micro e mini geração distribuída a central geradora de energia elétrica, com potência instalada menor ou igual a 100kW e superior a 100kW e menor ou igual a 1MW, respectivamente, para fontes em energia hidráulica, solar, eólica, biomassa ou cogeração qualificada, conectada à rede de distribuição por meio de unidades consumidoras.

2012 – Nota Técnica das distribuidoras de energia elétrica. Seguindo o PRODIST, módulo 3, seção 3.7: as distribuidoras de energia definem o acesso à rede para consumidores de média e de baixa tensão;

2013 – Contratação de energia solar fotovoltaica, de aproximadamente 1,1 MW de potência instalada através do Leilão por ação do Governo Estadual de Pernambuco;

2014 – Contratação de energia solar fotovoltaica, produzida por empreendimentos totalizando aproximadamente 1 GW de potência instalada, em Leilão de Energia de Reserva (LER¹³) por ação do Governo Federal;

2015 – Nova contratação de energia solar fotovoltaica, produzida por empreendimentos totalizando aproximadamente 2 GW de potência instalada através dos 1º e 2º leilões de energia de reserva de 2015, por ação do Governo Federal;

2015 – Resolução Normativa da ANEEL nº 687: A resolução da ANEEL nº 482 foi atualizada ao mercado de energia solar pela resolução nº 687¹⁴. As adequações são previstas com o objetivo de reduzir custos e agilizar o período de conexão da micro e mini geração (ANEEL, 2016b). Entre outras adequações, com esta resolução, passam a ser permitidos empreendimento com múltiplas unidades consumidoras e geração compartilhada;

2015 – Convênio ICMS Nº 16–Ministério da Fazenda: autoriza os estados a conceder isenção nas operações internas relativas à circulação de energia elétrica, sujeitas a faturamento, sob o Sistema de Compensação de Energia Elétrica de que trata a Resolução Normativa nº 687, da Agência Nacional de Energia Elétrica–ANEEL;

2015 – Lei Federal Nº 13.169: Isenta unidades consumidoras das taxas de PIS/PASEP e COFINS incidentes sobre a energia elétrica ativa consumida na unidade no processo de compensação de energia;

2015 – Lei Federal Nº 13.203: O Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social – BNDES, na concessão de financiamentos pode direcionar recursos com taxas diferenciadas

¹³ Volume de energia contratada de forma a recompor a adequabilidade de suprimento físico compatível com o critério de suprimento do sistema. Cálculos entre oferta e demanda são efetuados para definir a necessidade desta reserva.

¹⁴ Em 2015 é considerada micro e mini geração distribuída, a central geradora de energia elétrica, com potência instalada menor ou igual a 75 kW e superior a 75 kW e menor ou igual a 5 MW respectivamente.

para a instalação de sistemas de geração de energia elétrica a partir de fontes renováveis e para eficiência energética em hospitais e escolas públicas;

2015 – Criação do Comitê Temático de Formação Profissional e Tecnológica em Energias Renováveis e Eficiência Energética pela Secretaria de Educação Profissional e Tecnológica do MEC. O comitê conta com quatro grupos de trabalho: Energia Solar Fotovoltaica, Energia Eólica, Biogás e Eficiência Energética, com objetivo de discutir e criar cursos padronizados, infraestrutura e educadores voltados para o ensino (MEC, 2017);

2017 – Portaria N° 643: Esta portaria do Ministério das Cidades dispõe sobre as condições gerais para provisão de sistemas alternativos de geração de energia para empreendimentos contratados no Programa Minha Casa Minha Vida (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2017);

2017 – Isenção do ICMS nas saídas internas com equipamentos e componentes para geração elétrica solar fotovoltaica destinada ao atendimento do consumo de prédios públicos do estado de São Paulo. Válido para sistemas de até 5 MW (MINISTÉRIO DA FAZENDA, 2017);

2017 – Contratação de energia solar fotovoltaica, de aproximadamente 800 MWp de potência instalada, através do Leilão de Energia Nova por ação do Governo Federal (EPE, 2017b).

2.1.2 Normas técnicas para padronização de equipamentos e sistemas fotovoltaicos

Em paralelo com as ações institucionais e tributárias é necessário que haja desenvolvimento de padronização dos quesitos técnicos e qualidade dos equipamentos e sistemas, sejam eles nacionais ou importados.

Referidos equipamentos devem ter sua fabricação padronizada com as características físicas, elétricas e de desempenho. A padronização auxilia na facilidade de montagem, testes e operação, proporcionando confiabilidade, segurança e qualidade do sistema fotovoltaico ao longo da vida útil.

A padronização de equipamentos e de instalações de geração de energia solar fotovoltaica é feita em conformidade com normas e regulamentos técnicos. Há necessidade urgente de que no Brasil se conte com normas técnicas específicas para os sistemas fotovoltaicos, de modo a garantir a qualidade dos equipamentos e das instalações elétricas, bem como a necessária segurança. O conhecimento das Normas Técnicas é imprescindível na formação dos profissionais especializados em energia solar fotovoltaica.

O mercado solar fotovoltaico é recente e é sensível às constantes inovações tecnológicas. O surgimento de componentes ou sistemas novos, por sua vez, leva à necessidade de revisão nas normas e regulamentações existentes.

A seguir são listadas em ordem cronológica, as normas elaboradas pela ABNT para os sistemas de geração solar fotovoltaica. A grande maioria das normas tem sua origem na Comissão Eletrotécnica Internacional (*International Electrotechnical Commission*–IEC) e em outros órgãos normativos.

1998 – NBR 14.200: Acumulador chumbo-ácido estacionário ventilado para sistemas fotovoltaicos – Ensaio. Esta norma prescreve os métodos de ensaio aplicáveis a todos os tipos de construções de acumuladores ácidos para aplicações fotovoltaicas. Norma cancelada em 2015¹⁵;

2006 – NBR 10.899: Energia Solar fotovoltaica –Terminologia. Esta norma define os termos técnicos relativos à conversão fotovoltaica de energia radiante em energia elétrica. Foi revisada e substituída em 2013;

2008 – NBR 11.704: Sistemas fotovoltaicos–Classificação. A norma identifica os tipos de sistemas fotovoltaicos;

2010 – NBR 11.876: Módulos fotovoltaicos–Especificações. Esta Norma especificava os requisitos exigíveis e os critérios para aceitação de módulos fotovoltaicos para uso terrestre, de construção plana e sem concentradores, que utilizem dispositivos fotovoltaicos como componentes ativos para converter diretamente a energia radiante em elétrica. Norma cancelada em 2015;

2012 – NBR IEC 62.116: Procedimentos de ensaios de anti-ilhamento para inversores de sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica. Esta norma trata de procedimentos de ensaio para avaliar o desempenho das medidas de prevenção de ilhamento utilizadas em sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica ;

¹⁵ No mesmo ano a ABNT publicou as normas NBR 14. 201 e a NBR 14. 202: Acumulador alcalino de níquel-cádmio estacionário, especificações e ensaios Mas estas excluem a aplicação para sistemas fotovoltaicos.

2013 – NBR 16.149: Sistemas Fotovoltaicos (FV)–Características da interface de conexão com a rede elétrica de distribuição. Esta norma estabelece os requisitos para a interface de conexão entre os sistemas fotovoltaicos e a rede de distribuição de energia elétrica. Requisitos referentes a controle externo, religamento, parâmetros de qualidade de energia: tensão, cintilação, frequência, distorção harmônica e fator de potência, que devem atender a compatibilidade com a rede elétrica, conforme especificado no PRODIST¹⁶ e na própria norma;

2013 – NBR 16.150: Sistemas fotovoltaicos–Características da interface de conexão com a rede – Procedimentos de ensaios de conformidade. Esta norma especifica os procedimentos de ensaio para verificar se os equipamentos utilizados na interface de conexão entre o sistema fotovoltaico e a rede de distribuição de energia estão em conformidade com os requisitos da ABNT NBR 16149;

2014 – NBR 16.274: Sistemas fotovoltaicos conectados à rede–Requisitos mínimos para documentação, ensaios de comissionamento, inspeção e avaliação de desempenho. Esta norma relaciona a documentação mínima necessária para conectar um sistema fotovoltaico à rede, sua verificação inicial e verificação periódica para inspeção e comissionamento dos sistemas. Esta norma dá os procedimentos para a avaliação de desempenho do sistema fotovoltaico conectado à rede;

2015 - 2018 - Norma em estudo–Projeto ABNT NBR 16.690 Mar 2018: Instalações elétricas de arranjos fotovoltaicos-Requisitos de projeto. Norma em implantação pelo Comitê Brasileiro de eletricidade ABNT/CB-03. Esta norma estabelecendo os requisitos de projetos das instalações elétricas de arranjos fotovoltaicos, incluindo disposições sobre o cabeamento c.c., os dispositivos de proteções e manobras elétricas, aterramento e equipotencialização dos arranjos fotovoltaicos.

¹⁶São documentos elaborados pela ANEEL que normatizam e padronizam as atividades técnicas relacionadas ao funcionamento e desempenho dos sistemas de distribuição de energia elétrica.

2.1.3 Ensaio e avaliação de equipamentos fotovoltaicos

No Brasil, os módulos fotovoltaicos e os demais equipamentos de condicionamento de potência dos sistemas de geração solar devem estar em conformidade com as prescrições do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE). O PBE Fotovoltaico foi iniciado em 2008 pela portaria Nº 004 como programa voluntário e, a partir de 2012, pela portaria nº 357 passou a ser programa compulsório. Esta portaria foi atualizada pela de nº 17 de 2016.

As portarias do Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO) estabelecem a documentação e os ensaios necessários ao registro dos equipamentos. O registro, delegado pelo INMETRO, é o atestado de conformidade do equipamento e com ele o equipamento pode ser comercializado nacionalmente.

Para obter o registro, o equipamento deve ser ensaiado de acordo com o Relatório Técnico de Avaliação e Conformidade (RTAC) por laboratórios técnicos credenciados e designados pelo INMETRO.

Um dos primeiros laboratórios para avaliação e conformidade de equipamentos de sistemas fotovoltaicos no Brasil foi instalado em 2005 no Instituto de Energia e Ambiente (IEE-USP), inicialmente para a execução de ensaios de aceitação e qualificação em módulos fotovoltaicos de silício cristalino (LSF-IEE, 2016).

Para os sistemas fotovoltaicos, o INMETRO contava, em 2017, com dez laboratórios em centros de pesquisa e universidades (INMETRO, 2018). Devido a dificuldades, ligadas a prazos de execução, alegadas por fabricantes e importadores estuda-se a possibilidade de incluir outros laboratórios internacionais (INMETRO, 2016).

Até 2017, o conjunto de equipamentos para os sistemas fotovoltaicos ensaiados pelos laboratórios atuantes no Brasil são: módulos de silício mono e poli cristalino, módulos de filme fino¹⁷, inversores para sistemas autônomos com potência entre 5 W e 10 kW, inversores para sistemas conectados à rede com potência de até 10 kW, controladores de carga e bateria.

Segundo Borges (2016)¹⁸, o Programa Brasileiro de Eficiência é de grande importância para o mercado solar fotovoltaico. As mudanças nos cenários econômico e

¹⁷Estes módulos podem ser de silício amorfo (a-Si), telureto de cádmio (CdTe), cobre-índio-gálio-disseleneto de gálio (CIS / CIGS)

¹⁸ Informação fornecida em palestra Etiquetagem de equipamentos fotovoltaicos no Brasil: Lições aprendidas e desafios à frente. PBE Fotovoltaico. Conferência Internacional de energia solar na América do Sul, São Paulo, 2016.

energético do país implicam em aumento na demanda de avaliação da conformidade dos equipamentos fotovoltaicos e seus registros.

Avaliações realizadas na Europa, pela TÜV Rheinland¹⁹, em aproximadamente cem instalações fotovoltaicas durante 2014 e 2015, constataram defeitos de fabricação em aproximadamente 50% dos módulos fotovoltaicos e em 30% nos cabos elétricos (RODRIGUES, 2016)²⁰. Tais avaliações reforçam a importância do asseguramento de qualidade dos equipamentos para os sistemas fotovoltaicos.

A indústria nacional de equipamentos para sistemas fotovoltaicos recebeu impulso nos leilões de energia de reserva (LER) 2014-2015, com apoio de financiamento diferenciado promovido pelo BNDES. Ocorreu assim o incentivo da utilização de módulos fotovoltaicos nacionais. Até o final de 2017 entraram no mercado solar brasileiro as montadoras de módulos fotovoltaicos: Globo Brasil, Canadian Solar, BYD, no estado de São Paulo, e Pure Energy no estado de Alagoas, com capacidade de produção anual de 160MW, 360 MW, 200MW e 240MW respectivamente. Até a data da conclusão deste trabalho a produção de módulos fotovoltaicos no Brasil é feita apenas com células solares importadas.

2.1.4 Pesquisa e desenvolvimento para o setor de energia

A execução de projetos de pesquisa, desenvolvimento e inovação (P&DI) no setor de energia favorece o ambiente das empresas do setor de energia e laboratórios de pesquisa estimulando o desenvolvimento da base tecnológica. Referidos projetos propiciam a criação da infraestrutura para a produção nacional, adaptam tecnologias, divulgam conhecimentos para a sociedade, promovem a elaboração de normas e regulamentos para construção de equipamentos, montagem e instalação de sistemas e especializam profissionais.

Exemplos de incentivo aos projetos de P&D são as chamadas públicas da ANEEL, que contribuem para a mudança do Setor Elétrico Nacional. De acordo com a Lei Federal No 9.991 de 2000²¹, as empresas de sistema de geração, transmissão e distribuição devem

¹⁹ TÜV Rheinland: empresa de ensaios de aceitação e qualificação de equipamentos e gerenciamento de projetos.

²⁰ Informação fornecida em palestra *Risks and Errors in PV system, quality survey of PV Plants, Findings and Recommendations, Project related quality assurance of Module Manufacturing and Plant realization*. Conferência Internacional de Energia Solar na América do Sul. São Paulo, 2016.

²¹ Atualizada pela Lei N°12.212 de 2010

participar de projetos classificados no “Programa Prioritário de Eficiência Energética e Estratégico de P&D”. Vários daqueles projetos têm contribuído para a disseminação dos sistemas fotovoltaicos no país. Exemplificando; em 2010 ocorreu a chamada “Sistemas para Energização de Pequenas Comunidades isoladas utilizando Painéis Solares Fotovoltaicos”. Em 2011 houve a chamada “Desenvolvimento de competências e avaliação de arranjos técnicos e comerciais em geração distribuída com sistemas fotovoltaicos conectados à rede”. Já em 2016 foi divulgada a chamada “Arranjos Técnicos e Comerciais para a Inserção de Sistemas de Armazenamento de Energia no Setor Elétrico Brasileiro”(ANEEL, 2017a).

Em 2017, alguns centros de pesquisa se consolidaram e se destacam no apoio ao desenvolvimento de aplicações da energia fotovoltaica. Entre eles: o Laboratório de Sistemas Fotovoltaicos do Instituto de Energia e Ambiente – LSF-IEE/USP, o Grupo de Pesquisa Estratégica em Energia Solar da Universidade Federal de Santa Catarina – FOTOVOLTAICA/UFSC, o Centro de Pesquisas de Energia Elétrica – CRESESB/CEPEL, o Grupo de Estudos e Desenvolvidos de Alternativas Energéticas da Universidade Federal do Pará – GEDAE/UFPa, o Laboratório de Energia Solar da Universidade Federal do Rio Grande do Sul – LABSOL/UFRGS e o Grupo de Pesquisas em Fontes Alternativas de Energia do Departamento de Energia Nuclear da Universidade Federal de Pernambuco – Grupo FAE.

O Brasil possui uma das maiores reservas mundial de quartzo de boa qualidade, mineral de partida para a obtenção do silício grau metalúrgico. Tendo em conta que a produção de células solares de silício não exige características encontradas no chamado *Silício Grau Eletrônico*, usado na indústria da microeletrônica, há muito se procura desenvolver um sucedâneo para células solares. As pesquisas iniciadas há décadas, que partem do silício grau metalúrgico e que utilizam processos não convencionais, não conduziram até o momento, a material com níveis de pureza necessários para a fabricação de células solares com eficiência aceitável (NATIONAL RENEWABLE ENERGY LABORATORY, 2013).

No que toca ao desenvolvimento de células solares, um caso conhecido de laboratório no país, que desenvolveu grande atividade na área, é o do Laboratório de Microeletrônica da Escola Politécnica da USP (LME/EPUSP), que atuou em materiais, desenvolvendo tecnologia de obtenção de monocristais de silício, células de silício monocristalino, de silício policristalino, de silício amorfo e até mesmo células solares de semicondutores orgânicos. Tais atividades no LME/EPUSP foram reduzidas nos últimos anos, restando a pesquisa em células solares com semicondutores orgânicos. Um fato importante foi o de que a

Heliodinâmica SA – Sistemas Energia Solar, utilizou em sua produção de células solares, o conhecimento dos pesquisadores e técnicos do LME/EPUSP. Do início da década de 1980, até os primeiros anos da década de 1990, a Heliodinâmica S.A. operou verticalizando a produção de sistemas fotovoltaicos, partindo de silício de alta pureza para produzir cristais de silício, produzindo as células solares, os módulos e chegando aos sistemas fotovoltaicos. Entre 1986 e 1990, a Heliodinâmica chegou a ter capacidade de produção anual de módulos fotovoltaicos de 1 MWp, e chegou a entrar no mercado internacional com exportação de lâminas de silício (*wafers*) (ANDRADE, 2016).

Entre 2004 a 2009 foi implantada no Núcleo de Tecnologia em Energia Solar da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (NT- Solar/ PUC-RS) uma planta piloto de produção de células e módulos fotovoltaicos.

Outras iniciativas de fabricação de células com silício grau solar surgiram em universidades e centros de pesquisa, mas, por diversas razões, entre elas a insuficiente maturidade dos processos tecnológicos, custos elevados e falta de incentivos, implicaram em descontinuidade das atividades.

O equipamento oriundo da Heliodinâmica passou a ser utilizado pela Dya Energia Solar (Grupo Tecnometal) para a montagem de módulos fotovoltaicos de silício mono e policristalino. A empresa Dya Energia Solar, localizada no estado de São Paulo, informa, em 2018, a capacidade de produção anual de 25 MW de módulos fotovoltaicos²².

2.1.5 Formação profissional

As atividades de pesquisa e desenvolvimento no país propiciaram a formação, no nível de pós-graduação, de profissionais com conhecimentos específicos em fontes de energia renovável. Foram formados profissionais em diferentes áreas para atuar em tecnologia dos sistemas, na avaliação de benefícios econômicos, nos impactos ao meio ambiente e nas transformações sociais promovidas pelo uso da energia.

Inicialmente os cursos da área da engenharia, principalmente a eletrotécnica, trataram em suas unidades curriculares as questões para propor soluções na conversão, transporte e uso de energia. Com o desenvolvimento tecnológico e a viabilidade econômica dos sistemas que utilizam as fontes renováveis de energia, as universidades vêm, ao longo das últimas duas

²² Fonte: Marcos Torrizella, Dya Energia Solar, em fevereiro de 2016.

décadas, reformulando seus currículos para promover a sustentabilidade energética. A área da energia ganhou magnitude e a formação específica da Engenharia de Energia se institucionalizou.

Com o crescimento do mercado solar fotovoltaico surgem empresas especializadas em implementar projetos e são criados postos de trabalho para montadores, eletricitas, técnicos e pessoal de nível superior.

Observando a lacuna em recursos humanos em sistemas fotovoltaicos, escolas profissionalizantes e empresas instaladoras e de vendas passaram a ofertar seminários, palestras e cursos rápidos a profissionais interessados. A participação nos mencionados cursos geralmente ocorre sem exigência de pré-requisito de conhecimentos e habilidades dos interessados. Seminários, palestras e cursos auxiliam na divulgação da geração fotovoltaica, na oportunidade de uma nova ocupação e até mesmo no empreender com serviços ou indústria de equipamentos para o setor.

No início da década de 2010, o Ministério da Educação e Cultura (MEC), com o objetivo de estimular a educação profissional e capacitação em fontes de energia renovável e eficiência energética, estabeleceu acordo de cooperação técnica com a *Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit–GIZ GmbH*²³. O acordo tem a participação inicial do Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial–SENAI, do Centro Paula Souza–CPS, dos Institutos e Centros Federais de Educação, Ciência e Tecnologia (IFs e CEFETs), e outros centros de educação tecnológica. O acordo contempla propiciar soluções educacionais que atendam às necessidades imediatas de profissionais para atuar no mercado nacional na energia renovável.

Como exemplo de iniciativas recentes, a Universidade Federal e o Centro Federal de Educação Tecnológica da região do norte-nordeste de Minas Gerais preparam cursos para a formação de técnicos e eletricitas em energia solar fotovoltaica. Os profissionais com os necessários conhecimentos devem estar preparados para atuar nas instalações das usinas centralizadas e em estações de bombeamento de água onde comunidades locais não dispõem de energia elétrica da rede de distribuição (DANTAS, 2016)²⁴.

²³ A cooperação entre o Brasil e a Alemanha no âmbito desenvolvimento Sustentável tem um histórico de mais de 50 anos (GIZ, 2018).

²⁴ Informação fornecida por Davidson Barbosa Dantas – diretor de Captação, qualificação e Inclusão social – Governo do Estado de MG durante palestra EXPOSOLAR, São Paulo, 2016.

O Instituto Federal da Bahia–IFBA²⁵, formou 1.700 profissionais em Energia Renovável e Eficiência Energética entre 2014 e 2016. O estado da Bahia tem grande número de sistemas de energia solar fotovoltaica e usinas eólicas a instalar, contratadas pelos leilões de energia alternativa e de reserva, promovidos pela ANEEL.

Secretarias Estaduais de alguns estados brasileiros celebraram acordos de cooperação técnica com instituições de ensino para a criação de cursos de formação de profissionais nas áreas de energias renováveis. Como exemplo, em 2014, a Secretaria do Estado de São Paulo de Minas e Energia acordou com o CPS, a criação destes cursos. O CPS concluiu, no ano de 2016, a elaboração da ementa do curso “Instalador de Sistemas Fotovoltaicos” e passou a capacitar seus docentes (SILVA, 2017).

A partir de 2016, o SENAI passou a oferecer o curso de “Instalador de Sistemas de Energia Solar Fotovoltaica” em algumas de suas unidades, inicialmente em sua unidade de Pirituba, no estado de São Paulo.

Em maio de 2017, a Secretaria de Desenvolvimento Econômico, Ciência e Tecnologia do Estado de Minas Gerais firmou a criação de cinco centros de ensino, para formar 1.600 profissionais por ano com a participação do SENAI, dos CEFETs e dos IFs.

2.2 AUMENTO DA POTÊNCIA FOTOVOLTAICA INSTALADA

O Brasil conta com geradoras de energia elétrica que utilizam sistemas hídricos, térmicos, termonucleares, eólicos e solar fotovoltaica. São cerca de 4.900 empreendimentos em operação, totalizando cerca de 160 GW de capacidade de potência instalada. A Figura 2.1 apresenta a distribuição da potência instalada por tipos de usina. Entre as fontes que mais se destacam em capacidade instalada, está a hidráulica, com aproximadamente 64% e em seguida a biomassa, com aproximadamente 9% (MME, 2017a). Até final de 2017, os sistemas fotovoltaicos de usinas instaladas e fiscalizadas, contribuíam com pouco mais de 0,6% que corresponde a aproximadamente 1 GW.

²⁵Informação fornecida por Profº Antônio Gabriel Almeida durante Palestra no IFBA, Bahia, 2016.

Figura 2.1 – Distribuição da potência instalada de usinas centralizadas de energia elétrica

Fonte: Adaptado de (ANEEL, 2018a)

A participação da geração fotovoltaica, como parte da oferta interna de energia elétrica, aparece no relatório do Balanço Energético Nacional (BEN) a partir de 2015, com a contribuição inicial de 0,01% da oferta total (BEN - EPE, 2016).

O destaque da EPE, para o plano decenal de energia para 2024, foi a previsão da inclusão de usinas fotovoltaicas na infraestrutura da matriz elétrica, com a expansão da capacidade instalada em 4 GW (MME, 2014). Em continuidade, o plano decenal de energia para 2026 prevê a expansão da capacidade instalada em usinas centralizadas em mais 7 GW (MME, 2017b).

Em 2014-2015, leilões de energia de reserva (LER) foram promovidos pela ANEEL e a CCEE. Os LER 2014-2015 foram decisivos para fomentar a estrutura da cadeia produtiva nacional, incluindo a fabricação de insumos, componentes, equipamentos e prestação de serviços. Naqueles leilões foi contratada a energia de usinas fotovoltaicas, com potência totalizada de 3 GWp.

Devido à recessão econômica do país, na sequência da turbulência política do período, ocorreu o cancelamento dos Leilões de Energia de Reserva de 2016. No período da recessão, verificou-se, no balanço físico do sistema elétrico, que a oferta de energia havia sido superior à demanda (EPE, 2016a).

Em dezembro de 2017, ocorreu mais um leilão com a contratação da energia de 800 MWp de potência instalada (EPE, 2017b). No mesmo ano de 2017 ocorreu a rescisão de contrato de compra de energia de empreendimentos totalizando 250 MWp, do LER 2014 (CCEE, 2017).

Os referidos leilões de energia previam a construção de subestações para escoamento da energia das usinas fotovoltaicas e ocorreram juntamente com os leilões de extensão de linhas de transmissão (MME, 2015).

O elevado número de projetos inscritos demonstra que os Leilões de Energia despertaram grande interesse de investidores em usinas solares fotovoltaicas (USF). A tabela 2.2 mostra o número de projetos cadastrados para participar nos Leilões de Energia.

Tabela 2.2. Número de projetos cadastrados e potência total

Leilão	Projetos	Potência (MWp)
<i>Leilão 2014</i>	400	10.790
<i>1º Leilão 2015</i>	382	12.528
<i>2º Leilão 2015</i>	649	20.953
<i>1º Leilão 2016 (*)</i>	295	9.210
<i>2º Leilão 2016 (*)</i>	419	13.387
<i>Leilão 2017</i>	574	18.352

(*)Leilão não realizado

Fonte: (EPE, 2014b), (ANEEL, 2015a), (ANEEL, 2015b), (ANEEL, 2018b)

A matriz elétrica brasileira deverá considerar a inserção da energia solar fotovoltaica nas modalidades de micro e mini geração para fornecimento local a consumidores e também conectadas à rede elétrica de distribuição. A micro e mini geração apresentam a vantagem de produção próxima aos centros de consumo, aliviando a carga dos sistemas de distribuição e transmissão, reduzindo, adicionalmente, perdas elétricas. Referidos sistemas podem ser projetados para auxiliar em horário de ponta de demanda de energia elétrica da concessionária.

A implementação de sistemas fotovoltaicos ocorre através de investimentos de grande porte por *holdings* em usinas fotovoltaicas, mas também através de pequenos e médios investimentos em geração distribuída.

2.2.1 Implantação das usinas fotovoltaicas centralizadas

Os LER 2014–2015 contrataram energia de 94 empreendimentos de Usinas fotovoltaicas em cidades de dez estados brasileiros. Cerca de metade destes empreendimentos encontra-se nos estados de Minas Gerais e Bahia (CCEE, 2014), (CCEE, 2015a), (CCEE, 2015b). O LER de 2017 contratou a energia de mais 20 empreendimentos de usinas centralizadas FV (EPE, 2017b).

A tabela 2.3²⁶ apresenta o número de empreendimentos para a contratação de energia daquelas usinas fotovoltaicas nos estados brasileiros.

Tabela 2.3 Contratações dos leilões de energia – Capacidade das USF instaladas por estados brasileiros (MW c.a.).

Estado	LER 2014		1º LER 2015		2º LER 2015		Leilão 2017	
	Número	Potência MWa.c.	Número	Potência MWa.c.	Número	Potência MWa.c.	Número	Potência MWa.c.
<i>Bahia</i>	14	399,7	12	324,8	6	169,3	4	112
<i>Ceará</i>	2	60	0	0	4	120	0	0
<i>Minas Gerais</i>	3	90	5	150	9	270	0	0
<i>Paraíba</i>	1	30	3	84	1	30	0	0
<i>Piauí</i>	0	0	9	270	0	0	8	240
<i>Rio Grande do Norte</i>	1	30	0	0	5	140	0	0
<i>São Paulo</i>	9	270	0	0	1	5	3	75
<i>Tocantins</i>	0	0	1	5	3	90	0	0
<i>Pernambuco</i>	0	0	0	0	4	105	5	147
<i>Goiás</i>	1	10	0	0	0	0	0	0
	31	889,7	30	833,8	33	929,3	20	574

Fonte: (CCEE, 2014), (CCEE, 2015a), (CCEE, 2015b), (EPE, 2017b)

A energia contratada nos Leilões de Energia provém de empreendimentos que compreendem diversas usinas fotovoltaicas de 30MW de potência instalada, em sua maioria. A escolha de implantação de usinas com potência instalada de 30 MW é motivada pelos incentivos da TUSD e TUST. As USF contratadas preveem o fator de capacidade de aproximadamente 18% e 27%, respectivamente, para sistemas fixos e sistemas com seguidores solares. Dos 94 empreendimentos de usinas solares, contratados no LER 2014 – 2015, 61 contam com sistemas seguidores solares.

²⁶ Esta tabela não considera o distrato de empreendimentos referentes ao LER de 2014.

Os empreendimentos vencedores dos Leilões de Energia estão localizados em locais com alta irradiação solar, terrenos com boa topografia e com acesso previsto a linhas de transmissão de energia elétrica, ou ainda com acesso a subestações de energia em construção. Tais locais são garantidos por contratos de aluguel de longa duração ou pela aquisição dos terrenos.

A contratação da energia das usinas fotovoltaicas está vinculada à licença ambiental. Os impactos ambientais dos sistemas de geração fotovoltaica são decorrentes da fabricação das células solares, não produzidas no país até o momento, e ocorrem também durante a instalação das usinas fotovoltaicas, praticamente cessando após esta etapa. A maioria dos impactos negativos da fase de implantação do empreendimento tem efeito temporário e os impactos positivos ocorrem durante toda sua vida útil (BARBOSA FILHO et al., 2015).

Segundo Dantas²⁷ (2016), as usinas solares localizadas em regiões do semiárido nordestino, tal como a região do extremo norte de Minas Gerais e sul da Bahia, trazem boas oportunidades para o desenvolvimento local. Aquelas regiões possuem solo de caatinga, com baixa fertilidade agrícola e de difícil manejo.

Para sua implementação, as usinas fotovoltaicas de grande porte contratadas, contam com a participação de bancos de financiamento, com investidores e com empresas de engenharia da modalidade *EPC-Engineering, Procurement and Construction Contracts*, conhecidas no Brasil como *EPCistas*. Em sua atuação com usinas solares fotovoltaicas, as *EPCistas* se tornam as responsáveis pela implantação das usinas e pela garantia da geração da energia contratada durante a vida útil. A *EPCista*, após fiscalização de cada etapa da construção da obra, recebe os fundos captados pelos investidores.

A implantação de usinas fotovoltaicas de grande porte segue as seguintes etapas: (1) desmatamento e, em alguns casos, terraplenagem (2) montagem do canteiro de obras e armazenamento dos módulos fotovoltaicos e condicionadores de potência; (3) logística dos materiais para chegar ao local e para montagem da usina; (4) construção de vias internas para circulação de veículos e pessoal; (5) obras civis para instalação de sistema de drenagem e enterramento de eletrodutos e montagem das estruturas (6) fixação das estacas e suportes; (7) fixação dos módulos fotovoltaicos nas estruturas; (8) interligação dos módulos fotovoltaicos;

²⁷ Informação fornecida por Davidson Barbosa Dantas – diretor de Captação, qualificação e Inclusão social – Governo do Estado de MG, durante palestra EXPOSOLAR, São Paulo, 2016.

(9) conexões elétricas dos arranjos fotovoltaicos, das caixas de conexão e dos inversores; (10) interligação da usina fotovoltaica com o sistema de transmissão ou com a subestação de energia; (11) Instalação de sistemas de aquisição e supervisão de dados; (12) comissionamento e (13) descarte dos materiais, de acordo com políticas ambientais. Ao longo das etapas, que ocorrem de forma simultânea e não necessariamente nesta ordem, observam-se diferentes equipes de trabalho com seus profissionais qualificados, com distintos conhecimentos e habilidades. Na maioria dos casos, diferentes empresas terceirizadas são contratadas para a execução de cada uma das etapas.

A experiência da *EPCista*²⁸ responsável pela primeira usina de grande porte nacional, de 11 MW, instalada em Tacaratú no sertão de Pernambuco, é relatada em “*Desafios de uma empresa executora de geração fotovoltaica centralizada no Brasil, lições apreendidas*”. Segundo Tiedje (2016)²⁹, esta usina foi implementada em 2015, num período de 8 meses, em uma área de 15 alqueires. Os desafios e imprevistos apresentados foram; (1) o da localização do empreendimento, que é distante do ponto de chegada dos módulos fotovoltaicos e condicionadores de potência, provenientes do porto de Recife/Pernambuco, (2) dificuldades na transmissão dos conhecimentos entre engenheiros brasileiros e estrangeiros, além do desconhecimento destes últimos sobre os hábitos de trabalho dos operários locais e (3) o compromisso de envolvimento laboral das populações afetadas pela obra.

Como ilustração, algumas ocorrências foram relatadas; (1) a alteração do percurso do porto à obra, distante 513 quilômetros de Recife, para evitar a passagem por uma reserva indígena, o que, devido à precária condição do acesso, resultou em atraso na chegada dos materiais, (2) limitação das áreas de armazenamento para acondicionar o grande volume de materiais, (3) o descarregamento manual do material, que acarretou mais atrasos no cronograma de implantação, (4) a necessidade de muita água para melhorar as condições do leito carroçável, dada a característica arenosa do solo no sertão, que dificultava o transporte (5) a expectativa não fundamentada dos trabalhadores locais, que consideravam uma obra sem data para finalização, (6) grande volume de material de descarte, que em atendimento às políticas ambientais, não poderia ser aproveitado pela comunidade local, que tinha grande interesse em aproveitar madeiras e papelões de descarte.

²⁸ Quantum Engenharia - Florianópolis/ SC, 2016.

²⁹ Informação fornecida durante no Congresso InterSolar Sul América, São Paulo, 2016.

Os grupos investidores dos LER 2014-2015 têm acordado com a CCEE/ANEEL que as usinas solares fotovoltaicas outorgadas iniciem o fornecimento da energia contratada ao Sistema Interligado Nacional (SIN) entre agosto de 2017 até 2019. O leilão de energia de 2017, obriga os investidores a fornecer energia a partir de julho de 2021.

O Relatório de Acompanhamento da Implementação de Empreendimentos de Geração, cenário para 2017, (ANEEL, 2017b) descreve a situação da implementação das usinas que estão em andamento, que estão com obras não iniciadas ou paralisadas. A publicação, de abril de 2017, tem como referência os dados do início do ano. Com relação às usinas fotovoltaicas, se constatava³⁰ que:

- ✓ 750 usinas, de diferentes tipos, estavam em processo de implementação. Do total, 111 são usinas fotovoltaicas, totalizando aproximadamente 3 GW de capacidade de potência instalada, que representavam 8,7% da capacidade total em implementação;
- ✓ As 111 usinas fotovoltaicas tinham previsão para entrar em funcionamento entre 2017 e 2019. Muitas estavam em andamento ou em fase de início de obra.
- ✓ Havia previsão de entrada em operação comercial, de acordo com o compromisso de suprimento, os empreendimentos Complexo Solar - Ituverava e Bom Jesus da Lapa; Fato ocorrido até o final de 2017.

A *EPCista* responsável pelo Complexo Ituverava relata em sua experiência de instalar cerca de 20 mil módulos fotovoltaicos, a necessidade de desmatar parte da caatinga, a construção de 27 quilômetros de vias internas e de 20 quilômetros de drenos, a implantação de mais de 10 mil quilômetros de cabos elétricos. Adicionalmente, há a descrição da construção de estrutura temporária para apoio aos trabalhadores, como alojamento, cozinha e refeitório para servir refeições para 900 pessoas, ambulatório e da implantação de rede de dados (SOARES, 2016)³¹.

O órgão fiscalizador da ANEEL, responsável pelo acompanhamento da implementação das usinas fotovoltaicas contratadas nos LER, além de usinas implantadas

³⁰ Cabe ressaltar que os números apresentados naquele relatório contabilizam apenas as usinas com outorgas válidas. Não estão contabilizados empreendimentos que comercializaram energia em leilão e que ainda não tinham outorga de concessão ou autorização do Poder Concedente.

³¹ Informado por SOARES, E. no Congresso Intersolar 2016. *Fiel experience Centralized Power Plants* : projeto Ituverava e Horizonte. São Paulo: 2016

independentemente dos LER, publica, em janeiro de 2018, a situação de previsão das usinas para entrar em operação. A tabela 2.4 mostra o *status* da implementação das USF, prevista até 2021.

Tabela 2.4 - Implementação das USF contratadas nos leilões e empreendimentos independentes

Situação	Potência MW					Sem previsão
	2017	2018	2019	2020	2021	
<i>Sem restrições</i>	---	781	---	---	---	
<i>Com restrições</i>	---	231	356	48	200	
<i>Graves restrições</i>	---	---	---		---	190
<i>Capacidade total</i>	925	1012	356	48	200	190

Fonte: (ANEEL, 2018c)

Em 2017 a ANEEL outorgou a implantação de cerca de 240 MW de usinas fotovoltaicas independentes de benefícios dados pelos leilões de energia (ANEEL, 2018c).

2.2.2 Implantação de sistemas de mini e micro geração fotovoltaica conectados à rede

Seguindo a tendência mundial do mercado fotovoltaico, o mercado nacional deve estar preparado para a implementação de sistemas para mini e micro geração distribuída conectadas à rede de distribuição.

Algumas regiões brasileiras já alcançaram a paridade tarifária entre o custo da energia de micro e mini geração fotovoltaica e a tarifa de energia elétrica praticada pelas concessionárias de energia (NAKABAYASHI, 2014). A paridade de custos, a boa incidência solar, as regulações tributárias e legais adequadas conduziram a boa condição para o desenvolvimento do mercado da mini e micro geração de origem solar fotovoltaica.

A distribuição do número de unidades consumidoras com sistemas FV conectadas à rede, com sistemas fotovoltaicos, no final de 2017, ocorria nas classes residencial e comercial com cerca de 75% e 15%, respectivamente. A classe industrial, rural, serviços públicos, iluminação pública e poder público representavam cerca de 10% das conexões apenas (ANEEL, 2018d).

A geração distribuída de origem fotovoltaica corresponde, ao final de 2017, a cerca de 75% do número de conexões à rede. O número das referidas conexões aumentou em 260% em relação ao de 2016. A Figura 2.2 mostra a tendência deste crescimento.

Figura 2.2 Sistemas de mini e micro geradores FV conectados à rede.

Fonte: Adaptado (ANEEL, 2018b)

A Figura 2.3 apresenta o acumulado da potência instalada em MW de sistemas de mini e micro geração FV conectados à rede de distribuição.

Figura 2.3 Potência acumulada de mini e micro geração FV conectados à rede

Fonte: Adaptado (ANEEL, 2018b)

Dos sistemas distribuídos fotovoltaicos conectados, 73% tem potência menor ou igual a 5 kWp (IDEAL, 2017), conforme ilustra a Figura 2.4.

Figura 2.4 Faixas de potência instalada na geração FV distribuída

Fonte: (IDEAL, 2017)

O estudo de Konzen (2014) apresenta a projeção, para 2023, da capacidade fotovoltaica instalada em residências no Brasil com incentivos financeiros ao produtor-consumidor. O estudo considera consumidores com renda superior a cinco salários mínimos e consumo de energia superior a 500 kWh/mês. Os incentivos considerados são: desconto no Imposto de Renda, isenção fiscal da venda dos módulos (PIS e COFINS), exoneração de tributos na compensação (ICMS) e virtual (permitindo compensação virtual) da energia produzida. A projeção da capacidade fotovoltaica instalada até 2023 é de aproximadamente 3 GW_p. Alguns dos incentivos considerados ocorreram e estão apresentados no item 2.1.1 Estímulos de ordem legislativa e tributária à disseminação (KONZEN, 2014).

O estudo da Demanda de Energia para 2050 trabalha com a perspectiva de redução de custo dos sistemas fotovoltaicos, com uma maior facilidade de financiamento, e o surgimento de diferentes modelos de negócios propiciados pela atualização da Resolução nº 687 de 2015 da mini e micro geração (ANEEL, 2015c). A metodologia daquele estudo utiliza dois cenários, "Referência" e "Novas Políticas". O cenário "Referência" considera a manutenção da situação atual e o cenário "Novas Políticas" considera melhor acesso ao financiamento, a

inclusão de programa de disseminação de informação e que os sistemas fotovoltaicos sejam integrados nas edificações a serem construídas. A tabela 2.4 apresenta as Projeções da Potência Instalada Fotovoltaica Distribuída até 2050. Estima-se que em 2050, a geração distribuída fotovoltaica atinja uma capacidade instalada de aproximadamente 78 GW_p e 118 GW_p, respectivamente nos cenários de “Referência” e de “Novas Políticas”.

Tabela 2.5. Projeção da potência instalada da geração fotovoltaica distribuída

Cenários	“Referência”				“Novas Políticas”			
	2020	2030	2040	2050	2020	2030	2040	2050
<i>Potência Instalada (GW_p)</i>	0,5	10	50	78	1	20	82	118
<i>Energia Gerada (MWh_{med})</i>	78	1.523	7.466	11.797	153	3.001	12.511	18.029
<i>% da Carga total (SIN)</i>	0,10%	1,3%	4,7%	5,7%	0,2%	2,6%	7,9%	8,7%

Fonte: (EPE, 2016b)

O Plano Decenal de Expansão de Energia para 2026 prevê que mais de 770 mil consumidores estarão produzindo sua própria energia elétrica, o que corresponde a uma potência instalada de 3,3 GW (MME, 2017b).

3. FORÇA DE TRABALHO EM ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

O Brasil segue a tendência mundial em expandir a mini e micro geração fotovoltaica e as usinas centralizadas. A expansão do mercado fotovoltaico é uma oportunidade na geração de empregos com profissionais capacitados e habilitados.

Em menor quantidade, mas não menos importante, existe a necessidade do aumento da força de trabalho para implantar os sistemas autônomos fotovoltaicos e as mini redes na eletrificação rural. O governo brasileiro tem o desafio, através do Decreto Federal Nº 4.873/2003-Programa Luz para Todos, no atendimento em energia elétrica à parcela da população do meio rural brasileiro que ainda não possui acesso a esse serviço público. Esta lei existe desde 2003. Outro importante uso destes sistemas está no bombeamento e irrigação de água. Estes sistemas são soluções viáveis técnica e econômica em locais em que o fornecimento da energia elétrica não é viável, através de redes de distribuição.

Os postos de trabalho ligados à área fotovoltaica estão em: pesquisa e desenvolvimento, atividade industrial de produção de componentes, concepção de sistemas, serviços de instalação e manutenção e no ensino especializado (IEA, 2014). São necessários profissionais qualificados de diferentes áreas, físicos, químicos, engenheiros, técnicos, instaladores, montadores, tecnólogos, arquitetos, *designers*, profissionais de mídia, economistas e gestores.

3.1. MERCADO FOTOVOLTAICO E NÚMERO DE POSTOS DE TRABALHO

O número de postos de trabalho no mercado fotovoltaico é dependente dos investimentos na potência instalada de sistemas. Após um período de crescimento de mercado local ocorrendo a estabilização do mesmo, podendo ocorrer diminuição de postos de trabalho (FERROUKHI, 2017).

Exemplificando o acima exposto, a Espanha ocupou em 2007 o primeiro lugar da lista “*top ten*” em investimentos em renováveis e em 2012 os investimentos caíram em 72%. Acompanhando os investimentos, em 2008 o setor registrou 136 mil empregos e em 2013 registrou 93 mil empregos. Esta evolução ocorreu devido a diminuição de investimentos e também a diminuição da demanda e produto interno bruto (MARGARIT, 2015).

O censo nacional norte-americano de empregos no setor fotovoltaico de 2016 (TSF, 2017) constata que a indústria solar supera a maioria dos outros setores da economia, com um aumento doze vezes mais rápido que os demais. Naquele ano o aumento da potência instalada foi de aproximadamente 20%, enquanto o de postos de trabalho foi de 25%. O crescimento da capacidade instalada e o número de postos de trabalho americano, entre os anos 2010 e 2017, é mostrado na Figura 3.1.

Figura 3.1 Capacidade instalada e número de postos de trabalho nos EUA, 2010-2017

Fonte: (TSF, 2018)

De acordo com *The Solar Foundation*³² (TSF) (LUEKE; JORDAN, 2016) nos Estados Unidos, cerca de 60% dos postos de trabalho estão no segmento de mercado residencial, 15% estão em comercial e 22% estão nas usinas de grande porte.

Pesquisa elaborada pela TSF (LUEKE, 2017), mostra a importância da divulgação dos postos de trabalho na área da energia solar. Os empresários do ramo fotovoltaico devem interagir com as escolas de nível médio, universidades e faculdades para divulgar as

³² TSF é uma organização americana, sem fins lucrativos, não partidária, dedicada a promover o uso de tecnologias solares e compatíveis com o sistema solar em todo o mundo.

oportunidades de emprego e carreira. Não menos importante é necessária a divulgação dos postos de instalador e montador para estes sistemas, já que é de conhecimento da sociedade a existência de postos de trabalho na construção civil para encanador, azulejista, eletricista e apenas recentemente para instalador fotovoltaico.

Atrelado ao crescimento do mercado fotovoltaico surge a oportunidade de pequenas empresas atuarem na instalação elétrica de sistemas fotovoltaicos em baixa tensão. Estas devem ter a capacidade de dimensionar, comercializar, instalar e prover manutenção dos sistemas. Os micros empreendedores devem, também, atuar nos trâmites necessários para acesso à rede de distribuição de energia.

A micro empresa deve ter profissionais com conhecimentos abrangentes para que as instalações da geração distribuída fotovoltaica atendam as normas e regulamentações das técnicas específicas, de segurança, de trabalho e de recomendações ambientais, de forma a garantir a segurança e a qualidade das instalações fotovoltaicas.

Segundo pesquisa realizada, no ano de 2016, em 373 micro empresas instaladoras do “Mercado de geração distribuída fotovoltaica” (IDEAL, 2017), aproximadamente 61% delas ou não haviam completado ao menos uma instalação em conformidade com a Resolução Nº 687/2015 da ANEEL ou realizaram no máximo duas instalações. O resultado daquela pesquisa aponta a pouca experiência das empresas do setor de geração distribuída fotovoltaica.

3.2 APRENDIZAGEM INDEPENDENTE E QUALIDADE DAS INSTALAÇÕES FOTOVOLTAICAS

Dado o crescimento do número de instalações surgem no mercado solar fotovoltaico alguns profissionais sem capacitação específica e não habilitados. Muitos destes provenientes de “aprendizagem independente”. Com vários profissionais provenientes da “aprendizagem independente” para a implementação de sistemas fotovoltaicos, há que se atentar quanto a qualidade e a segurança das instalações de sistemas fotovoltaicos.

As instalações de sistemas de energia fotovoltaica exigem conhecimentos e habilidades dos profissionais em implantar sistemas seguros em conformidade com as peculiaridades da geração c.c e seu sistema de condicionamento. Tais sistemas podem estar conectados à rede de distribuição e integrados às edificações.

As técnicas para a implantação dos sistemas fotovoltaicos estão sob o regime obrigatório de preparo e observância das normas técnicas brasileiras e, ou, das normas IECs quanto a materiais, instalações e serviços. Os profissionais que atuam diretamente com a energia elétrica devem ser qualificados, habilitados, capacitados ou autorizados, de forma a garantir a segurança e a saúde dos trabalhadores que, direta ou indiretamente, interajam com instalações elétricas e serviços com eletricidade (MTE, 2004). Pelas características dos sistemas, os profissionais que atuam com instalação de mini e micro geração devem conhecer os procedimentos para trabalhar em altura (MTE, 2003).

Durante o crescimento econômico experimentado pelo país entre 2009 e 2013, uma das questões apontadas no relatório “Responsabilidade com o Investimento: o problema da imprevisibilidade nas obras” foi a insuficiência da agregação de profissionais no ritmo necessário. O sistema educacional não acompanhou o crescimento da demanda (FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2014).

O ensino nos cursos da área técnica de eletricidade utiliza, entre vários outros conhecimentos os conceitos físicos dos sistemas e, como referência didática, as normas técnicas de equipamentos, instalações e as regulações do sistema elétrico. A aprendizagem depende fortemente dos conhecimentos das características padronizadas necessárias aos equipamentos e à instalação dos sistemas. As boas práticas destas instalações se aperfeiçoam com treinamento dirigido e sistemático.

O aumento do número de sistemas fotovoltaicos instalados no Brasil indica haver grande número de profissionais atuando no país. Uma das primeiras iniciativas observadas, para garantir segurança de usuários e a qualidade das instalações, está na verificação do conhecimento do “Montador em Sistemas Fotovoltaicos” realizado pelo “Sistema SENAI de Certificação de Pessoas–SSCP³³ (SENAI, 2018a). Ao final de 2017, o registro destes profissionais é voluntária.

De acordo com pesquisa elaborada pela TSF, em países da América do Norte junto a instaladores, a certificação é considerada importante para a contratação de candidatos sem experiência. Uma vez adquirida experiência no setor, 49% dos entrevistados não consideram essencial a certificação (LUEKE, 2017).

³³ Laboratório acreditado pelo INMETRO (SENAI, 2018b).

Outra forma para garantir a segurança de usuários e a qualidade das instalações de sistemas fotovoltaicos é proceder com inspeção e avaliação das instalações dos sistemas fotovoltaicos. Investidores e instaladores devem atender a norma de procedimentos para ensaios de comissionamento, inspeção e avaliação de desempenho dos sistemas fotovoltaicos ao longo da vida útil, a NBR 16.274/2014³⁴. Este procedimento deve ocorrer em todas as instalações de sistemas fotovoltaicos.

As instalações elétricas são sujeitas a avaliações e perícias de engenharia. Por exemplo, na construção civil é norma a inspeção predial, que contempla os sistemas, os elementos e os equipamentos existentes em uma edificação. Tal inspeção, de caráter visual, não emprega ensaios tecnológicos, considera a vistoria em sistemas de instalações elétricas, geradores a diesel, ascensores, sistema de proteção de descarga atmosférica, sistemas de cobertura (telhados), entre outros. Para garantir a segurança, as avaliações e perícias de engenharia devem incluir as instalações de sistemas de geração fotovoltaica.

A existência de instalações de mini e micro geração fotovoltaica sobre telhados de edificações pode aumentar o nível preexistente de risco de incêndio. Em muitos países, como por exemplo a Itália, referidas instalações requerem a avaliação do corpo de bombeiros, de acordo com Decreto Lei Presidencial Italiano nº 151/2011 (CONCELLIERE; CASTELLO, 2015).

3.3 IMPACTO ECONÔMICO DA FORÇA DE TRABALHO NO CUSTO DOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

O custo da força de trabalho utilizado na cadeia da energia solar fotovoltaica aparece de forma pulverizada nos postos de trabalho. Estudo elaborado pelo *National Renewable Energy Laboratory* (NREL), em 2015, separa a distribuição dos custos das instalações de sistemas fotovoltaicos: (1) nos equipamentos, (2) no trabalho de instalação e (3) em outros custos. Os custos de equipamento incluem módulos, inversores e todos os outros componentes elétricos e mecânicos do sistema (OCS). O custo no trabalho de instalação quantifica a mão de obra e os outros custos quantificam o trabalho dos *EPCistas* e custos indiretos, como taxas e margem de lucro.

³⁴ A NBR 16.274/2014 é aplicada a sistemas conectados à rede sem sistemas de armazenamento ou híbridos.

A Figura 3.2 apresenta a distribuição dos custos médios de instalação de geração fotovoltaica em escala residencial, comercial e de maior porte nos Estados Unidos da América, no ano de 2015.

Figura 3.2 – Custos médios de instalação de geração fotovoltaica no mercado norte-americano

Fonte: (CHUNG, 2015)

As grandes usinas solares, de acordo com estudo realizado pela TSF, quando comparadas a sistemas de micro e mini geração, proporcionam menor número de postos de trabalho direto, quando normalizado pela potência instalada. Pelas próprias características, os sistemas de micro e mini geração implicam em maior número de postos de trabalho direto com a instalação de sistemas sobre telhados ou integrados a edificações e conectados à rede de distribuição (LUEKE; JORDAN, 2016).

O custo médio da instalação de um sistema fotovoltaico na escala residencial, tem como resultado a soma de projetista e instaladores a parcela de 16% do total, de acordo com pesquisa realizada pelo Instituto Ideal (2016). A Figura 3.3(a) apresenta a distribuição dos custos de instalação de mini e micro geração fotovoltaica residencial nacional e a 3.3(b) a residencial dos Estados Unidos.

Figura 3.3a Distribuição dos custos de instalação residencial no Brasil

Fonte: Adaptado de (IDEAL, 2017)

Figura 3.3b Distribuição de custos de instalação residencial nos EUA.

Fonte: (CHUNG, 2015)

3.3.1 O impacto econômico da disponibilidade de profissionais qualificados

Estudo realizado pela TSF, nos Estados Unidos da América, mostra que para a atuação em usinas centralizadas e geração distribuída fotovoltaica, o maior contingente de postos de trabalho está na instalação dos sistemas, representando 52,7% dos trabalhadores na área fotovoltaica em 2016. O instalador representa o eletricitista e o montador. A Tabela 3.1 mostra a distribuição dos postos de trabalho por setor de operação.

Tabela 3.1 Postos de trabalho solar FV por setor nos Estados Unidos

Setor	Postos de trabalho	
	2016	% total
<i>Instalação</i>	137.133	52,7%
<i>Fabricação</i>	38.121	14,6%
<i>Vendas e distribuição</i>	32.147	12,4%
<i>Desenvolvimento de projetos</i>	34.400	13,2%
<i>Outros</i>	18.274	7,1%
Total	260.077	100%

Fonte: (TSF, 2017)

Na pesquisa *The Big Solar Workforce Gap*, realizada pela TSF, nos EUA dois terços dos empregadores relatam que perdem oportunidades em empreender por dificuldade de contratação de profissionais qualificados. O maior impacto está na falta de profissionais para a instalação dos sistemas fotovoltaicos. Esta pesquisa, ainda constata queda da produção de energia do sistema devido a erros de conceito nos projetos e deficiência de qualidade de equipamentos e instalações (LUEKE, 2017). Em 2018, o TSF aponta no censo de 2017, de empregos no setor fotovoltaico, grande falta de profissionais para o setor de vendas (TSF, 2018).

3.3.2 Postos de trabalho de instalador e treinamento inicial

Nos Estados Unidos, o grande gargalo para a implantação das instalações fotovoltaicas está nos postos de trabalho do nível instalador de sistemas fotovoltaicos. A insuficiência aponta profissionais sem experiência prática, com pouco treinamento de segurança, com habilidade e conhecimento insuficientes para instalações elétricas e instalações fotovoltaicas.

O resultado da pesquisa do TSF mostra que 34% dos empregadores fornecem treinamento formal no local de trabalho. As empresas que mais investem em treinamento têm menor custo de mão de obra por kW instalado. A Figura 3.4 mostra a relação entre o custo médio da mão de obra por kW instalado e a média do custo no investimento em treinamento logo após contratação do trabalhador.

Figura 3.4 Investimento em treinamento e custo de mão de obra por kW instalado.

Fonte: (LUEKE, 2017)

4. ESTUDO DE CASO: A FORMAÇÃO DE PROFISSIONAIS EM ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA PELA REDE FEDERAL DE EDUCAÇÃO

As instituições de ensino da Rede Federal de Educação têm como missão qualificar profissionais para os diversos setores da economia brasileira, realizar pesquisa e desenvolver novos processos, produtos e serviços em colaboração com o setor produtivo (MEC, 2018). As instituições oferecem cursos para o processo ensino-aprendizagem na área das ciências exatas, humanas e biológicas, procurando atender as peculiaridades da região e a oferta de empregos.

Com investimento médio de US\$ 8 bilhões ao ano, entre 2006 e 2016, destinado à cadeia da energia renovável e eficiência energética, o sistema educacional se prepara em atender a demanda de ampliação de emprego e renda. As instituições da Rede Federal podem e devem atualizar ou reformular cursos já sistematizadas pela Rede de Ensino do MEC ou podem disponibilizar novos cursos para a formação de profissionais capacitados.

Este capítulo aponta dois caminhos que a Rede Federal de Educação dispõe para a formação de profissionais em energia solar FV. Um dos caminhos é disponibilizar o dos cursos em energia solar FV no nível básico, no pós-técnico e na pós-graduação. Enquanto a outra opção é pulverizar os conhecimentos das especificidades da energia solar FV e suas instalações nos cursos sistematizados, como o de nível técnico (em eletricidade) e o de nível de tecnologia e engenharia.

Não importa o caminho escolhido pela instituição de ensino, condições são necessárias para criar ou modificar um curso dentro da área técnica. Estas condições são: cenário de ampliação de oferta de empregos, existência de matriz curricular de curso sistematizado, docentes preparados com os novos conhecimentos e infraestrutura laboratorial.

Este capítulo é complementado pelos Apêndices A e B que auxiliam no processo ensino-aprendizagem do curso técnico da área da eletricidade. Apêndice A trata do planejamento básico do projeto de um sistema fotovoltaico e o Apêndice B apresenta o resumo da norma técnica de instalações elétricas de baixa tensão para arranjos fotovoltaicos Norma da ABNT em elaboração pelas comissões de estudos de eletricidade e de sistemas de conversão FV de energia solar (CE – 003:064.001/CE-03:082.01), até a entrega desta tese.

4.1 EDUCAÇÃO PROFISSIONAL - REDE FEDERAL DE EDUCAÇÃO

A Rede Federal de Educação tem seu início em 1909, quando o Presidente da República, Nilo Peçanha, criou 19 escolas de Aprendizes e Artífices. O IFSP – Campus São Paulo tem origem em uma delas. A partir da década de 1980, inicia-se a expansão da oferta da educação profissional. As escolas de aprendizes e artífices foram se transformando em escolas técnicas profissionalizantes para a área da indústria. A partir de 2008, diversas instituições federais passam a oferecer ensino superior, além dos existentes cursos de qualificação profissional e cursos técnicos. Referidos cursos são de graduação em tecnologia, de engenharia, abrangendo bacharelado e licenciatura, com programas de mestrado e doutorado. Em 2017 a Rede Federal de Educação Profissional contava com cerca de 650 campi em funcionamento, em 568 municípios nos estados brasileiros e Distrito Federal (MEC, 2018).

4.2 COMITÊ TEMÁTICO: GT – SOLAR FV

Com necessidade de criar condições políticas, econômicas, e, principalmente, pedagógicas para a formação de profissionais para o crescente mercado de renováveis, a SETEC/MEC criou, em agosto de 2015, o Comitê Temático de Formação Profissional e Tecnológica em Energias Renováveis e Eficiência Energética com cooperação da GIZ (MEC, 2017). O Comitê Temático foi constituído com quatro grupos de trabalho: Energia Solar Fotovoltaica, Energia Eólica, Aproveitamento energético de Biogás e Eficiência Energética em Edificações e Industrial. Os grupos têm como objetivos a estruturação de cursos formativos voltados para o ensino de energia renovável e eficiência energética e a preparação de condições para seu funcionamento.

O estudo de caso reporta ao trabalho desenvolvido pelo Grupo de Trabalho Solar FV (GT–Solar FV), formado com docentes da Rede Federal de Educação Profissional, entre os quais a autora desta tese.

O GT-Solar FV elaborou as Matrizes Curriculares para três novos cursos de capacitação para a área fotovoltaica, em diferentes níveis, contendo conhecimentos sobre a

geração fotovoltaica, suas instalações e sua comercialização. As propostas das Matrizes Curriculares dos referidos cursos, que contemplam a ocupação dos postos de trabalho, competência dos profissionais e os projetos curriculares, podem ser encontradas no “Itinerários Formativos em Energias Renováveis e Eficiência Energética” (ENERGIF, 2018a). Estas matrizes curriculares buscam equilibrar os conteúdos teórico e prático.

A segunda ação para dar condições para a implementação dos referidos cursos propostos pelo GT-Solar foi a realização de atividade de capacitação para cerca de 40 docentes da Rede Federal de Ensino. Referida atividade foi conduzida pela equipe do FOTOVOLTAICA/UFSC e ocorreu entre 2016 e 2017, por três edições. As atividades de capacitação de docentes se estendem além da primeira turma, que a partir de 2017 estes passaram a ser multiplicadores dos conhecimentos dos sistemas FV.

A terceira ação foi direcionada a montagem da infraestrutura laboratorial em energia solar fotovoltaica. O GT-Solar elaborou uma relação mínima de módulos FV, inversores c.c./c.a., materiais eletromecânicos, componentes eletroeletrônicos e instrumentos de medições para os três níveis de cursos. Esta relação de materiais pode ser encontrada no documento “Itinerários Formativos em Energias Renováveis e Eficiência Energética”. Os materiais e instrumentos devem ser obtidos pelas instituições por edital, ou por leilão de compras, segundo procedimentos de compras do setor público, que dependem de recursos públicos da área da educação e/ou de parceria com empresas privadas.

A chamada pública “Eficiência Energética e Mini Geração em Instituições Públicas de Educação Superior” da ANEEL (ANEEL N°1/2016) viabilizou a aquisição (parcial) da estrutura laboratorial em energia solar fotovoltaica em algumas das unidades da Rede Federal. Nem todas as instituições participaram daquela chamada devido a inexperiência dos responsáveis nas instituições e da complexidade da proposta. Das instituições que participaram, nem todas tiveram projeto aprovado.

A Chamada pública ANEEL N°1/2016 aprovou quatro projetos em instituições da Rede Federal. Dois projetos no IFSP, dos campi de São Paulo e de Boituva, um projeto no IFMG-Sul no campus de Poços de Caldas e um projeto no Instituto Federal de Goiás, nos seus *campi* de Anápolis, Aparecida de Goiânia, Formosa, Inhumas, Itumbiara, Jataí, Luziânia, Valparaíso, Uruaçu e Senador Canedo (ANEEL, 2017c).

Outras chamadas públicas, da ANEEL e de concessionárias de distribuição de energia do Estado de São Paulo ocorreram contemplando projetos de eficiência energética. Referidos

projetos, que ocorreram em 2016 e 2017, incluem micro usinas fotovoltaicas nas instituições de ensino, não contemplando a implementação de estrutura laboratorial. Campi da Rede Federal de Ensino das cidades de Presidente Epitácio, de Registro e de Votuporanga tiveram projetos aprovados nessas chamadas.

Os primeiros cursos para Instaladores de Sistemas Fotovoltaicos pela Rede Federal de Educação foram iniciados em março de 2018, simultaneamente, nos Campus Boituva, Jaguari e Ribeirão da Neves respectivamente nos estados de São Paulo, Rio Grande do Sul e Minas Gerais (ENERGIF, 2018b). A decisão de iniciar a formação pelo Curso de Instalador deve-se à maior urgência na formação destes profissionais. Os profissionais de instalações correspondem a cerca de 50% dos postos de trabalho nas atividades fotovoltaicas (TSF, 2017). Os demais cursos serão implantados gradativamente, dependendo da capacidade de docentes com conhecimentos específicos dos sistemas fotovoltaicos e da infraestrutura de cada Instituição.

No final de 2016, o Instituto Federal de São Paulo criou um Grupo de trabalho que reúne docentes dos institutos do Estado de São Paulo para dar continuidade aos trabalhos iniciados no Comitê Temático do SETEC/MEC, descrito na introdução deste capítulo.

4.3 OS CURSOS DE FORMAÇÃO EM SISTEMAS FOTOVOLTAICOS: PADRÃO GT-SOLAR FV

Os cursos de capacitação em geração fotovoltaica e sua instalação foram criados para atender a demanda de profissionais necessários ao mercado solar FV em conformidade com a regulamentação de Conselhos Profissionais. A harmonia entre o sistema educacional e a regulamentação da profissão resulta em segurança para tomadores de serviços e ocupantes de postos de trabalho.

O Ministério da Educação e Cultura (MEC) estabelece os eixos tecnológicos de conhecimento, o Conselho Nacional e Regional de Engenharia e Agronomia (CONFEA/CREA) regulamenta e fiscaliza o exercício profissional³⁵ e o Ministério do Trabalho e Emprego (MTE) define a Classificação Brasileira de Ocupação (CBO) do profissional.

³⁵de técnicos, tecnólogos e engenheiros

Os cursos propostos pelo GT-Solar são: Instalador de Sistemas Fotovoltaicos (nível básico), Especialista Técnico em Energia Solar Fotovoltaica (nível técnico) e Especialista em Sistemas Fotovoltaicos (pós-graduação *latu-sensu*).

4.3.1 Instalador de Sistemas Fotovoltaicos

O curso “Instalador de Sistemas fotovoltaicos” é, essencialmente, uma aprendizagem profissional, que surge da necessidade do mercado de trabalho.

O curso tem como requisito de acesso o ensino fundamental completo. Compreende 160 horas de carga horária mínima. O egresso deve ter a competência de instalar e manter sistemas de energia fotovoltaica em conformidade com a legislação vigente.

O curso de instalador pode ser inserido no Programa Nacional de Acesso ao Ensino Técnico e Emprego (PRONATEC) e no Programa de Integração da Educação Profissional de Jovens e Adultos e Formação Inicial e Continuada com ensino fundamental (PROEJA-FIC). O PRONATEC e o FIC são programas da Rede Federal de Educação. Instituições públicas e privadas podem aderir aos referidos Programas.

Os instaladores de sistemas fotovoltaicos trabalham em parceria com os técnicos. Na CBO, os instaladores estão no grande grupo de “Trabalhadores de manutenção e reparação”, que ajustam, montam, instalam, mantêm e reparam aparelhos e equipamentos elétricos e eletrônicos. São os aprendizes profissionais (MTE, 2018).

4.3.2 Especialista Técnico em Energia Solar Fotovoltaica

O curso tem como requisito de acesso o curso técnico em eletrotécnica, eletromecânica, eletroeletrônica, eletromecânica, eletrônica ou áreas afins. Possui 240 horas de carga horária mínima. Os egressos devem ter a competência de dimensionar, supervisionar, especificar, instalar, operar e manter sistemas fotovoltaicos de acordo com as normas técnicas e procedimentos técnicos e regulamentares. Os egressos devem garantir a segurança das instalações com a melhor eficiência do sistema.

O Especialista Técnico em Energia Solar Fotovoltaica, por ter como pré-requisito o curso técnico, permite o registro no sistema CONFEA/CREA, que o torna habilitado para o exercício da profissão.

4.3.3 Especialista em Sistemas Fotovoltaicos (Pós-Graduação *latu-sensu*)

O curso tem como requisito de acesso a participação em um processo seletivo. Compreende 360 horas de carga horária mínima. Os egressos devem ter a competência em projetar, executar, gerenciar e inovar os sistemas FV.

O Especialista em Sistemas Fotovoltaicos, com a formação de nível superior na área da eletricidade pode ser registrado no sistema CONFEA/CREA, que o torna habilitado para exercer a profissão.

4.3.4 Unidades curriculares dos cursos: Padrão GT-Solar FV

Os conhecimentos necessários aos cursos, criados pelo GT–Solar FV de Instaladores, Especialista Técnico e Especialista em sistemas fotovoltaicos, foram agrupados em 13 unidades curriculares, que são apresentadas na tabela 4.1.

Tabela 4.1 Unidades curriculares dos cursos em sistemas fotovoltaicos

Curso	Instalador de sistemas fotovoltaicos	Especialista técnico em energia solar fotovoltaica	Especialista em sistemas fotovoltaicos	
Unidade curricular	1. Eletricidade básica/revisão*: circuitos elétricos aplicados a sistemas fotovoltaicos;			8h*
	2. Fundamentos de energia solar fotovoltaicos;			16h
	3. Tecnologia fotovoltaica: módulos, arranjos e células;			16h
	4. Sistemas FV: isolados, conectados à rede, híbrido, bombeamento de água;			24h
	5. Medidas de segurança do trabalho aplicados ao setor fotovoltaico;			8h
	6. Montagem de sistemas fotovoltaicos;			48h
	7. Dimensionamento e simulação de sistemas fotovoltaicos;			48h
	NÃO APLICÁVEL AO INSTALADOR	8. Consultoria técnica em sistemas fotovoltaicos: Viabilidade, Operação assistida;		24h
		9. Operação e manutenção de sistemas fotovoltaicos;		24h
			10. Gerenciamento de projetos aplicados a sistemas FV;	48h
			11. Análise financeira de sistemas FV;	24h
	NÃO APLICÁVEL A INSTALADOR E AO ESPECIALISTA TÉCNICO		12. Inovação e empreendedorismo no setor FV;	24h
	NÃO APLICÁVEL AO INSTALADOR	13. Projeto final		24h
Carga horária	160h (*40 horas a mais)	240h	360h	

Fonte: ENERGIF, 2018a

4.3.5 Descrições das ementas das unidades curriculares

A descrição das ementas das unidades curriculares dos cursos é apresentada. Os conhecimentos são apresentados no “Itinerários Formativos em Energias Renováveis e Eficiência Energética” (ENERGIF, 2018a).

1. Eletricidade Básica – Revisão de circuitos elétricos

Esta unidade curricular compreende duas versões, uma para o instalador de sistemas fotovoltaicos, destinada a alunos que tenham concluído o ensino fundamental completo e outra versão destinada aos cursos de Especialista-técnico e Especialista em sistemas fotovoltaicos.

A unidade curricular *Eletricidade Básica* aplicada a sistemas fotovoltaicos para o curso de instaladores, com carga horária de 48 horas, aborda os conceitos sobre as principais grandezas elétricas e componentes de circuitos elétricos em c.c. e c.a., aplicadas às instalações elétricas e aos sistemas fotovoltaicos. Referida unidade compreende a simbologia de componentes eletroeletrônicos utilizando diagramas de circuitos elétricos, que devem ser interpretados. São incluídas aulas práticas para aprendizado da utilização de instrumentos de medida e execução de instalações elétricas.

A unidade *Revisão de Fundamentos* contempla tópicos de circuitos elétricos aplicados a sistemas fotovoltaicos, com carga horária de 8 horas. Aborda os conceitos básicos de circuitos elétricos em c.c. e c.a. e revisa as normas técnicas pertinentes do setor elétrico, tais como Instalações Elétricas de Baixa Tensão, Sistema de Proteção de Descarga Elétrica, dentre outras.

2. Fundamentos de energia solar fotovoltaica

Nessa unidade curricular são caracterizadas as grandezas relacionadas com a irradiação solar e sua aplicação na geração de energia fotovoltaica. Os conhecimentos da geometria Sol-Terra são abordados para possibilitar um bom projeto e uso correto de instrumentos, tais como bússola, inclinômetro e sensores solarimétricos para controle do sistema. Aspectos legislativos são apresentados.

Nos cursos para Especialista (pós-técnico e pós-graduação) esta unidade curricular estuda as recomendações das normas relativas à medição de radiação solar pela Organização Meteorológica Mundial, para uma melhor avaliação da produção de energia pelo sistema fotovoltaico.

3. Tecnologia fotovoltaica: Célula, Módulos, Arranjo fotovoltaico

Esta unidade curricular aborda as características das diferentes tecnologias de células e módulos fotovoltaicos em conformidade com normas de gerenciamento da qualidade. Estuda a conversão de energia dos arranjos de módulos fotovoltaicos em série e em paralelo considerando condições ambientais diversas e possíveis sombreamentos.

4. Sistemas fotovoltaicos: isolados, conectados à rede, híbridos, bombeamento de água

Nessa unidade curricular são discutidas a caracterização das diferentes aplicações dos sistemas fotovoltaicos, suas particularidades em funcionamento e seu dimensionamento, normas técnicas e legislação estão apresentadas nesta unidade curricular. A unidade inclui a instalação elétrica de dispositivos de segurança e comando nos quadros dos sistemas.

5. Medidas de Segurança do trabalho aplicada ao setor fotovoltaico

Esta unidade curricular avalia os riscos inerentes à atividade na instalação e manutenção dos sistemas fotovoltaicos (trabalhar em altura e com eletricidade) e discute temas ligados ao exercício do trabalho e à segurança do trabalho. Aulas práticas são realizadas com equipamentos de segurança.

6. Montagem de sistemas fotovoltaicos

A unidade curricular aborda a integração dos diferentes sistemas fotovoltaicos com as edificações. Trabalha de forma prática com montagem e conexão dos módulos fotovoltaicos, utilizando ferramentas próprias para as instalações dos sistemas fotovoltaicos. Esta unidade compreende a ativação e a caracterização do sistema em funcionamento. A unidade aborda as

normas técnicas de instalações de arranjos fotovoltaicos, instalações elétricas de baixa tensão, aterramento, sistemas de proteção de descargas atmosféricas e outras afins.

Para os cursos nas modalidades Especialista-técnico e Especialização, a unidade aborda a montagem e ativação do circuito de monitoramento dos sistemas fotovoltaicos.

7. Dimensionamento e simulação de sistemas fotovoltaicos

Esta unidade curricular desenvolve o projeto básico da instalação do sistema fotovoltaico. Aspectos técnicos como irradiação, estrutura mecânica, perdas de energia, potência e produção de energia são apresentados e discutidos. As especificações dos módulos e outros componentes do sistema que compõem o projeto são dimensionadas e escolhidas em conformidade com a qualidade e segurança necessária de acordo com recomendação das normas técnicas.

Com o objetivo de auxiliar no processo ensino-aprendizagem do dimensionamento e simulação de sistemas FV, este trabalho inclui o Apêndice A - Planejamento do Projeto Básico de sistemas fotovoltaicos, o Apêndice B - Norma técnica de instalações elétricas de arranjos fotovoltaicos.

8. Consultoria técnica em sistemas fotovoltaicos: viabilidade, operação assistida

Esta unidade curricular aborda a comercialização do projeto da instalação fotovoltaica. São discutidos aspectos de tarifação da energia elétrica, impostos e benefícios financeiros que devem ser considerados. A unidade trata da documentação necessária a ser apresentada à concessionária de energia e ao empreendedor. A documentação inclui gráficos de custos, irradiação solar e ganhos de produção de energia.

9. Operação e manutenção de sistemas fotovoltaicos

São desenvolvidos temas que utilizam figuras de mérito (taxa de desempenho, produtividade e fator de capacidade) para o acompanhamento da operação dos sistemas fotovoltaicos, com o apoio das informações de medidas realizadas ou provenientes de sistema

de monitoramento digital. Nesta unidade são apresentados rotinas e procedimentos de manutenção preventiva e corretiva.

No curso Especialista em Sistemas Fotovoltaicos, a unidade curricular aborda o comissionamento dos sistemas fotovoltaicos de acordo com a norma vigente. Para as boas práticas, procedimentos de ensaio e testes são simulados, utilizando-se os instrumentos de medição específicos para avaliação de sistemas fotovoltaicos.

10. Gerenciamento de projetos aplicados a sistemas fotovoltaicos

A unidade curricular estuda a implementação de um sistema fotovoltaico, identificando os impactos econômicos, sociais e ambientais na execução do projeto. Aspectos de cronograma, fluxogramas e elaboração de projetos são propostos para estudo.

11. Análise financeira de sistemas fotovoltaicos

Esta unidade apresenta informações das políticas públicas vigentes, linhas de financiamento, tempo de pagamento, incentivos e subsídios e taxas de juros são analisadas. A unidade curricular dá condição aos estudantes para a elaboração de planos de negócio.

12. Inovação e empreendedorismo no setor fotovoltaico

Esta unidade curricular trabalha com exemplos de aplicação e com a prospecção tecnológica no setor fotovoltaico. Conhecimentos de negociação e *marketing* são considerados para o empreendedorismo inovador.

13. Projeto de conclusão de curso

Esta unidade curricular deve capacitar o aluno para analisar as condições do local da instalação, definir a potência do sistema e especificar os componentes para a instalação de um sistema fotovoltaico. A documentação necessária para a simulação de venda do sistema e a documentação para apresentar à concessionária deve ser elaborada no projeto de conclusão de curso.

4.4 ATUALIZAÇÃO DO CATÁLOGO NACIONAL DOS CURSOS TÉCNICOS

Este item aponta um cenário preconizado para os cursos técnicos sistematizados pela SETEC/MEC com a opção no processo ensino-aprendizagem para a capacitação de profissionais em energia solar FV. A instituição de ensino pode atualizar ou reformular a matriz curricular dos cursos técnicos da área da elétrica com a inserção “pulverizada” dos conhecimentos de energia solar FV nos conteúdos de unidades curriculares existentes. Assim pode-se atender as necessidades do mercado solar FV em formar profissionais multifacetados em sua área.

4.4.1 Cursos técnicos sistematizados pela SETEC/MEC – Cenário atual

O Catálogo Nacional dos Cursos Técnicos (CNCT), elaborado pela SETEC- MEC, tem como objetivo a sistematização da oferta dos cursos técnicos em todos os sistemas de ensino.

De acordo com o CNCT são treze os eixos tecnológicos:

1. Ambiente e saúde;
2. Controle e processos industriais;
3. Desenvolvimento educacional e social;
4. Gestão e negócios;
5. Informação e comunicação;
6. Infraestrutura;
7. Militar;
8. Produção cultural e design;
9. Produção alimentícia;
10. Produção industrial;
11. Turismo, hospitalidade e lazer;
12. Recursos naturais;
13. Segurança.

Os conhecimentos e as habilidades para implantar as instalações de energia solar fotovoltaica, estão associados ao eixo tecnológico Controle e Processos Industriais, que:

.... compreende tecnologias associadas à infraestrutura e processos mecânicos, elétricos e eletroeletrônicos, em atividades produtivas. Abrange proposição, instalação, operação, controle, intervenção, manutenção, avaliação e otimização de múltiplas variáveis em processos, contínuos ou discretos (MEC, 2016).

Os cursos técnicos reconhecidos pelo MEC têm carga horária mínima de 1.200 horas, acrescidos de 360 horas de estágio em empresas ou período equivalente em pesquisa, desenvolvimento e inovação ou ainda, Trabalho de Conclusão de Curso. Para o aluno ingressar no curso técnico é pré-requisito que o candidato tenha o ensino médio completo ou que o esteja cursando concomitantemente.

As competências³⁶ do aluno egresso devem estar relacionadas com a respectiva formação educacional. A formação de pessoal especializado em energia solar fotovoltaica deve permitir ao egresso:

A realização técnica do trabalho;

A orientação e coordenação de equipes de execução de instalações, montagens, operação, reparos ou manutenção;

A prestação de assistência no estudo e desenvolvimento de projetos e pesquisas e assessoria no estudo de viabilidade;

A assistência em trabalhos de vistoria, perícia, avaliação, consultoria;

Orientar e coordenar a execução dos serviços de manutenção de equipamentos e instalações, dar assistência técnica na compra, venda e utilização de produtos e equipamentos.

Os técnicos devem estar aptos a, dentre outras, exercer as seguintes atividades: coleta de dados; representação gráfica, realização de cálculos; elaboração de orçamento de materiais e equipamentos, instalações e mão de obra; detalhamento de programas de trabalho, seguindo normalizações; execução de ensaio de rotina, registro de controle de qualidade dos materiais, peças e conjuntos; regulagem de máquinas, peças, instrumentos; ministrar disciplinas para técnicos.

Com referência ao técnico em eletrotécnica, estes também podem projetar e dirigir instalações elétricas até 800 kVA e conduzir a execução de instalações elétricas em baixa

³⁶O decreto 90.922/85 dispõe, entre outras, sobre as competências do profissional técnico de nível médio.

tensão, com frequência de 50 ou 60 hertz. Estas informações são definidas no Decreto nº 90.922 de 6 de fevereiro de 1985 e pela resolução nº 278, de 27 de maio de 1983 no Art. 4º, §4º, respectivamente.

O técnico eletrotécnico é profissional preparado com um maior número de competências, pois possui preparo em atuar nas instalações de transmissão e distribuição de energia elétrica. Outros técnicos do grupo da área da elétrica também são habilitados para atuar na área fotovoltaica, de acordo com sua formação específica. São eles os técnicos em: Eletromecânica, Eletroeletrônica, Automação industrial, Eletrônica e Sistemas de Energia Renovável.

4.4.2. Cursos técnicos sistematizados pela SETEC/MEC – Cenário preconizado

O cenário preconizado corresponde a atualização ou reformulação das ementas das unidades curriculares dos cursos técnicos de eletrotécnica, eletroeletrônica, eletrônica e áreas afins. Foram selecionadas unidades curriculares que podem contemplar na sua ementa as especificidades da energia solar FV e seus sistemas. Este cenário também pode ser aproveitado nas ementas dos cursos de graduação com as devidas exigências de competências dos profissionais egressos.

As atualizações ou reformulações ocorrem através do Planejamento do Plano de Curso (PPC) elaborados pelos docentes das instituições de ensino. Novos PPCs elaborados pelos docentes são encaminhados (em sequência) e apreciados nas instâncias: Coordenadoria Técnica Pedagógica, Conselho de Campus, Conselho de Ensino que o leva à consulta pública. Para finalizar a SETEC/MEC reconhece os planos aprovados.

O cenário preconizado para os cursos técnicos é apresentado na tabela 4.2, em que o conteúdo dos conhecimentos sobre sistemas fotovoltaicos está inserido, de forma pulverizada, nas unidades curriculares de cursos já sistematizados (pelo MEC) e dentro da área elétrica. Este cenário foi elaborado a partir do levantamento realizado por Mocelin (2014) sobre qualificação profissional e capacitação laboratorial em sistemas FV – Conteúdos curriculares.

Tabela 4.2. Conteúdo de unidades curriculares incluindo tópicos da energia fotovoltaica

Unidade Curricular	Tema	Conteúdo
<i>Eletricidade básica</i>	Acumuladores	Construção; Ciclos de carga e descarga; Capacidade; Comportamento da bateria em uma Instalação; Nível de carga; Fatores que afetam a vida útil das baterias.
	Leis de Kirchhoff	Associação de módulos fotovoltaicos; Associação de condicionadores de potência.
<i>Instalações elétricas prediais</i>	Normas técnicas	Norma NBR Instalação Elétrica de Baixa Tensão – Arranjos FV; Montagem de Sistemas Fotovoltaicos. Ponto de acesso da mini e micro geração
	Quadro de distribuição	Diagrama unifilar do quadro de distribuição com a inclusão do gerador FV.
<i>Materiais Elétricos</i>	Módulos FV	Construção, características técnicas, parâmetros de funcionamento, efeitos das ações solarimétricas.
	Cabos c.c, Fusíveis c.c.; Disjuntores c.c; Proteção de Surto; Diodos de bloqueio.	Construção, características técnicas
<i>Eletrônica Analógica</i>	Células e módulos FV	Tipos de células; Circuito equivalente, curva característica (VxI); Associações em série e paralelo
<i>Automação e Controle</i>	Sensores	Espectro solar, Irradiância; Célula de referência
	Inversores c.c./c.a,	Isolados; Conectados com a rede; Bidirecionais.
<i>Eletrônica de potência</i>	IGBTs	Aplicações em inversores c.c./c.a, isolados, Bidirecionais e conectados à rede; Aplicações em controladores de carga; Conversor de frequência para bombeamento de água.

Unidade Curricular	Tema	Conteúdo
<i>Eficiência Energética</i>	Fontes renováveis	Funcionamento dos sistemas fotovoltaicos; Produção de energia fotovoltaica; Viabilidade, Operação e Assistência assistida.
<i>Segurança</i>	Trabalho com Eletricidade	Riscos em instalações c.c, (choque elétrico e arco elétrico)
	Trabalho em Altura	Riscos em altura
<i>Gestão de Manutenção</i>		Ferramentas e instrumentos para uso em SFV; Percepção dos perigos ao manipular sistemas em c.c.; Ligar e desligar sistemas fotovoltaicos; Identificação dos sinais luminosos e sonoros provenientes dos inversores e controladores de carga; Vistoria em baterias, limpeza de contatos, reaperto, reposição de água; Aterramento dos sistemas fotovoltaicos; Vistorias de sistema fotovoltaicos; Comissionamento de sistema FV (norma).
<i>Comandos Elétricos</i>		Simulação de alarmes e comandos de proteções dos sistemas fotovoltaicos.
<i>Geração, Transmissão e Distribuição</i>		Radiação solar e movimento Sol-Terra; Aplicação dos sistemas fotovoltaicos; Instrumentos para caracterização do sistema solar; Resolução nº 687/15 da ANEEL(ou versão atualizada); PRODIST – Módulo IV; Dimensionamento e simulação de sistemas fotovoltaicos;

Fonte: Elaboração própria a partir de (MOCELIN, 2014)

Para o curso técnico, a proposta de inclusão dos temas acima nas unidades curriculares, pressupõe a inserção dos conhecimentos sobre sistemas fotovoltaicos ao longo das 1.200 horas, tornando fluido o processo ensino-aprendizagem. A Rede Federal permite que o curso técnico possa ter unidades curriculares optativas, além das 1.200 horas, o que permite a criação de unidade curricular adicional para o melhor preparo da aprendizagem

sobre as instalações de sistemas fotovoltaicos. Cada unidade de ensino ou instituição tem a opção em definir a oferta ou não dos cursos de acordo com a necessidade do mercado local.

4.5 EDUCAÇÃO PROFISSIONAL EM GERAÇÃO FOTOVOLTAICA PELA REDE FEDERAL DE EDUCAÇÃO

Com a ampliação do mercado da geração fotovoltaica distribuída conectada à rede de distribuição de energia elétrica são gerados novos postos de trabalho em nível nacional, regional e local.. A Figura 4.1 mostra a distribuição das 650 unidades de ensino em 568 municípios.

Figura 4.1. Distribuição das unidades de ensino de Rede Federal de Educação nos estados brasileiros

Fonte: Adaptado de (MEC, 2018)

A Rede Federal de Educação possui instituições distribuídas por todo o território nacional e tem potencial para atender a formação de profissionais para a expansão que ocorre com sistemas fotovoltaicos. A Figura 4.2 mostra a localização das usinas fotovoltaicas contratadas nos leilões e o número de unidades consumidoras com mini e micro geração conectadas à rede de distribuição de energia elétrica nos estados, totalizando cerca de 20 mil até o final de 2017.

Figura 4.2 Distribuição das USF e da mini e micro geração distribuída FV

Em face dessa realidade, propõe-se que a implantação dos cursos focados em sistemas fotovoltaicos, ocorra inicialmente em unidades da Rede Federal de Educação, que já ofereçam cursos de formação de eletricista e cursos técnicos da área elétrica. Referidos cursos estão presentes em 24 estados brasileiros e no Distrito Federal (exceto Acre e Amapá).

Egressos de curso técnico em energia solar fotovoltaica, com sua filiação no Conselho Nacional e Regional de Engenharia e Agronomia (CONFEA/CREA) são habilitados a ingressar no mercado FV. Tais profissionais são aptos a criar empresas de serviços de instalação solar fotovoltaica. A escola deve ofertar o planejamento de carreiras para os alunos e estimular o empreendedorismo, bem aceito por educadores e pela sociedade.

Importantes oportunidades têm surgido para micro empresas e postos de trabalho diretos em geração fotovoltaica. A Figura 4.3. mostra o número de empresas da área fotovoltaica nos estado, cerca de 2.000 até o final de 2016.

Figura 4.3 Empresas que atuam na área solar fotovoltaica (ao final de 2016)

Fonte: (AMÉRICA DO SOL, 2017)³⁷

³⁷ América do Sol: Programa iniciado em 2010, consiste na disseminação de informações sobre energia solar FV e suas instalações. Trata-se de uma iniciativa do Instituto para o Desenvolvimento das Energia Alternativa na América Latina (IDEAL) com o apoio da GIZ, do KfW Development Bank e do LABSOLAR-UFSC.

A Figura 4.4 mostra o número de instituições da Rede Federal de Educação que oferecem cursos de eletricista, técnico em eletrotécnica, eletroeletrônica, eletromecânica, eletrônica e controle e automação e tecnologia e engenharia na área elétrica nos estados brasileiros, totalizando 182 unidades de ensino.

Figura 4.4 Unidades de Ensino da Rede Federal com cursos na área elétrica

Fonte: Elaboração própria, adaptada de (CALDAS, 2017)³⁸

³⁸ CALDAS, R. Planilha eletrônica das instituições de Ensino da rede Federal de Educação. [Mensagem pessoal de robson.caldas@ifb.edu.br em outubro de 2017].

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÕES

5.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho ordenou fatos que contribuíram com a disseminação dos sistemas fotovoltaicos a partir de 1990 até 2017. Constata-se o grande esforço dos atores do setor elétrico de forma persistente e criteriosa.

Inicialmente foram incentivos como isenções de tributos e estabelecimento de legislação que atendia a toda a cadeia de energia renovável, com pouca ênfase dada à energia solar FV. A partir do início da década de 2010, com a diminuição dos custos dos sistemas FV e a redução da disponibilidade do recurso hidrológico para geração de energia elétrica iniciou-se o incentivo à disseminação destes. Nesta década de 2010, o governo promoveu os leilões de energia, pela ANEEL, em 2014-2015 e o acesso da mini e micro geração à rede de distribuição. A queda de custos dos sistemas estimula a competitividade com as fontes convencionais de energia (hidroeletricidade e termoelétrica a combustíveis fósseis)

O resultado da disseminação dos sistemas fotovoltaicos pode ser observado no aumento de potência instalada nos últimos 3 anos, entre 2015 e 2017: a capacidade instalada de USF foi de cerca de 30 MW para 1 GW, enquanto a capacidade instalada em mini e micro geração FV foi de cerca de 4 MW para 170 MW. O número de unidades geradoras FV conectadas à rede de distribuição foi de aproximadamente 350 para 20 mil conexões. No ano de 2017, observa-se o começo da implantação das usinas FV contratadas pelo LER 2014–2015, enquanto número de instalações de mini e micro usina FV conectadas à rede de distribuição aumentou em 260%. Como resultados dos leilões de energia e de empreendimentos independentes há em 2018 cerca de 1,8 GW de usinas em construção e mais cerca de 0,8 GW para entrar em operação até janeiro de 2021.

O Brasil segue a tendência mundial em implantar usinas centralizadas e de mini e micro geração FV conectadas à rede de distribuição. O país, devido a sua vasta extensão territorial continuará fazendo uso de instalação de sistemas fotovoltaicos autônomos e de sistemas de mini redes para, por exemplo, atender ao Decreto Federal Nº 4.873/2003- Programa Luz para todos, de sistemas de abastecimento de água potável e de irrigação agrícola. Tais sistemas autônomos ou em mini redes são soluções técnicas e economicamente viáveis e favorecem a qualidade de vida de comunidades isoladas e da área rural.

Até 2017, os postos de trabalho em energia renovável no Brasil, estiveram principalmente na produção do biocombustível e na construção de usinas hidroelétricas, com respectivamente de 75% e 18% do total. Está constatada que a cadeia solar fotovoltaica, pelo mundo, é a que promove maior geração de empregos em energia renovável, abarcando 30% dos postos de trabalho. Entre as instalações de usinas centralizadas e de mini e micro geração, a geração distribuída é responsável pelo maior número de postos de trabalho. Na geração distribuída FV, o profissional deve possuir várias competências para dimensionar, comercializar, instalar e manter os sistemas. Este profissional, com a competência necessária, possui a oportunidade de ser um micro empreendedor.

Este trabalho estimou a força de trabalho em energia solar FV, utilizando como ferramenta dados de uma mesa redonda realizada com profissionais de empresas da área da eletricidade e uma pesquisa, não estruturada, com profissionais de empresas que instalam e comercializam sistemas FV em telhados.

*Mesa redonda*³⁹

Com a responsabilidade e a atenção na educação formativa dos egressos do IFSP – Campus São Paulo, a Semana de Educação Ciência e Tecnologia (SEDCITEC), compôs a mesa redonda com a questão: *O que a indústria espera do profissional engenheiro, tecnólogo e técnico?* Foram representantes de oito empresas: Telesul, Zanine Renk, Capital Humano Industrial, Siemens e WEG. Ao final do debate estes representantes apresentaram a conclusão da necessária sinergia entre indústria e escola e ressaltaram a importância do profissional com a ética do trabalho, a disposição em aprender e ter no mínimo os conhecimentos básicos .

³⁹ Semana de Educação, Ciência e Tecnologia – Campus São Paulo, 2014. Integrantes da Mesa Redonda (22/09/2014): Sr. Roberto Campos Jr. (Telesul); Eng. Marcos Ito (Zanine Renk); Eng. Jorge Rodrigues da Silva (Capital Humano Industrial); Alberto Ribeiro Alves (Siemens); Dr. Marcelo Victor de Souza (Brighmed); Márcio Rosa (WEG).

Pesquisa

A pesquisa foi realizada com profissionais que participaram da Comissão de Estudos da norma técnica de Instalações Elétricas de Arranjos Fotovoltaicos (CE – 003:064.001/CE-03:082.01), com expositores e congressistas da Intersolar, ExpoSolar e EnerSolar + Brasil entre os anos de 2015 e 2016. As perguntas realizadas foram sobre a formação de montadores, eletricitistas e técnicos contratados ou terceirizados, o tempo da instalação e operacionalização de sistemas FV com capacidade até 5 kW e o custo da mão de obra.

Tem-se como resultados sobre a formação dos profissionais:

- ✓ Perda de oportunidade em empreender devido à falta de profissionais qualificados;
- ✓ Os empregadores entrevistados forneceram capacitação a seus profissionais montadores, eletricitistas e técnicos;
- ✓ Falta divulgação dos postos de trabalho em energia solar FV;
- ✓ Falta o sistema educacional acompanhar a demanda de postos de trabalho.

O resultado para o tempo de instalação foi diminuindo, do início da pesquisa no início de 2015 até final de 2016. O resultado é de cerca de 2 dias, sem contabilizar o tempo de montar a estrutura para os perfis dos módulos FV, quando utilizadas. Os entrevistados alegaram a não padronização em ângulo e direção dos telhados sobre as edificações.

O resultado do custo de mão de obra não foi contabilizado pois diversas foram as respostas como (1) profissionais recebem “o padrão do instalador” (2) não sou eu que cuido desta parte (3) depois envio e (4) depende da região e outras.

A indústria e a força de trabalho no setor FV

Um importante resultado encontrado na análise da força de trabalho, em energia solar FV, está em que, para a boa formação de profissionais é necessária a aproximação da indústria com as instituições de ensino. A indústria das energias renováveis e a eficiência energética apresenta um novo ambiente tecnológico e com transformações aceleradas. Existe a necessidade da transferência destas novas tecnologias, pela indústria para as instituições de ensino, que por sua vez, através de seus docentes, têm a possibilidade de formar profissionais para esta mesma indústria. A formação dos profissionais, com os conhecimentos específicos,

precisa estar em consonância com as necessidades do mercado, ser dinâmica e ser constantemente atualizada.

Avaliação prática de montagem de sistemas FV

Experiência para avaliação da força de trabalho em energia solar FV veio da instalação da micro usina fotovoltaica de 70 kWp sobre o telhado do IFSP–SPO. Em 10 de junho de 2017, a equipe de instalação iniciou as montagens e as instalações elétricas e eletromecânicas desta micro usina. A equipe de instalação totalizava três profissionais: dois técnicos em eletrotécnica e um montador em instalações elétricas. A micro usina teve seu início de operação (*start up*) após seis dias do início da instalação. Os profissionais desta instalação foram capacitados e treinados pela empresa vencedora do edital desta usina. Esta empresa utiliza os mesmos profissionais para percorrer o Brasil na realização de suas instalações.

Na micro usina fotovoltaica de 70 kWp sobre o telhado do IFSP–SPO, foram instalados 264 módulos FV, transportados ao telhado por andaimes. Foram fixados em perfis de alumínio parafusados no telhado, realizadas as conexões dos módulos em seus arranjos e montadas as calhas para abrigar a descida dos eletrodutos com o cabeamento c.c. Foram fixados os inversores c.c./c.a. na parede externa da subestação, foram parametrizados os inversores e montados o quadro c.a. e sistema de monitoramento. O sistema da Micro Usina FV de 70kWp foi conectado ao quadro de distribuição interno da cabine de subestação, em baixa tensão. Até a conclusão da pesquisa dessa tese, em março de 2018, a usina operava sem defeitos, fornecendo energia como previsto. A usina foi inspecionada visualmente pela equipe de fiscalização da obra, da qual a autora participou.

O estudo de caso, para a formação de profissionais em energia solar fotovoltaica pela Rede Federal de Educação, apontou dois caminhos para a implantação dos conhecimentos em energia solar FV em cursos da área da eletricidade:

- 1) Pela elaboração de cursos de Instalador de sistemas FV, Especialista técnico em energia solar FV e Especialista em sistemas FV (iniciativa do SETEC/MEC, com a criação do GT–Solar FV);
- 2) Pela inserção dos conhecimentos em energia solar FV nas unidades curriculares dos cursos já existentes, por meio de atualização ou reformulações dos PPC.

Elaboração de cursos em energia solar fotovoltaica

Promovido com o apoio da SETEC/MEC, em parceria com a GIZ, a proposta dos cursos de Instalador em Sistema FV, Pós Técnico em Energia Solar FV e o Especialista Técnico em Sistemas FV, em 2017, é a que apresentava maior impulso. Esta proposta contava, com o apoio de reitores e diretores das instituições propiciam/permitem que os docentes tenham hora-aula para a capacitação e preparo das unidades curriculares em energia solar FV. Em conjunto aconteceu o empenho para a montagem de infra estrutura laboratorial.

A partir de 2015, os reitores e diretores apoiam a criação dos cursos em energia solar FV elaborados pela SETEC/MEC, pois estava justificada a necessidade de profissionais para a oferta de empregos do mercado a nível nacional. Na hipótese de decréscimo de interessados, estes cursos podem deixar de ser oferecidos.

O curso de Instalador de Sistemas FV pode ser inserido no Programa Nacional de Acesso ao Ensino Técnico e Emprego (PRONATEC) e no Programa de Integração da Educação Profissional de Jovens e Adultos e Formação Inicial e Continuada com ensino fundamental (PROEJA-FIC).

Inserção dos conhecimentos em energia solar FV em cursos existentes

A proposta de inclusão dos conhecimentos destas especificidades dos sistemas FV nas unidades curriculares de forma pulverizada, no Planejamento do Plano de Curso (PPC) encontrava maior dificuldade em sua aprovação. A forma pulverizada envolve atualização em várias unidades curriculares e exigem um maior número de docentes. Docentes com disponibilidade para sair de sua especialização profissional e em participar dos cursos de capacitação em energia solar FV.

O profissional, egresso de instituições de ensino estruturado pelo MEC, formado para atuar em energia solar FV deve estar preparado para atuar também em outros setores da área elétrica, pois o mercado da energia solar pode flutuar com períodos de crescimento e estabilização das instalações fotovoltaicas. Assim, quando, e se, ocorrer estagnação do mercado FV, o aluno egresso das instituições poderá atuar em outros dos mercados de sua competência. Como exemplo, no caso da Alemanha, que instituiu o primeiro programa de grande escala de instalações de pequeno porte “*One Thousand Roof PV Program*”, após um

expressivo período, ocorreu a diminuição de instalações em “telhados” e, conseqüentemente, levou à diminuição de postos de emprego (BÜDKE, 2015)⁴⁰, daí a necessidade de formação de profissionais multifacetados em sua competência.

Considerando uma possível estagnação do mercado solar FV, e a política de não oferta dos cursos padronizados pelo GT-Solar FV, se torna primordial a possibilidade da pulverização dos conhecimentos em sistemas fotovoltaicos e suas instalações, através da atualização ou reformulação da grade curricular do PPC dos cursos técnicos e cursos de ensino superior da área elétrica.

Em 2017, o IFSP–SPO passou a contar com uma micro usina fotovoltaica de 70 kW conectada à rede de distribuição, um sistema FV isolado para iluminação de emergência e um “telhado de uma edificação para fins didáticos” onde simula uma instalação fotovoltaica residencial. Até o final deste trabalho esta infraestrutura de sistemas estava sendo utilizada para fins de pesquisa por docentes e alunos de pós graduação. O IFSP–SPO, está se preparando para a implantação dos cursos elaborados pelo GT–Solar FV envolvendo um maior número de docentes envolvidos em energia renovável e adquirindo a infra estrutura laboratorial. No caso do IFSP–SPO há necessidade de aumento do número de docentes.

O fato do IFSP–SPO possuir, até final de 2017, usina e sistemas isolados corrobora com a afirmação de que para a instituição ofertar curso com as especificidades dos sistemas FV, esta deve ter matriz curricular dos cursos, docentes capacitados e infraestrutura laboratorial, como também a demanda de alunos interessados nos cursos.

Este trabalho contém um roteiro para elaboração do planejamento do projeto básico de sistemas fotovoltaicos e o resumo da norma técnica *Instalações Elétricas de Arranjos Fotovoltaicos – Requisitos Técnicos*, respectivamente apresentadas nos Apêndices A e B.

⁴⁰ Informação fornecida por Christoph Büdke durante Workshop: A qualificação profissional e formação de mão de obra para atendimento da demanda de instalações de GD com sistemas FV. Instituto de Energia e Ambiente – USP, São Paulo. 2015.

5.2 CONCLUSÕES

O Brasil está em uma região privilegiada com recursos energéticos de fontes renováveis, quando comparada a outras regiões ao redor do mundo. Estão consolidadas na matriz energética nacional a hidroeletricidade e biocombustíveis. O cenário nacional, até 2017, mostra a ampliação do uso do aproveitamento de recursos da energia cinética dos ventos, da irradiação solar e de resíduos orgânicos para complementar a oferta da matriz elétrica. Com custos de instalação de usinas eólicas e fotovoltaica e com preços competitivos, da energia produzida até mesmo com a tradicional hidroelétricas e térmicas a bioenergia, estas se mostram economicamente favoráveis.

Com maior investimento para o aumento da potência instalada de sistemas de geração, que utilizam fontes renováveis, é essencial que haja parcela dos investimentos para a formação de profissionais qualificados. Existe a necessidade da transferência dos conhecimentos destas tecnologias para as instituições de ensino. Aproximar e harmonizar as novas tecnologias da indústria e os conhecimentos destas para as instituições de ensino é uma tarefa necessária para minimizar a lacuna entre indústria, engenharia e educação.

Dentre as fontes renováveis, a fotovoltaica é a que emprega maior contingente de pessoal. A instalação de mini e micro geração distribuída FV conectada à rede de distribuição apresenta grande facilidade de difusão principalmente em regiões urbanas, sobre telhados ou integrados em edificações. A mini e micro geração FV compõem um arranjo de módulos FV, inversor c.c/c.a. e sistema de proteção que é instalado junto à instalação elétrica de uma edificação. Com a boa irradiação solar nacional, a mini e micro geração FV tem a possibilidade de gerar emprego e renda por todo o território nacional, mas para que isto ocorra é necessária formação de profissionais com os conhecimentos específicos da energia solar FV. Tais profissionais devem dimensionar instalar, comercializar, operar e manter estes sistemas.

Este trabalho enfatiza a importância dos recursos humanos especializados na área fotovoltaica para a implantação dos sistemas de usinas centralizadas e na geração distribuída fotovoltaica e, não menos importantes, os sistemas autônomos, de mini redes na eletrificação rural e nos sistemas de bombeamento e irrigação de água.

As instituições de ensino devem estar preparadas para a demanda de profissionais qualificados nas diversas regiões do país, dentro do mercado da energia solar FV. Para que tenham sucesso é necessário que as instituições se preparem seguindo a matriz curricular

estruturada pela SETEC/MEC e disponham de docentes capacitados e infraestrutura laboratorial.

Esta tese aponta duas opções para que instituição de ensino possam oferecer os conhecimentos dos sistemas fotovoltaicos: (1) elaboração de cursos específicos e (2) inclusão das especificidades da energia solar FV, de forma pulverizada, na grade curricular de ensino técnico ou de graduação em eletricidade. Os cursos específicos são; Instalador de Sistemas Fotovoltaicos (nível básico), Especialista Técnico em Energia Solar Fotovoltaica (nível técnico) e Especialista em Sistemas Fotovoltaicos (pós-graduação *latu-sensu*). Estes cursos estão estruturados e aprovados pelo MEC e são sugestões que podem ser adaptadas a cada região e ou instituição.

As instituições da Rede Federal de Educação Profissional, Científica e Tecnológica estão distribuídas por todo o território nacional e este estudo mostra que as unidades de ensino estão próximas às regiões de maior concentração da geração distribuída FV, das USF e das empresas que atuam na área solar FV. As instituições de ensino podem atender a demanda de profissionais qualificados.

O Plano Decenal de Expansão de Energia para 2026 prevê 13 GW de capacidade instalada em usinas centralizadas e aproximadamente 3,3 GW na geração distribuída FV com mais de 770 mil consumidores produzindo sua própria energia elétrica. O mérito do aumento da capacidade instalada está em instalação de sistema FV com a segurança da instalação e na qualidade e garantia da energia produzida.

Através da formação de profissionais o Brasil poderá aumentar a sua matriz energética de forma sustentável. O Brasil não pode se permitir não qualificar seus profissionais sob pena de limitar a expansão dessa importante fonte de energia sustentável, a fotovoltaica.

REFERÊNCIAS ⁴¹

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT catálogos**. 2018. Disponível em: <www.abntcatalogo.com.br>. Acesso em: 17 jan. 2018.

ABIOVE. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DE ÓLEOS VEGETAIS. **Biodiesel: Production and Delivery**, Brasil, 2015. Disponível em: www.abiove.com.br/site/index.php?page=statistics&area=MTAtMi0x. Acesso em : 10 jun. 2016.

ACKERMANN, T.; ANDERSON, G.; SÖDER, L. **Distributed generation : a definition**. *Electric Power Systems Research* v. 57 v.6, n. Aug. 2001, p. 195–204, 2001.

ALMEIDA, M. P. **Qualificação de sistemas fotovoltaicos conectados a rede**. Dissertação de mestrado, . Programa de Pós-Graduação em Energia, USP. São Paulo, SP , 2012

AMÉRICA DO SOL. **Fornecedores de sistemas fotovoltaicos**. Disponível em: <<http://www.americadosol.org/fornecedores/>>. Acesso em: 20 nov. 2017.

ANDRADE, A. M. **Iniciativas industriais pioneiras no Brasil: FONE-MAT S.A. e Heliodinamica SA**. São Paulo. 2016.

ANEEL - AGENCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Banco de informações de geração. Capacidade instalada**. 2018a. Disponível em: <www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>. Acesso em: 17 jan. 2018.

_____. **Unidades consumidoras com geração distribuída : resumo por tipo de geração distribuída**. 2018b. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/scg/gd/GD_Fonte.asp>. Acesso em: 18 jan. 2018.

_____. **Resumo geral das usinas janeiro 2018 R1**. 2018c Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/seguranca-de-barragens/-/asset_publisher/beFCiHuMLHjA/document/id/16116113?inheritRedirect=false>. Acesso em: 5 fev. 2018.

_____. **Unidades consumidoras com geração distribuída: resumo por classe de consumo**. 2018d. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/scg/gd/GD_Classe.asp>. Acesso em: 18 jan. 2018.

_____. **Geração distribuída por estados brasileiros**. 2018e Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/scg/gd/GD_Estadual.asp>. Acesso em: 17 jan. 2018.

⁴¹ De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT NBR 6023).

_____. **Realiza leilão de geração “A-4” na próxima segunda-feira (18/12).** 2017. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/sala-de-imprensa-exibicao-2/-/asset_publisher/zXQREz8EVIZ6/content/aneel-realiza-leilao-de-geracao-a-4-na-proxima-segunda-feira-18-1-1/656877?inheritRedirect=false>. Acesso em: 18 jan. 2018.

_____. **Programa de pesquisa e desenvolvimento.** 2017a. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/programa-de-p-d>>. Acesso em: 26 ago. 2017.

_____. **Relatório de acompanhamento da implantação de empreendimentos de geração.** Brasília - DF, 2017b. Disponível em: <[http://www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/Relatorio de acompanhamento da implantação de empreendimentos de Geração. pdf](http://www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/Relatorio%20de%20acompanhamento%20da%20implantacao%20de%20empreendimentos%20de%20Gera%C3%A7%C3%A3o.pdf)>. Acesso em 10 mar.

_____. **Resultado P&D1/2016 chamada mini geração em instituições de ensino.** 2017c. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/noticias_area/dsp_detalheNoticia.cfm?idNoticia=9295&idAreaNoticia=425>. Acesso em: 18 jan. 2017.

_____. **Módulo 3 : acesso ao sistema de distribuição - PRODIST.** Brasília: ANEEL , 2017d. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/modulo-3>>

_____. **Programas : Leilões de energia.** Brasília: ANEEL, 2016a. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/programas/leiloes_de_energia/menu/inicio.html>

_____. **Caderno temático micro e minigeração distribuída: Sistema de compensação de energia.** 2º ed. Brasília . 2016b.

_____. **Agência aprova edital do Leilão de Reserva para fonte fotovoltaica.** 2015a. Disponível em: <www.aneel.gov.br/aplicacoes/noticias/Output_Noticias.cfm?Identidade=8689&id_area=90>. Acesso em: 28 ago. 2015.

_____. **Audiência debate edital do 2º LER de 2015 26/08/2015.** 2015b. Disponível em: <www2.aneel.gov.br/aplicacoes/noticias_area/arquivo.cfm?tipo=PDF&idNoticia=8777&idAreaNoticia=1>. Acesso em: 26 ago. 2015b.

_____. **Resolução normativa Nº 687,** de 24 de novembro de 2015 . ANEEL Altera a Resolução normativa nº 482, de 17 de abril de 2012, e os Módulos 1 e 3 dos Procedimentos de Distribuição, 2015c. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>>

BEN-EPE. **BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL 2016. Ano base 2015.** Rio de Janeiro, 2016. Disponível em: <https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2016.pdf> Acesso em 12 fev. 2018.

BARBOSA FILHO, W. P., FERREIRA, W. R., AZEVEDO, A. C. S. **Expansão da energia solar fotovoltaica no Brasil: impactos ambientais e políticas públicas.** In: CONFERÊNCIA INTERNACIONAL LINKS 2015. Florianópolis. Anais. 2015

BARBOSA, W. Proteção contra descargas atmosféricas em sistemas de geração fotovoltaica. **O Setor Elétrico**, v. Caderno Re, 2016

BENEDITO, R. DA S. **Caracterização da geração distribuída de eletricidade por meio de sistemas fotovoltaicos conectados à rede, no brasil, sob os aspectos técnico, econômico e regulatório**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Energia, USP. São Paulo, SP, 2009.

BRASIL. **Contribuição nacionalmente determinada para consecução do objetivo da convenção**:quadro das nações unidas sobre mudança do clima. UNFCCC. Brasília, 2015. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/images/arquivo/80108/BRASIL_inDC_portugues_FINAL.pdf>. Acesso em 25 mar. 2018.

BRITISH PETROLEUM. **Energy Outlook to 2035**. 2016. Disponível em: <<http://biomasspower.gov.in/document/Reports/bp-energy-outlook-2016.pdf>> . Acesso em: 25 mar.2018

CCEE - CÂMARA DE COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA . **Resultado mecanismo de desconstratação Leilão 2014.pdf**. São Paulo, 2017. Disponível em: <https://www.ccee.org.br/portal/faces/pages_publico/noticias-opinio/noticias/noticiaeleitura?contentid=CCEE_458633&_afLoop=1400537330779935#!%40%40%3Fcontentid%3DCCEE_458633%26_afLoop%3D1400537330779935%26_adf.ctrl-state%3Dytlgq954m_100>.Acesso em: 28 nov. 2017.

_____. **InfoLeilão - 15 - 7º IER - 2015**. 2015a. Disponível em: <https://ccee.org.br/ccee/documentos/CCEE_357767>.Acesso em: 28 nov. 2017.

_____. **Resultado do 2ºleilão de energia de reserva de 2015**. 2015b. Disponível em: <https://ccee.org.br/ccee/documentos/CCEE_359558>. Acesso em: 28 nov. 2017.

_____. **Resultado 6º leilão de energia de reserva de 2014**. 2014. Disponível em: <https://ccee.org.br/ccee/documentos/CCEE_321418>. Acesso em: 28 nov. 2017.

CHUNG, D. (Org). **U.S. photovoltaic prices and cost breakdowns : Q1 2015 Benchmarks for residential , commercial , and utility-scale systemsnational renewable energy laboratory**. 2015. Disponível em: <<http://www.nrel.gov/docs/fy15osti/64746.pdf>>. Acesso em: 28 nov. 2017.

CONCELLIERE, P.; CASTELLO, S. Prevenção de incêndios em instalações fotovoltaicas. **Eletricidade Moderna**, v. 452, p. 44, 2015.

CONAMA - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução do CONAMA nº 279, de 27 de junho de 2001. Publicado no D.O.U 29 jun. 2001.** : Estabelece procedimentos para o licenciamento ambiental simplificado de empreendimentos elétricos com pequeno potencial de impacto ambiental. 2001. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res01/res27901.html>> Acesso em: 28 nov. 2017.

CRESESB-CEPEL. **Potencial energético solar - SunData v 3.0**. 2018. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata>>. Acesso em: 16 fev. 2018.

EDENHOFER, O. (Org). **Intergovernmental Panel on Climate Change - Summary for Policymakers and Technical Summary. Special report on renewable energy sources and climate change mitigation** Cambridge University Press. Cambridge, 2012. Disponível em: <<http://srren.ipcc-wg3.de/report>>. Acesso em: 16 fev. 2018.

ENERGIF. **Programa para Desenvolvimento em Energias Renováveis e Eficiência Energética na Rede Federal**. Materiais. Itinerário Formativo em Energias Renováveis e Eficiência Energética. 2018a. Disponível em: <<http://www.energif.org/materiais/itinerario-formativo-energif.pdf>>. Acesso em 11 de jun. 2018.

_____. **Programa para Desenvolvimento em Energias Renováveis e Eficiência Energética na Rede Federal**. Notícias. Rede Federal lança 3 cursos de Instalador de Sistemas Fotovoltaicos. 2018b. Disponível em: <<http://www.energif.org/noticias-joomla/index.php/2-uncategorised/55-rede-federal-lanca-3-cursos-de-instalador-de-sistemas-fotovoltaicos>>. Acesso em 11 jun. 2018.

EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA.. **Informe técnico nº EPE-DEE-IT-096/2017 resultado do leilão de energia a-4/2017**. 2017 Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-110/EPE-DEE-IT-096 - A4 2017 - Versão Final.pdf>>. Acesso em 10 fev. 2018.

_____. **Contratação de energia de reserva**. Leilão de reserva 2016. 2016a. Disponível em: <[http://www.epe.gov.br/leiloes/Paginas/2º Leilão de Energia de Reserva 2016 - CANCELADO/EPEpublicaNotaTécnicasobrecontrataçãodeenergíadereservaecancelamentodo 2ºLER.aspxEP](http://www.epe.gov.br/leiloes/Paginas/2º%20Leilão%20de%20Energia%20de%20Reserva%202016%20-%20CANCELADO/EPEpublicaNotaTécnicasobrecontrataçãodeenergíadereservaecancelamentodo2ºLER.aspxEP)>. Acesso em: 26 jan.

_____. **Estudo da demanda de energia 2050**. nota técnica. Brasília - DF, 2016b. Disponível em: <[http://antigo.epe.gov.br/Estudos/Documents/DEA_13-15_Demanda de Energia 2050.pdf](http://antigo.epe.gov.br/Estudos/Documents/DEA_13-15_Demanda_de_Energia_2050.pdf)>. Acesso em: 26 jan. 2017.

_____. **Epe cadastra 1.034 projetos para leilão de reserva 2014**. Brasília - DF, 2014b. Disponível em: <[http://antigo.epe.gov.br/leiloes/Documents/Leilões 2014/Reserva.pdf](http://antigo.epe.gov.br/leiloes/Documents/Leilões_2014/Reserva.pdf)>. Acesso em: 18 jan. 2018b.

_____. **Leilão de energia de reserva / 2014 - participação dos empreendimentos solares fotovoltaicos: visão geral**. Brasília - DF, 2014c. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/leiloes/Paginas/default.aspx?CategoriaID=6845>>. Acesso em: 10 fev. 2018.

_____. **Brazilian energy balance. reference year: 2007**. Brasília - DF, 2008.

FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Responsabilidade com o Investimento: o problema da imprevisibilidade nas obras**. São Paulo, 2014

FERROUKHI, R. (Org). **Renewable energy and jobs: Annual Review 2017**. International renewable energy agency - IRENA. 2017. Disponível em: <https://www.irena.org/DocumentDownloads/Publications/IRENA_RE_Jobs_Annual_Review_2017.pdf>. Acesso em 10 fev. 2018.

GIZ. **Desenvolvimento Sustentável: Biodiversidade e clima - infraestrutura sustentável**. cooperação Alemanha e Brasil. Disponível em: <<https://www.giz.de/en/worldwide/12055.html>>. Acesso em: 4 mar. 2018.

HICKEL, M. B., DESCHAMPS.E.M., NASCIMENTO, L.R., RÜTHER,R., SIMÓES, G.C.. **Análise da influência do acúmulo de sujeira sobre diferentes tecnologias de módulos FV: revisão e medições de campo**. (ABENS, Ed.)Belo Horizonte: VI Congresso Brasileiro de Energia Solar, 6., 2016, Belo Horizonte. **Anais...ABENS**, 2016.

IDEAL, I. **The brazilian market of distributed solar pv generation : annual report 2016**. Florianópolis, 2017. Disponível em: <<http://institutoideal.org/o-mercado-brasileiro-de-geracao-distribuida-fotovoltaica-edicao-2017/>>. Acesso em: 3 nov. 2017.

IEA - Agência Internacional de Energia. **Snapshot of global photovoltaic markets**. PVPS. 2018a. Disponível em: < http://www.iea-pvps.org/fileadmin/dam/public/report/statistics/IEA-PVPS_-_A_Snapshot_of_Global_PV_-_1992-2017.pdf>. Acesso em: 18 jun. 2018.

_____. PVPS - *Photovoltaic Power Systems Programme*. **Annual report 2017**. 2018b. Disponível em:< <http://www.iea-pvps.org/index.php?id=6>>. Acesso em 18 jun.2018.

_____. PVPS - *Photovoltaic Power Systems Programme*. **Trends 2014 in photovoltaic applications : survey report of selected ie countries between 1992 and 2013**. 2014. Disponível em: <http://www.iea-pvps.org/fileadmin/dam/public/report/statistics/IEA_PVPS_Trends_2014_in_PV_Applications_-_1r.pdf>.Acesso em : 10 nov. 2017.

IEC - INTERNATIONAL ELETROTECHNICAL COMMISSION. **IEC 62.548/2016 : Photovoltaic (PV) arrays : design requirements**. 2016. Disponível em: <<https://webstore.iec.ch/publication/25949>>. Acesso em: 16 fev. 2018.

VERIFICAR NO PID

_____. **IEC Standards**. Disponível em: <<http://www.iec.ch/>>. Acesso em: 16 fev. 2018.

INMETRO. Programa Brasileiro de Etiquetagem. Produtos. Módulos Fotovoltaicos. Laboratórios. 2018. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/consumidor/produtosPBE/Modulo_Fotovoltaico.asp>. Acesso em: 25 mar. 2018.

_____. PBE-Orientações – Orientações gerais para fabricantes e importadores sobre a Regulamentação de : **Equipamentos para geração de energia fotovoltaica**. 2016. Disponível em: <https://issuu.com/jorgeantoniovillarale/docs/inmetro_guiadeorientaes_pbe_f>. Acesso

em: 25 mar. 2018

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. 2018. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=home/page&page=sobre_inmet>. Acesso em: 16 fev. 2018.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. 2 ed. São José dos Campos. 2017.

INTERNATIONAL ECONOMIC REVIEW. **A primer on energy and the economy: energy's large share of the economy requires caution in determining policies that affect it**. 2010. Disponível em: <<http://www.instituteenergyresearch.org/2010/02/16/a-primer-on-energy-and-the-economy-energys-large-shareof-the-economy-requires-caution-in-determining-policies-that-affect-it/>>. Acesso em: 10 abr. 2016.

INTERNATIONAL FINANCE CORPORATION. **Utility-Scale solar photovoltaic power plants**. A project Developer's Guide. World Bank Group. 2015. Disponível em: <https://www.ifc.org/wps/wcm/connect/f05d3e00498e0841bb6fbbe54d141794/IFC+Solar+Report_Web+_08+05.pdf?MOD=AJPERES>. Acesso em 25 mar. 2018.

INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY. **Renewable Energy Fast Facts for Cap.21**. v. 21, p. 2, 2015.

INTERNACIONAL TECHNOLOGY ROADMAP FOR PHOTOVOLTAIC. **Report: Results 2017**. 9ed. 2018. Disponível em: < <http://www.itrpv.net/Reports/Downloads/> >. Acesso em 18 jun.2018.

JA SOLAR. **Catálogo JAP 72- 320/4BB**. 2018. Disponível em: <http://en.jasolar.com/uploads/58e731f4/JAP6-72_305-325_4BB_RE_F_40-35.pdf>. Acesso em: 5 mar. 2018.

KONZEN, G. **Difusão de sistemas fotovoltaicos residenciais conectados à rede no Brasil: uma simulação via modelo de bass**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Energia, USP. São Paulo, SP, 2014.

LEWIS, N. S. Powering the planet. v. 32, n. 10, p. 808–820. California Institute of technology. 2007. Disponível em: <<http://www.caer.uky.edu/podcast/Lewis-KESummitOct2007r.pdf>> Acesso em: 10 set. 2016.

LOPEZ, A. (ORG). National renewable energy laboratory document (NREL). **U.S. Renewable Energy Technical Potentials: a GIS-Based analysis..** Golden. 2012. Disponível em: <<https://www.nrel.gov/docs/fy12osti/51946.pdf>>.

LSF-IEE . **Programa Brasileiro de etiquetagem. Instituto de Energia e Ambiente**. 2016. Disponível em: <<http://lsf.iee.usp.br/?q=pt-br/programa-brasileiro-de-etiquetagem>>. Acesso em: 22 nov. 2016.

LUEKE, A. **The Big Solar Workforce Gap**. The Solar Foundation. 2017. Disponível em:

<<https://issues.solarindustrymag.com/article/big-solar-workforce-gap>>. Acesso em: 6 fev. 2018.

LUEKE, A.; JORDAN, P. (Org.). **National solar jobs census 2015**. The Solar Fundation. Washington, DC. 2016.

MARGARIT, J. **Contexto actual y perspectivas de las energías renovables**. informe APPA. FENERCOM - APPA, 2015. Disponível em: <https://www.fenercom.com/pages/pdf/formacion/15_03_25_Minieolica/02-Contexto-actual-y-perspectivas-de-las-energias-renovables-APPA-Fenercom-2015>

MEC - MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E CULTURA. **Expansão da rede federal de educação profissional, científica e tecnológica**. 2018. Disponível em: <<http://redefederal.mec.gov.br/expansao-da-rede-federal>>. Acesso em: 12 fev. 2018.

_____. **Comitê debate oferta de cursos na área de energia renovável**. 2017. Disponível em: <<http://portal.mec.gov.br/component/tags/tag/36224>>. Acesso em: 12 nov. 2017.

_____. **Catálogo nacional de cursos técnicos. 3ed. Ministério da educação e cultura**. Brasília: 2016. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/index.php?option=com_docman&view=download&alias=41271-cnct-3-edicao-pdf&category_slug=maio-2016-pdf&Itemid=30192>. Acesso em: 07 jul. 2017

MERMOUD, A.; VILLOZ, M. **PVSyst V6.43**. Satigny - Suíça 2017, 2017. Disponível em: <<http://www.pvsyst.com/en/software>> . Acesso em : 10 nov. 2017.

MINISTÉRIO DAS CIDADES. **Instrução normativa nº 40, de 13 de novembro de 2017**. Dá nova redação à Instrução Normativa nº 14, de 22 de março de 2017, que regulamenta o Programa Minha Casa, Minha Vida - Entidades - PMCMV-E. Ministério das Cidades . 2017. Disponível em: <http://az545403.vo.msecnd.net/observatoriodaconstrucao/2017/11/Portaria-643_2017_Fotovoltica.pdf> Acesso em: 12 nov. 2017.

MINISTÉRIO DA FAZENDA. **Convênio ICMS 114 de setembro de 2017: Isenção do icms nas saídas internas com equipamentos para geração fv em prédios públicos no ESP.**, 2017. Disponível em: <https://www.confaz.fazenda.gov.br/legislacao/convenios/2017/CV114_17>. Acesso em: 25 jan. 2018

MME. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento Energético. Departamento de Informações e Estudos Energéticos. Oferta e Demanda de energia Instalações Energéticas. Energia no Mundo. **Resenha Energética Brasileira - Ano Base 2017**. Brasília, 2018.

_____. **Capacidade instalada de geração elétrica capacidade instalada de geração no mundo**. Brasília - DF: 2017a. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/documents/10584/3580498/09+-+Capacidade+Instalada+de+Geração+Elétrica+-+ano+ref.+2016+%28PDF%29/cbf8aa82-eea6-4141-9370-14022762785a;jsessionid=1236F70BBB713B52BD4EADBA5943198F.srv154>>. Acesso em:

17 jan. 2018.

_____. **Plano decenal de expansão de energia 2026**. Brasília - DF, 2017b. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Plano-Decenal-de-Expansao-de-Energia-2026>>.

_____. **Programa de investimento em energia elétrica (PIEE) 2015- 2018**. EPE. Rio de Janeiro, 2015. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/documents/10584/1851073/apresentação+PIEE+pdf.pdf/645a3355-5e96-4a08-a27e-387aeae03938>>. Acesso em: 17 jan. 2018b.

_____. Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento Energético. **Plano Decenal de Energia 2024**. Brasília, 2014. Disponível em: <www.epe.gov.br/Estudos/Documents/Relatório_Final_do_PDE_2023.pdf>. Acesso em: 28 nov. 2016.

MTE - MINISTÉRIO DO TRABALHO E PREVIDÊNCIA SOCIAL. **Classificação Brasileira de Ocupações. Profissões regulamentadas**. 2018. Disponível em: <<http://www.mtecbo.gov.br/cbsite/pages/regulamentacao.jsf>>. Acesso em: 11 fev. 2018

_____. **Norma regulamentadora nº 10: Segurança em instalações e serviços em eletricidade**. 2004.

_____. **Norma regulamentadora NR-35: Trabalho em altura**. 2003.

MOCELIN, A. R. **Qualificação profissional e capacitação laboratorial em sistemas fotovoltaicos**. Tese de doutorado em ciência. Programa de Pós-Graduação em Energia. Universidade de São Paulo, 2014.

MORAIS, A. M., **A difusão do acesso à água com sistemas fotovoltaicos de bombeamento no semiárido brasileiro**. Tese de Doutorado. Curso de Pós-Graduação em Energia. Universidade Federal do ABC, Santo André, 2015

NAKABAYASHI, R. **Microgeração fotovoltaica no Brasil: condições atuais e perspectivas futuras**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Energia Universidade de São Paulo, 2014.

NATIONAL RENEWABLE ENERGY LABORATORY. **Evaluation of solar grade silicon produced by the institute of physics and technology cooperative research and development final report CRADA Number: CRD-07-211**. 2013. Disponível em: <<https://www.nrel.gov/docs/fy13osti/53847.pdf>>. Acesso em 10 fe. 2018.

OLIVEIRA, S. H. F. DE. **Geração distribuída de eletricidade; inserção de edificações fotovoltaicas conectadas à rede no estado de São Paulo**. Tese (Doutorado em Energia) Programa Interdisciplinar de Pós-Graduação em Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Sustainable energy development Agenda 21**. 2018. Disponível em: <<https://sustainabledevelopment.un.org/topics/energy>>. Acesso em: 18 jan. 2018.

PINHO, J.T., GALDINO, M.A.(Org.) Grupo de trabalho de Energia Solar. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. Edição Rev ed. Rio de Janeiro: CEPTEL - DTE - CRESEB, 2014.

REN 21 - RENEWABLE ENERGY POLICE NETWORK FOR THE 21^o Century - **Renewables 2018: Global status reportrenewable and sustainable energy reviews**. Paris: 2018. Disponível em: <http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2018/06/17-8652_GSR2018_FullReport_web_-1.pdf>. Acesso em 15 jun. 2018.

_____. **The first decade: 2004-2014, 10 Years of Renewable Energy Progress**. Paris: 2015. Disponível em: <http://www.ren21.net/Portals/0/documents/activities/Topical Reports/REN21_10yr.pdf>. Acesso em 12 fev. 2018.

RIJKSDIENST VOOR ONDERNEMEND. **Market study: PV energy in Brazil** - Nederland transfer latin business consultancy. 2015. Disponível em: <<https://www.rvo.nl/sites/default/files/2015/04/Final - Solar PV Study Brazil 24 April 2015.v2.pdf>>. Acesso em 10 fev. 2018.

SENADO. **Decreto Nº 9.357 de 30 abril 2018 'Luz para todos'**Brasil, 2018.

SENAI. **Energias renováveis. Montador de Sistemas Fotovoltaicos**. 2018a. Disponível em: <<http://sscp.senai.br/certificacoes.asp>>. Acesso em 29 de mai. 2018.

_____. Notícia. **Acreditação do SSCP é mantida após avaliação da Cgcre do Inmetro**. 2018b. Disponível em: < <http://sscp.senai.br/MostraNoticia.asp?COD=16>>. Acesso em 29 de mai. 2018.

SILVA, C. C. **Geração distribuída com sistemas fotovoltaicos e a qualificação profissional: uma proposta de curso pós- técnico e potencial de aplicação nas ETECS**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Energia Universidade São Paulo, 2017.

SILVA, R. MA. DA. **ENERGIA SOLAR NO BRASIL: dos incentivos aos desafios**. Brasília - DF, 2015. Disponível em: <www.senado.leg.br/estudos>. Acesso em 12 fev. 2018.

SIMAS, M. **Energia eólica e desenvolvimento sustentável no Brasil: estimativa da geração de empregos por meio de uma matriz insumo-produto ampliada**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Energia. Universidade São Paulo. 2012.

TSF - THE SOLAR FOUNDATION. **National solar jobs census 2017**. Washington, DC, 2018. Disponível em: < <https://www.thesolarfoundation.org/national/>>

_____. **National solar jobs census 2016**. Washington, DC, 2017. Disponível em: <<https://www.thesolarfoundation.org/national/>>.

VALER, L. R., MANITO, A. R. A., RIBEIRO, T. B. S., ZILLES, R., PINHO, J. T. **Issues in PV systems applied to rural electrification in Brazil**. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 78, n. December 2016, p. 1033–1043, 2017.

ZILLES, R., MACEDO, W. N., GALHARDO, M. A. B., OLIVEIRA, S. H. F. **Sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica**. São Paulo: Oficina de Textos, 2012.

APÊNDICE A - Planejamento de instalações de micro e mini geração fotovoltaica

Os sistemas fotovoltaicos são instalações elétricas constituídas por arranjos de módulos fotovoltaicos, unidades condicionadoras de potência e outros componentes do sistemas (OCS). Estes sistemas podem ser: (1) autônomos, (2) autônomos e configurando mini redes, (3) conectados ao consumidor e também à rede de distribuição, conhecidos como Geração Distribuída ou (4) usinas centralizadas conectados ao Sistema Interligado Nacional (SIN). Este apêndice aborda o planejamento de sistemas fotovoltaicos conectados à rede de distribuição sem armazenamento de energia e sem considerar as possíveis implicações arquitetônicas. Os sistemas de mini e micro geração fotovoltaica, além de gerar eletricidade, podem ser utilizados como elemento arquitetônico de uma edificação. Os módulos fotovoltaicos com células solares de filmes finos permitem a sua integração ao envelope da edificação, podendo ser assim utilizados como cobertura de telhados, paredes, fachadas e serem incorporados as janelas sem comprometer a iluminação natural.

Para o planejamento da instalação do sistema, inicialmente é necessário uma visita em campo para (1) verificar a área disponível para a instalação do sistema e as características da energia elétrica fornecida pela rede; (2) verificar a orientação espacial dos módulos sobre a edificação ou terreno; e (3) coletar e analisar as grandezas solarimétricas do sítio. Com a visita feita e os dados coletados, elabora-se o projeto, que seguirá as seguintes etapas: (4) definir a melhor disposição dos arranjos fotovoltaicos e dos inversores c.c./c.a.; (5) simular as figuras de mérito do sistema; (6) definir o monitoramento de dados do sistema; e (7) a partir do projeto básico do sistema, proceder à análise da viabilidade econômica da implementação, considerando a estimativa de produção de energia, a operação e a manutenção do sistema.

A.1 Área e condições disponíveis para a instalação do sistema FV

A visita técnica é necessária para a avaliação do local da instalação do sistema fotovoltaico e da existência de outra fonte de energia elétrica. Se no local existe energia elétrica da concessionária estes sistemas podem ser conectados à rede e têm a opção de possuir sistema de armazenamento de energia com a finalidade de permitir o uso em horário de tarifa mais elevada, como também para auxiliar a estabilidade e a qualidade da energia de consumo.

No início do projeto, para dimensionar a potência do sistema a ser instalado, é necessário ter conhecimento da área disponível para a instalação dos módulos FV e a energia produzida prevista. Para o dimensionamento do sistema FV é utilizada a equação (A.1).

$$E = P_{FV}^o \cdot \frac{H_G}{G_o} \cdot TD \quad (A.1)$$

onde:

E = Energia fornecida pelo sistema FV (kWh/dia, ou por ano)

P_{FV}^o = Soma da potência nominal dos módulos (Wp) dos arranjos FV

H_G = Irradiação no plano inclinado dos módulos (kWh/m². Dia, ou por ano)

G_o = Irradiância de referência (STC = 1 kW/m²)

TD = taxa de desempenho (adimensional)

Os parâmetros H_G e G_o estão descritos no item - A.3 Grandezas solarimétricas e condições ambientais e a TD no item - A.8.3. Taxa de Desempenho.

Durante visita técnica, seja sistema sobre terreno, telhado ou integrado às edificações locais, é importante analisar o entorno do sistema FV para que, durante o planejamento do projeto, possam ser identificados possíveis sombreamentos da radiação solar ao longo das estações do ano sobre os módulos FV. Sombreamento causado por obstáculos próximos, tais como: árvores; edificações; caixas d'água; antenas; etc. Durante visita técnica é importante quantificar a manutenção do sistema FV, por exemplo estimando a frequência da limpeza dos módulos ao longo da vida útil, poda de árvores, corte de grama.

Em sistemas onde os módulos FV não estão integrados às edificações, é importante preparar a fixação dos módulos FV. Os módulos são adequadamente presos sobre perfis (normalmente de alumínio), que estão fixos a uma estrutura de suporte. Esta estrutura deve suportar o peso dos módulos, cabos e quadros de conexões e segurança (quando previstos) e suportar a carga de vento.

As estruturas de suporte podem (1) estar fixas sobre a laje de uma edificação, (2) ser o caibro de suporte do telhado, (3) como também podem estar sobre um terreno aberto. Estas estruturas normalmente são metálicas ou de madeira tratada. No caso de terreno aberto, a base das estruturas de suporte dos módulos FV depende das características do solo, que pode ser

argiloso, humoso, calcário e arenoso. Nas estruturas de suporte são geralmente encontradas estacas de madeira tratada, estruturas metálicas cravadas na terra ou sobre sapatas de concreto.

É necessário prever a logística de transporte e armazenamento dos módulos FV, dos condicionadores de potência e dos OCS.

No caso de uma instalação de mini ou micro geração, em uma edificação existente, é importante, durante a visita inicial, verificar as condições da instalação elétrica e do sistema de aterramento existentes. Caso necessário, adequá-los às normas técnicas vigentes, escolhendo também o ponto de conexão do sistema fotovoltaico com a instalação elétrica da edificação consumidora e com a rede de distribuição, de acordo com as normas da concessionária local. A edificação existente deve conter o sistema de proteção contra descarga atmosférica do local em conformidade com a norma técnica destes sistemas (NBR: 5419/2015).

A.2 Orientação dos módulos fotovoltaicos

Quanto maior a incidência de irradiação global (HG) sobre o módulo fotovoltaico, maior a possibilidade de geração de corrente elétrica. Para ocorrer maior incidência solar sobre o módulo FV, com menor massa de ar atmosférica, ele deve estar orientado com a face voltada para a linha do Equador, ou seja, azimuth (γ) igual a zero. De acordo com a aplicação do sistema é definida a inclinação (β) dos módulos FVs. Exemplificando, para garantir a autonomia dos sistemas FV com acumuladores de energia, são procurados os dias de baixa incidência solar ao longo de um ano para dimensionar a autonomia da bateria. Já para sistemas conectados à rede procura-se a inclinação que propicia a maior média anual de irradiação solar.

Estudo sobre incidência solar e orientação dos módulos mostram que, com uma pequena variação angular em relação ao norte geográfico e uma pequena variação na inclinação dos módulos, a perda na capacidade de produção de energia do sistema não é significativa (ZILLES et al., 2012).

As Figuras A.1a e A.1b mostram a variação de produção média anual de energia (E) sobre diferentes orientações (γ) e inclinações (β) de módulos FV integrados ou sobrepostos a telhados ou paredes de uma edificação nas cidades de São Paulo e Brasília. Onde $E = 100\%$

representa a maior produção de energia com a orientação considerada ideal: azimuth igual a zero e inclinação igual da latitude, em São Paulo $E = 1.506 \text{ kWh/m}^2$ e em Salvador $E = 1.935 \text{ kWh/m}^2$.

Figura A.1a Dados para cálculo da produção de energia na cidade de São Paulo

Figura A.1b Dados para cálculo da produção de energia na cidade de Salvador

Fonte: Ilustração adaptada a partir de (ZILLES et al., 2012)

Ressalta-se que, independente da orientação dos módulos fotovoltaicos, havendo incidência solar sobre os módulos, o sistema fornecerá energia elétrica, desde que a instalação elétrica tenha boa qualidade, com equipamentos adequadamente dimensionados e instalados.

Os sistemas fotovoltaicos instalados sobre edificações costumam aproveitar a estrutura dos telhados para a fixação dos perfis dos módulos FV, ou seja, aproveitam a inclinação e a orientação disponível do telhado. Esta é uma decisão que impacta a produção de energia c.c., no custo do sistema e no retorno do investimento.

Recomenda-se inclinação mínima de 10 graus para evitar o acúmulo de água e facilitar a limpeza natural com a chuva.

A.3 Grandezas solarimétricas e condições ambientais

Os dados solarimétricos e os ambientais determinam fatores que causam impacto no custo dos sistemas. Estes fatores são: tipo e tamanho da estrutura de sustentação dos módulos FV; tecnologia do módulo FV; previsão da produção de energia elétrica, estabelece a operação, manutenção e a capacidade do sistema de armazenamento quando utilizado:

- ✓ Irradiação global (H_G);
- ✓ Irradiação difusa;
- ✓ Irradiação solar direta (Para rastreador solar);
- ✓ Temperatura média ambiente;
- ✓ Temperatura de operação no módulo FV, a mínima e a máxima registrada;
- ✓ Carga de vento sobre a estrutura dos arranjos FV;
- ✓ Umidade do ar;
- ✓ Índice do albedo local;
- ✓ Acumulo de sujidade;
- ✓ Exposição a nevoeiro salino;
- ✓ Exposição a amônia (originada de dejetos de aves);
- ✓ Proximidade com linhas de transmissão.

Os dados das grandezas solarimétricas e condições ambientais podem ser obtidos de estações meteorológicas, de banco de dados existentes, ou de estações solarimétricas FV⁴² localizadas no ponto da instalação fotovoltaica. Quando necessário utiliza-se modelagem matemática provenientes de bancos de dados considerados de referência, que possuem pequenas variações entre as medições apresentadas.

Para avaliar o potencial da irradiação solar incidente (HG) em um local, é importante dispor de dados proveniente de fontes confiáveis, medidos em intervalos horários. Há poucas estações meteorológicas no Brasil que utilizam este intervalo na medição. Este intervalo se torna importante, pois a posição do sol varia a cada instante e algumas regiões são de muita nebulosidade provocando diferente irradiação sobre os módulos FV do sistema (PINHO; GALDINO, 2014).

Ressalta-se que a falta ou falha de dados solarimétricos confiáveis pode pôr em risco a previsão de produção de energia do sistema FV implicando em incerteza sobre o montante de energia elétrica. Os sistemas de monitoramento destes dados devem possuir manutenção de acordo com instruções do fabricante.

Como exemplo de banco de dados pré-existente, o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), vinculado ao Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, realiza monitoramento, análise e pesquisa das grandezas solarimétricas e ambientais. O Banco de Dados Meteorológicos do INMET tem incorporado em seu acervo, em forma digital, informações diárias coletadas desde 1961 (INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA, 2018), fornecendo dados à sociedade brasileira através de gráficos e tabelas com valores médios diários e mensais das grandezas. Ressalta-se que os valores são apresentados incluindo a intermitência da irradiação solar e considerando passagem de nuvens.

O Centro de Referência para Energias Solar e Eólica Sérgio Brito (CRESESB- CEPEL) disponibiliza um sistema de buscas de irradiação solar realizado com a inserção das coordenadas geográficas do sítio. O CRESESB utiliza os dados da web SunData, Atlas Solarimétrico do Brasil, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, e outros, para fornecer dados de irradiação sobre um determinado local (CRESESB-CEPEL, 2018). Os resultados são apresentados para a posição horizontal e podem ser convertidos para o plano inclinado

⁴² Estações que realizam somente as medições necessárias aos projetos de geração solar FV.

igual a latitude. A tabela A.1 apresenta como exemplo o resultado da irradiação solar diária média mensal da cidade de São Paulo, para aplicações de implementação/dimensionamento de sistemas fotovoltaicos.

Tabela A.1 – Dados da Irradiação Solar de São Paulo

Ângulo	Inclinação	Irradiação solar diária mensal (kWh/m ² .dia)												
		Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média
Plano horizontal	0°	4,50	5,00	4,06	3,61	3,19	2,94	3,22	3,72	3,75	4,03	5,00	4,53	3,96
Ângulo igual a latitude	24° N	4,10	4,77	4,15	4,04	3,91	3,78	4,09	4,36	3,95	3,92	4,49	4,08	4,14
Maior média anual	21° N	4,17	4,83	4,16	4,01	3,84	3,70	4,01	4,31	3,95	3,96	4,67	4,16	4,15
Maior mínimo mensal	28° N	3,99	4,67	4,11	4,06	3,98	3,88	4,18	4,42	3,94	3,86	4,47	3,96	4,13

Fonte: (CRESESB-CEPEL, 2018)

Para a contratação da energia das usinas solares fotovoltaicas, através dos leilões de energia, existe a obrigatoriedade da apresentação do histórico de medições contínuas de irradiação global horizontal, por período não inferior a doze meses consecutivos, que devem ser realizadas no local do empreendimento (EPE, 2014c). Este tipo de monitoramento é acessível para grandes empreendimentos e empreendedores. Para sistemas autônomos ou configurados para serem conectados à rede, admite-se a elaboração a partir de dados solarimétricos de estações meteorológicas ou solarimétricas, utilização de parâmetros derivados de dados de satélite e dados obtidos a partir de modelos numéricos de interpolação, entre outros. Os dados são obtidos a partir da geometria Terra – Sol pelas coordenadas (latitude e longitude) do local do empreendimento.

A instrumentação das estações solarimétricas mede a radiação global e a radiação difusa nos planos horizontal e inclinado. Deve-se ressaltar que no local do empreendimento deve-se considerar a radiação global incluindo a radiação direta, a radiação difusa e a terceira componente, o albedo. O albedo é a parte da radiação solar que chega à superfície da Terra e é refletida pelo ambiente do entorno (solo, obstáculos, vegetação, etc.) (PINHO; GALDINO, 2014).

A tabela A.2 apresenta os índices típicos de albedo para diferentes superfícies. A intensidade do albedo depende das características das superfícies no entorno da instalação.

Tabela A.2 Típicos valores de albedo para diferentes tipos de superfície

Superfície	Albedo
<i>Gramado</i>	0,18 - 0,23
<i>Grama Seca</i>	0,28 - 0,32
<i>Solo descampado</i>	0,17
<i>Asfalto</i>	0,15
<i>Concreto novo (sem ação de intempéries)</i>	0,55
<i>Concreto (em construção urbana)</i>	0,2
<i>Neve fresca</i>	0,8 - 0,9
<i>Água, para diferentes valores de inclinação solar:</i>	
$\alpha > 45^\circ$	0,05
$\alpha = 30^\circ$	0,08
$\alpha = 20^\circ$	0,12
$\alpha = 10^\circ$	0,22

Fonte: (PINHO; GALDINO 2014)

Ao atravessar a atmosfera da terra, a radiação solar tem sua intensidade e distribuição espectral e angular afetadas por efeitos de absorção e espalhamento. As modificações dependem da espessura da massa de ar (AM - *Air Mass*) da camada atmosférica que a radiação solar atravessa. O percurso da radiação na atmosfera, até atingir a superfície do planeta varia ao longo do dia. A intensidade da radiação recebida é função da posição relativa Terra-Sol e é variável ao longo do ano . A figura A.2 ilustra a variação da massa de ar em um ponto, ao longo de um dia de referência.

Figura A.2 Ilustração dos diferentes percursos da radiação solar na atmosfera ao longo do dia

Fonte: (PINHO; GALDINO, 2014); adaptação da autora.

A irradiação solar sobre um plano sofre alterações devido a massa de ar e também devido a nebulosidade local. Exemplificando, a Figura A.3 mostra o registro da irradiância ao longo de três dias com diferentes nebulosidades sobre uma mesma superfície (W/m^2). Nas estimativas de produção de energia elétrica é útil ignorar os efeitos de variação da irradiação instantânea.

Figura A.3 Irradiância em dias com diferentes nebulosidades

Fonte: Sistema de 70 kW instalado no campus São Paulo – IFSP

Há relação direta entre a linearidade da irradiância e potência sobre uma superfície do módulo fotovoltaico ao longo de um dia, como exemplificam as figuras A.4.

Figura A.4 Linearidade entre irradiância e potência

Fonte: Sistema de 70 kW instalado no campus São Paulo – IFSP

Como a potência do módulo FV varia ao longo do dia, a potência nominal do módulo é fornecida considerando as condições de referências utilizadas condições padrão de ensaio (STC - *Standard Test Conditions*). A STC utiliza as referências de irradiância (G_o) 1.000W/m² sob a distribuição espectral de AM 1,5 e temperatura de ambiente de 25°C⁴³. A representação da potência de referência do módulo FV utiliza a unidade “watt-pico”.

Considerada a condição de referência para o padrão de ensaio do módulo FV, irradiância (G_o) como 1.000W/m², se estabelece o valor acumulado de energia solar ao longo do dia, denominado de número de Horas de Sol Pleno (HSP). A grandeza HSP reflete o equivalente ao número de horas em que a irradiação solar permanece constante e igual a 1.000W/m². Assim, a energia resultante será equivalente à irradiância instantânea (W/m²) disponibilizada pelo Sol no local considerado, acumulada em horas ao longo do tempo.

Exemplificando, um local onde a irradiação média diária é 4 kWh/m², a HSP é dada pela equação (A.2).

$$HSP = \frac{4 \text{ kWh} / \text{m}^2 \bullet \text{dia}}{1 \text{ kW} / \text{m}^2} = 4 \text{ h} \bullet \text{dia} \quad (\text{A.2})$$

Grande importância tem o estudo da duração e da variação da temperatura de operação no módulo FV. Com o aumento da temperatura ambiente e perdas térmicas devidas a corrente fotovoltaica, os módulos se aquecem, resultando em redução de sua tensão de operação.

A variação das grandezas elétricas de saída do módulo fotovoltaico, devido à variação de temperatura ambiente e de operação, são apresentadas em catálogos dos fabricantes. Os catálogos apresentam as grandezas em condições padrão de ensaio (STC) e na temperatura nominal de operação da célula (NOCT - *Nominal Operating Cell Temperature*), quando submetido a irradiação de 800W/m², à temperatura ambiente de 20°C e velocidade do vento de 1m/s.

⁴³ Conforme estabelecido pela RTAC001652 – Anexo da portaria INMETRO Nº 004/2011, para módulos de silício cristalino e filmes finos.

Exemplificando, a tabela A.3 apresenta os coeficientes de temperatura para a variação de corrente de curto circuito (I_{cc}), variação de tensão de circuito (V_{oc}) e variação da potência máxima (P_{mp}) respectivamente nas STC.

Tabela A.3 – Variação das grandezas de saída dos módulos em função dos coeficientes de temperatura.

Grandeza	Coefficiente de variação
I_{cc}	+ 0,58%/°C
V_{oc}	- 0,330/°C
P_{mp}	- 0,410%/°C

Fonte: (JA SOLAR, 2018)

A figura A.5 ilustra a variação de corrente e tensão em diferentes temperatura de operação dos módulos fotovoltaicos

Figura A.5 – Curva da variação de corrente e tensão de operação

Fonte: (JA SOLAR, 2018)

No estudo das grandezas ambientais deve-se quantificar o vento, a umidade, o acúmulo de sujeira sobre o módulo, a exposição a nevoeiros salinos, areia e amônia, pois o conhecimento desses fatores permitem a otimização da escolha da tecnologia FV, da estrutura de fixação dos módulos e da previsão da manutenção dos sistemas.

O acúmulo de sujeira sobre os módulos FV leva a perdas de produtividade do sistema. O efeito da sujeira resulta em impactos diferentes em sistemas de módulos fotovoltaicos de diferentes características tecnológicas. A transmitância espectral do vidro coberto por uma camada de poeira decai mais para menores comprimentos de onda, gerando maior impacto nos módulos de silício amorfo a-Si:H e a-Si:H/ μ c-Si (HICKEL et al., 2016). Efeitos do vento

e de sujidade não homogênea sobre os módulos devem ser considerados de acordo com a região.

A.4 Seleção dos arranjos fotovoltaicos e inversores c.c./c.a.

O mercado solar fotovoltaico disponibiliza módulos FV em diversas tecnologias de fabricação de células solares, de potência nominal e de superfície ativa (m^2). Em função da elevada disponibilidade no mercado de módulos FV e também dos condicionadores de potência, podem existir diversas configurações de arranjos com uma mesma potência nominal e que ocupem aproximadamente o mesmo espaço físico. Com os módulos em série e paralelo somam-se tensões e ou correntes de saída. A figura A.6 exemplifica uma configuração de arranjo FV conectados a uma caixa de junção c.c./c.c..

Figura A.6 Exemplo típico de arranjo FV de um sistema conectado a uma caixa de junção c.c./c.c..

Fonte: Elaboração da autora.

Os inversores c.c./c.a. possuem especificações de nível de tensão do lado c.c. e c.a. A entrada do inversor exige uma tensão mínima para início de operação e suporta um valor máximo tensão, enquanto que os terminais c.a. devem exibir nível de tensão compatível com a tensão do lado c.a. (por exemplo da rede de distribuição). Os catálogos dos fabricantes trazem estas informações, e também o limite da corrente inversa e características dos fusíveis para a proteção do arranjo FV, entre outras.

Quando os módulos FV são colocados em série e em paralelo, as variações de corrente, tensão e potência instantânea, causadas pelas variações das grandezas solarimétricas e ambientais, tornam-se significativas. Assim, devem ser considerados os coeficientes de temperatura fornecidos pelo fabricante do módulo.

Alguns inversores possuem mais de um seguidor do ponto de máxima potência (SPMP), permitindo a conexão de arranjos FV com características de saída diferentes. A Figura A.7 apresenta a curva I x V de um arranjo FV com três séries de 18 módulos em paralelo e com características semelhantes.

Figura A.7 Soma da I x V de cada arranjo Fotovoltaico

Fonte: (MERMOUD; VILLOZ, 2017) – Sistema de 70kW instalado no campus São Paulo – IFSP

Os sistemas que possuem arranjos com módulos fotovoltaicos com tecnologia de filme fino, por utilizarem material amorfo (a-Si:H) apresentam uma potência inicial superior à nominal, variando entre 110% e 130%, nas STC. Para esta tecnologia de células os demais dispositivos do sistema, tais como inversores, controladores de carga e proteções, devem prever o decréscimo da potência nominal do módulo, que ocorre em até 12 meses.

A escolha dos inversores deve estar de acordo com a aplicação: (1) sistemas autônomos que utilizam baterias; (2) sistemas híbridos que possuam grupo gerador motor,

geradores eólicos e baterias; ou (3) podem estar conectados à rede de distribuição e possuírem ou não sistema de armazenamento por meio de baterias.

Os inversores c.c./c.a., quando utilizados com conexão com a rede, devem fornecer a energia gerada em c.a. de acordo com os Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional (ANEEL, 2017d) e nos níveis das características da interface de conexão com a rede elétrica de distribuição, como estabelecidas pela ABNT NBR 16.149 – 2013 (ABNT, 2018).

A compatibilidade do sistema fotovoltaico com a rede é governada pela faixa operacional normal de tensão e frequência, distorção harmônica e fator de potência da rede. O sistema fotovoltaico, pelo inversor c.c./c.a. monitora as faixas operacionais e em caso de desvio dos padrões estabelecidos, o inversor é responsável em cessar o fornecimento de energia c.a. para a rede. Essa situação é conhecida como “Proteção de ilha”. O inversor é o responsável pelo religamento automático da rede quando do retorno da normalidade na rede elétrica. As características da interface de conexão com a rede elétrica são verificadas de acordo com a norma de Procedimento de Ensaio de Conformidade (ABNT NBR 16.150, 2013) (ABNT, 2018).

Para sistemas conectados à rede de distribuição, os inversores devem ter capacidade total de potência entre 85% a 100% da capacidade dos módulos FV que compõem o sistema (ZILLES et al., 2012). O fator de dimensionamento do inversor (FDI) é apresentado na equação (A.3).

$$FDI = P_{c.a.}/P_{c.c.} \quad (A.3)$$

Onde:

$P_{c.a.}$ = Potência nominal do(s) inversor(es)

$P_{c.c.}$ = Potência nominal do(s) arranjo(s) FV(s)

Durante a escolha do inversor c.c./c.a., deve-se observar a curva de eficiência do inversor. A eficiência do inversor é variável com a tensão c.c. dos arranjos FV. A Figura A.8 apresenta a curva típica de um inversor em função da tensão e da potência de entrada c.c.

Figura A.8 - Curva típica de um inversor c.c/c.a. de 20 kW conectado à rede.

Fonte: (MERMOUD; VILLOZ, 2017); adaptação da autora.

A.5 Armazenamento de energia

Até o ano de 2017 no Brasil, a principal finalidade do armazenamento em um sistema fotovoltaico autônomo é o de garantir fornecimento de energia elétrica para consumo quando não houver a irradiação solar. Para o caso de sistemas autônomos dimensiona-se o sistema para suportar também o consumo de energia noturno e dos períodos de dias com irradiação reduzida.

Para sistemas conectados à rede dimensiona-se o sistema de armazenamento para interrupções da rede elétrica de modo a permitir a segurança de dados, refrigeração de fármacos, continuidade de sistemas de alarme, acionamento de iluminação de emergência e outros.

O armazenamento de energia solar FV ocorre por um sistema de acumulação de energia. Exemplificando: a acumulação de água em reservatório elevado equivale à energia solar convertida em energia potencial gravitacional, através de um sistema de bombeamento de água. Para a acumulação de energia elétrica o mais comum é a utilização de sistemas de armazenamento por baterias. Tais sistemas são compostos por baterias, controlador de carga e quadro de conexão com proteção e controle.

As baterias para utilização em sistemas fotovoltaicos devem ser do tipo estacionárias adequadas para descarga em ciclo profundo. Estas têm o diferencial de suportar maiores descargas de energia. Baterias automotivas devem ser evitadas, pois são produzidas para fornecer picos de correntes para partida de motores.

O dimensionamento do sistema de armazenamento depende da aplicação do sistema fotovoltaico. A inclusão de baterias no sistema exige previsão de manutenção das mesmas e seu descarte adequado.

O armazenamento de energia de sistemas fotovoltaicos ainda constitui um desafio para o setor elétrico. Novas tecnologias estão sendo desenvolvidas e implantadas.

A.6 Dimensionamento de cabos e das proteções do sistema fotovoltaico

A proteção das instalações dos sistemas fotovoltaicos devem atender as normas técnicas pertinentes a Instalações elétricas como: Instalações Elétricas de Baixa Tensão (NBR – 5410/2004), Instalações Elétricas de Média Tensão (NBR – 14.039/2005), Instalações Elétricas de Arranjos Fotovoltaicos – Requisitos Técnicos (em fase de elaboração, até o primeiro trimestre de 2018), e quando necessário a de Sistema de Proteção de Descargas Atmosféricas (NBR – 5419/2015).

A.7 Perdas no sistema e produção de energia em c.a.

A produtividade do sistema está vinculada, como visto, às condições solarimétricas, condições ambientais do local da instalação, condições intrínsecas do módulo FV, perdas nos cabos c.c e c.a e perdas em quadros de conexões elétricas e em transformadores, quando utilizados.

As condições intrínsecas são inerentes a tecnologia do módulo FV e causam pequenas perdas na produção. A seguir apresentam-se as perdas mais conhecidas:

- ✓ Degradação da célula e módulo fotovoltaico ;
- ✓ Reflexão da radiação no vidro de cobertura do módulo;
- ✓ Degradação Induzida por Potencial (PID);
- ✓ Degradação Induzida pela Luz (LID);
- ✓ Não homogeneidade dos parâmetros elétricos (*mismatch*);
- ✓ Efeito do ângulo de incidência da radiação solar

Degradação das células e do módulo fotovoltaico

Inerentemente à tecnologia, a partir do início do funcionamento do módulo FV, a potência vai diminuindo levemente ao longo do seu tempo de vida útil. É a chamada degradação da potência de módulos FV.

Exemplificando, em módulos de silício cristalino instalados em campo a degradação de potência é de cerca de 0,5% ao ano. Com tal degradação anual, no período de 10 a 12 anos de operação aproximadamente, o módulo fotovoltaico pode ter sua potência de pico (Wp) reduzida a 90% do valor nominal de catálogo. Com 25 anos de vida útil a degradação pode chegar a aproximadamente 20%. Os fabricantes apresentam estes dados em seu catálogo. A figura A.9 apresenta um exemplo da degradação da potência de módulo policristalino.

Figura A.9 - Degradação em potência de um módulo policristalino ao longo da vida útil (em anos)

Fonte: (JA SOLAR, 2018); adaptação da autora.

Refletância do vidro de cobertura sobre as células do módulo

Os vidros de cobertura dos módulos fotovoltaicos possuem revestimento antirreflexo que propicia o direcionamento de mais irradiação sobre as células solares, resultando em um maior rendimento energético. Referidos vidros devem ter baixíssima rugosidade de forma a reduzir perda de energia também proveniente de acúmulo de sujeira e poeira.

Degradação Induzida por Potencial (PID)

A diferença de potencial existente entre módulos e moldura de fixação em módulos com umidade/sujidade na superfície frontal, promove corrente de fuga. O campo elétrico intenso provoca movimentação de íons de sódio, provenientes do vidro, em direção à junção da células, resultando na degradação das mesmas. Condições de umidade, ambiente salino ou com amônia, agravam os fatores de risco a PID.

Por certificação internacional, a degradação induzida por potencial não deve ultrapassar 5% (IEC, 2016). Rotineiramente, em simulações para os dimensionamentos dos sistemas fotovoltaicos, adota-se valor de 1,5% de PID nos módulos de silício cristalino, durante a vida útil do sistema.

Degradação Induzida pela Luz (LID)

Os módulos fotovoltaicos de silício cristalino de homojunção tipicamente tem boro em sua na região “p”. A oxidação do boro causa perda de eficiência das células. Esta perda pode chegar a 1%. Embora pouco utilizados para geração massiva de energia, módulos FV de telureto de cádmio (CdTe), disseleneto de cobre e índio (CIS) e o disseleneto de cobre, gálio e índio (CIGS) não apresentam este tipo de degradação.

Não homogeneidade dos parâmetros elétricos (mismatching)

Módulos fotovoltaicos apresentam características de tensão e corrente de saída c.c. com pequenas variações mesmo de mesma série de fabricação. Quando uma série de módulos é colocada em paralelo com outras, ocorre circulação de corrente dentro do próprio arranjo. A razão é a “não homogeneidade” (descasamento) da potência máxima de módulos individuais “iguais”. Esta não homogeneidade entre os módulos causa perdas na potência total do arranjo.

Arranjos fotovoltaicos devem ser projetados de modo a evitar a circulação de corrente dentro do próprio arranjo fotovoltaico. O projeto de norma Instalações Elétricas em baixa tensão – Arranjos FV apresenta o valor limite deste descasamento entre a tensão e corrente. Usualmente a perda considerada é de 2%, em simulador (MERMOUD; VILLOZ, 2017).

A Figura A.10 ilustra o resultado de uma simulação de arranjo de 10 módulos de 260W fotovoltaicos em série, dispostos com o mesmo ângulo de inclinação e azimute.

Fonte: (MERMOUD; VILLOZ, 2017).

- *Efeito do ângulo de incidência da radiação solar (IAM – Incidence Angle Modifier)*

O ângulo de incidência da irradiação em um módulo FV estático modifica a produção de energia c.c. ao longo do dia e do ano. O posicionamento do módulo solar deve ser escolhido de forma a levar em consideração a aplicação do sistema FV, conforme visto em A.2.

A.8 Análise econômica dos sistemas FV

A análise econômica dos geradores de energia solar FV é avaliada pelo custo de sua produção anual de energia elétrica em c.a.. Em usinas fotovoltaicas centralizadas, o custo da produção deve ser comparado com os de outras fontes de energia elétrica que compõem a matriz elétrica. Na geração distribuída fotovoltaica o custo é comparado com o da tarifa de energia praticado pela concessionária de energia.

No segundo leilão de reserva (LER) de 2015, o preço médio de venda da energia, promovido pelas usinas solares fotovoltaicas, foi de R\$ 250/MWh, enquanto o custo de instalação foi de R\$ 3,9/Wp (CCEE, 2015b), superior ao de outras fontes primárias de energia

elétrica. Em 2017, no leilão de energia nova o preço médio de venda da energia fotovoltaica foi de R\$ 145/MWh. Neste leilão a energia fotovoltaica se apresentou com preço inferior ao das PCH e CGH e da biomassa da cana (EPE, 2017b).

Em 2014, estudo realizado por Nakabayashi verificou que o custo da energia de sistemas de micro geração FV estava próximo, em alguns estados brasileiros, da tarifa praticada pelas concessionárias de energia. Em instalações fotovoltaicas sobrepostas ao telhado de edificações, conectadas à rede e com potência instalada de até 5 kWp o custo médio observado foi de R\$ 7,3/Wp, enquanto que em uma instalação com potência instalada entre 5 a 10kWp este custo foi de na média R\$ 5,7/Wp (NAKABAYASHI, 2014). Neste estudo foram incluídos os valores dos impostos de ICMS, PIS, COFINS e de taxas de importação. Desde 2016, na maioria dos estados brasileiros, o ICMS para sistemas de micro geração não está sendo cobrado. Observar que este tipo de incentivo pode ser deixar de existir em função de contingências econômicas.

A análise econômica de sistemas fotovoltaicos com módulos fotovoltaicos sobrepostos a telhados deve considerar a adaptação à edificação, que pode ser bastante simples. A análise econômica de sistemas fotovoltaicos integrados deve ser feita de maneira diferente, pois tais sistemas consideram os módulos incorporados ao design do projeto arquitetônico, substituindo, frequentemente, materiais de revestimento e ou cobertura.

Os valores de custo de potência instalada dos sistemas, em R\$/Wp, apresentados podem sofrer variação com algumas das condições aqui exemplificadas:

- ✓ Tipo da estrutura de fixação dos apoios dos módulos;
- ✓ Qualidade dos equipamentos do sistema FV e seu correto dimensionamento;
- ✓ Rotas de cabos e eletrodutos;
- ✓ Qualidade, segurança e conexão com o sistema elétrico local;
- ✓ Segurança a não acesso de pessoas em área pública;
- ✓ Na geração distribuída – com a adequação em quadros de distribuição;
- ✓ Capacidade do sistema de armazenamento;
- ✓ Precisão e complexidade do sistema de monitoramento de dados;
- ✓ Em usinas fotovoltaicas – conexão com a linha de transmissão, muitas vezes através de subestações de energia.

O custo da produção de energia em c.a. de sistemas fotovoltaicos pode ser influenciado por/pela:

- ✓ Intensidade da irradiação solar sobre o módulo;
- ✓ Levantamento dados solarimétricos e ambientais de referência não confiáveis;
- ✓ Orientação dos módulos na instalação;
- ✓ Energia injetada na rede e não compensada de acordo com a Resolução REN 687/2015 (ANEEL, 2015c) - no caso de geração distribuída;
- ✓ Qualidade da manutenção (devido a sujidade ou identificação de parciais danos);
- ✓ Qualidade/precisão dos dados do sistema de monitoramento da operação dos sistemas.

Os módulos fotovoltaicos são projetados e fabricados devendo operar de forma satisfatória por períodos de cerca de 30 anos. São fabricados para serem utilizados em ambiente externo em diferentes condições climáticas.

Como exemplo, Nakabayashi (2014) em sua análise custo-benefício de uma instalação fotovoltaica conectada à rede de distribuição, que não utiliza baterias adotou as seguintes premissas técnicas:

- Degradação dos módulos FV: 0,1% a.a.;
- Taxa de desempenho = 75%;
- Operação e Manutenção: 1% a.a.;
- Evolução das tarifas em linha com a inflação no horizonte de 25 anos.

Uma vez definido a gestão do projeto do sistema fotovoltaico e prevista a produção de energia c.a., é importante avaliar as figuras de mérito do sistema FV. Esta avaliação funciona como uma verificação prévia do sistema a ser implementado e deve ser comparada com as de outros sistemas instalados. As figuras de mérito consideradas são: Fator de Capacidade; Produtividade; e Taxa de desempenho.

Fator de Capacidade (FC)

O fator de capacidade é um índice utilizado para as usinas elétricas e independe da fonte de energia. O FC é a razão entre a energia produzida e a energia que ela entregaria se

operasse 100% do tempo em sua capacidade nominal, de acordo com a equação (A.4). Este é um número adimensional.

$$FC = \frac{\int_0^T P(t) dt}{P_{INV}^o} \quad (A.4)$$

Onde:

$P(t)$ = potência entregue pelo sistemas no instante t, em kW;

P_{INV}^o = potência nominal do(s) inversor(s) sistema, considerando que opera 24horas/dia, em kVA;

T = representa o período de integração (geralmente um ano, 8.760 horas).

No caso específico de energia solar fotovoltaica, a fonte solar não pode ser considerada como uma fonte de energia firme convencional e sim uma fonte de energia intermitente. Pela equação (A.4), é considerado que, o sistema opera 24 horas em sua potência nominal em condição padrão (1.000 W/m², 25°C e AM = 1,5). Por essa razão os sistemas fotovoltaicos possuem as figuras de mérito: produtividade e taxa de desempenho.

No Brasil, o fator capacidade depende da disponibilidade do recurso solar e da tecnologia adotada. Este índice varia entre 13% e 18% (BENEDITO, 2009).

Produtividade (YR)

A produtividade de referência (Y_R - *Reference Yield*) é a razão entre a energia produzida pelo sistema por unidade de potência instalada. A equação (A.5) representa a produtividade do sistema. A produtividade é fornecida em kWh/kWp.

$$Y_R = \frac{\int_0^{8.760} P(t) dt}{P_{FV}^o} \quad (A.5)$$

Onde:

Y_R = Produção de energia por um período (t) considerado (kWh/kWp);

$P(t)$ = Potência entregue pelo sistema no instante t, em kW;

P_{FV}^o = Potência nominal total do sistema fotovoltaico (kWp).

O valor da produtividade corresponde à energia gerada, em kWh, para cada kWp instalado e permite comparar sistemas de diferentes eficiências de conversão e tipos de montagens. Sistemas instalados em uma mesma região, que possuam as mesmas características técnicas e elétricas devem apresentar figuras de produtividade semelhantes.

Taxa de Desempenho (TD)

A Taxa de Desempenho (PR – *Performance Ratio*) representa a capacidade do sistema na conversão da energia fotovoltaica em elétrica de c.a.. Esta representada pela expressão (A.6), adimensional. No planejamento da instalação esta expressão utiliza referência de produção e de irradiação incidente.

$$TD = \frac{Y_R}{\frac{H_G}{G_o}} \quad (A.6)$$

Onde:

TD = Taxa de Desempenho;

Y_R = Produção de energia por um período (t) considerado (kWh/kWp);

H_G = Irradiação incidente no plano gerador, em kWh/m²;

G_o = Irradiância de referência (STC = 1 kW/m²).

A taxa de desempenho é um índice utilizado que independe da incidência solar e da temperatura, pois considera a real produção de energia (Y_F), irradiação incidente ($H_{t,\beta}$) no plano do gerador e a temperatura de operação do mesmo. Estas grandezas devem ser obtidas e armazenadas por sistema de monitoramento.

Em estudo realizado por Benedito a taxa de desempenho verificada em diferentes sistemas fotovoltaicos instalados no país se encontra entre 70 e 80% (BENEDITO, 2009).

APÊNDICE B - INSTALAÇÕES ELÉTRICAS DE ARRANJOS FOTOVOLTAICOS

Este apêndice tem como objetivo abordar de forma simplificada as particularidades das instalações elétricas de arranjos fotovoltaicos com o intuito de auxiliar na elaboração do projeto elétrico dos sistemas FV. Como referência, este apêndice segue a norma técnica de Instalações Elétricas de Arranjos Fotovoltaicos⁴⁴ e a IEC – 62.548/2016 (IEC, 2016).

A norma de Instalações Elétricas de Arranjos FV deve estar em conformidade com a norma de Instalações Elétricas de Baixa Tensão (NBR – 5410/2004). Como a norma NBR – 5410/2004, destaca-se que esta se aplica às instalações elétricas em edificações ou instalações externas, tais como canteiros de obras, estacionamentos e outras⁴⁵.

A norma de Instalações Elétricas de Arranjos FV – Requisitos de Projeto considera que as instalações fotovoltaicas sejam construídas em edificações com a devida segurança apresentada a seguir. Pois além dos profissionais da área de eletricidade, existem profissionais como telhadistas, encanadores, instaladores de ar condicionado, e outros que porventura possam permanecer próximos as instalações dos geradores FV.

O objetivo da norma Instalação de Arranjos Fotovoltaicos é apontar os requisitos para a elaboração de projetos de segurança que surgem das particulares características dos geradores fotovoltaicos, visando a segurança de pessoas e a integridade elétrica e eletromecânica das instalações. Os sistemas FV operam em corrente contínua (c.c.) com capacidade de produzir e sustentar arcos elétricos com correntes próximas e pouco maiores que as correntes operacionais do sistema. Esta proximidade de valores de corrente de operação com a de corrente de curto circuito exige proteções diferenciadas.

O escopo da norma Instalações de Arranjos Fotovoltaicos define os requisitos de projeto das instalações elétricas de geradores fotovoltaicos até a(s) sua(s) saída(s) c.c., tratando assim dos módulos fotovoltaicos, suportes, cabos, dispositivos de proteção (fusíveis,

⁴⁴ Até a entrega desta tese, norma da ABNT em elaboração pelas comissões de estudos de eletricidade e de sistemas de conversão FV de energia solar (CE – 003:064.001/CE-03:082.01), até a entrega desta tese.

⁴⁵ Inclui, por exemplo, instalações externas às edificações, reboques e locais de acampamento, marinas, canteiro de obra, feiras e exposições temporárias.

disjuntores, dispositivos de proteção de surtos), caixas de junção, dispositivos de manobra (interruptores, seccionadores), sistema de aterramento e a equipotencialização do sistema^{46 47}.

A norma de instalações de Arranjos fotovoltaicos não se aplica a arranjos FV com potência menor que 100 W e tensão de circuito aberto menor que 35 Vc.c. ou maior que 1.500 Vc.c. nas condições STC. Assim como a norma também não abarca as Unidades Condicionadoras de Potência (UCPs). As UCPs podem ser conjuntos de baterias, controladores de carga de bateria, inversores c.c./c.a. e outros.

B.1 O arranjo fotovoltaico

Os modelos de Arranjos FV podem apresentar uma ou múltiplas saídas c.c. Estas saídas são acopladas a inversores c.c./c.a. com uma ou mais entradas c.c. A norma de Instalações Elétricas de Arranjos FV – Requisitos de Projeto apresenta seis configurações, que são discutidas ao longo do texto. Estas configurações estão pautadas na disposição dos módulos sobre telhados, aproveitamento das áreas disponíveis e diferentes inclinações de telhados.

A norma inicialmente denomina três configurações de Arranjos FV com uma saída a ser conectada à UCP: (1) Arranjo FV com Única Série; (2) Arranjo com Múltiplas Séries FVs; e (3) Múltiplos Sub Arranjos FV.

O Arranjo Fotovoltaico com Única Série é formado por módulos FV⁴⁸ em série, cabos c.c. conectados a dispositivo de segurança (representado por fusível) e chave interruptora, conforme mostrado em diagrama de blocos na Figura B.1.

⁴⁶ Por exclusão, esta norma não contempla as cargas consumidoras, rastreador solar, controles automáticos e fundação de estrutura para os suportes dos módulos FV.

⁴⁷ Requisitos adicionais podem ser necessários para instalações mais especializadas, como, por exemplo, sistemas com concentrador, sistemas de rastreamento solar ou sistemas integrados à edificação.

⁴⁸ Os módulos fotovoltaicos atualmente apresentam, como elemento padrão do fabricante, diodos de desvio da corrente gerada pelas células.

Figura B.1 Diagrama de blocos do Arranjo FV com Única Série

As saídas da instalação elétrica do arranjo FV, não importa a configuração, deve sempre estar conectadas aos dispositivos de proteção de saída contra sobrecorrente e chave seccionadora ou interruptora, para garantir o isolamento do arranjo com a UCP.

Os dispositivos de proteção contra sobre corrente costumam ser fusíveis (para os polos positivo e negativo) que devem ser instalados próximos à chave. Fusíveis e chaves podem estar acondicionadas em uma caixa de proteção.

Quando o gerador FV possuir mais de um Arranjo Fotovoltaico com Única Série com características iguais, ele é denominado de Arranjo Fotovoltaico com Múltiplas Séries. A Figura B.2 ilustra esta configuração com duas séries.

Figura B.2 Diagrama de blocos do Arranjo FV com Duas Séries

Fonte: Adaptado de IEC 62548, 2016

O paralelismo das séries FV ocorre em uma caixa de junção. Esta caixa contém barramentos para as conexões, proteções de sobre corrente (normalmente fusíveis) e chaves seccionadora individual por arranjo. Os cabos de saída da caixa de junção devem estar conectados adicionalmente a um dispositivo de proteção contra sobrecorrente e chave interruptora do arranjo. Estes últimos dispositivos são para garantir o isolamento do arranjo FV com a UCP.

Quando o gerador FV apresentar mais de um arranjo FV com múltiplas séries, ou seja, mais de uma caixa de junção, com características iguais, este passa a ser denominado de Múltiplos Subarranjos. A Figura B.3 ilustra o diagrama de bloco desta configuração.

Figura B.3 Diagrama de blocos do Arranjo FV com Múltiplos Subarranjos.

Fonte: (IEC 62548, 2016; adaptação da autora).

A norma considera configurações de Arranjos Fotovoltaicos com múltiplas saídas, vinculada com UCPs de múltiplas entradas em corrente contínua: (4) UCP com SPMP individuais e (5) UCP conectadas internamente a um barramento em corrente contínua comum.

Quando os inversores c.c./c.a. possuírem mais de um SPMP é permitida a conexão de arranjos FVs com características de saída (c.c.) diferentes entre si. Pelo estudo da norma, quando o inversor c.c./c.a. possuir SPMP individuais, o arranjo FV pode ser considerado como independente, conforme mostra a Figura B.4.

Figura B.4 – Diagrama de blocos do Arranjo FV – UCP com múltiplas entradas e SPMP individuais.

Fonte: (IEC 62548, 2016; adaptação da autora).

Alguns inversores c.c./c.a. possuem várias entradas que são conectadas internamente a um barramento comum c.c.. Nesta situação o inversor possui somente um SPMP, portanto cada seção do arranjo FV deve ter seus dispositivos de proteção. A Figura B.5 mostra o diagrama de blocos para esta configuração.

Figura B.5 – Diagrama de blocos do Arranjo FV – UCP com múltiplas entradas conectadas internamente a um barramento comum.

Fonte: (IEC 62548, 2016; adaptação da autora).

B.2 UCP Auxiliares c.c.

Esta norma considera UCP Auxiliares c.c.. Estas UCP auxiliares c.c. são dispositivos em que os módulos ou pequenos grupos de módulos são conectados para permitir o condicionamento de potência c.c. individual ou para permitir o desligamento automático sob condições pré-definidas. As saídas destas UCP auxiliares c.c. podem ser conectadas, conforme mostra a Figura B.6 (a) em série e/ou (b) em paralelo.

Figura B.6 – Série FV montada com UCP auxiliares c.c.

Fonte: IEC 62548, 2016; adaptação da autora.

B.3 Orientações para elaboração do projeto de Instalações Elétricas de Arranjos FVs

Para a elaboração do projeto, a norma fornece algumas orientações com foco no desempenho do arranjo FV e a segurança da instalação elétrica.

B.3.1 Configuração série – paralelo do arranjo fotovoltaico

A não homogeneidade da tensão (*mismatches*) entre os módulos FV deve ser minimizada. A norma estabelece que os parâmetros dos módulos e suas séries conectadas em paralelo devem exibir tensões de circuito aberto próximas e dentro de uma margem de 5%.

Para minimizar o descasamento entre os módulos dos arranjos FV, a norma recomenda que:

- Todos os módulos fotovoltaicos conectados ao mesmo SPMP de um inversor c.c./c.a. sejam da mesma tecnologia;
- Todas as séries, quando em paralelo, devam conter a mesma quantidade de módulos fotovoltaicos;
- Módulos fotovoltaicos conectados a um mesmo SPMP de um inversor c.c./c.a. devem possuir características elétricas similares de corrente de curto-circuito; de tensão de circuito aberto; de máxima potência; de tensão e de corrente de máxima potência, além de apresentar coeficientes de temperatura semelhantes;
- Módulos fotovoltaicos que pertençam eletricamente a um mesmo SPMP devem estar instalados com a mesma orientação (azimute e inclinação).

B.3.2 Considerações quanto a temperatura de operação dos arranjos fotovoltaicos

O aumento na temperatura das células fotovoltaicas pode ser consideravelmente maior que os 25°C preconizados nas condições padronizadas de testes STC, principalmente quando os níveis de irradiância forem superiores a 1.000 W/m².

Dada esta característica operacional das células fotovoltaicas, os seguintes requisitos para a elaboração do projeto elétrico do arranjo fotovoltaico devem ser considerados:

- Ventilação para limitar ao máximo aumento da temperatura dos módulos FV. Aumento da temperatura de operação reduz a tensão dos módulos fotovoltaicos. Variações de temperatura podem alterar a faixa de operação de tensão definida pelas características do inversor;

- Os componentes e equipamentos que podem ficar em contato direto ou próximos ao arranjo fotovoltaico (condutores, inversores, conectores, etc.) devem ser capazes de resistir a temperatura máxima de operação do arranjo fotovoltaico.

B.3.3 Considerações sobre o desempenho energético dos arranjos fotovoltaicos

Para garantir a taxa de desempenho (TD) do arranjo fotovoltaico, a norma destaca que durante a elaboração do projeto elétrico os seguintes aspectos devem ser considerados:

- Possível sombreamento sobre os módulos;
- Variações da temperatura ambiente e do módulo;
- A queda de tensão nos cabos;
- A obstrução da superfície ativa do arranjo fotovoltaico por poeira, sujidade, dejetos de aves, geada, poluição industrial, etc;
- Orientação dos módulos fotovoltaicos.

B.3.4 Considerações gerais para elaboração do projeto eletromecânico do arranjo

Durante a elaboração do projeto devem ser consideradas as seguintes situações:

- Dilatação térmica – Deve ser previsto no projeto e na montagem dos módulos fotovoltaicos a distância entre os eles para permitir a dilatação e a compressão de ambos, consideradas as temperaturas de operação previstas. Tais distâncias também devem ser observadas em conjunto com os componentes metálicos, incluindo as estruturas de suporte, os eletrodutos e as bandejas de cabos;
- Cargas mecânicas – O projeto deve prever a capacidade de carga da estrutura da edificação e ou do solo no que concerne à massa do arranjo fotovoltaico e das UCPs. O cálculo deve levar em consideração o peso das estruturas e perfis, o peso dos módulos fotovoltaicos, a carga de vento e o possível acúmulo de areia e granizo ou outro material que possa acumular sobre os módulos fotovoltaicos;
- Corrosão - As estruturas de suporte dos módulos devem utilizar materiais resistentes à corrosão ou aos materiais que sejam submetidos a um tratamento de superfície

adequado ao local de instalação e ao tempo de vida útil do sistema. É comum a utilização de alumínio, de aço galvanizado e de aço inoxidável. Devem ser tomadas precauções para evitar corrosão eletroquímica entre superfícies metálicas galvanicamente diferentes. Isto pode ocorrer, por exemplo, entre as estruturas existentes da edificação e os elementos de fixação do módulo fotovoltaico. Sendo assim, recomenda-se a utilização de materiais isolantes, assim como, planilhas de nylon e isoladores de borracha, de forma a reduzir a corrosão eletroquímica;

- Radiação UV – Todos os componentes expostos a radiação solar, tais como, as estruturas de suporte, condutores, eletrodutos, cintas para fixação devem ter tolerância à radiação UV durante a vida útil do sistema.

B.4 Proteções para a segurança de instalações elétricas dos arranjos FV

Em instalações elétricas convencionais, uma elevada corrente pode “queimar” um fusível ou desconectar um disjuntor, desconectando a instalação. Em arranjos fotovoltaicos, a intensidade da corrente de falta depende do número de séries fotovoltaicas, da localização da falta e do nível de irradiância, que varia ao longo do dia. Tais dependências fazem com que a detecção da possível falta e a abertura de dispositivo de segurança seja inoperante. Os arcos elétricos podem ser formados a partir da baixa intensidade de corrente, o que torna difícil a atuação dos dispositivos de proteção. As correntes de falta não são muito maiores do que as correntes de operação dos arranjos, mesmo sob as condições de curto-circuito.

O dimensionamento da proteção do arranjo fotovoltaico deve considerar a existência de sistema de armazenamento com baterias. Os sistemas com baterias possuem altas correntes de falta devido às características de sua baixa resistência interna.

Com estas implicações intrínsecas aos arranjos fotovoltaicos, a norma apresenta as recomendações apresentadas a seguir.

B.3.1 Proteção para segurança de risco de sobrecorrente

Os arranjos fotovoltaicos são geradores de corrente limitada, em que os valores de corrente de operação dos módulos e das séries se confundem com os valores de sobrecorrente,

pois são valores próximos. As sobrecorrentes são resultantes das sobrecargas e ou dos curtos circuitos.

A sobrecarga de um circuito é a sobrecorrente ocasionada pela ocorrência de potência superior à prevista para o gerador. Esta condição pode existir no caso de irradiância superior às condições de padrão de teste, estabelecidas como 1.000W/m². Para que haja a proteção dos módulos fotovoltaicos e condutores, a norma de Arranjo Fotovoltaico recomenda que os mesmos devem ser selecionados para operar de forma confiável e constante durante 2 horas com uma sobrecorrente de 135% acima da nominal⁴⁹.

A sobrecorrente ocasionada por curto circuito resulta de uma falha que ocorre quando dois condutores de potencial elétrico diferente (polo positivo x polo negativo, polo positivo x terra, ou polo negativo x terra) são colocados diretamente em contato através de impedância de valor desprezível.

Para dimensionar a secção dos condutores e os dispositivos de proteção, em caso de curto circuito, o projetista deve observar a capacidade de ruptura do dispositivo de proteção e o comprimento do condutor. A norma de arranjo FV prevê o dimensionamento do dispositivo da proteção de sobrecorrente, considerando a corrente de curto circuito dos módulos FV, das associações séries e das paralelas. Devem-se calcular as correntes de curto circuito em cada ponto de junção dos circuitos.

A NBR 5410 estabelece que os condutores vivos devem ser protegidos por um ou mais dispositivos de seccionamento automático contra sobrecarga e contra curtos circuitos. Estas proteções devem ser devidamente coordenadas.

A norma de Arranjos FV faz as seguintes orientações para o dimensionamento dos condutores e dispositivos de proteção:

O dimensionamento da proteção de sobrecorrente do “Arranjo FV de série única” deve atender simultaneamente as condições apresentadas pelas equações B.1, B.2 e B.3

$$I_n > 1,5 \times I_{SC_MOD} \quad (B.1)$$

$$I_n < 2,4 \times I_{SC_MOD} \quad (B.2)$$

$$I_n \leq I_{MOD_MAX_OCPR} \quad (B.3)$$

⁴⁹ IEC 61.730 – A capacidade de suportabilidade térmica de um módulo fotovoltaico com uma corrente inversa é caracterizada durante um teste de duas horas, especificado no teste de segurança do módulo na IEC 61730.

onde:

I_n - corrente nominal do dispositivo de proteção;

I_{SC_MOD} - Corrente de curto circuito de um módulo ou série de módulos fotovoltaicos;

$I_{MOD_MAX_OCPR}$ - Valor máximo da corrente de proteção do módulo FV, característica intrínseca do módulo FV (*Limiting Reverse Current*). Valor fornecido pelo fabricante em catálogo.

- O dimensionamento da proteção de sobrecorrentes de multi séries deve atender simultaneamente as seguintes condições, apresentadas pelas equações B.4 e B.5.

$$I_n > 1,5 \times S_G \times I_{SC_MOD} \quad (B.4)$$

$$I_n < I_{MOD_MAX_OCPR} - (S_G - 1) \times I_{SC_MOD} \quad (B.5)$$

Onde:

S_G é o número de séries fotovoltaicas em um grupo sob a proteção de um único dispositivo contra sobrecorrente. Verificar que o fabricante do módulo FV forneça o valor máximo de corrente suportado pelo fusível da série.

- O dimensionamento da proteção de sobrecorrente de subarranjos fotovoltaicos deve atender simultaneamente as seguintes condições:

$$I_n > 1,25 \times I_{SC\ S-ARRANJO} \quad (B.6)$$

$$I_n < 2,4 \times I_{SC\ S-ARRANJO} \quad (B.7)$$

O multiplicador 1,25 é usado ao invés do multiplicador 1,5 utilizado para séries fotovoltaicas para permitir seletividade entre os dispositivos do projeto. Deve-se observar que o uso de um multiplicador mais baixo, em áreas em que a irradiância pode ser frequentemente mais elevada, poderia causar atuações indevidas do sistema de proteção.

- As localizações dos dispositivos da proteção de sobrecorrente devem estar onde os condutores das séries FV se conectam nas caixas de junção para formar os sub arranjos e ou arranjos. Uma proteção adicional é necessária para garantir a segurança do arranjo e o isolamento com as UCPs através de chave seccionadora.

As figuras B.1 até a B.5 mostram a localização dos dispositivos de proteção e as chaves seccionadoras.

A norma Arranjo FV apresenta mais uma possibilidade de configuração de arranjo fotovoltaico. Esta configuração pode ser composta de vários subarranjos onde, em uma caixa de junção, ocorre o paralelismo com a proteção por sobrecorrente e sobrecarga, próxima ao arranjo FV. A Figura B.7 ilustra esta configuração para um subarranjo.

Fig. B.7 Configuração de um subarranjo com as séries em paralelo e um único dispositivo de proteção

Fonte: (IEC 62548, 2016; adaptação da autora).

B.4.2 Proteção para segurança de risco de sobretensões e perturbações eletromagnéticas

A norma recomenda a proteção para segurança de risco de sobretensão e perturbações eletromagnéticas, utilizando o dispositivo de proteção contra surtos (DPS). Sobretensões e perturbações podem ser de origem atmosférica transmitidas pelos sistemas de alimentação ou podem ser decorrentes de surtos de comandos de acionamento de fusíveis, disjuntores e chaves.

A norma de arranjo faz as seguintes recomendações e observações:

- A área dos laços de condutores deve ser mínima. A Figura B.8 mostra a disposição de condutores em paralelo, em um Arranjo de Série Única, sem os laços de cabos que promovem o potencial capacitivo;

Fig B.8 Três exemplos de disposição de condutores (+) e (-) entre módulos FV

Fonte: Elaboração da autora.

- Condutores longos que são instalados em eletrodutos ou em canaletas metálicas, com conexão com a terra, devem prever DPS;
- Para proteger equipamentos específicos, os DPS devem ser instalados o mais próximo possível deles. Como exemplo, os inversores são dispositivos eletrônicos muito sensíveis a distúrbios eletromagnéticos;
- Atenção deve ser dada aos DPS construídos com varistores, pois estes ao chegarem ao fim de sua vida útil, tornam-se curtos-circuitos e podem se inflamar;
- Utilizar o barramento de equipotencialização (BEP) dos circuitos;

- A norma de arranjo fotovoltaico chama a atenção para que os condutores positivo e negativo das séries sejam agrupados, juntamente com o condutor de proteção (PE) e o Barramento de Equipotencialização (BEP), para reduzir a intensidade de sobretensões induzidas;
- Se o sistema fotovoltaico for instalado em uma edificação que contemple o sistema de captação de descarga atmosférica, a instalação do sistema fotovoltaico deve ser integrada ao mesmo;
- A necessidade da instalação de Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas (SPDA) deve ser avaliada de acordo com a norma NBR 5419. A proteção contra sobretensão é uma questão complexa e uma avaliação completa deve ser realizada principalmente em áreas onde descargas atmosféricas são comuns.

B.4.3 Proteção para segurança de risco de choque elétrico

Na instalação do arranjo fotovoltaico, a proteção para segurança de risco de choque elétrico é feita com sistema de aterramento e equipotencialização, proteção de isolamento reforçado dos componentes do sistema e proteção contra efeito de falha de isolamento.

Aterramento e equipotencialização

Os sistemas de aterramento e equipotencialização são utilizados na proteção contra choques elétricos e na proteção contra sobretensão e perturbações eletromagnéticas. A norma de arranjo fotovoltaico apresenta as seguintes considerações para as instalações:

- Utilizar o barramento de equipotencialização (BEP) em todos circuitos;
- Condutores de equipotencialização do arranjo fotovoltaico devem ser instalados o mais próximo possível dos condutores positivo e negativo do arranjo fotovoltaico ou dos subarranjos fotovoltaicos;
- Onde haja a necessidade de sistema de proteção de descarga atmosférica (SPDA), o condutor utilizado para aterramento do sistema fotovoltaico deve ter seção mínima de 16mm² e ser de cobre ou equivalente. Caso o sistema não necessite de SPDA o diâmetro mínimo do condutor deve ser de 6mm².

- O aterramento funcional do arranjo fotovoltaico é permitido desde que haja isolação galvânica entre os lados em corrente contínua e alternada. Este aterramento funcional deve ser feito no próprio inversor c.c./c.a. ou o mais próximo possível de seus terminais e da chave seccionadora. Os inversores devem ser compatíveis com esta aplicação.

O aterramento funcional de um sistema fotovoltaico surge quando em alguma tecnologia de módulo FV, para o seu correto funcionamento, ocorre a necessidade de aterramento no terminal positivo ou negativo do arranjo e, além disso, em algumas vezes é desejado estabilizar a tensão com relação à terra (ALMEIDA, 2012).

Isolação dos componentes do arranjo FV

O nível de proteção para choque elétrico dos componentes utilizados nos arranjos FVs devem ter de classe II – Isolação dupla ou reforçada. Ou seja, módulos FV, caixas de junção, quadros c.c. e condutores devem ser equipamentos com “isolamento duplo”. Estes componentes são concebidos para que não exista a necessidade de um condutor de proteção (PE) ligado à terra.

Nas isolações classe II, os equipamentos utilizados devem ter, no mínimo, duas camadas de material isolante nas partes "vivas" (energizadas). Componentes com proteção classe II são identificados por símbolos, que devem ser visíveis no exterior e no interior do invólucro. O símbolo varia de acordo com a origem da certificadora do equipamento.

Exemplos; ou .

Nos arranjos de Extra Baixa Tensão (SELV – *separated-extra-low-voltage*⁵⁰ e PELV – *protected-extra-low-voltage*⁵¹), em que a tensão máxima de operação é menor que 35 Vcc, as

⁵⁰ Sistemas eletricamente separados da terra e de outros sistemas, de tal modo que a ocorrência de uma única falha não resulte em risco de choque elétrico (NBR 5410, 2004).

⁵¹ São os sistemas de extra baixa tensão que não são eletricamente separados da terra, mas que preenchem, de modo equivalente, todos os requisitos SELV (NBR 5010, 2004).

partes vivas não precisam necessariamente ser inacessíveis, podendo dispensar isolamento básica, barreira ou invólucro.

Proteção contra os efeitos de falhas de isolamento

Na NBR 5410/2004, a proteção contra efeitos de falhas de isolamento está implícita na seção de proteção contra choques por contato indireto.

As falhas por isolamento devem ser monitoradas por dispositivo interruptor de falhas e um alarme de falha deve ser ativado.

Em caso de falhas, a norma recomenda algumas ações: (1) a UCP não isolada e o arranjo FV sem aterramento funcional devem-se desligar da UCP e desconectar todos os polos dos arranjos FV; (2) para a UCP isolada, a operação é permitida; e (3) para sistemas com aterramento funcional, o dispositivo de falha deve estar neste aterramento e atuar interrompendo esta conexão.

Alguns inversores possuem sinalização de falha. As características deste sistema de alarme são:

- Durar enquanto o operador do sistema FV providencie o seu desligamento;
- Pode ser sinal visível, audível e ou comunicação por e-mail, sms ou similar;
- Instruções operacionais devem ser fornecidas ao proprietário do sistema para a providência da solução da falha.

A norma apresenta os valores mínimos de resistência de isolamento para a detecção de falhas de isolamento à terra. Deve-se medir a resistência de isolamento do gerador fotovoltaico à terra antes de iniciar a operação e devem ser testados os alarmes correspondentes.

B.5 Seleção e instalação de componentes do arranjo FV

A norma do arranjo FV orienta que todos os componentes sejam classificados para aplicações em corrente contínua, que tenham tensão de isolamento nominal igual ou superior à tensão de circuito aberto máxima do arranjo (com o valor corrigido pelo efeito da

temperatura) e que tenha a capacidade de condução de corrente superior em 25% da corrente nominal.

Todos os componentes e equipamentos que forem instalados com contato direto ou próximos aos módulos fotovoltaicos (condutores, inversores, conectores, etc.) devem ser capazes de resistir à temperatura máxima de operação do arranjo fotovoltaico.

A norma chama a atenção para o fato de que com alguns tipos de módulos fotovoltaicos (por exemplo os de células de filme fino), a corrente de curto-circuito (I_{SC}), durante as primeiras semanas de operação, é consideravelmente maior do que seu valor nominal. Em outros tipos de módulo, a I_{SC} aumenta com o passar do tempo. Os componentes devem ser dimensionados para o valor mais elevado ao longo da vida útil.

Todos os componentes da instalação do arranjo FV devem atender aos requisitos da norma específica para a sua fabricação e certificação de conformidade com a padronização nacional. Os módulos FV e todos os componentes e equipamentos devem ser qualificados e classificados de acordo com a norma internacional IEC 61.730 referente à qualificação de segurança em condições de incêndio.

Adicionalmente, a norma de arranjos fotovoltaicos recomenda que os componentes expostos à radiação solar devem ter proteção de radiação UV, serem resistentes a água e atender as demais condições características do ambiente. Vale o mesmo para os componentes que estão abaixo dos módulos FV sujeitos a receberem radiação UV por reflexão.

Os componentes devem possuir, no mínimo, índice de proteção IP54 de acordo com a IEC 60.529, proteção limitada contra poeira e arremessos de água em todas as direções.

B.5.1 Cabos e cabeamentos

Sobre cabos e cabeamentos, deve ser providenciada a segregação dos cabos c.c. e cabos c.a., como também para os de diferentes níveis de tensão. Os diferentes circuitos devem ser identificados ou por marcação de fábrica ou por etiquetas com a identificação “SOLAR c.c.”.

Quanto a sua instalação, o cabeamento de geradores fotovoltaicos deve ser instalado de tal forma que na ocorrência de falhas entre dois condutores energizados ou entre um condutor energizado e a terra, estas sejam minimizadas.

O cabeamento das séries fotovoltaicas deve atender aos requisitos pontuados a seguir:

- Possuir isolamento dupla em todos os sistemas que operam com tensões acima de DVC-A, pois os condutores devem ser escolhidos de modo a minimizar ao máximo o risco de faltas à terra e curtos circuitos;
- Serem flexíveis para permitir uma pequena movimentação ocasionada pelo vento e pela dilatação dos componentes;
- Serem presos para aliviar a fadiga mecânica de seu peso e para não soltar as conexões;
- O cabeamento precisa ser protegido de bordas cortantes.

B.5.2 Caixas de junção, conectores e conexões

Em relação a caixas de junção, conectores e conexões, as recomendações são as seguintes:

- As caixas de corrente contínua e as de junção devem separar os condutores positivos e negativos de maneira a minimizar os riscos de arcos em corrente contínua;
- As caixas devem ter seus componentes instalados de forma a possibilitar a inspeção, manutenção ou reparos sem a necessidade de desmontagem de peças estruturais, gabinetes, bancadas ou similares;
- Os conectores de encaixe devem ser completamente compatíveis, tanto em relação ao seu tipo quanto em relação ao fabricante, preferencialmente;
- Os conectores devem oferecer proteção contra o contato com partes vivas, devendo ser encapsulados de forma a abrigar o condutor;
- Os conectores devem exigir força intencional para serem separados e devem ser do tipo com bloqueio, nos quais duas ações independentes são necessárias para a desconexão;

- Para a realização das conexões entre conectores e condutores, deve-se utilizar o método de crimpagem, lembrando que é necessária a utilização das ferramentas próprias para esta finalidade;
- As caixas de junção devem conter marcação com texto “lado em corrente contínua de sistema fotovoltaico” e “energizado durante o dia”;
- Quando múltiplas séries entram em uma caixa de junção, os pares devem ser identificados e devem ser facilmente distinguidos.

B.5.3 Micro inversor

Quanto ao micro inversor, a norma estabelece que:

- Fica dispensada a chave seccionadora entre arranjo, inversor e DPS, devendo existir identificação visual de alerta;
- Não é possível a desconexão do módulo fotovoltaico do micro inversor quando em operação (sob carga);
- O comprimento total do condutor de um módulo a outro deve ser no máximo de 1,5 metros.

B.5.4 Dispositivos UCPs auxiliares em corrente contínua (UCP cc)

Quando utilizadas as UCP c.c. montadas junto a séries fotovoltaicas, a norma não exige dispositivos interruptores e seccionadores nos circuitos entre o módulo fotovoltaico e a UCP c.c.. São admitidas mais de uma UCP c.c. desde que estejam em um único invólucro.

A norma recomenda que a entrada da UCP c.c. deva estar disposta de maneira que:

- Seja conectada a um módulo fotovoltaico;
- O comprimento do cabo entre o módulo fotovoltaico e a UCP c.c. não seja maior que 1,5 metros;
- Não sejam utilizados cabos extensores;

- A entrada da UCP c.c. é limitada em 350 Wp nas STC e a tensão máxima em Extra Baixa Tensão (EBT) por entrada⁵².

B.5.5 Dispositivos de proteção de sobrecorrente

Para a proteção de segurança de risco de sobrecorrente, em instalações elétricas em edificações alimentadas com corrente alternada, fusíveis e disjuntores são utilizados. O mesmo ocorre com os arranjos FV, embora sejam utilizados nesses casos os fusíveis modelo gPV e disjuntores próprios para aplicação em corrente contínua. Tais dispositivos possuem uma particularidade, pois são diferenciados, já que devem ser fabricados para suportar os arcos elétricos das tensões de corrente contínua dos arranjos. Exemplificando, as tensões de operação de sub arranjo podem chegar até 1.000 Vcc ou até 1.500 Vcc.

Quando fusíveis são utilizados para proteção de sobrecorrente, a norma recomenda o uso de chaves seccionadoras com porta fusíveis. Os porta-fusíveis devem possuir grau de proteção (IP) adequado ao local de instalação. O nível de proteção não deve ser menor do que o IP – 2X; mesmo quando o fusível for retirado, esta proteção não permite a entrada de sólidos com diâmetro maior que 12,5mm.

B.5.6 Dispositivos de seccionamento e de comando

Os dispositivos de comando podem ser simplesmente interruptores ou de seccionamento sob carga. Devem estar localizados em pontos estratégicos nas ocorrências de sobrecorrente, como também devem permitir a operação segura de tarefas de inspeção e possível manutenção. Também devem estar localizados em pontos que permitam a separação de condutores das séries, dos subarranjos FV, dos quadros e das UCPs. A localização destes dispositivos está representada nas Figuras B.1 até a B.5.

Considerando ainda as recomendações da norma:

⁵²Circuitos com EBT possuem suas características de aterramento, tensão nominal e flutuações apresentadas na NBR 5410.

- Fusíveis utilizados para proteção contra sobrecorrente são mecanismos aceitáveis de seccionamento sem carga, desde que possuam elementos fusíveis removíveis, de preferência com um mecanismo de seccionamento (porta-fusíveis);
- Os meios de seccionamento da UCPs devem atender aos requisitos de um dispositivo seccionador sob carga, exceto no caso de módulos fotovoltaicos c.a. ou de uma instalação com micro inversores;
- A localização dos dispositivos de proteção contra sobrecorrente e/ou outros meios de seccionamento deve estar na extremidade do condutor eletricamente que esteja mais afastada dos módulos fotovoltaicos;
- Dispositivos seccionadores sob carga devem possuir mecanismos com operação manual independente;
- Não devem apresentar sensibilidade à polaridade;
- Dispositivos seccionadores sob carga de arranjos fotovoltaicos devem interromper todos os polos condutores simultaneamente (incluindo condutores com aterramento funcional);
- Dispositivos incapazes de seccionar circuitos sob carga devem conter sinalização “não abrir sobre carga” e exigir maior operação em manobra;
- Algumas UCPs possuem dispositivo seccionador sobre carga ou não, devendo assim observar a existência e a compatibilidade da chave de conexão de saída do arranjo FV com a chave da UCP;
- Todos os dispositivos seccionadores sobrecarga devem ser identificados com destaque e ter as posições de ligado e desligado identificadas.

B.5.7 Dispositivos de proteção contra surtos (DPS)

A Figura B.9 ilustra a localização dos DPSs em um sistema fotovoltaico conectado à rede de distribuição em uma residência. Os DPS1 devem ser Classe II para c.c., o DPS 2 Classe II para c.a. e o DPS 3, Classe I. A norma de Arranjo FV não contempla o lado c.a. do sistema apresentado nesta figura.

Fig B.9 Diagrama esquemático da localização dos DPS

Sistema de
captação de
descarga atmosférica

Fonte: (BARBOSA, 2016)

B.6 Verificação final da instalação fotovoltaica, manutenção e operação

Ao longo do texto a norma de Instalações de Arranjos Fotovoltaicos faz várias considerações para prevenir falhas em operações e facilitar a manutenção em instalações fotovoltaicas em edificações.

Uma consideração essencial é a identificação “gerador de energia elétrica” por razões de segurança de operadores e da manutenção de inspetores de rede pública e manutenção na instalação. A identificação da existência do gerador FV deve ser fixada no ponto de entrega da energia pela concessionária no local da medição e no quadro de distribuição em que está conectado.

Todos os componentes e equipamentos do arranjo FV devem conter marcação ou placa de identificação que permaneça legível ao longo de sua vida útil e devem ser fixadas em local visível.

Durante a operação e manutenção é preciso pontuar a necessidade de:

- Serem minimizadas as desconexões inadvertidas entre cabos do arranjo fotovoltaico;
- Observar que, quando algum dispositivo seccionador sob carga do arranjo fotovoltaico for aberto, as correntes entre as séries continuam circulando;
- Quando houver substituição de módulos e outros componentes do arranjo, verificar sua compatibilidade com os demais instalados;
- Preparar a documentação do projeto seguindo a norma NBR 16.274/2014.

Para verificação final e manutenção, a norma de arranjos FV orienta seguir a norma de procedimentos para ensaios de comissionamento, inspeção e avaliação de desempenho dos sistemas fotovoltaicos – a NBR 16.274/2014.

As matrizes fotovoltaicas para instalação em edifícios não devem ter tensões máximas superiores a 1.000 Vc.c.

Quando a tensão máxima da matriz fotovoltaica exceder 1.000 Vc.c., o acesso à instalação fotovoltaica, cabeamento e proteção associados deve ser restrito apenas a pessoas qualificadas.