

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL
MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL**

BRUNO SABINO SCOLARI

**PANORAMA DA INSERÇÃO DA GERAÇÃO FOTOVOLTAICA CONECTADA À
REDE AMPARADA PELA REN Nº482/2012 DA ANEEL NO BRASIL, NO PARANÁ
E EM CURITIBA**

DISSERTAÇÃO

**CURITIBA
2019**

BRUNO SABINO SCOLARI

**PANORAMA DA INSERÇÃO DA GERAÇÃO FOTOVOLTAICA CONECTADA À
REDE AMPARADA PELA REN Nº482/2012 DA ANEEL NO BRASIL, NO PARANÁ
E EM CURITIBA**

Dissertação de mestrado apresentada como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – PPGEC, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR. Área de Concentração: Meio Ambiente. Linha de Pesquisa: Sustentabilidade.

Orientador: Prof. Dr. Jair Urbanetz Junior

CURITIBA
2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação

Scolari, Bruno Sabino

Panorama da inserção da geração fotovoltaica conectada à rede amparada pela REN N° 482/2012 da ANEEL no Brasil, no Paraná e em Curitiba / Bruno Sabino Scolari.-- 2019.

1 arquivo de texto : PDF ; 4,09 MB

Disponível via World Wide Web

Texto em português com resumo em inglês

Dissertação (Mestrado) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Curitiba, 2019.

Bibliografia: p. 120-130

1. Engenharia civil - Dissertações. 2. Meio ambiente. 3. Sustentabilidade. 4. Geração distribuída de energia elétrica. 5. Geração de energia fotovoltaica - Curitiba (PR). 6. Sistemas de energia fotovoltaica - Curitiba (PR). I. Urbanetz Junior, Jair, orient. II. Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, inst. III. Título.

CDD: Ed. 22 -- 624

Biblioteca Ecoville da UTFPR, Câmpus Curitiba
Lucia Ferreira Littiere - CRB 9/1271



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação

TERMO DE APROVAÇÃO DE DISSERTAÇÃO Nº 167

A Dissertação de Mestrado intitulada PANORAMA DA INSERÇÃO DA GERAÇÃO FOTOVOLTAICA CONECTADA À REDE AMPARADA PELA REN Nº482/2012 DA ANEEL NO BRASIL, NO PARANÁ E EM CURITIBA, defendida em sessão pública pelo(a) candidato(a) **Bruno Sabino Scolari**, no dia 03 de abril de 2019, foi julgada para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, área de concentração Meio Ambiente, e aprovada em sua forma final, pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.

BANCA EXAMINADORA:

Prof(a). Dr(a). Jair Urbanetz Junior - Presidente - UTFPR

Prof(a). Dr(a). Gerson Máximo Tiepolo - UTFPR

Prof(a). Dr(a). Jorge Assade Leludak – UTFPR

Prof(a). Dr(a). João Américo Vilela Júnior - UFPR

A via original deste documento encontra-se arquivada na Secretaria do Programa, contendo a assinatura da Coordenação após a entrega da versão corrigida do trabalho.

Curitiba, 03 de abril de 2019.

RESUMO

SCOLARI, Bruno S.. **Panorama da Inserção da Geração Fotovoltaica Conectada à Rede Amparada pela REN N° 482/2012 da ANEEL no Brasil, no Paraná e em Curitiba**. 2019. 146 f. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2019.

Na conjuntura de busca pelo desenvolvimento sustentável, a questão energética assume um dos focos principais, enfrentando as dificuldades do paradigma do desenvolvimento sustentável, onde é necessário conciliar a manutenção do fornecimento de insumos energéticos com a manutenção no curto e longo prazo das necessidades ambientais, sociais, éticas, culturais, econômicas, espaciais e políticas da sociedade. Neste contexto, as fontes renováveis de geração de energia elétrica se apresentam como uma solução de promover o desenvolvimento sustentável no setor de geração de energia elétrica. A geração fotovoltaica, por sua vez, se apresenta como uma já consolidada forma de se implementar o desenvolvimento sustentável no setor energético. A imprevisibilidade do cenário fotovoltaico, sobretudo de micro e minigeração distribuída amparada pela REN N° 482/2012 da ANEEL, dificulta a elaboração de previsões de crescimento e conseqüentemente o planejamento do setor. Assim, faz-se necessário traçar um panorama de como se dá a inserção deste segmento no território brasileiro através de diversos recortes espaciais, identificando-se as características usuais destes SFV e entendendo como ocorre o seu processo de disseminação e consolidação no Brasil, tornando assim, a expansão da geração fotovoltaica melhor compreendida e aproveitada em seus aspectos técnicos, urbanos e sociais. A pesquisa mostrou a tendência de aumento da participação da geração FV centralizada frente à geração FV distribuída; a rápida evolução da potência fotovoltaica distribuída instalada tanto no Brasil quanto no Paraná e Curitiba; o perfil típico de um sistema fotovoltaico instalado em diferentes classes de unidades consumidoras; que os sistemas de geração centralizada estão localizados próximos aos locais de maior irradiação solar, ao passo que os sistemas de geração distribuída concentram-se nos grandes centros urbanos; que grande parte dos SFVCR de geração distribuída no estado do Paraná está localizada nas áreas de maior irradiação do estado; as regiões com maior potência e quantidade de SFV per capita. Assim, este trabalho permitiu compreender de forma ampla e sobre diferentes aspectos como está ocorrendo a expansão da geração fotovoltaica de micro e minigeração distribuída e centralizada no Brasil, no Estado do Paraná e na Cidade de Curitiba.

Palavras-chave: Geração Distribuída. Energia Solar Fotovoltaica. Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica.

ABSTRACT

SCOLARI, Bruno S.. **Panorama of the Insertion of Grid Connected Photovoltaic Generation Supported by REN N° 482/2012 of ANEEL in Brazil, Parana and Curitiba**. 2019. 146 p. Masters Dissertation (Master of Science in Civil Engineering), Federal Technological University of Parana. Curitiba, 2019.

In the search for sustainable development, the energy issue is one of the main focuses, facing the difficulties of the paradigm of sustainable development, where it is necessary to reconcile the maintenance of the supply of energy inputs with the maintenance in the short and long term of environmental, social, ethical, cultural, economic, spatial and political needs of society. In this context, renewable sources of electricity generation are identified as a solution to promote sustainable development in the electric power generation sector. Photovoltaic generation, in turn, presents itself as an already consolidated way of implementing sustainable development in the energy sector. The unpredictability of the photovoltaic scenario, especially of micro and mini distributed generation supported by REN No. 482/2012 of ANEEL, makes difficult the elaboration of growth forecasts and consequently the planning of the sector. Thus, it is necessary to draw a panorama of how the insertion of this segment in the Brazilian territory and in several space cuts is identified, identifying the usual characteristics of these SFV and understanding how its process of dissemination and consolidation occurs in Brazil, thus making the expansion of photovoltaic generation better understood and harnessed in its technical, urban and social aspects. The research showed the trend of increasing the participation of the centralized PV generation versus the distributed PV generation; the rapid evolution of distributed photovoltaic power installed in Brazil as well as in Paraná and Curitiba; the typical profile of a photovoltaic system installed in different classes of consumer units; that centralized generation systems are located near the sites with the highest solar irradiance, while distributed generation systems are concentrated in large urban centers; that most of the SFVCRs of distributed generation in the state of Paraná are located in the areas of greatest irradiation in the state; the regions with the highest power and amount of SFV per capita. Thus, this work allowed a broad understanding of different aspects of the expansion of the photovoltaic generation of micro and mini distributed generation in Brazil, the State of Paraná and the City of Curitiba.

Keywords: Distributed Generation. Photovoltaic Solar Energy. Grid Connected Photovoltaic System.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Representação do Sistema Interligado Nacional (SIN).	30
Figura 2 – Sobreposição do SIN no Território Europeu.	31
Figura 3 – Fontes Renováveis no Consumo Global de Energia.	35
Figura 4 – Porcentagem Estimada da Energia Elétrica Gerada por Fonte no Mundo.	36
Figura 5 – Porcentagem da Energia Elétrica Gerada por Fonte no Brasil no ano de 2017.	41
Figura 6 – Evolução da Potência Instalada de SFVCR no Brasil.	45
Figura 7 – Ângulo Horário Solar (ω) e Declinação Solar (δ).	48
Figura 8 – Componentes da Radiação Solar.	50
Figura 9 – Modelo Funcional de Uma Célula Fotovoltaica.	52
Figura 10 – Configuração de um SFVI Tradicional.	55
Figura 11 – Configuração de um SFVCR Tradicional.	56
Figura 12 – Classificação dos SFV e Banco de Dados Correspondentes.	57
Figura 13 – Capacidade FV Global Acumulada e Adicionada 2007-2017.	61
Figura 14 – Capacidade FV Acumulada por País e Região 2007-2017.	62
Figura 15 – Capacidade Adicionada por País e Região em 2017.	63
Figura 16 – Participação Percentual da Adição Total Anual de Geração Fotovoltaica Isolada, Distribuída e Centralizada.	64
Figura 17 – Percentual Brasileiro da Potência FV Total Acumulada Instalada de Forma Centralizada e Distribuída.	87
Figura 18 – Evolução da Potência Instalada de SFVCR de Micro e Minigeração Distribuída amparadas pela REN Nº 482 no Brasil.	88
Figura 19 – Evolução da Potência Instalada de SFVCR de Micro e Minigeração Distribuída amparadas pela REN Nº 482 no Paraná.	89
Figura 20 – Evolução da Potência Instalada de SFVCR de Micro e Minigeração Distribuída amparadas pela REN Nº 482 em Curitiba.	89
Figura 21 – Vista Frontal do Escritório Verde da UTFPR.	90
Figura 22 – Vista Frontal do Arranjo Fotovoltaico da ELCO.	91
Figura 23 – Expansão Temporal e Geográfica dos SFVCR de Geração Centralizada e Distribuída no território brasileiro entre os anos 2013 e 2018.	97

Figura 24 – Distribuição entre as Unidades da Federação da Potência Instalada de SFVCR de Micro e Minigeração Distribuída amparadas pela REN Nº 482/2012.	99
Figura 25 – Distribuição entre as Unidades da Federação da Potência Instalada de SFVCR de Geração Centralizada.	101
Figura 26 – Comparação Entre a Potência de SFVCR de Micro e Minigeração Distribuída e a Irradiação Média no Plano Inclinado em cada Unidade da Federação.	103
Figura 27 – Comparação Entre a Potência de SFVCR Centralizada e a Irradiação Média no Plano Inclinado em cada Unidade da Federação.....	103
Figura 28 – Mapeamento dos SFVCR de Micro e Minigeração distribuída do Estado do Paraná.....	104
Figura 29 – Mapeamento dos SFV de Geração Distribuída e Centralizada existentes no ano de 2012 no Brasil.....	131
Figura 30 – Mapeamento dos SFV de Geração Distribuída e Centralizada existentes no ano de 2013 no Brasil.....	132
Figura 31 – Mapeamento dos SFV de Geração Distribuída e Centralizada existentes no ano de 2014 no Brasil.....	133
Figura 32 – Mapeamento dos SFV de Geração Distribuída e Centralizada existentes no ano de 2015 no Brasil.....	134
Figura 33 – Mapeamento dos SFV de Geração Distribuída e Centralizada existentes no ano de 2016 no Brasil.....	135
Figura 34 – Mapeamento dos SFV de Geração Distribuída e Centralizada existentes no ano de 2017 no Brasil.....	136
Figura 35 – Mapeamento dos SFV de Geração Distribuída e Centralizada existentes no ano de 2018 no Brasil.....	137
Figura 36 – Mapeamento dos SFVCR de Micro e Minigeração distribuída do Estado do Paraná.....	138
Figura 37 – Mapeamento dos SFV na Cidade de Curitiba – Por Classe....	139
Figura 38 – Evolução da Eficiência das Diferentes Tecnologias FV.....	142
Figura 39 – Média Anual da Irradiação Total Diária no Plano Inclinado na Latitude no Brasil.....	143
Figura 40 – Total Anual da Irradiação e Produtividade no Plano Inclinado na Latitude no Paraná.	144

Figura 41 – Exemplo das Informações Contidas no BIG.	145
Figura 42 – Exemplo das Informações Contidas no Banco de Dados de Unidades Consumidoras com Micro e Minigeração Distribuída.	146

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Quantidade e Potência de Usinas com Geração Distribuída e Centralizada no Brasil.....	34
Tabela 2 – Participação das Fontes Renováveis e Não Renováveis na Matriz Energética Global.	36
Tabela 3 – Percentual da Geração de Energia Elétrica Mundial por Fonte. .	37
Tabela 4 – Potência Mundial de Geração de Energia Elétrica por Fonte Renovável em Gigawatts (GW).	38
Tabela 5 – Capacidade Mundial e Brasileira Total Instalada por Fonte Renovável para Geração de Energia Elétrica em gigawatts (GW) e total per capita.	39
Tabela 6 – Percentual da Geração de Energia Elétrica Brasileira por Fonte.	42
Tabela 7 – Geração de Energia Elétrica Brasileira por Fonte em GWh entre os anos 2016 e 2017.	43
Tabela 8 – Potência Total Instalada de Geração de Energia Elétrica Brasileira por Fonte.	44
Tabela 9 – Eficiência de Módulos Fotovoltaicos Comerciais.	53
Tabela 10 – Quantidade e Potência de SFV Considerados e Desconsiderados.	72
Tabela 11 – Quantidade e Potência de Usinas FV com Geração Distribuída e Centralizada no Brasil.....	87
Tabela 12 – Caracterização Geral dos SFVCR amparados pela REN Nº 482/2012 no Brasil.....	92
Tabela 13 – Caracterização Geral dos SFVCR amparados pela REN Nº 482/2012 no Paraná.	94
Tabela 14 – Caracterização Geral dos SFVCR amparados pela REN Nº 482/2012 em Curitiba.	95
Tabela 15 – Distribuição dos SFVCR de micro e minigeração distribuída amparados pela REN Nº 482/2012 nas Unidades Federativas brasileiras.	100
Tabela 16 – Municípios paranaenses com maior quantidade de SFVCR de micro e minigeração distribuída amparados pela REN Nº 482/2012.	105
Tabela 17 – Distribuição dos SFVCR de micro e minigeração distribuída amparados pela REN Nº 482/2012 nas Regionais da Cidade de Curitiba.	106

Tabela 18 – Quantidade e Potência per capta de SFVCR de micro e minigeração distribuída amparados pela REN Nº 482/2012 nas Unidades Federativas brasileiras.....	109
Tabela 19 – Quantidade e Potência per capta de SFVCR de micro e minigeração distribuída amparados pela REN Nº 482/2012 nos municípios paranaenses.....	110
Tabela 20 – Quantidade e Potência per capta de SFVCR de micro e minigeração distribuída amparados pela REN Nº 482/2012 nas regionais de Curitiba.	110
Tabela 21 – Quantidade e Potência de SFVCR Residenciais por 100.000 casas nas Unidades Federativas brasileiras.	113
Tabela 22 – Quantidade e Potência de SFVCR Residenciais por 100.000 casas nos municípios do Paraná.....	114
Tabela 23 – Quantidade e Potência de SFVCR Residenciais por 100.000 casas nas Regionais de Curitiba.	114
Tabela 24 – Quantidade e Potência de SFVCR Residenciais nas Unidades Federativas brasileiras.....	140
Tabela 25 – Quantidade e Potência de SFVCR Residenciais nos municípios do Paraná.....	141
Tabela 26 – Quantidade e Potência de SFVCR Residenciais nas Regionais de Curitiba.	141

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
BEM	Balanço Energético Nacional
BIPV	Sistemas Fotovoltaicos Integrados a Edificação
COELBA	Companhia de Eletricidade do Estado da Bahia
COPEL	Companhia Paranaense de Energia
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
EV	Escritório Verde
FC	Fator de Capacidade
FV	Fotovoltaico
GC	Geração Centralizada
GD	Geração Distribuída
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IEC	“International Electrotechnical Commission” (Comissão Eletrotécnica Internacional)
IEEE	“Institute of Electrical and Electronic Engineers” (Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos)
IPPUC	Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Curitiba
MMGD	Micro e Minigeração Distribuída
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
ONU	Organização das Nações Unidas
PR	Performance Ratio

PRODIST	Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional
ProNEA	Programa Nacional de Educação Ambiental
PDE	Plano Decenal de Expansão de Energia
PNE	Plano Nacional de Energia
REN	Resolução Normativa
REN21	Renewable Energy Policy Network for the 21st Century
SFVCR	Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede
UC	Unidade Consumidora
UF	Unidade da Federação
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná
WCED	Comissão Mundial para o Desenvolvimento e Meio Ambiente

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	TEMA	19
1.1.1	Delimitação do Tema.....	19
1.2	PERGUNTA DE PESQUISA	19
1.2.1	Questões Orientadoras	19
1.3	OBJETIVOS	20
1.3.1	Objetivo Geral	20
1.3.2	Objetivos Específicos	20
1.4	JUSTIFICATIVA	21
1.5	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	22
1.5.1	Etapas da Pesquisa.....	22
1.5.2	Estratégia de Pesquisa.....	23
1.6	ESTRUTURA DO TRABALHO.....	23
2	REVISÃO DA LITERATURA	25
2.1	ENERGIAS RENOVÁVEIS NA MATRIZ ELÉTRICA BRASILEIRA.....	25
2.1.1	Sustentabilidade e Energias Renováveis	25
2.1.2	Fontes Não Renováveis de Energia	27
2.1.3	Fontes Renováveis de Energia	27
2.1.4	Geração Centralizada e Distribuída de Energia Elétrica	28
2.1.5	Sistema Elétrico Brasileiro.....	29
2.1.6	Grupos de Consumidores e Modalidades Tarifárias.....	32
2.1.7	Bancos de Dados de Geradoras de Energia Elétrica no Brasil	34
2.1.8	Fontes Renováveis na Matriz Energética Mundial	35
2.1.9	Fontes Renováveis na Matriz Elétrica Mundial.....	36
2.1.10	Fontes Renováveis na Matriz Elétrica Brasileira	40
2.2	SISTEMAS FOTOVOLTÁICOS CONECTADOS A REDE ELÉTRICA.....	46

2.2.1	Energia Solar.....	46
2.2.2	Conceitos Físicos e Astronômicos do Aproveitamento da Energia Solar	46
2.2.3	Efeito Fotovoltaico	51
2.2.4	Tipos e Constituição dos Sistemas Fotovoltaicos	54
2.2.5	Caracterização e Índices de Mérito de SFVCR	58
2.2.6	Cenário Fotovoltaico Mundial	61
2.2.7	Previsões de Crescimento da Geração Fotovoltaica no Brasil.....	65
2.2.8	Resolução Normativa Nº 482 de 17 de Abril de 2012 da ANEEL.....	66
2.2.9	Atlas Brasileiro de Energia Solar e Atlas de Energia Solar do Estado do Paraná	69
3	METODOLOGIA.....	71
3.1	NORMALIZAÇÃO DO BANCO DE DADOS DE GERAÇÃO FOTOVOLTAICA CENTRALIZADA	71
3.2	NORMALIZAÇÃO DO BANCO DE DADOS DE GERAÇÃO FOTOVOLTAICA DISTRIBUÍDA	73
3.2.1	Rotina de Verificação e Correção dos Dados Cadastrados.....	75
3.3	CARACTERIZAÇÃO GERAL DOS SFVCR DE MICRO E MINIGERAÇÃO DISTRIBUÍDA	78
3.4	MAPEAMENTO DOS SFV NO TERRITÓRIO BRASILEIRO E PARANAENSE	79
3.5	DETERMINAÇÃO DO POTENCIAL DE GERAÇÃO FOTOVOLTAICA.....	80
3.6	MAPEAMENTO DOS SFV NA CIDADE DE CURITIBA	81
3.7	POTÊNCIA E QUANTIDADE DE SFVCR DE GD PER CAPTA.....	83
3.8	POTÊNCIA E QUANTIDADE DE SFVCR RESIDENCIAIS POR QUANTIDADE DE CASAS	84
4	RESULTADOS	86
4.1	COMPARAÇÃO ENTRE A GERAÇÃO FV CENTRALIZADA E DISTRIBUÍDA NO BRASIL	86

4.2	EVOLUÇÃO DA GERAÇÃO FV DISTRIBUÍDA NO BRASIL, PARANÁ E CURITIBA	88
4.3	CARACTERIZAÇÃO GERAL DOS SFVCR DE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA	92
4.3.1	No Brasil	92
4.3.2	No Estado do Paraná	94
4.3.3	Na Cidade de Curitiba	95
4.4	MAPEAMENTO DOS SFV DISTRIBUÍDOS E CENTRALIZADOS NO BRASIL	96
4.4.1	Aproveitamento do Potencial Fotovoltaico no Brasil.....	101
4.5	MAPEAMENTO DOS SFV DISTRIBUÍDOS NO PARANÁ.....	104
4.6	MAPEAMENTO DOS SFVCR DE GD NA CIDADE DE CURITIBA.....	106
4.7	POTÊNCIA E QUANTIDADE DE SFVCR DE GD PER CAPTA.....	107
4.8	ANÁLISE DOS SFVCR RESIDÊNCIAIS	111
4.9	CONSIDERAÇÕES A RESPEITO DOS ERROS ENCONTRADOS NO BANCO DE DADOS DE UC COM GD.....	115
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	117
	REFERÊNCIAS.....	120
	APÊNDICE A.....	131
	APÊNDICE B.....	138
	APÊNDICE C	139
	APÊNDICE D	140
	ANEXO A	142
	ANEXO B	143
	ANEXO C	144
	ANEXO D	145
	ANEXO E	146

1 INTRODUÇÃO

A Primeira Conferência das Nações Unidas Para o Meio Ambiente Humano realizada em Estocolmo em 1972 (ONU, 1972) foi o grande marco do despertar de uma consciência ecológica mundial, tendo por objetivo conscientizar os países sobre a importância da conservação ambiental como fator fundamental para a manutenção da espécie humana (BORGES *et al.*, 2005).

Desde aquela época muito se têm discutido em termos de definições ideológicas e aplicações práticas da sustentabilidade, sendo que as visões mais modernas consideram que o conceito de sustentabilidade deve integrar de forma equilibrada as suas múltiplas dimensões: ambiental, social, ética, cultural, econômica, espacial e política (PRONEA, 2014).

Na conjuntura de busca pelo desenvolvimento sustentável, a questão energética assume um dos focos principais (MCT, 2010), enfrentando as dificuldades do paradigma do desenvolvimento sustentável, onde é necessário conciliar a manutenção do fornecimento de insumos energéticos com a manutenção no curto e longo prazo das necessidades ambientais, sociais, éticas, culturais, econômicas, espaciais e políticas da sociedade.

Neste contexto, as fontes renováveis de geração de energia elétrica se apontam como uma solução de promover o desenvolvimento sustentável no setor de geração de energia elétrica.

No sentido de busca pela sustentabilidade no setor energético, o Brasil já apresentou compromissos às Nações Unidas no sentido de aumentar a participação das fontes renováveis na matriz energética nacional nas próximas décadas (BRASIL, 2016).

Diferentemente do cenário mundial, onde existe uma predominância de fontes não renováveis para a geração de energia elétrica, no Brasil a matriz elétrica é composta principalmente por fontes renováveis (REN21, 2018), (EPE, 2018a).

No cenário mundial existe uma constante tendência no sentido de redução da participação das fontes não renováveis na matriz elétrica, com consequente aumento da participação das fontes renováveis (REN21, 2018).

Seguindo a tendência mundial, observa-se no Brasil uma tendência de aumento da participação das fontes renováveis não hídricas, com destaque para a geração eólica e solar fotovoltaica (EPE, 2018a).

Embora a matriz elétrica brasileira seja, na média dos últimos sete anos, formada por 81% de fontes renováveis, ela é pouco diversificada, com uma média no período de 70% de geração hidroelétrica (EPE, 2018b), o que torna a matriz elétrica brasileira muito dependente de fatores climáticos, principalmente dos níveis de chuva.

A diversificação da matriz elétrica nacional dentro do planejamento energético do país é essencial para a garantia da segurança energética (GESEL, 2017), uma vez que a sazonalidade da geração de determinada fonte é compensada por outra com maior disponibilidade no momento.

Neste sentido, as fontes renováveis não hídricas vêm ganhando espaço no cenário nacional, aumentando a diversificação da matriz elétrica e diminuindo a dependência das fontes não renováveis. Dentre estas fontes, a energia solar fotovoltaica (FV) vem se destacando tanto no cenário mundial quanto no nacional, devido ao seu baixo impacto ambiental de implantação e de geração (EPE, 2018b), (REN21, 2018).

A geração fotovoltaica foi responsável, no ano de 2017, por 1,9% da geração elétrica mundial, representando 7,2% da geração por fontes renováveis e 18,8% da geração por fontes renováveis não hídricas. No cenário mundial observa-se um consistente crescimento deste o ano de 2006 até 2016 (REN21, 2018). No cenário nacional observa-se o mesmo movimento de crescimento, apesar de ele ter se iniciado mais tardiamente, sobretudo após o ano de 2012.

O ano de 2012 foi um marco importante para a disseminação da Energia Solar Fotovoltaica no Brasil (SCOLARI e URBANETZ Jr., 2018). A publicação da Resolução Normativa (REN) Nº 482, de 17 de Abril de 2012 pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) e sua posterior atualização através REN Nº 687, de 24

de Novembro de 2015 do mesmo órgão estabeleceu as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída (MMGD) aos sistemas de distribuição de energia elétrica, além do sistema de compensação de energia elétrica (ANEEL, 2012).

Na prática, essa resolução permitiu que desde os consumidores residenciais de pequeno porte até os consumidores industriais de grande porte pudessem instalar Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica (SFVCR) em suas próprias unidades consumidoras (UC) com reduzida burocracia de homologação. Estes dois fatores tornaram viável o uso da energia solar FV em larga escala para consumidores de pequeno porte (SCOLARI *et al.*, 2017).

Este cenário vem contribuindo também para a disseminação da geração distribuída, o que favorece o descongestionamento e a redução das perdas dos sistemas de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica (TIEPOLO, 2015).

Antes da publicação da REN a instalação de SFVCR estava restrita à grandes usinas centralizadas ou usos específicos de concessionárias e para pesquisas e testes em universidades e indústrias. Em sete anos da aprovação da REN observa-se um consistente aumento da potência instalada de SFVCR de micro e minigeração distribuída amparados pela REN Nº 482 (SCOLARI *et al.*, 2017).

Somente nos últimos anos é que a geração FV vem aparecendo com maior ênfase nos estudos de planejamento energético nacional. Os estudos do Plano Nacional de Energia (PNE) 2050, elaborado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE), preveem para ano de 2050 uma potência instalada de micro e minigeração distribuída suficiente para suprir 5,7% do consumo total nacional de energia elétrica (EPE, 2016b). Este mesmo estudo estima que 18% dos domicílios de 2050 contarão com geração FV, o que suprirá 13% do consumo residencial (MME, 2016).

Embora a potência instalada total de SFVCR de micro e minigeração distribuída até o final do ano de 2018 seja apenas 0,33% da potência total de geração elétrica nacional, a sua rápida expansão exige estudos aprofundados para se ampliar o entendimento de como esta nova e promissora tecnologia está se expandindo e consolidando no território brasileiro (ANNEEL, 2019a; 2019b).

1.1 TEMA

Sistemas fotovoltaicos conectados a rede elétrica.

1.1.1 Delimitação do Tema

Este trabalho elabora um panorama dos Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica de Micro e Minigeração Distribuída amparados pela REN Nº 482 de 2012 da ANEEL no Brasil, no Paraná e em Curitiba, do ano de 2012 até 2018, além de abordar, de forma complementar, a Geração Fotovoltaica Centralizada no Brasil.

1.2 PERGUNTA DE PESQUISA

Como se dá a inserção da geração fotovoltaica de micro e minigeração distribuída amparadas pela REN Nº 482 no território brasileiro, no Paraná e Curitiba?

1.2.1 Questões Orientadoras

- A geração FV no Brasil está se consolidando mais de forma centralizada ou distribuída?
- Qual a taxa de crescimento da geração FV de micro e minigeração distribuída no Brasil, no Paraná e em Curitiba?
- Quais as características técnicas usuais dos SFV de micro e minigeração distribuída em cada classe de unidade consumidora?
- Como se dá a expansão e distribuição geográfica dos SFV no Brasil, no Paraná e em Curitiba?
- Como se dá o aproveitamento do potencial fotovoltaico no Brasil?

- Qual a quantidade de SFVCR de geração distribuída per capita no Brasil, no Paraná e em Curitiba?
- Qual a quantidade de SFVCR residenciais por quantidade de casas no Brasil, no Paraná e em Curitiba?

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é traçar um panorama de como se dá a expansão e consolidação da geração fotovoltaica conectada a rede de micro e minigeração distribuída amparadas pela REN N° 482 desde o ano de 2012 até o ano de 2018 no território brasileiro, no estado do Paraná e no Município de Curitiba.

1.3.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- Estudar o referencial teórico a respeito da inserção das energias renováveis no cenário energético brasileiro e de sistemas fotovoltaicos conectados a rede;
- Elaborar uma metodologia de análise dos dados coletados, efetuando a determinação dos bancos de dados utilizados, cenários adotados e parâmetros considerados;
- Efetuar comparação entre a geração FV distribuída e centralizada no Brasil, efetuando comparação e identificando tendências;
- Avaliar a evolução temporal e características técnicas usuais dos SFVCR de geração distribuída no Brasil, no Paraná e em Curitiba;

- Efetuar o mapeamento da expansão geográfica dos SFVCR no Brasil, no Paraná e em Curitiba.
- Avaliar a quantidade e potência de SFVCR de modo ponderado em termos de habitantes e casas por região no Brasil, no Paraná e em Curitiba.

1.4 JUSTIFICATIVA

O planejamento do setor energético é fundamental no que diz respeito a assegurar a continuidade do fornecimento de energia elétrica à sociedade, ao menor custo, com o menor risco contra o desabastecimento, e com os menores impactos socioeconômicos e ambientais, além ser ferramenta essencial na formulação de políticas públicas específicas para a área energética (TIEPOLO, 2015).

A complexidade da cadeia de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica torna necessário o planejamento energético no setor, observando-se tanto o lado da oferta quanto do lado da demanda. Os formuladores de política e as agências reguladoras são atores com grande poder institucional, influenciando todo o setor elétrico nacional através de suas decisões. Essas decisões, na maioria das vezes, são tomadas perante um ambiente de incertezas e necessitam de processos sistemáticos de apoio à decisão (ADENE, 2015). O melhor entendimento de como se dá a expansão e utilização de determinada fonte de geração de energia elétrica é fundamental para que a sua conjuntura atual e futura seja considerada nos estudos de planejamento energético do país.

Além deste entendimento em nível nacional, é necessário também compreendê-lo também a nível local, identificando-se singularidades e tendências regionais de determinada fonte energética.

O cenário de geração solar fotovoltaica, principalmente no que diz respeito a micro e minigeração distribuída, é muito imprevisível em relação a sua taxa de crescimento, podendo sofrer grandes variações em um pequeno intervalo de tempo, alterando em poucos meses todo o cenário e previsões existentes até então, nem

sempre sendo possível prever ou determinar os motivos específicos (SCOLARI e URBANETZ Jr., 2018).

Deste modo, a análise da inserção de SFVCR de micro e minigeração distribuída, em um determinado recorte espacial efetuado sobre diferentes aspectos e perspectivas ampliará o entendimento de como essa expansão se dá, sendo possível verificar tendências regionais e nacionais, possibilitando direcionar de maneira mais eficaz políticas urbanas, planejamentos energéticos, programas de incentivo a instalação de SFV, etc. (SCOLARI e URBANETZ Jr., 2018). Por ser uma tecnologia ainda em fase de consolidação e expansão, programas de incentivo e políticas públicas direcionadas podem ser fundamentais para a sua viabilidade.

O presente estudo pretende oferecer uma visão ampla da caracterização e distribuição geográfica dos SFVCR instalados no Brasil, Paraná e Curitiba, avaliada por diferentes aspectos, como características técnicas, níveis de irradiação solar, aspectos urbanos da região, entre outros.

1.5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

1.5.1 Etapas da Pesquisa

Primeiramente foi elaborado o referencial teórico, constituindo uma etapa importante para a pesquisa, onde foram buscados livros, monografias, artigos, reportagens, vídeos, revistas, além de sites referentes ao tema de pesquisa. Foram abordados os principais tópicos de cada um dos assuntos relevantes. Esse material foi necessário para uma visão global do tema pesquisado e elaboração de raciocínios sistêmicos e conclusões.

A seguir, foi efetuada uma descrição completa da metodologia aplicada no desenvolvimento deste trabalho, apresentando os bancos de dados utilizados e cenários e parâmetros considerados, de modo que os resultados obtidos possam ser conferidos e replicados em outros recortes temporais e espaciais de análise por pesquisadores diversos.

Seguindo os procedimentos metodológicos convencionados os dados coletados foram compilados e posteriormente analisados à luz do referencial teórico pesquisado, podendo-se desta forma, formular conclusões a respeito do tema.

1.5.2 Estratégia de Pesquisa

Para o desenvolvimento deste trabalho foi utilizado o Método Científico Indutivo, onde são criadas hipóteses e conclusões a partir da observação dos fatos, neste caso, da observação do banco de dados de unidades consumidoras com micro e minigeração distribuída.

A forma de intervenção em relação ao fenômeno foi o Observacional, sendo a fonte de dados sobre o fenômeno o banco de dados supracitado.

O método de procedimento utilizado é o Documental, o qual se utiliza de métodos e técnicas para a apreensão, compreensão e análise de documentos e dados dos mais variados tipos.

A pesquisa será desenvolvida de forma descritiva e avaliada quantitativamente, pretendendo-se descrever características e tendências do fenômeno em estudo.

1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

Capítulo 1 – Introdução, com apresentação e delimitação do tema, problemas e premissas, objetivos, justificativa e metodologia geral.

Capítulo 2 – Revisão da Literatura, abordando: Energias Renováveis na Matriz Elétrica Brasileira e Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica.

Capítulo 3 – Procedimentos Metodológicos, apresentando a metodologia empregada, bancos de dados utilizados e cenários e parâmetros considerados.

Capítulo 4 – Resultados, apresentando-se o produto da análise de dados embasada pela revisão de literatura efetuada.

Capítulo 5 – Considerações finais.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 ENERGIAS RENOVÁVEIS NA MATRIZ ELÉTRICA BRASILEIRA

2.1.1 Sustentabilidade e Energias Renováveis

O grande marco do despertar de uma consciência ecológica mundial foi a I Conferência das Nações Unidas Para o Meio Ambiente Humano realizada em Estocolmo em 1972 (ONU, 1972), tendo por objetivo conscientizar os países de que o fator fundamental para a manutenção da espécie humana é a conservação ambiental (BORGES *et al.*, 2005).

Contudo, a palavra “sustentabilidade” não é mencionada em nenhum trecho da declaração resultante desta conferência de 1972. Foi a publicação do Relatório Brundtland pela Comissão Mundial para o Desenvolvimento e Meio Ambiente (WCED) em 1987 que lançou a noção de sustentabilidade no debate público (ACSELRAD, 2011). O relatório Brundland apresenta a definição mais famosa e que tornou-se mundialmente conhecida de “desenvolvimento sustentável”, afirmando que “o desenvolvimento sustentável é aquele que satisfaz as necessidades presentes, sem comprometer a capacidade das gerações futuras de suprir suas próprias necessidades” (BERARDI, 2013), (BORGES *et al.*, 2005), (WCED, 1987).

Desde aquela época até a atualidade muito se têm discutido em termos de definições ideológicas e aplicações práticas da sustentabilidade. Atualmente diversas matrizes discursivas têm sido associadas à noção de sustentabilidade (ACSELRAD, 2011), sendo levada muitas vezes a ser considerada e avaliada exclusivamente de acordo com a dimensão ambiental (HUETING *et al.*, 2004). Entretanto, a Cúpula Mundial sobre Desenvolvimento Sustentável de Johannesburgo de 2002 promoveu uma ampliação na percepção do desenvolvimento sustentável, incluindo uma análise que abrange também as dimensões econômicas e sociais do desenvolvimento (BERARDI *et al.*, 2013). Já o programa Nacional de Educação Ambiental (ProNEA) considera que o conceito de sustentabilidade deve integrar de

forma equilibrada as suas múltiplas dimensões: ambiental, social, ética, cultural, econômica, espacial e política (PRONEA, 2014).

Nesta conjuntura de busca pelo desenvolvimento sustentável, a questão energética assume um dos focos principais (MCT, 2010). Assim como em todos os seguimentos econômicos mundiais, o setor energético, e mais especificamente o setor de geração de energia elétrica, enfrenta as dificuldades do paradigma do desenvolvimento sustentável, onde é necessário conciliar a manutenção do fornecimento de insumos energéticos com a manutenção no curto e longo prazo das necessidades ambientais, sociais, éticas, culturais, econômicas, espaciais e políticas da sociedade.

A agenda da política energética global tem sido orientada por três pilares principais: segurança econômica (geração elétrica a custo competitivo), segurança energética (confiabilidade no fornecimento de energia) e segurança ambiental (restrição aos impactos ambientais resultantes da geração elétrica) (O SETOR ELÉTRICO, 2013).

Neste contexto, por reforçarem estes três pilares, as fontes renováveis de geração de energia elétrica se apontam como uma solução de promover o desenvolvimento sustentável no setor de geração de energia elétrica. Uma vez que as fontes renováveis apresentem viabilidade técnica e econômica, é consenso que estas fontes substituam os combustíveis fósseis para este fim, culminando em uma transformação no setor, que já pode ser observada (KUANG *et al.*, 2016) e (CONNOLLY *et al.*, 2016).

Já existem compromissos apresentados pelo Brasil às Nações Unidas no sentido de aumentar a participação das fontes renováveis na matriz energética nacional. Em acordo ratificado em reunião na ONU realizada em setembro de 2016 o Brasil se comprometeu a alcançar uma participação estimada de 45% de energias renováveis na composição da matriz energética até 2030, incluindo expandir o uso de fontes renováveis, além da energia hídrica, na matriz total de energia para uma participação de 28% a 33% até 2030, ao mesmo tempo em que se compromete também a expandir o uso doméstico de fontes de energia não fóssil, aumentando a parcela de energias renováveis (além da energia hídrica) no fornecimento de energia

elétrica para ao menos 23% até 2030, inclusive pelo aumento da participação de eólica, biomassa e solar (BRASIL, 2016).

2.1.2 Fontes Não Renováveis de Energia

As fontes não renováveis de energia são aquelas que existem em uma quantidade limitada no mundo, não se renovando a uma taxa suficiente para a sua utilização. As principais fontes de energia não renováveis utilizadas no mundo são petróleo, gás natural, carvão mineral e urânio (nuclear) (EIA, 2017).

2.1.3 Fontes Renováveis de Energia

As fontes renováveis de energia são aquelas se renovam na natureza a uma taxa suficiente para a sua utilização. Pode-se dividir as fontes renováveis em dois grupos principais: Biomassa Tradicional e Renováveis Modernas (REN21, 2018).

A biomassa tradicional que corresponde à combustão direta de madeira, carvão vegetal, folhas e resíduos agrícolas, florestais, animais e humanos. É usada frequentemente em áreas rurais e países em desenvolvimento, em fogueiras e fornos para cozinhar, aquecimento residencial e para uso agrícola e industrial de pequeno porte. A biomassa tradicional está muitas vezes relacionada a dispositivos muito ineficientes, levando a altos níveis de poluição, degradação ambiental e desmatamento (REN21, 2018) e (KAREKEZI, 2004).

As fontes renováveis modernas correspondem à hidroelétrica, biocombustíveis, biomassa moderna (combustão de biomassa em sistemas de alta eficiência e cogeração), geotérmica, eólica e solar (REN21, 2018).

Quando se trata de energias renováveis com foco na sustentabilidade e preservação do meio ambiente, é importante que estas duas categorias de energia renováveis estejam discriminadas, pois, apesar de a biomassa tradicional ser uma fonte renovável, não necessariamente corresponde às práticas sustentáveis e

benéficas ao meio ambiente, diferente das fontes renováveis modernas que possuem características sustentáveis, embora todas causem, em maior ou menor nível, algum tipo de impacto ambiental (REN21, 2018) e (KAREKEZI, 2004).

Em algumas análises gráficas de participação percentual das energias renováveis, a geração hidroelétrica aparece de forma separada às outras fontes renováveis. Esta distinção é feita porque a energia hidroelétrica continua sendo o maior componente de geração renovável e, portanto, pode encobrir o desenvolvimento de outras tecnologias de energia renovável caso seja incluída (REN21, 2018).

Quando se considera a parcela de contribuição de determinada fonte energética no montante total de fontes, pode-se avaliá-la tanto do ponto de vista da capacidade total instalada desta fonte sobre a capacidade total instalada de todas as fontes juntas; quanto do ponto de vista da energia gerada por esta fonte sobre o total gerado por todas as fontes juntas. Essa distinção se faz necessária devido à diferença do fator de disponibilidade das fontes energéticas. O fator de disponibilidade será tratado juntamente com outros índices de mérito de geração no Item 2.2.5 - Caracterização e Índices de Mérito de SFVCR.

2.1.4 Geração Centralizada e Distribuída de Energia Elétrica

A forma tradicional de geração de energia elétrica é chamada Geração Centralizada (GC), sendo composta por grandes usinas geradoras localizadas em locais específicos apropriados. A distribuição da energia gerada até o consumidor final é efetuada através de extensas linhas de transmissão e distribuição. A geração centralizada é caracterizada por possuir um número relativamente pequeno de usinas geradoras, porém, em sua maioria de grande porte (BOEFF, 2013).

Já a Geração Distribuída (GD) é uma alternativa à GC, estando em crescente processo de expansão no mundo. A geração distribuída é caracterizada pela existência de inúmeras fontes geradoras de pequeno porte localizadas junto à unidade consumidora (UC). Nesta configuração, a energia elétrica gerada pode tanto alimentar a própria UC quanto ser exportada para a rede de distribuição sendo

utilizada por outra unidade consumidora. Por reduzir as distâncias entre a unidade geradora e unidade consumidora, a GD favorece o descongestionamento e a redução das perdas dos sistemas de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica (TIEPOLO, 2015).

A configuração atual do sistema elétrico brasileiro é composto em sua maior parcela por usinas de geração centralizada, mas sendo instaladas em número cada vez maior pequenas usinas de geração distribuída.

A legislação referente à microgeração distribuída e minigeração distribuída foi estabelecida pela Resolução Normativa N° 482 de 2012 da ANNEEL e pelas suas posteriores atualizações, sendo tratada com detalhes no Item 2.2.8 - Resolução Normativa N° 482 de 17 de Abril de 2012 da ANEEL.

Tanto a geração centralizada quanto a geração distribuída podem ser classificados como sistemas conectados à rede elétrica, pois possuem conexão com o restante do sistema elétrico nacional. Em oposição aos sistemas conectados a rede elétrica, a geração de energia elétrica também pode ser efetuada de forma isolada, onde a usina geradora alimenta somente uma unidade consumidora ou uma pequena comunidade, não sendo conectada ao restante do sistema elétrico (TONIN, 2017). Este tipo de geração é utilizado como alternativa principalmente em locais isolados onde por questões econômicas ou ambientais a rede de distribuição de energia elétrica convencional não chega. Por este tipo de geração apresentar somente uma pequena participação no cenário energético mundial e nacional, ela não será considerada no presente trabalho.

2.1.5 Sistema Elétrico Brasileiro

O sistema elétrico nacional apresenta-se como um sistema essencialmente hidrotérmico de grande porte com predominância de usinas hidroelétrica, com apoio termoelétrica. A geração hidroelétrica e termoelétrica contribuem para a estabilidade do sistema, sendo consideradas fontes firmes capazes de garantir o atendimento da demanda de carga típica do sistema; por sua vez, as fontes renováveis como a eólica e a solar fotovoltaica são consideradas fontes intermitentes de energia devida

à variabilidade temporal elevada associada às condições meteorológicas presentes no local da usina (PEREIRA *et al.*, 2017).

O sistema elétrica brasileiro está praticamente todo conectado através do Sistema Interligado Nacional (SIN), possuindo tamanho e características que permitem considera-lo único em âmbito mundial. Na Figura 1 é possível visualizar o tamanho e abrangência do SIN.

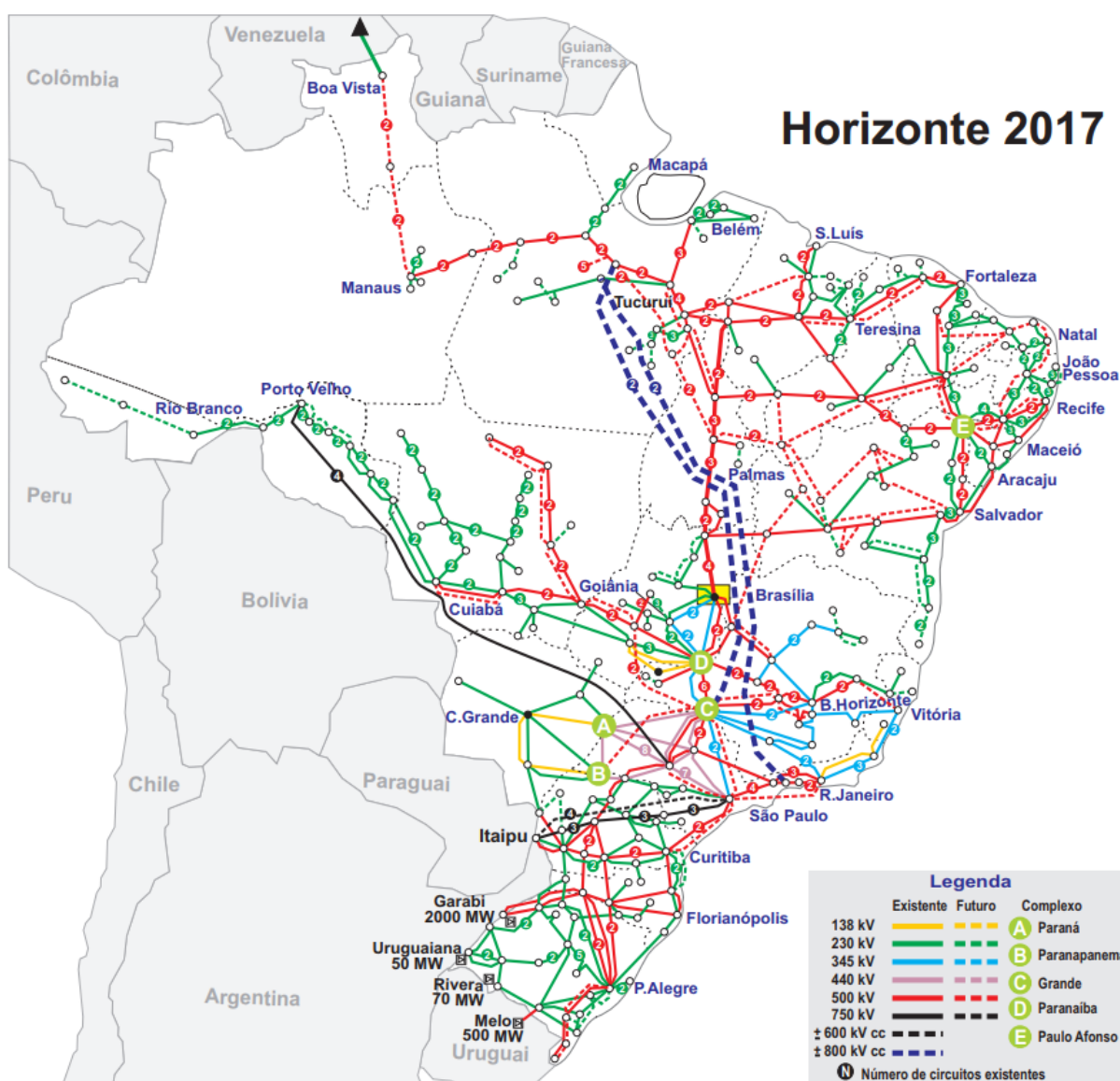


Figura 1 – Representação do Sistema Interligado Nacional (SIN).

Fonte: ONS (2017).

Até o ano de 2017, 98,3% do total da demanda de energia elétrica no Brasil é atendida pelo SIN e 1,7% é atendida por sistemas isolados (não conectados ao SIN) (PEREIRA *et al.*, 2017).

Para ser possível avaliar as dimensões do SIN de modo comparativo, a Figura 2 apresenta a sobreposição da malha do SIN no mapa do território europeu. Observa-se que o comprimento do SIN seria suficiente para interligar grande parte do continente europeu, partindo de Portugal e chegando até países como Finlândia, Ucrânia e Romênia.

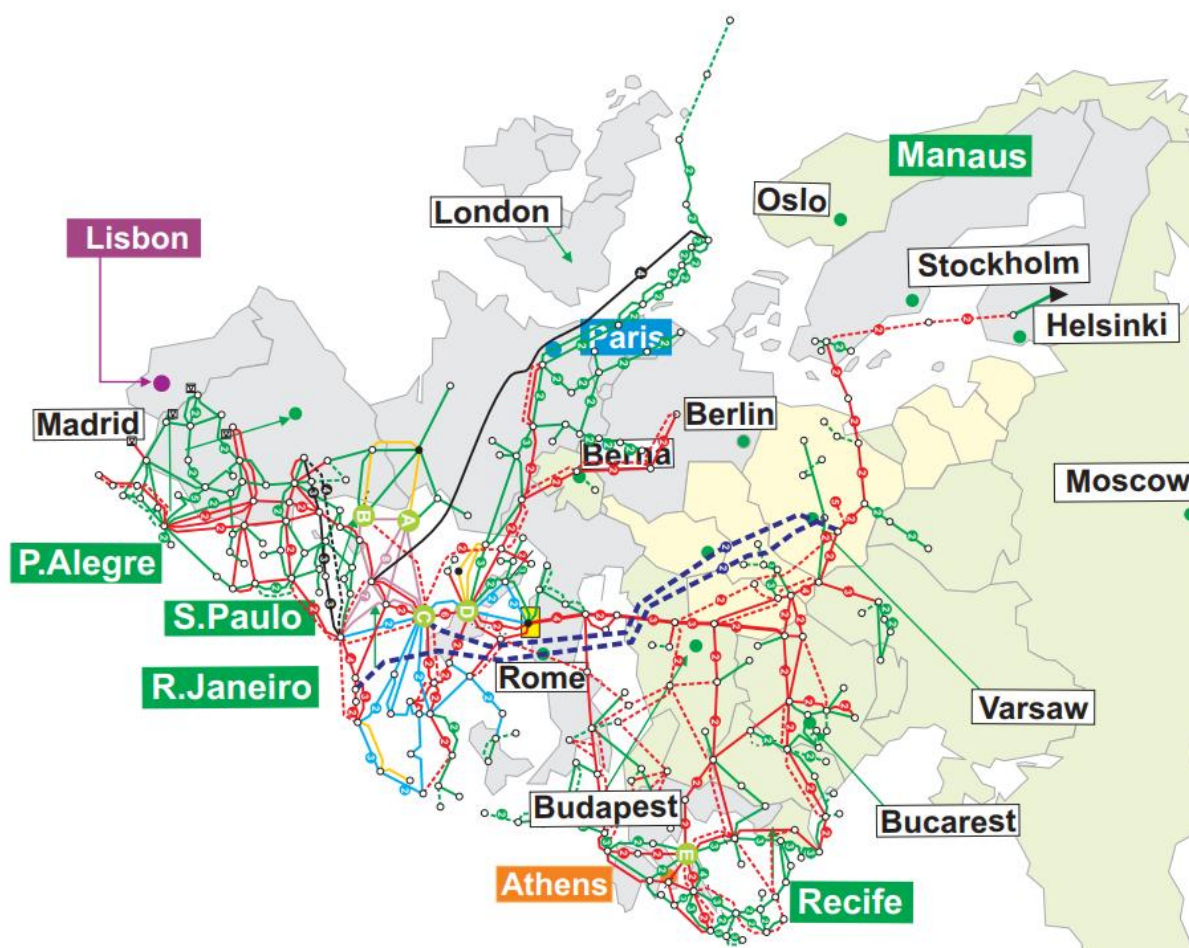


Figura 2 – Sobreposição do SIN no Território Europeu.

Fonte: ONS (2017).

2.1.6 Grupos de Consumidores e Modalidades Tarifárias

A tarifação de energia elétrica no Brasil é efetuada através de grupos tarifários que são definidos com base na tensão de fornecimento.

O Grupo A é formado principalmente pelos grandes consumidores: setor industrial ou comercial e serviços de grande porte como shoppings centers, supermercados, hospitais, etc., com fornecimento em média e alta tensão (acima de 2,3kV). Dentro deste grupo os consumidores são subdivididos em A1 (230kV ou mais), A2 (88 a 138kV), A3 (69kV), A3a (30 a 44kV), A4 (2,3 a 25kV) e AS (sistemas atendidos pela rede subterrânea, com tensão menor do que 2,3kV) (ANNEL, 2010).

O Grupo B é formado pelos demais consumidores: residencial, comercial, serviços, rural, industrial de pequeno porte, iluminação pública, etc. Com fornecimento em tensão inferior a 2,3kV ou atendidas em tensão superior a 2,3kV com potência inferior a 112,5kW. Dentro deste grupo os consumidores são subdivididos em B1 (residencial), B2 (rural), B3 (demais classes) e B4 (iluminação pública) (ANNEL, 2010).

As modalidades tarifárias disponíveis à cada unidade consumidora (UC) são definidas com base no enquadramento da UC nos grupos de consumidores (ANNEL, 2010).

Os consumidores do Grupo A, possuem disponíveis as Tarifas Binômias-Horárias: Verde e Azul. Já os consumidores do Grupo B, possuem disponíveis a Tarifa Convencional Monômnia e Tarifa Monômnia-Horária Branca (ANNEL, 2010).

Tarifas binômias possuem cobrança tanto de consumo de energia elétrica (kWh) quanto da demanda (kW). As tarifas monômnia possuem cobrança somente do consumo de energia elétrica (kWh). As tarifas horárias possuem valores de tarifas de consumo e demanda (quando aplicável) diferentes dependendo do horário do dia (horário fora de ponta, horário intermediário - somente para Tarifa Horária Branca - e horário de ponta) (ANNEL, 2010).

O horário de ponta é um período composto por três horas diárias consecutivas definidas pela concessionária de energia elétrica, geralmente das

18h00 até as 21h00. O horário intermediário é o período composto de uma hora imediatamente anterior e outra imediatamente posterior ao horário de ponta. O horário fora de ponta é o período composto pelo conjunto das horas diárias complementares àquelas definidas no horário de ponta e intermediário quando aplicável. A demanda medida é definida pela maior demanda de potência ativa medida no mês integralizada em intervalos de quinze minutos (ANNEL, 2010).

A Tarifa Verde é caracterizada por tarifas diferenciadas de consumo de energia elétrica, de acordo com as horas de utilização do dia (horário de ponta e horário fora de ponta), assim como de uma única tarifa de demanda de potência independente do horário do dia (ANNEL, 2010).

A Tarifa Azul é caracterizada por tarifas diferenciadas de consumo e de demanda de acordo com as horas de utilização do dia (horário de ponta e horário fora de ponta) (ANNEL, 2010).

A Tarifa Convencional Monômnia é caracterizada por uma tarifa única de consumo independentemente da hora de utilização do dia (ANNEL, 2010).

A Tarifa Branca é caracterizada por tarifas diferenciadas de consumo de energia elétrica, de acordo com as horas de utilização do dia (horário fora de ponta, intermediário e ponta) (ANNEL, 2010).

Os valores de tarifas de consumo e demanda são sempre menores no horário fora de ponta e maiores para o horário de ponta. A escolha do enquadramento tarifário de determinada unidade consumidora (UC) depende de seu perfil de carga e impacta diretamente na viabilidade e tempo de retorno da instalação de um sistema de micro e minigeração distribuída.

No caso da instalação de sistemas fotovoltaicos de micro e minigeração distribuída, a tarifa convencional monômnia é a que apresenta os menores tempos de retorno, pois, comparativamente às outras modalidades tarifárias, é a que apresenta as tarifas de consumo mais caras justamente no horário em que o SFV está produzindo mais eletricidade (das 9h às 14h). No item 2.2.8 será abordado o modo como é efetuada a compensação da energia elétrica gerada/consumida pelos sistemas de micro e minigeração distribuída, de forma a entender a interferência das modalidades tarifárias no desempenho econômico destes sistemas.

2.1.7 Bancos de Dados de Geradoras de Energia Elétrica no Brasil

O sistema elétrico nacional possui dois bancos de dados relativos ao cadastramento de usinas de geração de energia elétrica conectadas a rede: o Banco de Informações de Geração (BIG) que corresponde principalmente a usinas de grande porte com geração centralizada; e o Banco de Dados de Unidades Consumidoras de Micro e Minigeração Distribuída (MMGD) amparadas pela REN N°482/2012 que corresponde a usinas de até 5MW com geração distribuída (GD) (SCOLARI e URBANETZ, 2018).

No decorrer deste trabalho, o Banco de Informações de Geração (BIG) estará referenciado em ANEEL (2019b) e o Banco de Dados de Unidades Consumidoras de Micro e Minigeração Distribuída estará referenciado em ANEEL (2019a).

A Tabela 1 apresenta um comparativo entre a quantidade e a potência fiscalizada total das usinas de geração centralizada e de Micro e Minigeração Distribuída considerando todas as fontes geradoras de energia elétrica.

Tabela 1 – Quantidade e Potência de Usinas com Geração Distribuída e Centralizada no Brasil.

Fonte: Compilação de dados do autor com base nas referências ANEEL (2019a) e ANEEL (2019b).

Banco de Dados (Até 31/12/2018)	Nº Usinas		Potência Fiscalizada	
	Quant.	%	MW	%
BIG (Usinas)	7.196	12,0	162.691	99,60
REN N° 482/2012 (GD)	52.786	88,0	649	0,40
Total	59.982	100	163.340	100

Embora a quantidade de usinas de Micro e Minigeração Distribuída seja cerca de 7 vezes maior, elas representam somente 0,40% da potência total instalada.

Comparativos entre quantidade e potência de usinas de geração distribuída e geração centralizada específicos para a energia solar fotovoltaica serão apresentados com detalhes no Item 4.1.

2.1.8 Fontes Renováveis na Matriz Energética Mundial

A matriz energética mundial é composta em sua maior parcela por fontes não renováveis de energia, provenientes da queima de combustíveis fósseis e energia nuclear (REN21, 2018).

Segundo estimativas do REN21 (2018), no ano de 2016 a matriz energética mundial era composta por 81,7% de fontes não renováveis (combustíveis fósseis e nuclear) e por 18,2% de fontes renováveis, onde 10,4% correspondem às renováveis modernas, conforme pode-se observar na Figura 3 (REN21, 2018).

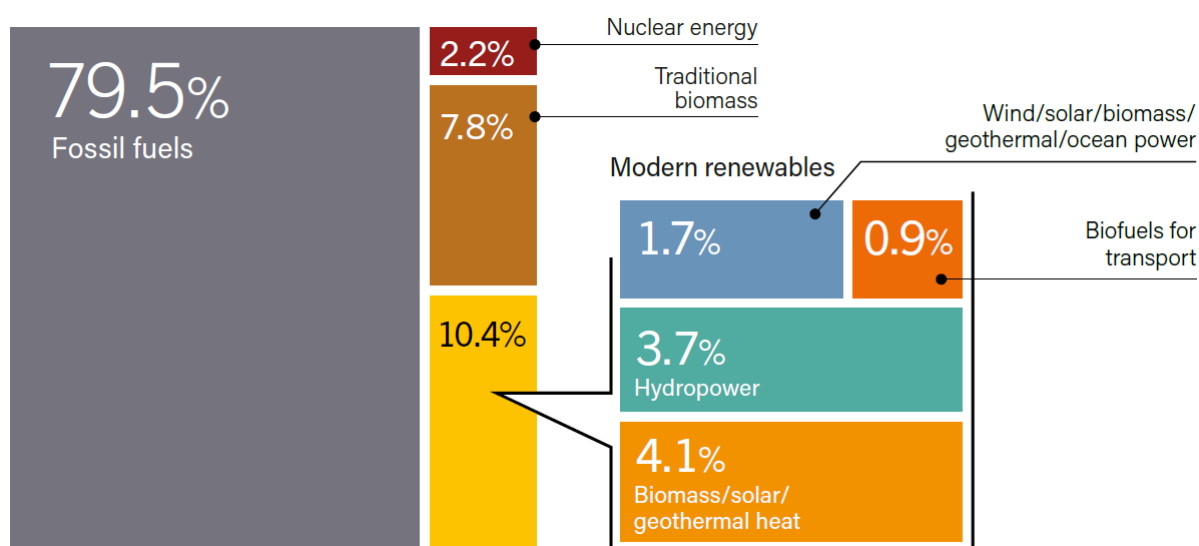


Figura 3 – Fontes Renováveis no Consumo Global de Energia.

Fonte: REN21 (2018).

Obs.: Os totais podem não ser iguais devido aos arredondamentos.

Entre os anos de 2008 e 2016 observou-se gradativa redução do percentual de fontes não renováveis e aumento do percentual das fontes renováveis na matriz energética mundial. Nesse período a contribuição das fontes não renováveis e biomassa tradicional caíram 2,3% do total, enquanto que as renováveis modernas aumentaram em 2,2% do total a sua participação mundial. Na Tabela 2 é apresentada a evolução da contribuição das fontes renováveis e não renováveis na matriz energética mundial entre os anos de 2010 e 2018 (REN21, 2018).

Tabela 2 – Participação das Fontes Renováveis e Não Renováveis na Matriz Energética Global.

Fonte: Adaptado de REN21 (2012; 2013; 2014; 2015; 2016; 2017; 2018).

Relatório fonte		REN21 2012	REN21 2013	REN21 2014	REN21 2015	REN21 2016	REN21 2017	REN21 2018
Ano de referência		2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Não Renovável	Comb. Fóssil e Nuclear.	83,3%	81,0%	81,0%	80,9%	80,8%	80,7%	81,7%
Renovável	Biomassa Tradicional	8,5%	9,3%	9,0%	9,0%	8,9%	9,1%	7,8%
	Renováveis Modernas	8,2%	9,7%	10,0%	10,1%	10,3%	10,2%	10,4%

Obs.: Os totais podem não somar 100% devido aos arredondamentos.

2.1.9 Fontes Renováveis na Matriz Elétrica Mundial

Quando se considera a utilização de fontes renováveis para geração de energia elétrica, é possível observar o mesmo comportamento, com predominância de fontes não renováveis no cenário mundial. Segundo estimativas do REN21 (2018), ano base 2017, cerca de 73,5% da energia elétrica mundial foi gerada por fontes não renováveis (combustíveis fósseis e nuclear) e 26,5% por fontes renováveis, a saber: hidroelétrica, eólica, bioenergia, solar fotovoltaica, oceânica, termossolar e geotérmica, conforme pode-se observar na Figura 4 (REN21, 2018).

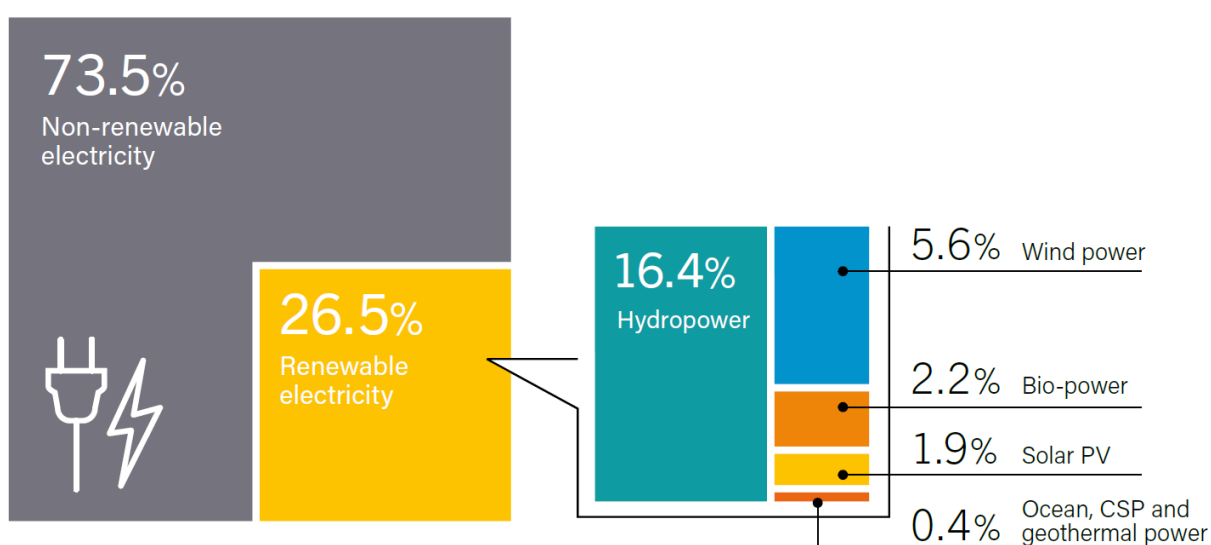


Figura 4 – Porcentagem Estimada da Energia Elétrica Gerada por Fonte no Mundo.

Fonte: REN21 (2018).

Entre os anos de 2011 e 2017 o setor de geração de energia elétrica apresentou gradativa redução do percentual de energia elétrica gerada por fontes não renováveis e aumento do percentual gerado por fontes renováveis. Neste período a contribuição das fontes não renováveis caiu 6,2%, enquanto que as renováveis não hídricas aumentaram em 5,1% a sua participação. A geração hidroelétrica apresentou aumento de 1,1% na sua participação. Na Tabela 3 pode-se observar a evolução da contribuição das fontes renováveis e não renováveis na matriz elétrica mundial entre os anos de 2011 e 2017 (REN21, 2018).

No ano de 2017, a geração fotovoltaica ocupou uma posição de destaque entre as fontes renováveis não hídricas, gerando 1,9% de toda a energia elétrica mundial e 18,8% de toda a energia elétrica produzida por fontes renováveis não hídricas.

Tabela 3 – Percentual da Geração de Energia Elétrica Mundial por Fonte.

Fonte: Adaptado de REN21 (2012; 2013; 2014; 2015; 2016; 2017; 2018).

Relatório fonte		REN21 2012	REN21 2013	REN21 2014	REN21 2015	REN21 2016	REN21 2017	REN21 2018
Ano de referência		2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Não Renovável	Comb. Fóssil e Nuclear.	79,7%	78,3%	77,9%	77,2%	76,3%	75,5%	73,5%
Renovável	Hidroelétrica	15,3%	16,5%	16,4%	16,6%	16,6%	16,6%	16,4%
	Fotovoltaica (FV)	-----	-----	0,7%	0,9%	1,2%	1,5%	1,9%
	Demais Renováveis	5,0%	5,2%	5,0%	5,3%	5,9%	6,4%	8,2%

Ainda segundo o relatório da REN21 (2018), a capacidade instalada de geração de energia elétrica renovável viu seu maior aumento anual em 2017, com um aumento estimado de 178 gigawatts (GW) de capacidade adicionada. A capacidade total de geração renovável aumentou quase 9% em relação a 2016, para 2.195 GW no final do ano, conforme Tabela 4. O maior crescimento na capacidade de energia renovável foi na energia solar fotovoltaica (que liderou com uma ampla vantagem) e na energia eólica. A energia hidrelétrica continuou a representar a

maioria da capacidade de geração de energia elétrica renovável, embora sua taxa de adição percentual no ano tenha sido inferior às outras fontes.

Na última década (2007-2017) a capacidade de geração de energia elétrica renovável mais do que dobrou, sendo que a capacidade de geração de renováveis não hidroelétricas aumentou em mais de seis vezes. O crescimento contínuo da capacidade e a expansão geográfica das tecnologias de energia renovável são impulsionados por vários fatores, incluindo o aumento da demanda de eletricidade em alguns países, políticas de incentivo às energias renováveis e contínuas quedas nos custos de implantação (especialmente para energia solar fotovoltaica e eólica). (REN21, 2018).

A energia solar fotovoltaica registrou recorde de adições em 2017 e, pelo segundo ano seguido, representou maior capacidade de geração adicionada do que qualquer outra tecnologia geradora de energia elétrica. A energia FV representou 55% da capacidade de energia renovável adicionada em 2017, enquanto que a energia eólica e hidrelétrica representaram a maior parte do restante, contribuindo com 29,2% e 10,7%, respectivamente (REN21, 2018).

Tabela 4 – Potência Mundial de Geração de Energia Elétrica por Fonte Renovável em Gigawatts (GW).

Fonte: REN21 (2014; 2015; 2016; 2017; 2018).

Relatório fonte	REN21 2014		REN21 2015		REN21 2016		REN21 2017		REN21 2018	
	Adic.	Total	Adic.	Total	Adic.	Total	Adic.	Total	Adic.	Total
Ano de referência	2013		2014		2015		2016		2017	
Adicionado/Total	Adic.	Total	Adic.	Total	Adic.	Total	Adic.	Total	Adic.	Total
Bioenergia	5	88	5	93	5,5	106	5,9	112	8,1	122
Hidroelétrica	40	1.000	37	1.055	28	1.064	25	1.096	19	1.114
Solar Fotovoltaica	39	139	40	177	50	227	75,0	303	98	402
Eólica	35	318	51	370	63	433	55	487	52	539
Outras Renov. ¹	1,4	15,9	1,5	17,7	0,7	18,5	0,5	18,8	0,8	18,2
Total	120	1.561	135	1.712	147	1.849	161	2.017	178	2.195

Obs.: O somatório das potências adicionadas anualmente não corresponde necessariamente à potência total do ano seguinte devido ao fato de cada conjunto de dados ter sido obtido em um relatório anual diferente do REN21, sendo que anualmente são efetuados ajustes devido à serem disponibilizados dados melhorados e atualizados.

¹ Geotérmica, Oceânica e Termossolar.

A Tabela 5 apresenta dados da capacidade total instalada de fontes renováveis para geração de energia elétrica para os países com maior participação no cenário de energia renovável mundial. Também são apresentados dados Brasileiros de capacidade de geração atual e prevista para o ano de 2026.

No ano de 2017, os países com a maior capacidade total de geração de energia elétrica renovável foram, em ordem decrescente: China, Estados Unidos, Brasil, Alemanha, Índia e Canadá (REN21, 2018).

Tabela 5 – Capacidade Mundial e Brasileira Total Instalada por Fonte Renovável para Geração de Energia Elétrica em gigawatts (GW) e total per capita.

Fonte: REN21 (2018); ANNEL (2019a; 2019b), EPE (2017b).

Relatório fonte	REN21 (2018)				BIG e REN 482 ¹	PDE 2026 ²
	2017				2018	2026
Ano de referência						
Região Analisada	Global	China	EUA	Alemanha	Brasil	
Bioenergia	122	14,9	16,7	8	14,8	17
Hidroelétrica	1.114	313	80	5,6	104,2	112
Solar Fotovoltaica	402	131	51	42	2,3	13
Eólica	539	188	89	56	14,4	28
Outras Renováveis ³	18,2	~0	4,2	~0	~0	-----
Total – Com Hidroelétrica	2.195	647	241	112	135,7	170
Total – Sem Hidroelétrica	1.081	334	161	107	31,5	58
Total Per capita – Com Hidroelétrica (kW/hab.) ⁴	0,29	0,47	0,74	1,35	0,65	0,77
Total Per capita – Sem Hidroelétrica (kW/hab.) ⁴	0,14	0,24	0,49	1,29	0,15	0,26

¹ Considerando a soma dos bancos de dados especificados nas referências ANEEL (2019a) relativo a micro e minigeração distribuída amparada pela REN Nº 482 e ANNEL (2019b) relativo a geração centralizada.

² Estimativas do Plano Decenal de Energia Elétrica 2026 (EPE, 2017b).

³ Geotérmica, Oceânica e Termossolar.

⁴ Dados de estimativa da população mundial, da China, EUA e Alemanha do ano de 2017 de acordo com a referência WBG (2018); dados de estimativa da população brasileira dos anos de 2017 e 2026 de acordo com a referência IBGE (2019a).

China e Estados Unidos ocupam a primeira e segunda posição respectivamente em potência instalada de fontes renováveis de energia elétrica tanto quando se considera ou não a geração hidroelétrica. Quando não se considera a geração hidroelétrica a Alemanha ocupa a terceira posição e o Brasil não aparece nas primeiras posições. Porém, quando se considera a geração hidroelétrica o Brasil assume a terceira posição, e a Alemanha passa a ocupar a quarta posição

Quando a análise é efetuada de modo *per capita* (kW/hab.) os primeiros cinco colocados em ordem decrescente sem se considerar a geração hidroelétrica são: Islândia, Dinamarca, Alemanha, Suécia e Finlândia (REN21, 2018). O Brasil passa a apresentar valores próximos aos da China quando não se considera a geração hidroelétrica e próximos aos dos Estados Unidos quando se considera a geração hidroelétrica. Em qualquer um dos casos, o Brasil possui uma potência *per capita* de fontes renováveis na geração de energia elétrica superiores à média mundial.

2.1.10 Fontes Renováveis na Matriz Elétrica Brasileira

Diferentemente do cenário mundial, onde existe uma predominância de fontes não renováveis para a geração de energia elétrica, a matriz elétrica brasileira é predominantemente composta por fontes renováveis provenientes da geração hidráulica, biomassa, eólica e solar (EPE, 2018b).

Em 2017, a participação de fontes renováveis na Matriz Elétrica Brasileira manteve-se entre as mais elevadas do mundo (EPE, 2018a).

De acordo com Balanço Energético Nacional 2018 (EPE, 2018b) 80,4% de toda a energia elétrica produzida no Brasil no ano de 2017 foi proveniente de fontes renováveis, das quais 65,2% são provenientes de fontes hidráulicas. Na Figura 5 pode-se observar a distribuição percentual da geração de energia elétrica em cada fonte.

Embora a matriz elétrica brasileira seja, na média dos últimos sete anos, formada por 81% de fontes renováveis, ela é pouco diversificada, com uma média no período de 70% de geração hidroelétrica (Tabela 6), o que torna a matriz elétrica brasileira muito dependente de fatores climáticos, principalmente dos níveis de chuva.

A diversificação da matriz elétrica nacional dentro do planejamento energético do país é essencial para a garantia da segurança energética (GESEL,

2017), uma vez que a sazonalidade da geração de determinada fonte é compensada por outra com maior disponibilidade no momento.

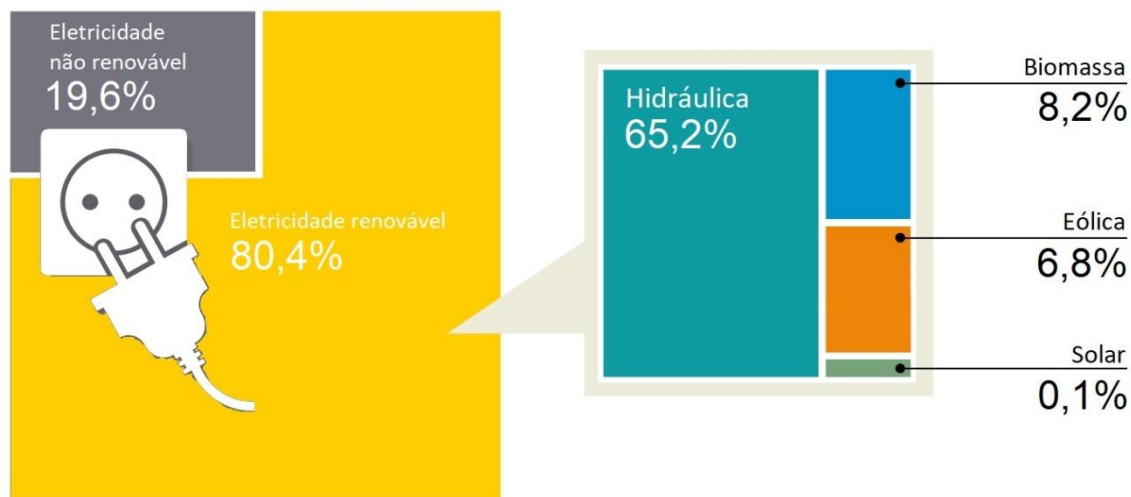


Figura 5 – Porcentagem da Energia Elétrica Gerada por Fonte no Brasil no ano de 2017.

Fonte: Gráfico do Autor, dados de EPE (2018b).

Obs.: Inclui importação.

No Brasil a compensação da sazonalidade da geração hidroelétrica é efetuada através da geração termoeétrica. As fontes hídricas são mais limpas e baratas, porém sazonais. As usinas termelétricas, que dependem exclusivamente dos combustíveis fósseis, são mais poluentes e tem custo mais elevado, porém possuem maior fator de disponibilidade, podendo ser acionadas em qualquer época do ano (GESEL, 2017).

Assim, considerando que a matriz elétrica brasileira é predominantemente hidroelétrica, uma vez que os níveis de chuva de determinado ano não favorecem à geração hidroelétrica é necessário recorrer à geração termoeétrica.

Na Tabela 6 pode-se observar a evolução da contribuição das fontes renováveis e não renováveis na geração de energia elétrica nacional entre os anos de 2011 e 2017.

Observa-se grande oscilação entre a participação das fontes renováveis hídricas e as não renováveis na matriz elétrica nacional nos últimos sete anos.

Tabela 6 – Percentual da Geração de Energia Elétrica Brasileira por Fonte.**Fonte: EPE (2011; 2012; 2013; 2014; 2015; 2016a; 2017a; 2018b).**

Relatório fonte		BEN 2012	BEN 2013	BEN 2014	BEN 2015	BEN 2016	BEN 2017	BEN 2018
Ano de referência		2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Não Renovável	Comb. Fóssil e Nuclear.	11,2%	15,5%	20,7%	25,5	24,6%	18,3%	19,6%
Renovável (Hídrica, biomassa, eólica e solar).	Hidroelétrica	81,8%	76,9%	70,6%	65,2%	64,0%	68,1%	65,2%
	Não Hidroelet.	7,1%	7,7%	8,7%	9,4%	11,5%	13,6%	15,2%
	Todas	88,9%	84,6%	79,3%	74,6%	75,5%	81,7%	80,4%

Obs.: Inclui importação.

Não inclui micro e minigeração distribuída amparada pela REN Nº 482.

Embora o potencial hidroelétrico tenha sido incrementado por todo o período, a partir do ano de 2011 houve uma queda gradual na participação da geração hídrica no cenário nacional devido a condições hidrológicas desfavoráveis. O ligeiro aumento na participação da geração hídrica entre os anos de 2015 e 2016 se deve em grande parte à diminuição da demanda energética do país, reflexo da retração da economia neste período, o que fez com que as termoelétricas necessitassem de gerar menos energia (EPE, 2018a).

Ainda como consequência das condições hidrológicas desfavoráveis, entre os anos de 2011 e 2017 foi observado um recuo da participação total de fontes renováveis e consequente aumento da participação das fontes não renováveis (EPE, 2018b). Mesmo com esse recuo, o percentual de geração renovável permaneceu elevado quando comparado à média mundial (Tabela 3).

Apesar do recuo da participação da geração hídrica entre os anos 2016 e 2017, a geração eólica compensou, em parte, o avanço da geração térmica, minimizando a queda da geração por fontes renováveis (EPE, 2018a).

Não obstante o recuo da participação total de geração renovável, quando se analisa as outras fontes renováveis (biomassa, eólica e solar) sem considerar a geração hidroelétrica observa-se um aumento constante e considerável deste segmento nos últimos sete anos, passando de 7,1% em 2011 para 15,2% em 2017. Este aumento verificado de 8,1% na participação deste segmento sobre o total

gerado entre 2011 e 2017 foi 58% maior do que o identificado a nível mundial neste mesmo seguimento e intervalo de tempo (EPE, 2018b) e (REN21, 2018).

Assim, pode-se depreender que as fontes renováveis não hídricas vêm ganhando espaço no cenário nacional, aumentando a diversificação da matriz elétrica e diminuindo a dependência das fontes não renováveis.

É possível observar na Tabela 7 o comparativo da energia total gerada por fonte nos anos de 2016 e 2017 no Brasil. Apesar da geração total de energia por fontes renováveis permanecer praticamente estagnada de um ano para o outro, a geração solar fotovoltaica e eólica aumentou 876% e 26,5% respectivamente.

A queda de 10.005 GWh de energia gerada por hidroelétricas foi compensada quase que totalmente pelo aumento da geração eólica e fotovoltaica (9.931 Gwh) no período.

Tabela 7 – Geração de Energia Elétrica Brasileira por Fonte em GWh entre os anos 2016 e 2017.

Fonte: EPE (2018a).

Fonte		2016		2017		Variação 17/16	
Renov.	Hidroelétrica	380.911	463.721	370.906	463.496	-2,6%	-0,05%
	Biomassa	49.236		49.385		+0,3%	
	Eólica	33.489		42.373		+26,5%	
	Solar Fotovoltaica	85		832		+876%	
Não Renov.	Gás Natural	56.485	101.453	65.593	110.322	+16,1%	+8,74%
	Derivados Petróleo	12.103		12.733		+5,2%	
	Nuclear	15.864		15.739		-0,8%	
	Carvão Vapor	17.001		16.257		-4,4%	
Outras		13.723		14.144		+3,1%	
Geração Total		578.898		587.962		+1,6%	

Obs.: Não inclui importação.

Inclui micro e minigeração distribuída amparada pela REN Nº 482.

Quando se considera a potência instalada das diferentes fontes de geração o cenário permanece semelhante, com 79,1% da potência instalada pertencendo a fontes renováveis, conforme mostra a Tabela 8.

A diferença entre o percentual de energia gerada e de potência instalada de determinada fonte, se deve às diferenças do fator de capacidade de cada fonte, que está ligado diretamente à aspectos climático e de planejamento energético do país.

O Brasil possui a segunda maior capacidade hidroelétrica mundial, com 104GW de potência instalada e 370.906 GWh de energia gerada em 2017, atrás da China e seguido do Canadá, Estados Unidos e Rússia.

Em relação à bioenergia (geração de energia elétrica através de biomassa) o Brasil é um dos maiores produtores mundiais, com 49.385 kWh produzidos em 2017 e 14,5GW de potência instalada; os outros grandes produtores mundiais são China, Alemanha, Japão, Reino Unido e Índia (REN21, 2018).

A geração eólica Brasileira também assume uma posição de destaque na oitava posição em potência instalada, com 14 GW e sexto lugar em adição de potência durante o ano de 2017 (REN21, 2018).

Tabela 8 – Potência Total Instalada de Geração de Energia Elétrica Brasileira por Fonte.

Fonte: ANEEL (2019b).

Origem	Fonte	Nº Usinas	(MW)		%		
Biomassa	Agroindustriais	423	561	11.430	14.526	6,6898	8,6370
	Biocombustíveis Líq.	3		4,7		0,0027	
	Floresta	99		3.178		1,8601	
	Resíduos Animais	14		4,5		0,0026	
	Resíd. Sólidos Urbanos	22		140		0,0818	
Eólica	Cinética do Vento	585		14.390		8,4222	
Fóssil	Carvão Mineral	22	2434	3.252	26.999	1,9032	14,9924
	Gás Natural	168		13.143		7,6923	
	Outros Fósseis	1		147		0,0862	
	Petróleo	2243		9.074		5,3107	
Hídrica	Potencial Hidráulico	1340		104.139		60,9498	
Nuclear	Urânio	2		1.990		1,1647	
Solar	Radiação Solar	2273		1.798		1,0521	
Undi-Elétrica	Cinética da Água	1		50		0,0000	
	Importação	-----		8.170		4,7816	
	Total	7.196		170.861		100	

Obs.: Não inclui micro e minigeração distribuída amparada pela REN Nº 482.
Dados referentes ao dia 01/01/2019.

No cenário mundial o Brasil não possui posição de destaque em relação à energia solar fotovoltaica, nem em potência já instalada nem em quantidade de

investimentos no setor (REN21, 2018). No cenário interno, quando se compara a geração FV com a matriz elétrica total do país, a geração solar fotovoltaica também apresenta pouca representatividade, sendo responsável por apenas 1,05% da potência total instalada de geração de energia elétrica. Porém, quando são efetuadas análises da expansão desta tecnologia o cenário é completamente diferente.

A energia gerada por sistemas fotovoltaicos conectados a rede (SFVCR) incluindo geração centralizada e micro e minigeração distribuída aumentou 876% no Brasil entre os anos de 2016 e 2017. Na Figura 6 pode-se observar de forma gráfica o seu acentuado avanço nos últimos sete anos. Entre 2017 e 2018 a potência de sistemas fotovoltaicos aumentou 101%, sendo que nos últimos oito anos a potência aumentou a uma taxa média de 234% ao ano.

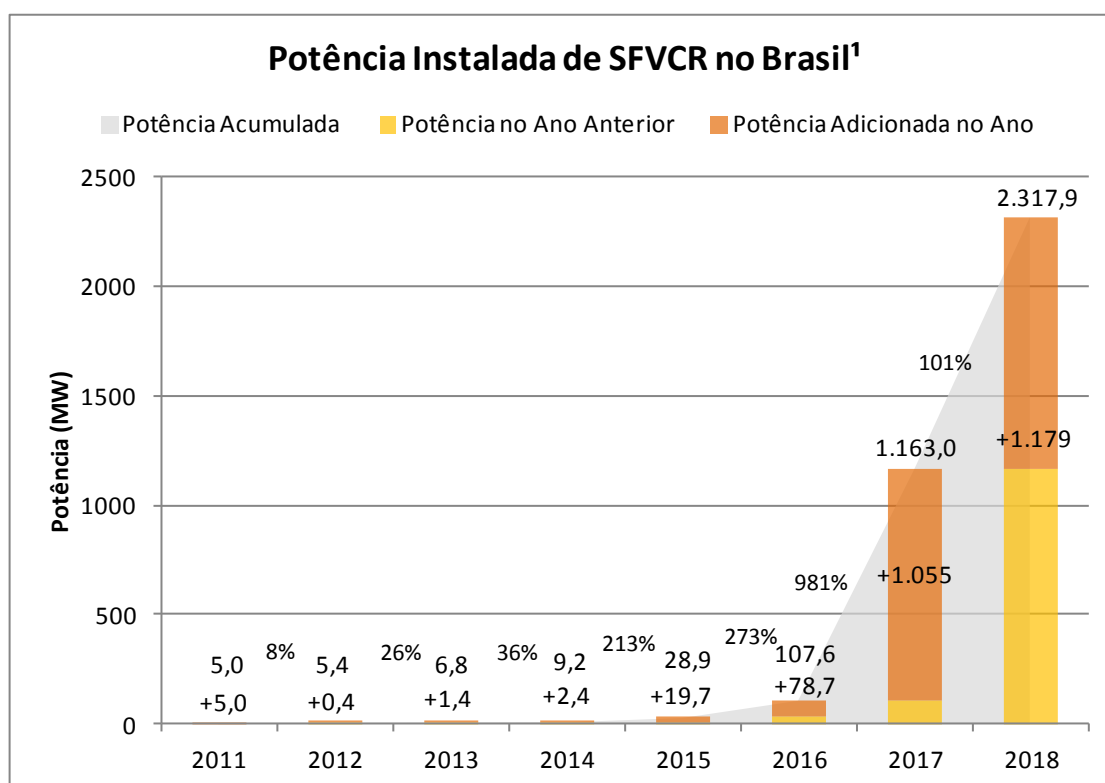


Figura 6 – Evolução da Potência Instalada de SFVCR no Brasil.

Fonte: Gráfico do Autor, dados de ANNEL (2019a; 2019b).

¹ Considerando a soma dos bancos de dados especificados nas referências ANEEL (2019a) relativo a micro e minigeração distribuída amparada pela REN Nº 482 e ANNEL (2019b) relativo a geração centralizada, conforme descrito na metodologia.

2.2 SISTEMAS FOTOVOLTÁICOS CONECTADOS A REDE ELÉTRICA

2.2.1 Energia Solar

A energia solar é responsável indiretamente pela origem de praticamente todas outras fontes de energia. É a partir da energia do Sol que se realiza o ciclo hidrológico essencial para repor a água nas represas das usinas hidroelétricas; indução da circulação de massas de ar, gerando ventos, utilizados na geração eólica; fornecimento de condições para o desenvolvimento de plantas e animais que posteriormente tiveram suas matérias orgânicas transformadas em petróleo, carvão e gás natural; fornecimento de energia para a realização de fotossíntese e crescimento da cana de açúcar, milho, soja e outras plantas utilizadas para a fabricação de biocombustível (PINHO e GALDINO, 2014).

Fisicamente falando, a energia solar não é um recurso renovável uma vez que sua energia é consequência das reações de fusão nuclear dos átomos de Hidrogênio (representam cerca de 75% da composição do Sol) para formar Hélio (cerca de 25% da composição do Sol). Porém, considerada a escala de tempo da vida no planeta Terra, pode-se considerar que a energia proveniente do Sol é inesgotável (PEREIRA *et al.*, 2017).

A energia solar pode ser aproveitada tanto para o aquecimento de água e ambientes, ou para a geração de energia elétrica. Para geração de energia elétrica, a energia do Sol pode ser utilizada através da geração heliotérmica, também chamada de geração solar térmica concentrada, e através do efeito fotovoltaico.

2.2.2 Conceitos Físicos e Astronômicos do Aproveitamento da Energia Solar

A disponibilidade do recurso energético solar e sua variabilidade espacial e temporal estão diretamente relacionadas a fatores astronômicos, físicos e climatológicos.

Os fatores astronômicos a serem considerados dizem respeito à posição do Sol em relação à Terra, e interferem diretamente na variabilidade da radiação solar no topo da atmosfera. A quantidade de energia solar incidente no topo da atmosférica e conseqüentemente em qualquer ponto da superfície terrestre apresenta variabilidade temporal composta por dois ciclos de origem astronômica: o ciclo anual e o ciclo diário (PEREIRA *et al.*, 2017).

O ciclo diário está ligado ao movimento de rotação da Terra em torno do seu próprio eixo, o que faz com que a energia proveniente do Sol varie de acordo com o horário do dia, sendo a maior incidência solar diária o momento em que o Sol está em sua posição mais elevada no céu, isto é, ao meio dia solar. Este ciclo é representado geometricamente pelo Ângulo Horário Solar (ω), corresponde ao deslocamento angular do movimento aparente do Sol devido à rotação da Terra e varia diariamente entre -180° e $+180^\circ$ (PEREIRA *et al.*, 2017).

O ciclo anual ocorre como consequência do movimento de translação da terra em torno do Sol associado à inclinação de 23,45 graus do eixo axial da Terra em relação ao plano orbital do planeta em torno do Sol. Estes dois fatores são responsáveis pela ocorrência das diferentes estações do ano, tornando os dias mais ou menos curtos, e também são responsáveis pela maior ou menor declinação do Sol verificada em um mesmo local ao longo do ano. Em relação ao aproveitamento da energia solar, o momento anual de maior incidência solar ocorre na época do ano em que o Sol está o mais perpendicular possível em relação à região analisada. Este ciclo é representado geograficamente pela declinação solar (δ), que é o ângulo formado pela inclinação do plano equatorial da Terra e a linha de direção Sol-Terra, variando anualmente entre $-23^\circ 27'$ e $+23^\circ 27'$ (PEREIRA *et al.*, 2017).

Na Figura 7 são apresentados geometricamente os ângulos responsáveis pelos ciclos diários e anuais do sol.

Do ponto vista do aproveitamento solar fotovoltaico, considera-se que o SFVCR está instalado na posição ótima, isto é, na posição que irá proporcionar a máxima geração de energia elétrica ao longo do ano, quando está instalado direcionado para a linha do equador (direção norte para o hemisfério sul e direção sul para o hemisfério norte) para melhor aproveitamento do ciclo diário e inclinado

na mesma angulação da latitude do local para o melhor aproveitamento do ciclo anual.

Além dos aspectos astronômicos, responsáveis pela variabilidade da radiação solar no topo da atmosfera, os fatores físicos e climáticos exercem grande influência no aproveitamento da energia solar incidente na superfície da Terra. Quando a radiação eletromagnética emitida pelo Sol é interceptada pela Terra, os diferentes comprimentos de onda da radiação interagem de forma distinta com os diversos constituintes atmosféricos, sofrendo processos de absorção, reflexão e espalhamento (PEREIRA *et al.*, 2017).

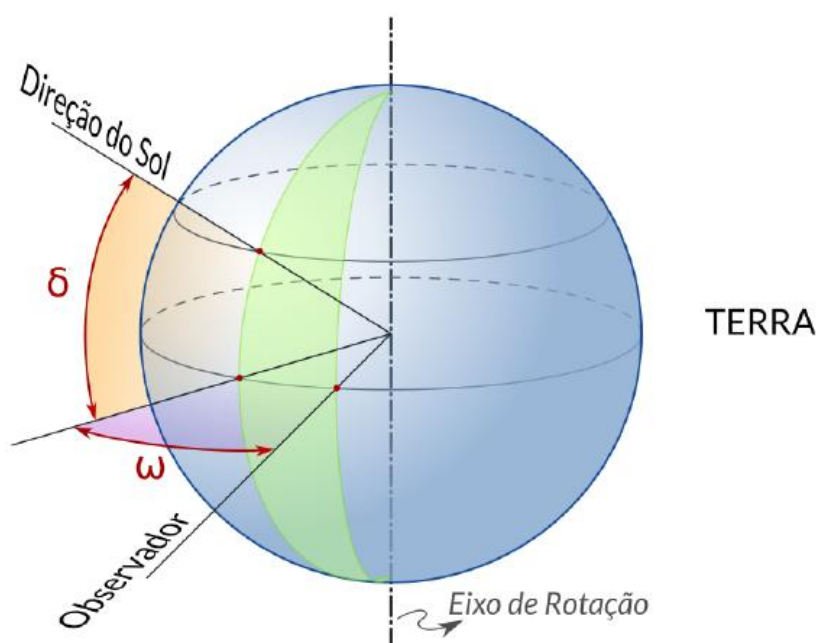


Figura 7 – Ângulo Horário Solar (ω) e Declinação Solar (δ).

Fonte: PEREIRA *et al.* (2017).

As nuvens são o principal fator modulador da radiação solar, podendo produzir o espalhamento ou reflexão/bloqueio da radiação solar incidente na superfície terrestre. Assim, fatores climáticos como quantidade de chuva e nuvens de uma região interferem diretamente no aproveitamento da energia solar para fins de geração de energia fotovoltaica (PEREIRA *et al.*, 2017).

A radiação solar é mensurada através da Irradiância Solar (W/m^2), que representa a potência solar instantânea incidente em uma determinada superfície. A

Irradiância Solar média anual no limite da atmosfera terrestre é de 1.360 W/m^2 , este valor é também chamado de constante solar (PINHO e GALDINO, 2014). Convencionalmente, a irradiância solar incidente na superfície terrestre ao meio dia solar quando o sol está perpendicular à superfície é de 1.000 W/m^2 , sendo este valor utilizado como padrão pela indústria fotovoltaica para o ensaio de células e módulos fotovoltaicos (TONIN, 2017).

Em condições de nebulosidade parcial é possível observar valores de até 1.400 W/m^2 por períodos curtos de tempo como consequência do espalhamento por bordas de nuvens ou efeito lente causado pela geometria Sol/Nuvens/Terra (DGS, 2008). Pesquisas realizadas no território brasileiro identificaram valores de irradiância de até 1.822 W/m^2 durante alguns segundos (RÜTHER *et al.*, 2017).

A irradiância solar incidente sobre uma superfície é composta por duas componentes: a irradiância solar direta que apresenta direção de incidência na linha imaginária entre a superfície e o Sol, representando a parcela que não sofreu processos de absorção e espalhamento que ocorrem na atmosfera; e a irradiância difusa é composta pela radiação proveniente de todas as demais direções decorrentes dos processos de espalhamento pelos gases, partículas e nuvens presentes na atmosfera.

A Figura 8 representa de modo gráfico todas as componentes da irradiância solar. A terminologia das componentes utilizada neste trabalho será a apresentada na Segunda Edição do Atlas Brasileiro de Energia Solar (PEREIRA *et al.*, 2017), que foi baseada na publicação de Duffie e Beckman (2013), descrita a seguir:

- Irradiância Extraterrestre (G_0): é a potência solar incidente por unidade de área em um plano horizontal imaginário situado no topo da atmosfera. É também conhecido como irradiância no topo da atmosfera ou G_{TOA} .

- Irradiância Direta Normal (G_n): é a potência solar incidente por unidade de área proveniente diretamente do Sol que incide perpendicularmente à superfície, também conhecida como DNI.

- Irradiância Difusa Horizontal (G_{dif}): é a potência solar por unidade de área que incide sobre uma superfície horizontal decorrente do espalhamento do feixe

solar direto pelos constituintes atmosféricos (moléculas, material particulado, nuvens, etc.) e pelo albedo.

- Irradiância Direta Horizontal (G_{dir}): é a potência solar por unidade de área que incide sobre uma superfície horizontal decorrente do feixe solar direto (sem espalhamento).

- Irradiância Global Horizontal (G): é a potência solar total por unidade de área que incide sobre uma superfície horizontal, sendo representada pela soma da Irradiância Difusa Horizontal com a Irradiância Direta Horizontal.

- Irradiância no Plano Inclinado (G_i): a potência solar total por unidade de área que incide sobre uma superfície inclinada na latitude do local em relação à superfície da terra.

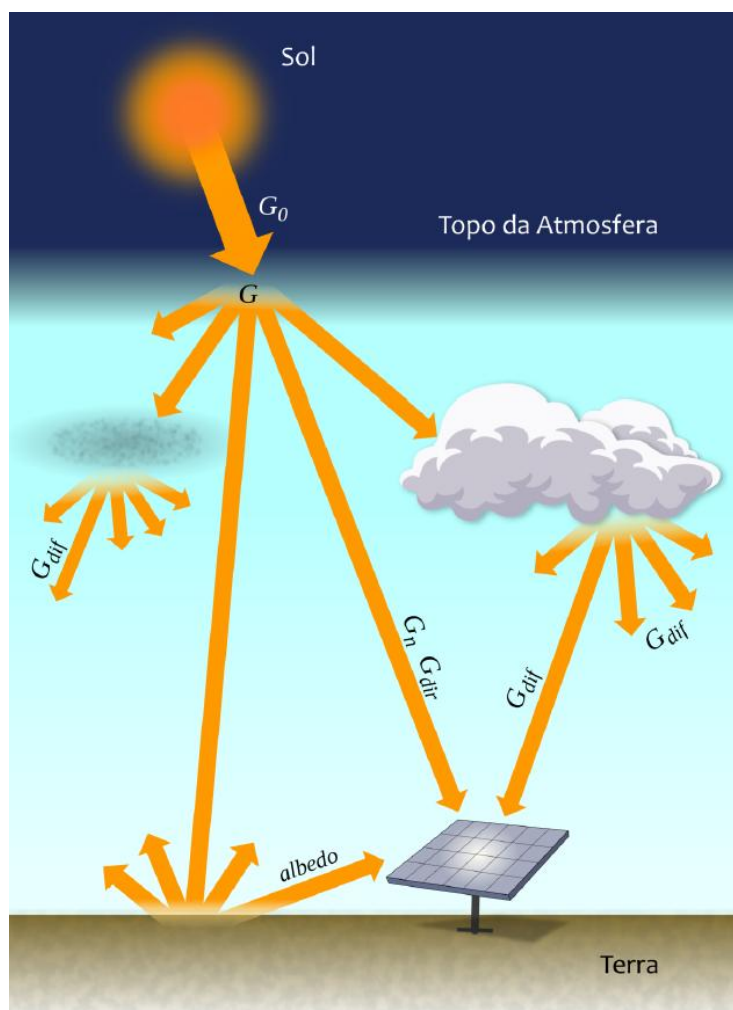


Figura 8 – Componentes da Radiação Solar.

Fonte: PEREIRA *et al.* (2017).

Quando se integra a irradiância no tempo, obtêm-se a Irradiação Solar (Wh/m^2), ou energia radiante incidente acumulada em um intervalo de tempo. No caso da integral ao longo de um dia ($\text{Wh}/(\text{m}^2.\text{dia})$), a simbologia adotada é H_0 , H_n , H_{dif} , H_{dir} , H e H_i , respectivamente (PEREIRA *et al.*, 2017).

2.2.3 Efeito Fotovoltaico

O efeito fotovoltaico foi descoberto em 1839 pelo físico francês Alexandre-Edmond Becquerel (Paris, 1820 –1891), ao observar que quando uma solução ácida era iluminada surgia uma diferença de potencial entre os eletrodos imersos nessa solução (PINHO e GALDINO, 2014).

O efeito fotovoltaico é o fenômeno físico que permite a conversão direta da luz em eletricidade. Esse fenômeno ocorre quando a luz, ou radiação eletromagnética do Sol, incide sobre uma célula composta por materiais semicondutores com propriedades específicas (VILLALVA e GAZOLI, 2012).

O dispositivo capaz de reproduzir o efeito fotovoltaico de forma utilizável, transformando a radiação eletromagnética emitida pelo Sol em eletricidade é a célula fotovoltaica (CRESPI, 2015). A célula fotovoltaica é formada por elemento semicondutor de junção P-N. Como ilustrado na Figura 9, quando a irradiação solar (fótons) atinge a superfície semicondutora tipo-N da célula fotovoltaica a energia contida nesta irradiação é absorvida pela célula e transmitida aos seus elétrons, que por sua vez desprende-se de seus átomos componentes, gerando um fluxo elétrico ordenado, ou seja, corrente elétrica (GHENSEV, 2006).

A célula fotovoltaica é a unidade fundamental do sistema FV (CAMPOS, 2016). Como cada célula possui tamanho limitado (em torno de $10\text{cm} \times 10\text{cm}$) e produz pouca eletricidade, várias células são interligadas coladas sobre uma estrutura rígida formando assim o módulo fotovoltaico que possui potência e tamanho (por volta de $1\text{m} \times 1,65\text{m}$) compatíveis com as necessidades de uma instalação (GAZOLI *et al.*, 2012).

Em uma instalação de um sistema fotovoltaico, diversos módulos fotovoltaicos são interligados eletricamente entre si formando arranjos série /paralelo de modo a atingir os níveis de tensão e corrente necessários para o correto funcionamento do inversor do SFV. A este conjunto de módulos fotovoltaicos é dado o nome de painel fotovoltaico.

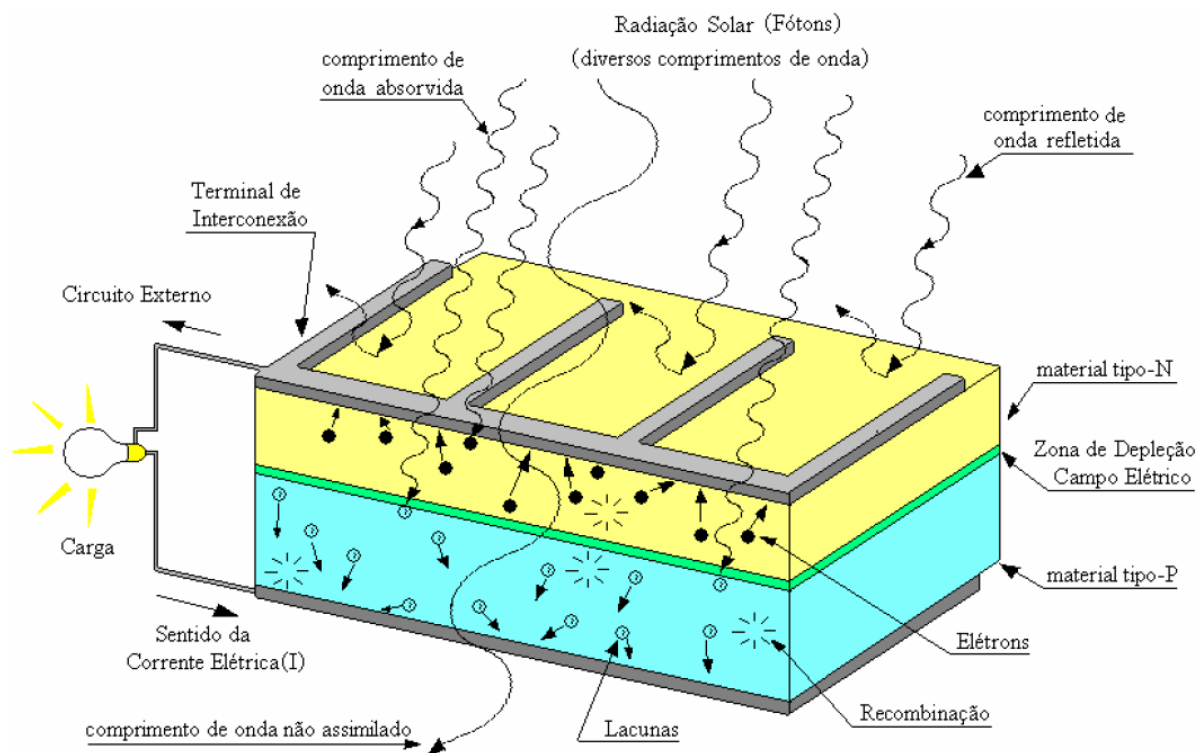


Figura 9 – Modelo Funcional de Uma Célula Fotovoltaica.

Fonte: GHENSEV (2006).

As células fotovoltaicas podem ser fabricadas de diversos materiais, dentre os mais usados destacam-se o silício monocristalino (m-Si), o silício policristalino (p-Si) e os filmes finos, como o silício amorfo (a-Si), o silício microcristalino (μ c-Si), o telureto de cádmio (CdTe), cobre-índio-selênio (CIS) e cobre-índio-gálio-selênio (CIGS). Existem outras tecnologias mais modernas, como as células fotovoltaicas orgânicas, porém sua utilização comercial ainda é limitada (TONIN, 2017).

Normalmente, os módulos monocristalinos são ligeiramente mais eficientes, mas relativamente mais caros que os módulos de silício policristalino, embora essas diferenças tenham reduzido com os avanços na fabricação e na tecnologia (REN21, 2018).

Os módulos fotovoltaicos de filme fino possuem um custo e eficiência reduzidos quando comparados com os módulos de silício (mono e policristalino), eles podem ser aplicados como filmes flexíveis instalados sobre superfícies existentes ou integrados com componentes de construção, como telhas de telhado. Os Sistemas Fotovoltaicos Integrados a Edificação (BIPV) geram eletricidade e substituem materiais convencionais em partes de um envelope de construção, como telhado ou fachada (REN21, 2018).

A Tabela 9 apresenta a eficiência de modelos de módulos FV comerciais das três maiores fabricantes de módulos do mundo no ano de 2018: JinkoSolar (China), JA Solar (China) e Trina Solar (China) (PVTECH, 2019). Em seus catálogos somente é possível encontrar módulos fotovoltaicos de Silício Monocristalino e Silício Policristalino, reforçando a preferência do mercado a estas tecnologias. No ANEXO A é possível observar detalhadamente a evolução da eficiência das diferentes tecnologias fotovoltaicas do ano de 1976 até 2018 de diferentes fabricantes.

Estudo da caracterização técnica dos SFVCR na Cidade de Curitiba (TONIN e URBANETZ, 2016), pesquisa esta que pode ser extrapolado para o Brasil, aponta a predominância de sistemas FV constituídos de módulos de Silício Policristalino (SCOLARI e URBANETZ, 2018). Este tipo de módulo também é o que se encontra com mais facilidade no mercado, apresentando uma boa relação entre eficiência e custo.

Tabela 9 – Eficiência de Módulos Fotovoltaicos Comerciais.

Fonte: Compilação de dados do autor com base nas referências JÁ (2018a e 2018b), JINKO (2017a e 2017b) e TRINA (2018a e 2018b).

Tecnologia	Fabricante	Nome Comercial da Família do Produto	Eficiência Mínima e Máxima dos Módulos da Família
Silício Monocristalino – m-Si	JinkoSolar	Eagle 60M JKM M-60	De 16,8% até 18,0%
	JA Solar	JAM72S01/PR	De 18,8% até 19,8%
	Trina Solar	TSM-DE14H(II)	De 17,4% até 19,9%
Silício Policristalino – p-Si	JinkoSolar	Eagle 60 JKM PP-60	De 15,9% até 17,1%
	JA Solar	JAP72S01/SC	De 16,2% até 17,2%
	Trina Solar	TSM-PD14	De 16,5% até 17,5%

2.2.4 Tipos e Constituição dos Sistemas Fotovoltaicos

Um Sistema Fotovoltaico (SFV) pode ser definido como o conjunto de elementos que geram e fornecem eletricidade pela conversão direta da energia solar através do processo fotovoltaico. Os sistemas fotovoltaicos podem ser classificados através de dois critérios principais:

- Quanto à interligação com a rede pública de distribuição de energia, podendo ser: Sistemas Fotovoltaicos Isolados (SFVI); ou Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica (SFVCR) (ABNT, 2013).

- Quanto à configuração, podendo ser: Sistemas Puros, quando utilizam o gerador fotovoltaico como único gerador de energia; ou Sistema Híbridos: quando resultam da associação de um gerador fotovoltaico com outros tipos de geradores de energia elétrica (ABNT, 2013).

Os Sistemas Fotovoltaicos Isolados são assim chamados por não possuírem conexão com o sistema público de fornecimento de energia elétrica, operando de maneira isolada para atender à somente uma unidade consumidora ou à uma pequena comunidade (minirrede). Os SFVI possibilitam o fornecimento de energia elétrica em locais que não possuem rede de distribuição seja por questões econômicas ou ambientais, assim, são utilizados principalmente em localidades isoladas, ilhas ou aplicações para alimentar cargas específicas como sistema de iluminação pública, geladeiras para armazenar vacinas, bombas de água, entre outros (TONIN, 2017).

A Figura 10 ilustra a configuração de um SFVI tradicional. Ele é composto basicamente por quatro equipamentos (TONIN, 2017):

- Painel Fotovoltaico: estrutura formada por um ou mais módulos fotovoltaicos tendo a propriedade de transformar, através do efeito fotovoltaico, a energia irradiada pelo sol em energia elétrica na forma de corrente e tensão contínua;

- Controlador de Carga: equipamento eletrônico capaz de monitorar e controlar a carga/descarga do banco de baterias, evitando sobrecargas e descargas profundas e, aumentando assim, a vida útil do banco de baterias;
- Inversor: equipamento eletrônico capaz de converter a tensão contínua proveniente dos módulos fotovoltaicos ou banco de baterias em tensão alternada;
- Banco de Baterias: equipamento capaz de armazenar a energia elétrica fotovoltaica produzida para ser utilizada posteriormente em momentos em que o SFV não esteja gerando energia através da irradiação solar.

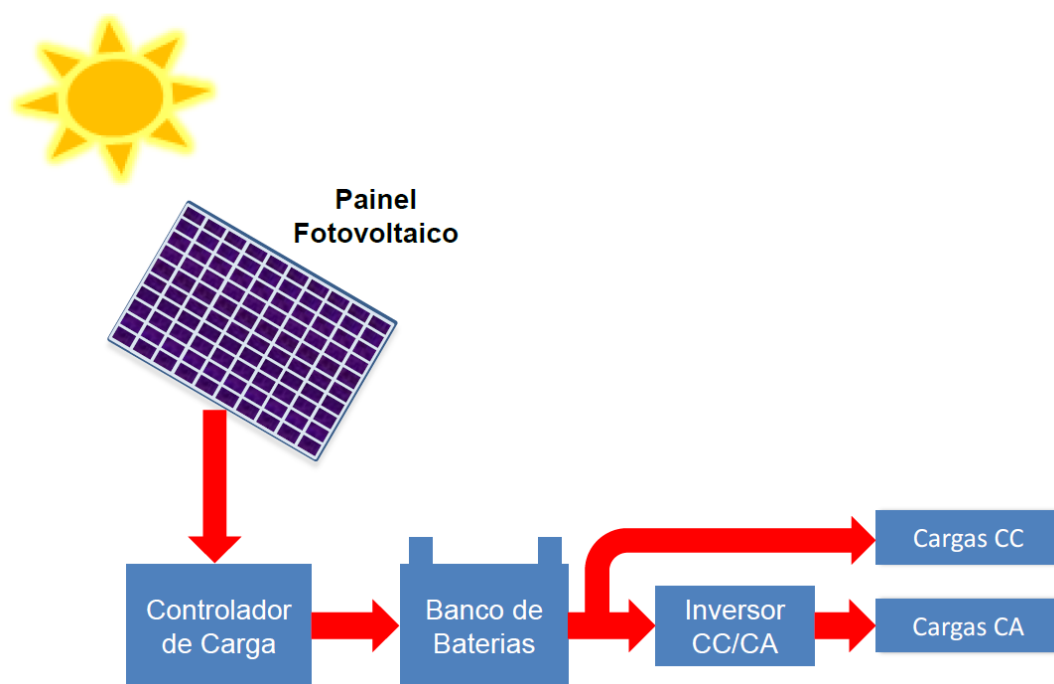


Figura 10 – Configuração de um SFVI Tradicional.

Fonte: TIEPOLO (2015).

Não existe nenhum banco de dados oficial que centralize as informações do SFVI instalados no território brasileiro, sendo estas informações divulgadas de maneira descentralizada através de artigos e notícias. Pela falta de um banco de dados oficial centralizado e por este tipo de geração apresentar somente uma pequena participação no cenário energético mundial e nacional, a geração fotovoltaica isolada não será considerada nos resultados do presente trabalho.

Os sistemas fotovoltaicos conectados a rede elétrica (SFVCR) são aqueles que estão efetivamente conectados ao sistema público de fornecimento de energia elétrica (ABNT, 2013), constituindo o sistema mais encontrado mundialmente (CAMPOS, 2016).

A Figura 11 ilustra a configuração de um SFVCR tradicional.

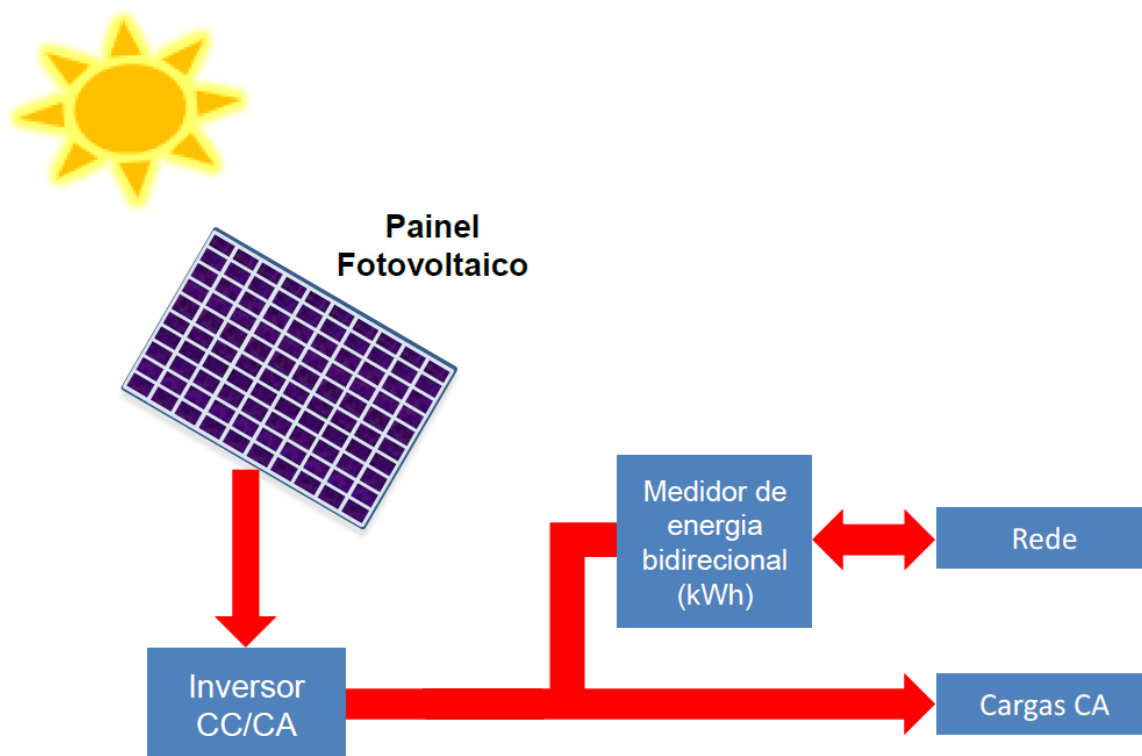


Figura 11 – Configuração de um SFVCR Tradicional.

Fonte: TIEPOLO (2015).

Os SFVCR apresentam reduzida complexidade quando comparados com os SFVI devido à ausência do banco de bateras, que podem ser considerados o elo frágil dos sistemas isolados devido aos seus elevados custos de manutenção (CAMPOS, 2016). Nos SFVCR a própria rede elétrica da concessionária é vista como um elemento armazenador (URBANETZ, 2010), recebendo ou fornecendo energia de acordo com o momento.

Assim, os SFVCR são constituídos somente pelo painel fotovoltaico, inversor e o medidor de energia bidirecional que é responsável por contabilizar as

quantidades de energia exportadas e importadas da rede elétrica, de modo a ser possível efetuar a posterior compensação da energia elétrica gerada/consumida.

Os SFVCR podem ser aplicados de duas formas no sistema elétrico: SFV de geração centralizada e os SFV de micro e minigeração distribuída, que no Brasil, são amparados pela REN 482 de 2012 da ANEEL. Os conceitos e definições aplicáveis à geração centralizada e distribuída foram expostos no Item 2.1.4.

Independente de o SFV ser Isolado ou Conectado à Rede Elétrica, ele pode possuir uma configuração Híbrida ou Pura, conforme já mencionado (ABNT, 2013). Em relação aos bancos de dados de informação de SFV, não existe uma distinção de cadastro entre os sistemas Híbridos ou Puros, por este motivo não será efetuada esta distinção no decorrer deste trabalho.

A Figura 12 resume a classificação dos SFV, assim como o banco de dados de cadastro de SFV aplicável para cada categoria.

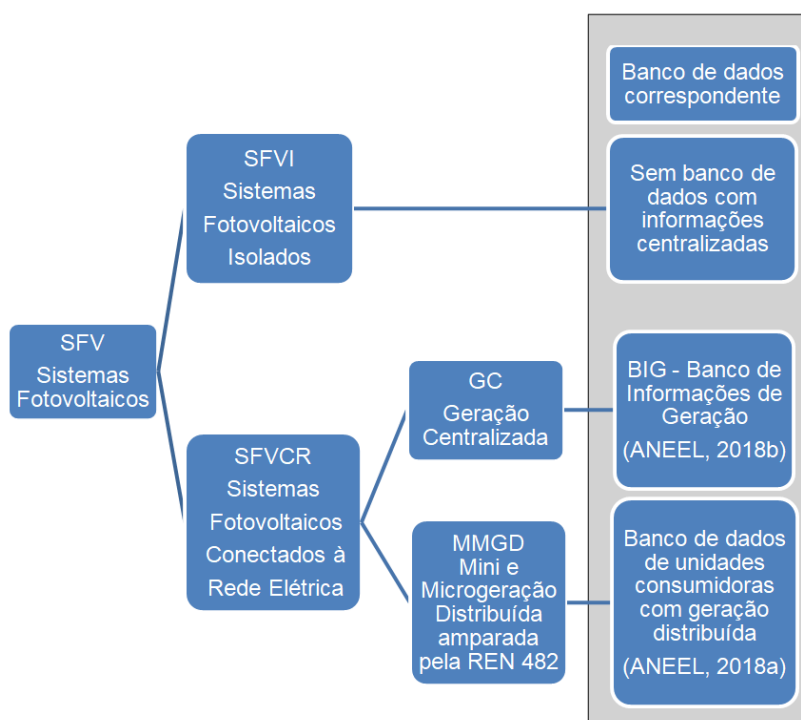


Figura 12 – Classificação dos SFV e Banco de Dados Correspondentes.

Fonte: Adaptado de ABNT (2013) e URBANETZ (2010).

2.2.5 Caracterização e Índices de Mérito de SFVCR

Um SFVCR pode ser caracterizado com base nas especificações técnicas de seus componentes (TONIN, 2017), sendo os principais parâmetros utilizados no desenvolvimento deste trabalho:

- Potência de pico do SFV, representada pela unidade Wp (Watt-pico), indica o somatório da potência nominal individual de todos os módulos fotovoltaicos que compõe o sistema.
- Potência dos inversores, representada pela unidade W (Watt), indica o somatório da potência de todos os inversores existentes no SFV;
- Quantidade de inversores e de módulos do SFV;
- Área ocupada pelo SFV, representada pela unidade m² (metros quadrados), indica a área total ocupada pelos módulos fotovoltaicos instalados.
- Inclinação e direção da instalação dos módulos fotovoltaicos.

Sistemas de micro e minigeração distribuída também podem ser caracterizados através do perfil da unidade consumidora: tipo de grupo e subgrupo tarifário e tipo de consumidor (industrial, comercial, residencial, etc.).

Já a avaliação do desempenho de um SFVCR é expressa a partir de seus índices de mérito, a saber: produtividade (*yield*), taxa de desempenho (*performance ratio*) e fator de capacidade. Tais parâmetros permitem balizar em termos de aproveitamento da irradiação solar e produção de energia elétrica diferentes SFVCR, instalados em diferentes locais, com diferentes potências, tecnologias e concepções de projeto. Os diferentes índices de mérito são detalhados a seguir: (BENEDITO, 2009), (URBANETZ *et al.*, 2014a), (TONIN, 2017) e (OLIVEIRA, 2002).

- **Produtividade (*Yield*)** – Representa quantos kWh de energia elétrica foram gerados para cada kWp de potência FV. Matematicamente é a relação entre a energia elétrica gerada após o inversor (kWh) e a potência fotovoltaica instalada (kWp), possuindo a unidade (kWh/kWp). Possui melhor representatividade quando

vinculada à um ano inteiro de operação, chamado *yield* anual, porém, pode também ser considerado o *yield* mensal. A Equação (1) apresenta a grandeza em questão.

$$Y = \frac{\text{Energia Gerada (kWh)}}{\text{Potência FV (kWp)}} \left(\frac{\text{kWh}}{\text{kWp}} \right) \quad \text{Equação (1)}$$

- **Taxa de Desempenho (*Performance Ratio*)** – Representa a capacidade real do SFV de converter a energia solar disponível no plano dos painéis em eletricidade, expressando em termos percentuais a eficiência de transformação da radiação solar em eletricidade pelo SFV. Este índice considera todas as perdas ocorridas no processo de conversão da energia solar em eletricidade (perdas de conversão fotovoltaica, perdas nos cabos, perdas no inversor, perdas por sujidade dos módulos, etc.).

Matematicamente é definida como a relação entre a produtividade (kWh/kWp) e a quantidade de horas de horas de sol a 1.000W/m² (h), que por sua vez pode ser calculada pela divisão da irradiação (kWh/m²) no plano do SFV pela irradiância solar em condições padrão (1 kW/m²).

Em outras palavras, é a razão entre a energia efetivamente entregue pelo sistema e a energia que esteve disponível no plano do SFV. A taxa de desempenho usual de um SFVCR gira em torno de 75%, e depende de fatores como a eficiência de todos os componentes envolvidos na instalação, posicionamento do SFV, frequência de limpeza dos módulos FV, compatibilidade entre o arranjo FV escolhido e as características do inversor, etc.

Este índice possui melhor representatividade quando vinculada à um ano inteiro de operação, chamada *performance ratio* anual, porém, pode também ser considerado a *performance ratio* mensal. A Equação (2) apresenta a grandeza em questão.

$$PR = \frac{\text{Yield (kWh/kWp)}}{\text{Irradiação (kWh/m}^2\text{)/1.000 (kW/m}^2\text{)}} (\%) \quad \text{Equação (2)}$$

- **Fator de Capacidade** – Este índice representa o percentual da energia efetivamente gerada em relação ao total de energia que seria gerada caso o sistema operasse 24 horas por dia em sua potência nominal. Em outras palavras, representa

a porcentagem de tempo em que o sistema está operando em sua capacidade nominal. Matematicamente é expressa pela Equação (3).

$$FC = \frac{\text{Energia Gerada (kWh)}}{\text{Potência (kWp)} \times 24(\text{h}) \times \text{N}^\circ \text{ Dias}} (\%) \quad \text{Equação (3)}$$

Para um SFV, o fator de capacidade depende além do *performance ratio* deste sistema da disponibilidade do recurso solar no local e possui valores médios da ordem de 13% a 18%.

O FC (fator de capacidade) também pode ser definido para outras fontes de geração, possuindo valores médios característicos para cada fonte. Usinas hidroelétricas possuem um FC da ordem de 50%; usinas eólicas no mundo um fator FC de 30%; usinas eólicas no Brasil um FC de 45%; já as usinas nucleares possuem um FC próximo a 100%. A usina hidroelétrica de Itaipu apresentou um FC médio de 76,6% entre os anos 2010 e 2017, sendo que no ano de 2016 apresentou recorde de produção de energia (103.098 GWh), atingindo um fator de capacidade de 84% (ITAIPU, 2017), (ITAIPU, 2019).

Cada fonte de energia possui as suas especificidades que são responsáveis por aumentar ou diminuir o seu fator de capacidade. Além disso, também existem questões de planejamento energético nacional que influenciam diretamente no fator de capacidade uma planta específica, uma vez que o Operador Nacional do Sistema (ONS) pode determinar a suspensão ou diminuição da geração de determinada usina mesmo que existissem recursos disponíveis para a continuidade de geração.

Além dos índices de mérito citados, também é possível calcular a eficiência energética do painel fotovoltaico, que é uma relação entre a potência do SFV ocupado por uma determinada área pela irradiância solar em condições padrão (1 kW/m²) nesta mesma área. Matematicamente é expressa pela Equação (4).

$$EF = \frac{\text{Potência FV (kWp)}}{\text{Área SFV (m}^2\text{)} \times 1 \text{ (kW/m}^2\text{)}} (\%) \quad \text{Equação (4)}$$

A eficiência energética do painel FV está diretamente ligada ao material de constituição de suas células e à qualidade de fabricação do módulo fotovoltaico. Valores típicos de eficiência podem ser observados na Tabela 9 no Item 2.2.3.

2.2.6 Cenário Fotovoltaico Mundial

No ano de 2017 o mundo adicionou mais capacidade de energia solar fotovoltaica do que de qualquer outro tipo de tecnologia de geração de energia, superando as adições de combustíveis fósseis e nuclear combinadas. Grande parte deste bom desempenho é resultado do forte crescimento da energia solar fotovoltaica na China, contribuindo para que a capacidade global aumentasse em quase um terço, totalizando aproximadamente 402 GWp (REN21, 2018).

Durante o ano de 2017 foram adicionados no mundo pelo menos 98GWp, o que representa 32% da potência existente no final de 2016. Esta adição de potência seria equivalente à instalação de 40.000 módulos FV por hora durante todo o ano de 2017 (REN21, 2018). A Figura 13 ilustra a capacidade de geração FV mundial acumulada e adicionada entre os anos de 2007 e 2017.

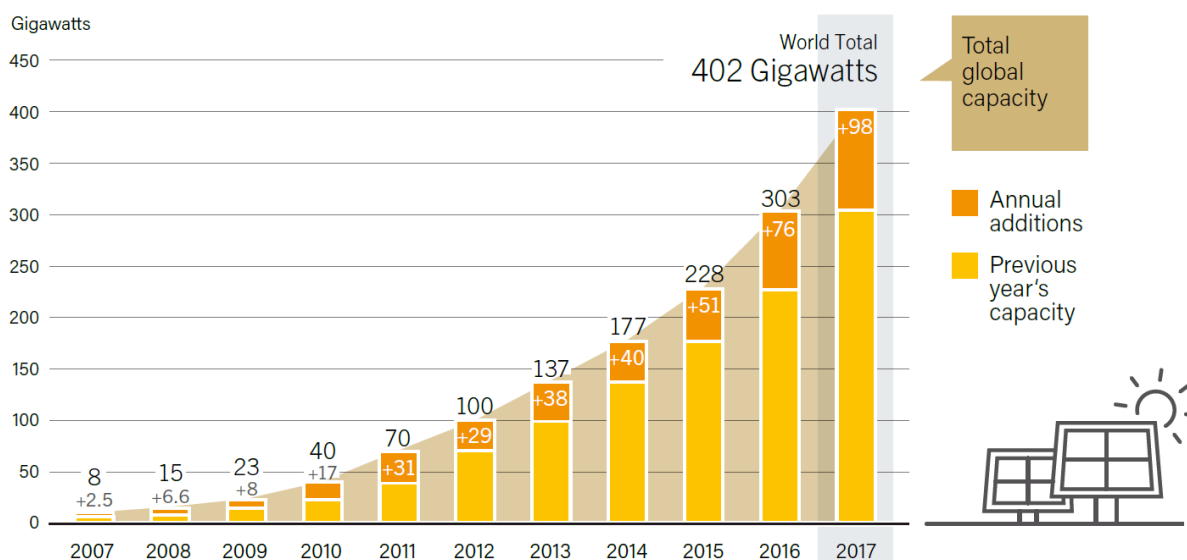


Figura 13 – Capacidade FV Global Acumulada e Adicionada 2007-2017.

Fonte: REN21 (2018).

Nota: Os dados são fornecidos em Gigawatts pico. Os totais podem não ser iguais devido ao arredondamento.

A geração fotovoltaica já é responsável por 1,9% da geração elétrica mundial, representando 7,2% da geração por fontes renováveis e 18,8% da geração por fontes renováveis não hídricas, sendo capaz de produzir perto de 494 TWh de eletricidade por ano no mundo. No final de 2017, 22 países no mundo (incluindo China e Índia) já tinham capacidade FV suficiente para atender a 2% ou mais de sua demanda energética (REN21, 2018).

Os cinco países com maior capacidade de geração fotovoltaica são, em ordem decrescente: China, Estados Unidos, Japão, Alemanha e Itália, que juntos possuem 73% da potência total instalada no final de 2017, conforme se pode observar na Figura 14.

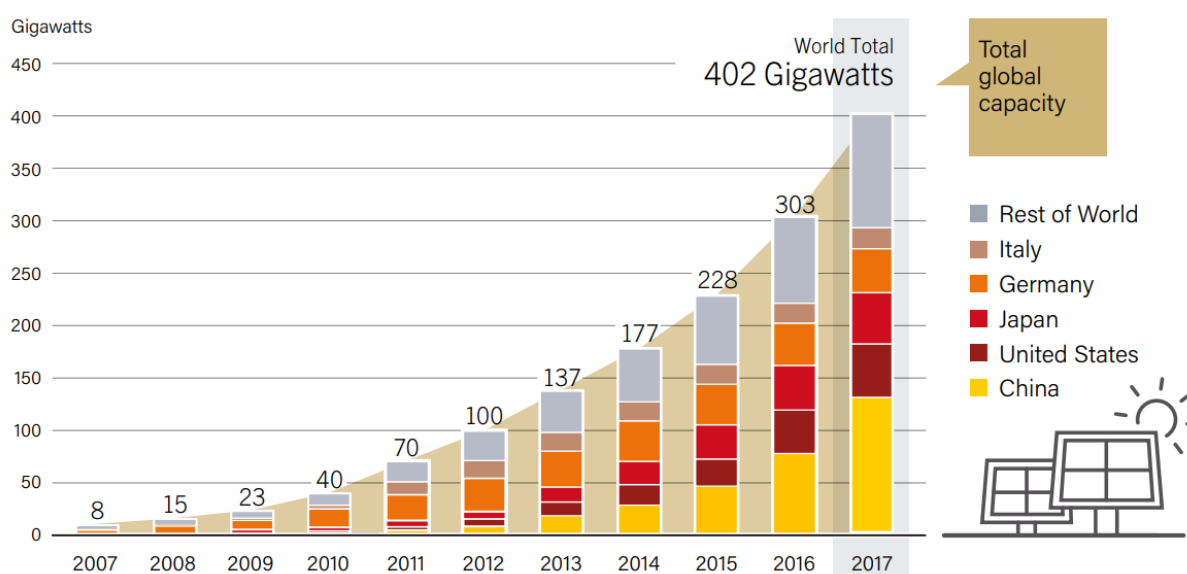


Figura 14 – Capacidade FV Acumulada por País e Região 2007-2017.

Fonte: REN21 (2018).

Nota: Os dados são fornecidos em Gigawatts pico.

Embora a capacidade de energia solar fotovoltaica esteja concentrada em uma pequena lista de países, no final do ano, todos os continentes haviam instalado pelo menos 1 GW de capacidade, e pelo menos 29 países tinham 1 GW ou mais. Globalmente, a expansão do mercado é devida em grande parte à crescente competitividade da energia solar fotovoltaica, combinada com a crescente demanda por eletricidade nos países em desenvolvimento e crescente conscientização do

potencial da tecnologia para aliviar a poluição, reduzir as emissões de dióxido de carbono e fornecer acesso à energia. No entanto, a maior parte da demanda global continua a ser impulsionada em grande parte pelas políticas governamentais. (REN21, 2018).

Quando se avalia de modo per capita, os países com maior capacidade fotovoltaica instalada até o final do ano de 2017 são, em ordem decrescente: Alemanha, Japão, Bélgica, Itália e Austrália (REN21, 2018).

Quando se considera a potência FV adicionada no ano de 2017, a China novamente assume a liderança, com 54% das adições. Cinco mercados foram responsáveis por quase 84% de toda a nova potência instalada, sendo eles: China, Estados Unidos, Índia, Japão e Turquia; os cinco seguintes foram Alemanha, Austrália, República da Coreia, Reino Unido e Brasil, conforme ilustra a Figura 15.

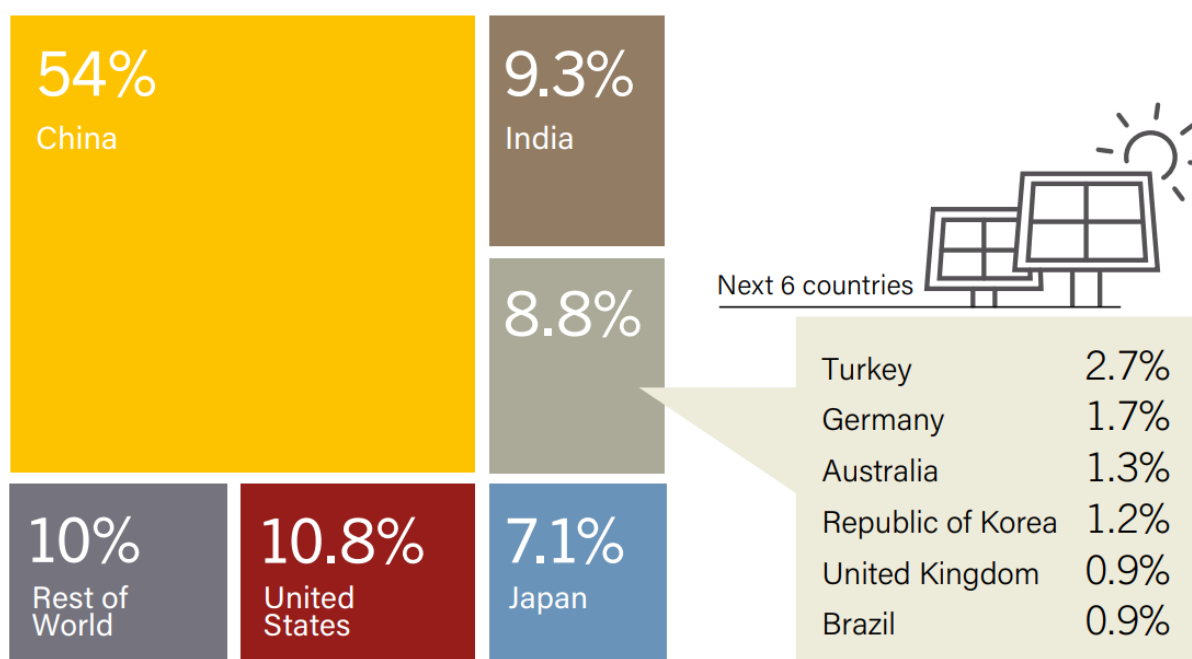


Figura 15 – Capacidade Adicionada por País e Região em 2017.

Fonte: REN21 (2018).

Apesar do significativo crescimento da demanda, o ano de 2017 trouxe reduções de preços dos equipamentos para instalações, sobretudo dos módulos fotovoltaicos. Esta queda dos preços e aumento da demanda vem atraindo novos

participantes para o setor fotovoltaico, incluindo concessionárias de energia e empresas de petróleo e gás. No final de 2017, 22 países no mundo (incluindo China e Índia) já tinham capacidade FV suficiente para atender a 2% ou mais de sua demanda energética (REN21, 2018).

Embora a demanda por energia fotovoltaica isolada esteja se expandindo em alguns países, sobretudo na África, os sistemas conectados a rede elétrica estão aumentando mais rapidamente e continuam a representar a grande maioria das instalações fotovoltaicas no mundo, conforme observa-se na Figura 16.

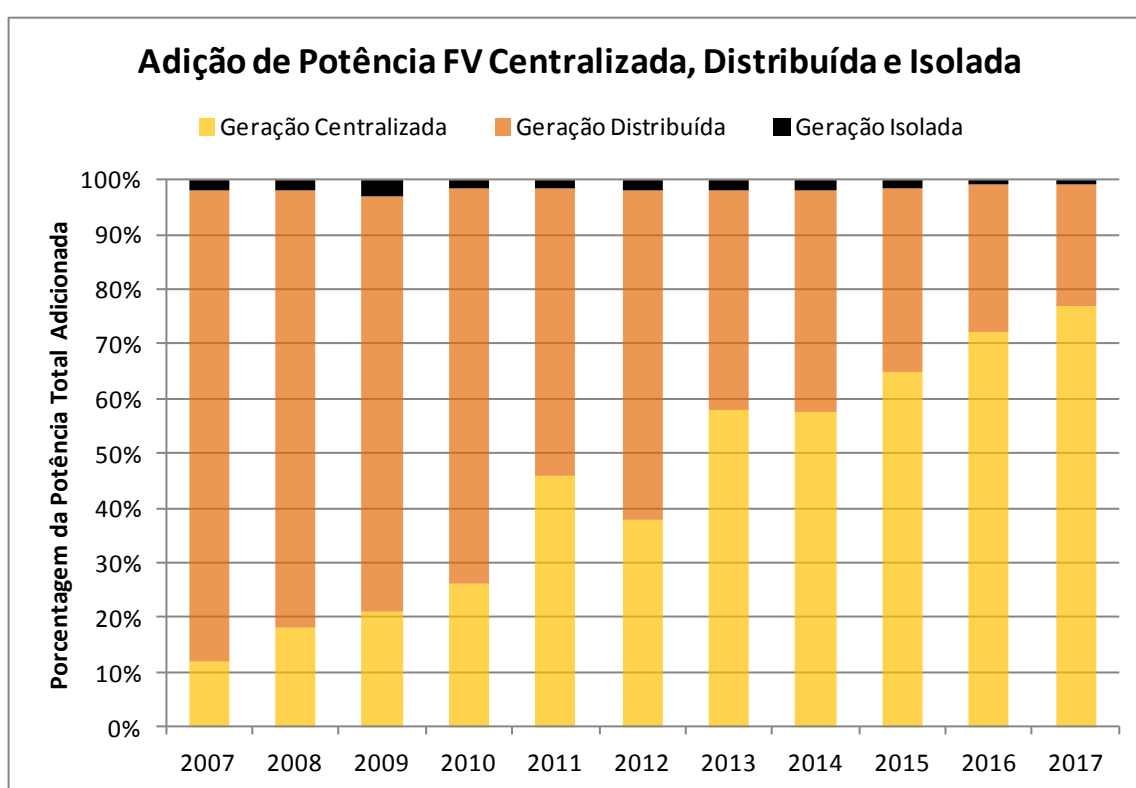


Figura 16 – Participação Percentual da Adição Total Anual de Geração Fotovoltaica Isolada, Distribuída e Centralizada.

Fonte: Adaptado de REN21 (2017 e 2018).

A geração fotovoltaica que no início de sua disseminação mundial era vista uma fonte majoritariamente distribuída, apresenta hoje uma tendência de aumento da participação de geração centralizada. Desde o ano de 2013 já é adicionada no mundo mais potência fotovoltaica de forma centralizada do que distribuída. Porém, independentemente da tendência de centralização da potência FV instalada, o seu

caráter de geração distribuída já está consolidado pela quantidade de SFV distribuídos existentes no mundo (SCOLARI e URBANETZ, 2018).

Os SFV de geração distribuída (residencial, comercial e industrial) veem lutando para se manter estável no mercado em termos de capacidade adicionada ao ano. Enquanto isso, sistemas centralizados de grande porte são cada vez mais comuns no mundo, sobretudo em mercados emergentes, representando 77% da capacidade total instalada no mundo em 2017 (REN21, 2018).

O tamanho e o número de grandes projetos continuou a crescer durante 2017. No final do ano, pelo menos 196 usinas solares fotovoltaicas de 50 MW ou mais estavam operando em pelo menos 28 países. A capacidade total dessas plantas que entraram em operação em 2017 foi de mais de 4,6 GW. Considerando plantas de 4 MW ou mais, mais de 70 países tinham projetos instalados até o final do ano, e a capacidade total global dessas instalações estava se aproximando de 140 GW (REN21, 2018).

2.2.7 Previsões de Crescimento da Geração Fotovoltaica no Brasil

Somente nos últimos anos é que a geração FV vem aparecendo com maior ênfase nos estudos de planejamento energético nacional brasileiro. Os estudos do Plano Nacional de Energia (PNE) 2050, elaborado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE), preveem para ano de 2050 uma potência instalada de micro e minigeração distribuída de 78.000MW, que será suficiente para suprir 5,7% do consumo total nacional (EPE, 2016b). Este mesmo estudo estima que 18% dos domicílios de 2050 contarão com geração FV, o que suprirá 13% do consumo residencial (MME, 2016).

O Plano Decenal de Expansão de Energia (PDE) 2026 prevê para o ano de 2026 cerca de 770 mil UFV de micro e minigeração distribuída, totalizando 3.330MW, suficientes para atender 0,6% do consumo total nacional (EPE, 2017b).

Segundo projeções da ANEEL (ANEEL, 2017a) até o ano de 2024 devem existir 886.700 usinas fotovoltaicas (UFV) residenciais e comerciais de geração distribuída, totalizando 3.208MW de potência instalada.

Estudos (SCOLARI e URBANETZ, 2018) demonstram que mesmo as mais recentes estimativas de crescimento da geração FV no Brasil não são capazes de estimar com precisão a previsão de potência FV que será instalada nos próximos anos. Demonstrando que o cenário FV, principalmente no que diz respeito à micro e minigeração distribuída, é muito imprevisível em relação a sua taxa de crescimento. Em poucos meses todo o cenário e previsões existente até então podem sofrer alterações devido à instalação de um grande SFV ou o lançamento de um programa regional ou nacional de incentivo de instalação de SFV.

Projeções recentes (URBANETZ et al., 2018) estimam uma potência de SFVCR instalada no Brasil de 75,6 GWp em 2025. Este mesmo estudo considera que a potência instalada de SFVCR de micro e minigeração tem aumentado de maneira regular, enquanto que a potência instalada de SFVCR centralizados vem aumentando de maneira descontínua ao longo dos últimos anos. É esperado que com o amadurecimento da tecnologia o crescimento da capacidade instalada de SFVCR se torne relativamente estável (URBANETZ et al., 2018).

Por outro lado, programas de incentivo lançados em âmbito nacional ou regional, aliado à gradual redução dos custos de implantação de SFVCR e incertezas em relação aos impostos e valores de tarifa de energia elétrica ao longo do tempo faz com que a quantidade e potência FV instalada nas regiões sofram grandes variações em um pequeno intervalo de tempo, nem sempre sendo possível prever ou determinar os motivos específicos (SCOLARI e URBANETZ, 2018).

2.2.8 Resolução Normativa Nº 482 de 17 de Abril de 2012 da ANEEL

A publicação da Resolução Normativa (REN) Nº 482, de 17 de Abril de 2012 pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) e sua posterior atualização através REN Nº 687, de 24 de Novembro de 2015 do mesmo órgão estabeleceu as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos

sistemas de distribuição de energia elétrica, além do sistema de compensação de energia elétrica (ANEEL, 2012) e (ANEEL, 2015a).

A resolução Nº 482 foi o marco inicial da disseminação da energia FV de forma distribuída para consumidores de pequeno porte, permitindo que desde os consumidores residenciais de pequeno porte até os consumidores industriais de grande porte pudessem instalar Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica (SFVCR) em suas próprias unidades consumidoras (UC) com reduzida burocracia de homologação (SCOLARI *et al.*, 2017).

Antes da publicação da REN a instalação de SFVCR estava restrita à usos específicos de concessionárias e para pesquisas e testes em universidades e indústrias (SCOLARI *et al.*, 2017).

Para efeitos da REN Nº 482 e suas atualizações posteriores, as principais definições adotadas são:

- Microgeração Distribuída: Central geradora de energia elétrica, com potência instalada menor ou igual a 75kW, composta por fontes de renováveis de energia elétrica, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras (ANEEL, 2012).

- Minigeração Distribuída: Central geradora de energia elétrica, com potência instalada superior a 75kW e menor ou igual a 5MW, composta por fontes de renováveis de energia elétrica, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras (ANEEL, 2012).

- Sistema de Compensação de Energia Elétrica: sistema no qual a energia ativa injetada na rede por UC com microgeração ou minigeração distribuída é cedida, por meio de empréstimo gratuito, à distribuidora local e posteriormente compensada com o consumo de energia elétrica ativa (ANEEL, 2012).

Segundo definições da REN Nº 676/2015, a Potência Instalada da Unidade Geradora Fotovoltaica se refere à potência nominal elétrica, em kW, na saída do inversor, respeitadas as limitações de potência decorrentes dos módulos, do controle de potência do inversor ou de outras restrições técnicas (ANEEL, 2015b). Trata-se, portanto, do menor valor entre a potência nominal do inversor e a potência dos módulos (ANEEL, 2017c). Assim, nos bancos de dados da ANEEL de usinas de

geração fotovoltaica centralizada ou distribuída, o valor da potência indicado corresponde ao menor valor entre a potência nominal do inversor e a potência dos módulos.

No cenário mundial, existem duas políticas de Sistema de Compensação de Energia Elétrica para a geração distribuída, o “*Net Metering*” e o “*Feed-in*” (REN21, 2018).

O sistema de compensação brasileiro é semelhante ao chamado “*Net Metering*” na literatura mundial, no qual existe um acordo regulado em que as unidades consumidoras com GD recebem créditos pelo excesso de geração, que pode ser aplicado para compensar o consumo em outros períodos (REN21, 2018).

Já a política de “*Feed-in*” normalmente garante às UC com GD pagamentos especificados pela sua geração (R\$/kWh) durante um período fixo, podendo também estabelecer regulamentos pelos quais os geradores tem a opção de vender energia diretamente à rede. Existem inúmeras opções para definir o nível do incentivo, podendo o pagamento ser determinado por um preço mínimo estabelecido ou flutuar sobre o preço da eletricidade no atacado (REN21, 2018).

Devida à facilidade de implantação e controle, o “*Net Metering*” é o sistema mais utilizado no mundo. Porém, por possuir mais possibilidades de utilização em vários tipos de cenários, gerando assim maiores vantagens tanto para o consumidor quanto para o sistema elétrico público, as políticas de “*Feed-in*” vêm ganhando espaço no mercado mundial, sobretudo em países desenvolvidos (REN21, 2018).

Em relação ao sistema de compensação de energia elétrica brasileiro, a REN Nº 687 determina que a energia ativa injetada no sistema de distribuição pela unidade consumidora será cedida a título de empréstimo gratuito para a distribuidora, passando a unidade consumidora a ter um crédito em quantidade de energia ativa a ser consumida por um prazo de 60 (sessenta) meses (ANEEL, 2012).

Unidades consumidoras com modalidades tarifárias que possuam tarifas de consumo diferenciadas por horário, a compensação deve se dar primeiramente no posto tarifário em que ocorreu a geração e, posteriormente, nos demais postos tarifários, devendo ser observada a relação dos valores das tarifas de energia (ANEEL, 2012).

Assim, unidades consumidoras do Grupo B com Tarifa Convencional, a qual possui uma tarifa de consumo constante durante todo o dia, apresentam um “custo evitado” com a geração FV maior do que um consumidor do Grupo A com Tarifa Verde ou Azul, que possuem uma tarifa mais baixa no horário em que o SFV está gerando mais energia e uma tarifa mais alta justamente no horário em que o SFV não está gerando. Por este motivo, o desempenho financeiro da instalação de SFVCR para consumidores do Grupo B tende a ser maior do que o desempenho para consumidores do Grupo A, considerando-se as mesmas características de instalação.

A Tarifa Branca, que entrou em vigor de maneira opcional aos consumidores do Grupo B no ano de 2018, apresenta desempenho financeiro do SFV inferior ao desempenho de consumidores do Grupo B com Tarifa Convencional, justamente por possuir tarifas de consumo mais baixos nos horários em que o SFV está gerando mais eletricidade, e tarifas mais altas nos momentos em que o SFV não está gerando.

Ainda segundo a REN Nº 687, além da compensação de energia elétrica efetuada na própria UC onde o SFV está instalado, a compensação pode ser efetuada na modalidade de múltiplas unidades consumidoras, geração compartilhada e autoconsumo remoto, de modo que compensa-se a energia consumida em outras unidades consumidoras vinculadas à UC com GD através do mesmo titular ou por meio de consórcio ou cooperativa, dependendo da modalidade (ANEEL, 2015a).

2.2.9 Atlas Brasileiro de Energia Solar e Atlas de Energia Solar do Estado do Paraná

O Atlas Brasileiro de Energia Solar constitui importante ferramenta para análise do potencial de energia solar no território brasileiro. Sua primeira edição, publicada no ano de 2006, constituiu uma compilação de dados solarimétricos históricos no Brasil, sendo empregada por diversos investigadores e empreendedores da área de energia solar (PEREIRA *et al.*, 2017).

A segunda edição do Atlas foi publicada no ano de 2017 e atualizou os dados solarimétricos da primeira edição, sendo empregados mais de 17 anos de dados satelitais além da implementação de diversos avanços nos modelos matemáticos adotados, visando melhorar a confiabilidade e precisão da base de dados produzida (PEREIRA *et al.*, 2017).

Além de pesquisas na área de energia, o Atlas é frequentemente utilizado em outras áreas de conhecimento, como a meteorologia, climatologia, agricultura, hidrologia e arquitetura (PEREIRA *et al.*, 2017).

Para a determinação do potencial fotovoltaico de determinada região do território brasileiro, foi utilizado neste trabalho o mapa da “Média Anual da Irradiação Total Diária no Plano Inclinado na Latitude” da segunda edição do Atlas Brasileiro de Energia Solar, que representa a irradiação incidente em um SFV instalado na posição ótima. Este mapa encontra-se ilustrado no ANEXO B.

De modo semelhante, a Primeira Edição do Atlas de Energia Solar do Estado do Paraná apresenta com detalhes dados solarimétricos de todas as regiões do Estado do Paraná. O Atlas do Estado do Paraná foi lançado em 2017, utilizando a mesma metodologia e banco de dados utilizada na Segunda Edição do Atlas Brasileiro (TIEPOLO *et al.*, 2017)

Para a determinação do potencial fotovoltaico de determinada região do Estado do Paraná, foi utilizado neste trabalho o mapa da “Média Anual da Irradiação Total Anual no Plano Inclinado na Latitude” do Atlas de Energia Solar do Estado do Paraná. Este mapa encontra-se ilustrado no ANEXO C.

No âmbito deste trabalho, sempre que forem citados dados do Atlas Brasileiro de Energia Solar, estará se referindo à Segunda Edição do Atlas.

3 METODOLOGIA

3.1 NORMALIZAÇÃO DO BANCO DE DADOS DE GERAÇÃO FOTOVOLTAICA CENTRALIZADA

As informações relativas à geração fotovoltaica centralizada foram obtidas no Banco de Informações de Geração (BIG), disponibilizado pela ANEEL, conforme a referência ANEEL (2019b).

As informações disponíveis sobre cada uma das usinas FV registradas são: Código Único de Empreendimentos de Geração (CEG), Nome da Usina, Data de Entrada em Operação, Potência Outorgada, Potência Fiscalizada, Destino da Energia, Proprietário, Município. Um exemplo dos dados contidos neste banco de dados encontra-se ilustrado no ANEXO D.

Como este banco de dados está em constante atualização, a consulta ao banco de dados e obtenção das informações ocorreu no dia 01/01/2019 por volta das 10 horas da manhã, não foram consideradas as atualizações no banco de dados após esta data.

Conforme explicado no Item 2.2.8 (pag. 66), o valor de potência indicado no banco de dados corresponde ao menor valor entre a potência nominal do inversor e a potência dos módulos (ANEEL, 2015b) e (ANEEL, 2017c). Como os valores de potência dos módulos são próximos dos valores de potência dos inversores, às vezes maiores, às vezes menores, espera-se que na média os valores acabem convergindo para um valor de potência comum aos dois, em que se pode utiliza-los tanto como indicação de potência CC como de potência CA.

O recorte temporal foi efetuado com base nas usinas FV com registro de “Entrada em Operação” até o dia 31 de dezembro de 2018, os dados fora deste recorte temporal foram eliminados. Foi identificado que o BIG possui 2.273 usinas FV registradas dentro do recorte temporal considerado.

O BIG possui muitas usinas de pequeno porte cadastradas, que não representam efetivamente usinas de geração centralizada, possuindo caráter de

geração distribuída. Estas pequenas usinas aparecem cadastradas no BIG por dois motivos principais: ou foram cadastradas no BIG antes da entrada em vigor da REN 482/2012 e neste caso representam SFV pioneiros instalados principalmente para pesquisas de concessionárias, universidades ou indústrias; ou foram cadastrados erroneamente, quando deveriam constar no Banco de Dados de Unidades Consumidoras de Micro e Minigeração Distribuída.

Para que os resultados do trabalho representem fielmente o cenário atual da geração FV centralizada, efetuou-se uma filtragem dos dados, desconsideraram-se todos os SFV com potência inferior a 5MW (limite máximo de enquadramento de minigeração distribuída). Foi utilizada a informação da “Potência Fiscalizada” que representa a potência que realmente já foi instalada. A Tabela 10 resume a quantidade e potência de SFV que foi considerada e desconsiderada do banco de dados.

Tabela 10 – Quantidade e Potência de SFV Considerados e Desconsiderados.

Fonte: Compilação de dados do autor com base na referência ANEEL (2019b).

Banco de Dados (Até 31/12/2018)	Nº Usinas		Potência Fiscalizada	
	Quant.	%	MW	%
SFV Considerados	65	2,86	1.775,62	98,78
SFV Desconsiderados	2.208	97,14	21,96	1,22
Total	2.273	100%	1.797,58	100%

Observa-se pela Tabela 10 que foram eliminados 97% da quantidade de usinas listadas no banco de dados, mas estas usinas eliminadas representavam somente 1,22% da potência total instalada. Assim, os dados dos “SFV Considerados” passam a ser condizentes com as características da geração centralizada: poucas usinas, mas com grandes potências, diferentemente dos “SFV Desconsiderados”.

A partir deste ponto os dados dos 65 SFV considerados foram transferidos para uma planilha eletrônica, onde estes puderam ser manipulados de acordo as necessidades das análises a serem efetuadas, sendo possível a criação de todas as tabelas e gráficos presentes neste trabalho.

Sempre quando forem citados nos resultados deste trabalho dados de geração FV centralizada, estes dados serão relativos aos 65 “SFV Considerados” constantes na Tabela 10.

Mesmo os dados dos “SFV Desconsiderados” do BIG possuindo características de Geração Distribuída eles serão totalmente descartados deste estudo e não integrarão os resultados relativos aos SFV de Geração Distribuída. Esta escolha foi adotada devido a: falta de meios de confirmação de que estes SFV são realmente relativos à geração distribuída; a insignificância amostral dos “SFV Desconsiderados” frente ao universo do Banco de Dados de Unidades Consumidoras de Micro e Minigeração Distribuída e; a dificuldade de compatibilização entre os dois bancos de dados.

Uma usina FV já cadastrada no BIG pode ter a sua potência instalada aumentada ao longo do tempo em virtude de ampliações em sua planta, porém, a data de entrada de operação da usina permanece a data já cadastrada. O BIG não fornece um histórico destas ampliações, não sendo possível identificar em que ano ocorreram. Assim, foi considerada a potência instalada total no momento de consulta ao banco de dados e a data inicial de operação inicial da planta. Deste modo, a potência indicada de determinada usina pode não ter sido a mesma desde a sua entrada de operação até o momento atual.

3.2 NORMALIZAÇÃO DO BANCO DE DADOS DE GERAÇÃO FOTOVOLTAICA DISTRIBUÍDA

As informações relativas à geração fotovoltaica distribuída foram obtidas no Banco de Dados de Unidades Consumidoras de Micro e Minigeração Distribuída amparadas pela REN Nº482/2012, conforme a referência ANEEL (2019a).

As informações disponíveis sobre cada uma das usinas FV registradas são: Distribuidora, Código da GD, Titular da UC, Classe, Subgrupo, Modalidade, Quantidade de UC's que recebem os créditos, Município, Unidade da Federação (UF), Código de Endereçamento Postal (CEP), Data da Conexão, Fonte de Geração, Potência Instalada (kW), Quantidade de Módulos, Quantidade de Inversores e Área

do Arranjo. Um exemplo dos dados contidos neste banco de dados encontra-se ilustrado no ANEXO E.

Como este banco de dados está em constante atualização a consulta ao banco de dados e obtenção das informações ocorreu no dia 15/01/2019 por volta das 11 horas da noite, não foram consideradas as atualizações no banco de dados após esta data. Optou-se pelo dia 15 de janeiro, pois, segundo recomendações da ANEEL, as concessionárias de energia têm até o dia 10 de cada mês para cadastrar no banco de dados as usinas que entraram em operação no mês anterior.

Primeiramente efetuou-se a verificação e correção das informações contidas no banco de dados de acordo com a metodologia exemplificada no Item 3.2.1 deste trabalho.

Após a verificação e correção das informações no banco de dados, efetuou-se um recorte temporal com base nas usinas FV com registro de “Data de Conexão” o até o dia 31 de dezembro de 2018, os dados fora deste recorte temporal foram eliminados.

Constatou-se que o banco de dados possui 52.530 usinas FV registradas dentro do recorte temporal considerado. A partir deste ponto os dados dos 52.530 SFV considerados foram transferidos para uma planilha eletrônica, onde estes puderam ser manipulados de acordo as necessidades das análises a serem efetuadas, sendo possível a criação de todas as tabelas e gráficos presentes neste trabalho.

Sempre quando forem citados nos resultados deste trabalho dados de geração FV distribuída, estes dados serão relativos aos 52.530 SFV de Micro e Minigeração Distribuída Amparados pela REN N° 482/2012 da ANEEL resultantes desta etapa de análise, correção e filtragem de dados.

Além das informações contidas originalmente no banco de dados, foram incluídas mais duas colunas na planilha eletrônica, com as informações de: “Eficiência do Painel FV” e “Potência Média de cada Módulo”.

A Eficiência do Painel FV foi calculada com base na Equação (4), constante no Item 2.2.5 deste trabalho. Como uma das informações utilizadas para esse cálculo é a área do arranjo (área total do painel FV) e não o somatório da área dos

módulos, chamou-se esse resultado de “Eficiência do Painel FV” e não de “Eficiência Média dos Módulos FV”.

A Potência média de cada Módulo foi calculada com base na Equação (5), pela divisão entre a “Potencia do SFV” e a “Quantidade de Módulos do SFV”, considerando-se que na maioria dos casos a potência de todos os módulos de um mesmo SFV são iguais.

$$\text{Pot. Méd. Módulos} = \frac{\text{Pot.Total do SFVCR (W)}}{\text{Quantidade de Módulos}} \quad (\text{W}) \quad \text{Equação (5)}$$

Conforme explicado no Item 2.2.8, o valor de potência indicado no banco de dados corresponde ao menor valor entre a potência nominal do inversor e a potência dos módulos (ANEEL, 2015b) e (ANEEL, 2017c).

Como os valores de potência dos módulos são próximos dos valores de potência dos inversores, às vezes maiores, às vezes menores, espera-se que na média os valores acabem convergindo para um valor de potência comum aos dois, em que se pode utiliza-los tanto como indicação de potência CC como de potência CA.

3.2.1 Rotina de Verificação e Correção dos Dados Cadastrados

A solicitação do registro e cadastramento das informações dos SFV com geração distribuída é efetuada de forma descentralizada, sendo de responsabilidade de cada concessionária ou permissionária de distribuição. Assim, não se tem controle de qual setor e qual a qualificação do funcionário responsável pelo cadastramento dessas informações em cada concessionária, estando estas informações sujeitas a erros de cadastramento por parte dos responsáveis, seja por negligência, imprudência ou imperícia. Estudos (SCOLARI *et al.*, 2017) já relataram a ocorrência de erros de cadastramento destas informações no banco de dados, sendo que em Março de 2017 a ANEEL publicou um Ofício Circular (ANEEL,

2017b) instruindo as concessionárias quanto a importância do correto preenchimento das informações cadastradas.

Para que os resultados deste trabalho possam ser os mais fidedignos possíveis, algumas das informações do banco de dados foram corrigidas quando constatado erro, a partir da rotina de verificação de erros cuja metodologia está exemplificada a seguir:

Existem informações no banco de dados que não são verificáveis por rotinas matemáticas, tendo sua veracidade verificável apenas através de pesquisa individual de cada SFV, o que se torna inviável em virtude da quantidade (52.530) de SFV de geração distribuída existentes.

Por outro lado, existem informações que podem ter a sua veracidade confirmada. As informações que serão verificadas e/ou corrigidas serão: Data de Conexão, Potência de cada Módulo, Quantidade de Módulos, Eficiência do Painel FV e Área do Arranjo.

- **Data de Conexão:** identificou-se que existiam 20 SFV cadastrados com uma data de conexão anterior ao ano de 2012, um dado nitidamente errôneo, visto que a REN 482 que homologa este tipo de conexão foi publicada no ano de 2012; mesmo SFV já existentes anteriormente ao ano de 2012 e que só foram regularizados após a resolução, deveriam ser cadastrados com a data de regularização e não a data inicial de instalação do SFV. Nestes casos a data foi corrigida com base na informação do “Código da GD”. Como esse código é numérico e sequencial, sistemas FV com códigos de GD próximos possuem uma data de conexão próxima. Assim, atribuiu-se como data de conexão destes sistemas a mesma data de conexão do SFV com código de GD imediatamente anterior.

- **Potência de cada Módulo e Quantidade de Módulos:** ao se calcular a potência média de cada módulo, verificou-se que 1.147 resultados eram incompatíveis com os valores típicos de mercado de módulos FV, sendo registrados valores de potência dos módulos desde apenas 1,3W até 55.000W.

Ciente de que nem todos os resultados errôneos serão corrigidos, mas visando a correção de pelo menos os resultados mais incongruentes, estabeleceu-se um limite de valores aceitáveis de potência de cada módulo FV compreendido

entre 50W e 400W. Os valores calculados fora deste limite foram considerados errôneos e foram corrigidos.

Todos os valores considerados errôneos (1.147) foram substituídos pelo valor de 271W que corresponde a média dos valores válidos e condiz com os valores típicos de mercado, assim, a média dos valores válidos não sofre alteração com a correção dos valores errôneos.

Nos SFV em que a informação da potência do módulo foi corrigida, e somente nestes sistemas, corrigiu-se também a informação de “Quantidade de Módulos”. Uma vez fixada a potência de cada módulo de 271W, dividiu-se a potência total do SFV por 271W, estabelecendo-se assim a quantidade corrigida de módulos aproximada deste SFV.

- **Eficiência do Painel FV e Área do Arranjo:** ao se calcular a Eficiência do Painel FV, verificou-se que 2.258 resultados eram incompatíveis com os valores típicos de eficiência de Painéis FV constituído de módulos de silício policristalino, sendo registrados valores de eficiência desde apenas 0,04% até 3.598.400%.

Ciente de que nem todos os resultados errôneos serão corrigidos, mas visando a correção de pelo menos os resultados mais incongruentes, estabeleceu-se um limite de valores aceitáveis de eficiência dos painéis FV compreendido entre 5% e 25%. Os valores calculados fora deste limite foram considerados errôneos e foram corrigidos.

Todos os valores considerados errôneos foram substituídos pelo valor de 14,6% que corresponde a média dos valores válidos e condiz com os valores típicos na literatura, assim, a média dos valores válidos não sofre alteração com a correção dos valores errôneos.

Nos SFV em que a informação da Eficiência do Painel FV foi corrigida, e somente nestes sistemas, corrigiu-se também a informação de “Área do Arranjo”. Uma vez fixada a eficiência de cada painel de 14,6%, dividiu-se a potência total do SFV por 14,6%, de acordo com a Equação (4), constante no Item 2.2.5 deste trabalho, estabelecendo-se assim a área do arranjo corrigida aproximada deste SFV.

No item 4.9 deste trabalho, serão efetuadas considerações a respeito da confiabilidade e dos erros encontrados no banco de dados a partir da metodologia de verificação de erros citada.

3.3 CARACTERIZAÇÃO GERAL DOS SFVCR DE MICRO E MINIGERAÇÃO DISTRIBUÍDA

A caracterização dos SFVCR de geração distribuída baseou-se nas informações disponíveis sobre estes sistemas no banco de dados de UC's com micro e minigeração distribuída (ANEEL, 2019a).

Foi efetuada a caracterização de acordo com a classe da unidade consumidora (residencial, comercial, industrial, rural ou poder público) à qual pertence o sistema.

Os dados extraídos do banco de dados para cada classe foram: Quantidade de SFVCR, Potência Total, Quantidade de Módulos e Área Ocupada Total.

Para complementar a análise, foram incluídos os seguintes parâmetros: Potência Média dos SFVCR, Potência Média dos Módulos FV e Eficiência Média dos Painéis FV, conforme calculado no item 3.2.

As unidades consumidoras cadastradas como pertencentes a classes: "Poder Público", "Iluminação Pública" e "Serviço Público" foram todas consideradas em somente na classe "Poder Público".

A Caracterização Geral dos SFVCR de Micro e Minigeração distribuída foi efetuada para três recortes espaciais: primeiramente considerando-se todos os SFV do Brasil, a seguir considerando-se somente os SFV instalados no Estado do Paraná, e por último os SFV da Cidade de Curitiba (somente os SFV com CEP verificado de acordo com o item 3.6).

3.4 MAPEAMENTO DOS SFV NO TERRITÓRIO BRASILEIRO E PARANAENSE

Para se elaborar o mapeamento dos SFVCR tanto de geração centralizada quanto de geração distribuída utilizou-se o software de mapeamento Google Earth (GOOGLE, 2017).

O mapeamento dos SFV de geração centralizada foi efetuado através da informação de município constante no BIG. Cada SFV considerado foi localizado na imagem de satélite e assinalado com um marcador circular na cor verde.

Para se efetuar o mapeamento dos SFV de micro e minigeração distribuída primeiramente criou-se uma planilha eletrônica com o CEP de todos os SFV de determinado ano, então se criou um arquivo .CSV (Comma-Separated Values) que é compatível com o software de mapeamento Google Earth (GOOGLE, 2017). Desta forma o Google Earth geocodificou todas as entradas de CEP e criou um marcador circular na cor preta para cada CEP listado.

A seguir os marcadores dos SFV foram sobrepostos ao mapa da Irradiação Total Diária no Plano Inclinado na Latitude, disponível na Segunda Edição do Atlas Brasileiro de Energia Solar (PEREIRA *et al.*, 2017).

Foram criados filtros, para que os marcadores correspondessem ao ano de instalação de seu respectivo SFV. A partir deste ponto aplicou-se estes filtros para que somente os SFV de determinados anos fossem mostrados, e assim foi possível criar os mapas de cada ano.

Foi efetuada uma ampliação dos SFV no estado do Paraná, e a estes foi sobreposto o mapa da Irradiação Total Anual no Plano Inclinado na Latitude do estado do Paraná, disponível Atlas de Energia Solar do Estado do Paraná (TIEPOLO *et al.*, 2017).

O Estado do Paraná possui 399 municípios, um valor bastante elevado para que todos apareçam identificados no mapa e listados nas tabelas. Assim, os municípios que aparecem identificados no mapa do Paraná são os municípios que registraram maior quantidade sistemas fotovoltaicos instalados no estado. O critério de corte utilizado foi que o município deve possuir mais de 50 SFV de micro e

minigeração distribuída instalados, independentemente da potência total, o que resultou em doze municípios. Os SFV da Cidade de Curitiba tiveram o CEP verificado de acordo com o item 3.6.

Os municípios considerados através deste corte representam 46% da potência total instalada e 50% da quantidade de SFV, os municípios restantes aparecem na tabela listados como “Demais Municípios”.

Na Tabela 16 estão listados somente os municípios que se enquadram neste critério. A classificação do respectivo município no *ranking* paranaense em potência e quantidade de SFV considerou todos os municípios do Paraná sem corte.

3.5 DETERMINAÇÃO DO POTENCIAL DE GERAÇÃO FOTOVOLTAICA

Para a determinação do potencial de geração fotovoltaica de cada Unidade da Federação, foi utilizado o valor da “Irradiação Total Anual no Plano Inclinado na Latitude” expressa pela unidade kWh/m².ano. Esta grandeza considera a irradiação solar incidindo em um plano inclinado na latitude do local. Optou-se por utilizar a irradiação no plano inclinado prevendo que os SFV estarão instalados em inclinação próxima a da latitude do local, que corresponde a posição ótima de instalação. Quando este valor se referir à irradiação em uma grande área, como um país ou estado, o valor citado será referente a média da irradiação nesta área.

Para evitar repetições desnecessárias, os dados estarão acompanhados somente da indicação “Irradiação”, porém convencionou-se que estes dados se referem à “Irradiação Total Anual no Plano Inclinado na Latitude” como já citado.

Todos os dados de irradiação das UF Brasileiras, assim como os dados de irradiação de outros países foram extraídos de Tiepolo e Urbanetz Jr. (2018). A base de dados utilizada por Tiepolo e Urbanetz Jr. (2018) para determinação das médias de irradiação por UF é relativa à Segunda Edição do Atlas Brasileiro de Energia Solar, de 2017.

3.6 MAPEAMENTO DOS SFV NA CIDADE DE CURITIBA

Para se elaborar o mapeamento dos SFVCR de micro e minigeração distribuída na Cidade de Curitiba utilizou-se o software de mapeamento Google Earth (GOOGLE, 2017).

Primeiramente selecionaram-se somente os SFV indicados como pertencendo à cidade de Curitiba, o que resultou em 397 SFV. Então se criou uma planilha eletrônica com o CEP de todos os SFV de determinada classe de UC (Residencial, Comercial, Industrial e Poder Público), criando-se um arquivo .CSV (Comma-Separated Values) que é compatível com o software de mapeamento Google Earth (Google, 2017). Desta forma o Google Earth cria um marcador circular para cada CEP listado, os marcadores tiveram as suas cores selecionadas de modo a distinguir as diferentes classes de UC's.

A seguir, o bairro de cada UC foram conferidos através do aplicativo online de busca de CEP da Empresa Brasileira de Correios e Telégrafos (ECT), que utiliza um banco de dados de endereçamento (DNE) de mais de 900 mil CEP de todo o Brasil, sendo esta, a base oficial e exclusiva dos Correios, portanto, sua informação é confiável e atualizada (ECT, 2019).

Como o CEP não indica o endereço exato do local, mas sim um intervalo numérico de uma determinada rua, os pontos mapeados foram posicionados em posição numérica dentro da faixa de CEP na sua rua correspondente. Criou-se também uma nova coluna na tabela eletrônica indicando o nome do bairro de cada UC.

Verificou-se que, em onze UC's o CEP indicado não correspondia a cidade de Curitiba, mas sim a cidades da região metropolitana. Estes SFV tiveram o campo "município" corrigido, para o município correspondente com o CEP indicado. Por este motivo estes onze sistemas (2,8% do universo de dados) não foram considerados como pertencendo ao município de Curitiba, resultando em 386 sistemas FV efetivamente instalados na cidade de Curitiba. Em todas as análises referentes a Cidade de Curitiba, somente serão considerados estes 386 SFV verificados. Nas análises da Cidade de Curitiba no contexto do Estado do Paraná

também serão considerados somente os 386 SFV verificados, os outros onze SFV serão considerados no seu respectivo município indicado pelo CEP.

Para que fosse possível distribuir geograficamente os SFV pelo mapa de Curitiba e traçar um paralelo com aspectos socioeconômicos e urbanos da respectiva região, optou-se por usar a divisão de regionais de Curitiba como limitador espacial de análise, assim, os SFV foram distribuídos de acordo com a regional na qual estão instalados.

A cidade de Curitiba possui 75 bairros, que estão agrupados em 10 regionais. As regionais de Curitiba são divisões administrativas do território da cidade, destinadas à operacionalização, integração e controle das atividades descentralizadas (CURITIBA, 2017).

Embora possa haver diferenças socioeconômicas e urbanas dentro de uma mesma regional, cada regional tende a possuir características uniformes, visto que elas são formadas por bairros geograficamente próximos uns dos outros. Assim, é possível determinar aspectos socioeconômicos e urbanos característicos de cada regional.

Utilizar a divisão dos bairros de Curitiba para esta análise traria o inconveniente de um número muito pequeno de amostras de SFV em cada bairro, o que acarretaria em resultado pouco confiável. A tendência é de que, no futuro, com a ampliação do número de sistemas FV instalados, uma análise de distribuição por bairros seja possível.

Os dados cartográficos das divisões das regionais de Curitiba foram obtidos através do Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Curitiba (IPPUC) (IPPUC, 2017).

Criou-se também uma nova coluna na tabela eletrônica indicando a regional a qual pertence cada UC.

No 4.9 deste trabalho, serão efetuadas considerações a respeito da confiabilidade e dos erros encontrados no banco de dados a partir da pesquisa dos CEP's dos SFV na Cidade de Curitiba.

As regionais de Curitiba são formadas pelos seguintes bairros:

- **Matriz:** Centro, Centro Cívico, Batel, Bigorriho, Mercês, São Francisco, Bom Retiro, Ahu, Juvevê, Cabral, Hugo Lange, Jardim Social, Alto da XV, Alto da Glória, Cristo Rei, Jardim Botânico, Prado Velho e Rebouças;

- **Santa Felicidade:** Santa Felicidade, Lamenha Pequena, Butiatuvinha, São João, Vista Alegre, Cascatinha, São Brás, Santo Inácio, Orleans, Mossunguê, Campina do Siqueira e Campo Comprido;

- **Boa Vista:** Tarumã, Boa Vista, Bacacheri, Bairro Alto, Tingui, Atuba, Santa Cândida, Cachoeira, Barreirinha, Abranches, Taboão, Pilarzinho e São Lourenço;

- **Cajuru:** Cajuru, Uberaba, Jardim das Américas, Guabirota e Capão da Imbuia;

- **Portão:** Portão, Fazendinha, Santa Quitéria, Vila Izabel, Água Verde, Parolin, Guaíra e Seminário;

- **Boqueirão:** Boqueirão, Xaxim, Hauer e Alto Boqueirão;

- **Pinheirinho:** Pinheirinho, Capão Raso, Fanny, Lindóia e Novo Mundo;

- **Bairro Novo:** Sítio Cercado, Ganchinho, e Umbará;

- **CIC:** CIC, Riviera, Augusta e São Miguel;

- **Tatuquara:** Tatuquara, Caximba e Campo do Santana.

3.7 POTÊNCIA E QUANTIDADE DE SFVCR DE GD PER CAPTA

Como os estados, cidades e regionais considerados possuem grande variação populacional uns dos outros, efetuou-se a normalização da potência e da quantidade de SFVCR de micro e minigeração distribuída em termos per capita.

Por questões numéricas e para a melhor visualização dos resultados, optou-se por apresentar os resultados “a cada 100.000 habitantes”.

Assim, a determinação da potência e quantidade de SFVCR de micro e minigeração distribuída per capita foi efetuada dividindo-se a potência ou quantidade

total instalada de SFV em determinado recorte espacial pela sua respectiva população multiplicado por 100.000.

Deste modo criaram-se os índices: “Potência de SFVCR a cada 100.000 habitantes” (Potência $SFVCR_{100.000H}$) e “Quantidade de SFVCR a cada 100.000 habitantes” (Quantidade $SFVCR_{100.000H}$).

Os dados relativos à população das unidades da federação e municípios paranaenses foram obtidos através da projeção da população para o ano de 2018 elaborada pelo IBGE (IBGE, 2019b).

As informações relativas à população das regionais da Cidade de Curitiba foram obtidas através da projeção da população para o ano de 2018 (AGÊNCIA CURITIBA, 2017).

Para se diminuir os erros de amostragem, na Tabela 19 relativa aos municípios Paraná, foram listados apenas os municípios paranaenses com mais de 50 SFVCR instalados independente da potência instalada, o que resultou em doze municípios que atendem a este critério. A classificação do respectivo município no *ranking* paranaense em potência e quantidade de SFV per capita considerou apenas os doze municípios do Paraná citados na tabela.

Em função dos índices per capita adotados (100.000 Hab.) municípios com menos de 100.000 habitantes possuem valores de $SFVCR_{100.000H}$ superiores a potência e quantidade de SFV efetivamente instalados. Deste modo, devem-se fazer as devidas ressalvas ao se interpretar tais dados.

3.8 POTÊNCIA E QUANTIDADE DE SFVCR RESIDENCIAIS POR QUANTIDADE DE CASAS

Como os estados, cidades e regionais considerados possuem grande variação em relação ao número de residências uns dos outros, efetuou-se a normalização da potência e quantidade de SFVCR residenciais em relação ao número de residências de determinada região.

Por questões numéricas e para a melhor visualização dos resultados, optou-se por apresentar os resultados “a cada 100.000 casas”.

Assim, a determinação da potência e quantidade de SFVCR residenciais foi efetuada dividindo-se a potência ou quantidade de SFV residenciais em determinado recorte espacial pela sua quantidade de “casas” multiplicada por 100.000.

A nomenclatura “casas” utilizada neste trabalho compreende, segundo classificação do IBGE, os domicílios tipo casa, casa de vila ou casa em condomínio, sendo excluídos os domicílios tipo apartamentos.

Optou-se por utilizar somente os domicílios tipo casa, porque a grande maioria dos SFVCR residenciais está instalada em UC's tipo casa.

Deste modo criaram-se os índices: “Potência de SFV residenciais a cada 100.000 casas” (Potência $SFVR_{100.000C}$) e “Quantidade de SFV residenciais a cada 100.000 casas” (Quantidade $SFVR_{100.000C}$).

Os dados relativos à quantidade de casas das unidades da federação e municípios paranaenses foram obtidos através dos resultados do censo 2010 elaborado pelo IBGE (IBGE, 2010).

Os dados relativos à quantidade de casas das regionais de Curitiba foram obtidos através de compilação dos resultados do censo 2010 elaborada pelo IPPUC (IPPUC, 2015).

Para se diminuir os erros de amostragem, nas Tabela 22 (Pag. 114) e Tabela 25 (Pag. 141) relativas aos municípios Paraná, foram listados apenas os municípios paranaenses com mais de 50 SFVCR (todas as classes) instalados independente da potência instalada, o que resultou em doze municípios que atendem a este critério. A classificação do respectivo município no *ranking* paranaense em potência e quantidade de SFV por quantidade de casas considerou apenas os doze municípios do Paraná citados na tabela.

Em função dos índices por casas adotados (100.000 Casas) municípios com menos de 100.000 casas possuem valores de $SFVR_{100.000C}$ superiores a potência e quantidade de SFV efetivamente instalados. Deste modo, devem-se fazer as devidas ressalvas ao se interpretar tais dados.

4 RESULTADOS

4.1 COMPARAÇÃO ENTRE A GERAÇÃO FV CENTRALIZADA E DISTRIBUÍDA NO BRASIL

Dentre as fontes renováveis de geração de energia elétrica, a geração FV é a que apresenta o maior potencial e facilidade de ser instalada de forma distribuída. O fato de os consumidores de pequeno e médio porte poderem instalar uma usina FV no telhado de suas residências ou comércios a um custo relativamente acessível, fez com que a geração FV, no início de sua expansão no Brasil e mundo, fosse caracterizada como uma fonte de geração de energia elétrica predominantemente distribuída.

No entanto, conforme foi demonstrado na Figura 16 (Pag. 64), observa-se nos últimos anos uma tendência mundial de aumento da participação de geração centralizada frente a geração distribuída. No Brasil, até o ano de 2016 havia uma crescente tendência de aumento da GD em relação à GC, como pode-se verificar na Figura 17. Porém, o ano de 2017 marcou a ruptura deste comportamento, passando a seguir a tendência mundial.

O fato de a geração FV no Brasil ser 77% centralizada, não exclui o seu caráter de geração distribuída. Existem 52.530 usinas FV distribuídas pelo Brasil, isso por si só já a caracteriza como uma fonte de energia elétrica distribuída, embora sua maior parcela de potência estar instalada de forma centralizada.

O mesmo ocorre no mundo, independentemente da tendência de centralização da potência FV instalada, o seu caráter de geração distribuída já está consolidado pela quantidade de SFV distribuídos existentes no mundo.

Na Tabela 11 estão os valores totais da quantidade de SFV e potência FV instalada de forma centralizada e distribuída até o dia 31 de dezembro de 2018. Observa-se que 99,88% das usinas FV instaladas no Brasil são de geração distribuída, porém elas representam somente 23,15% da potência FV total instalada. A geração FV centralizada por outro lado representa somente 0,12% da quantidade

de usinas FV no Brasil, contudo, elas representam 76,85% da potência FV total instalada.

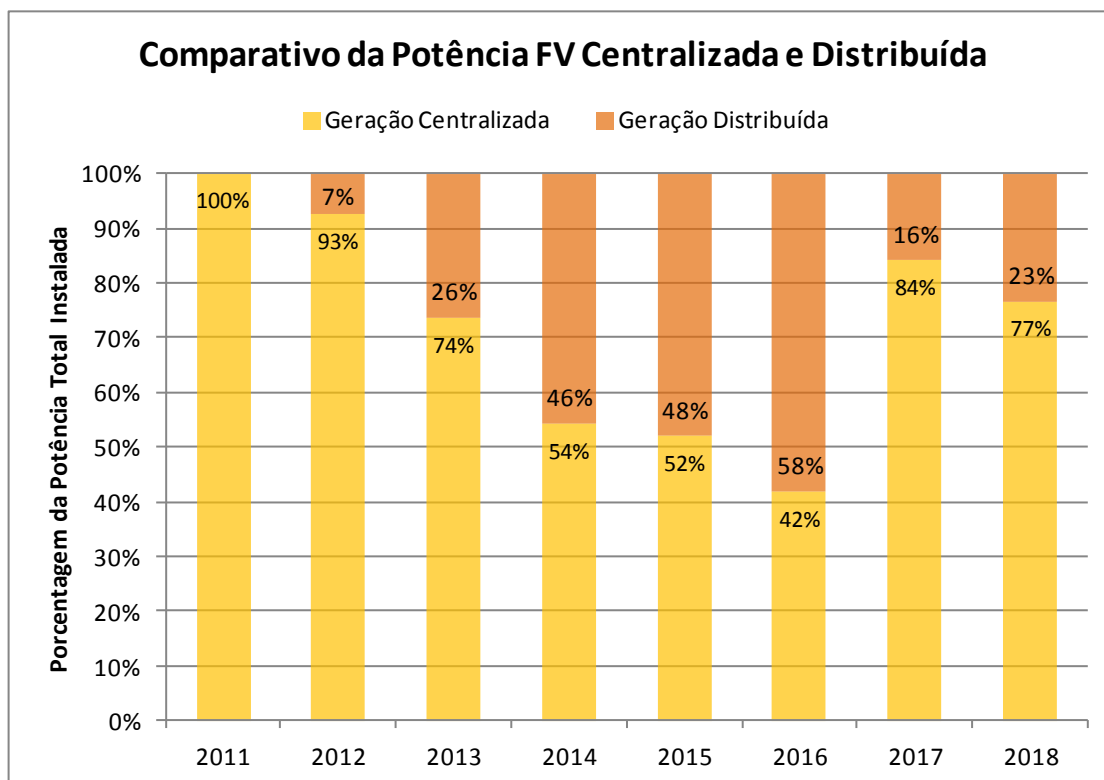


Figura 17 – Percentual Brasileiro da Potência FV Total Acumulada Instalada de Forma Centralizada e Distribuída.

Fonte: Gráfico do Autor, dados de ANNEL (2019a e 2019b).

Tabela 11 – Quantidade e Potência de Usinas FV com Geração Distribuída e Centralizada no Brasil.

Fonte: Compilação de dados do autor com base nas referências ANEEL (2019a e 2019b).

Tipo de Instalação (Até 31/12/2018)	Nº Usinas FV		Potência Fiscalizada	
	Quant.	%	MW	%
Centralizada	65	0,12	1.775,62	76,61
Distribuída	52.530	99,88	542,25	23,39
Total	52.595	100	2.317,87	100

4.2 EVOLUÇÃO DA GERAÇÃO FV DISTRIBUÍDA NO BRASIL, PARANÁ E CURITIBA

Seguindo a tendência mundial de elevado crescimento da potência instalada de SFV, conforme já demonstrado na Figura 13, a geração de Micro e Minigeração Distribuída apresentou expressivo crescimento desde o ano de 2012 tanto no Brasil, quanto no Paraná e Curitiba, como pode-se observar na Figura 18, Figura 19 e Figura 20 respectivamente.

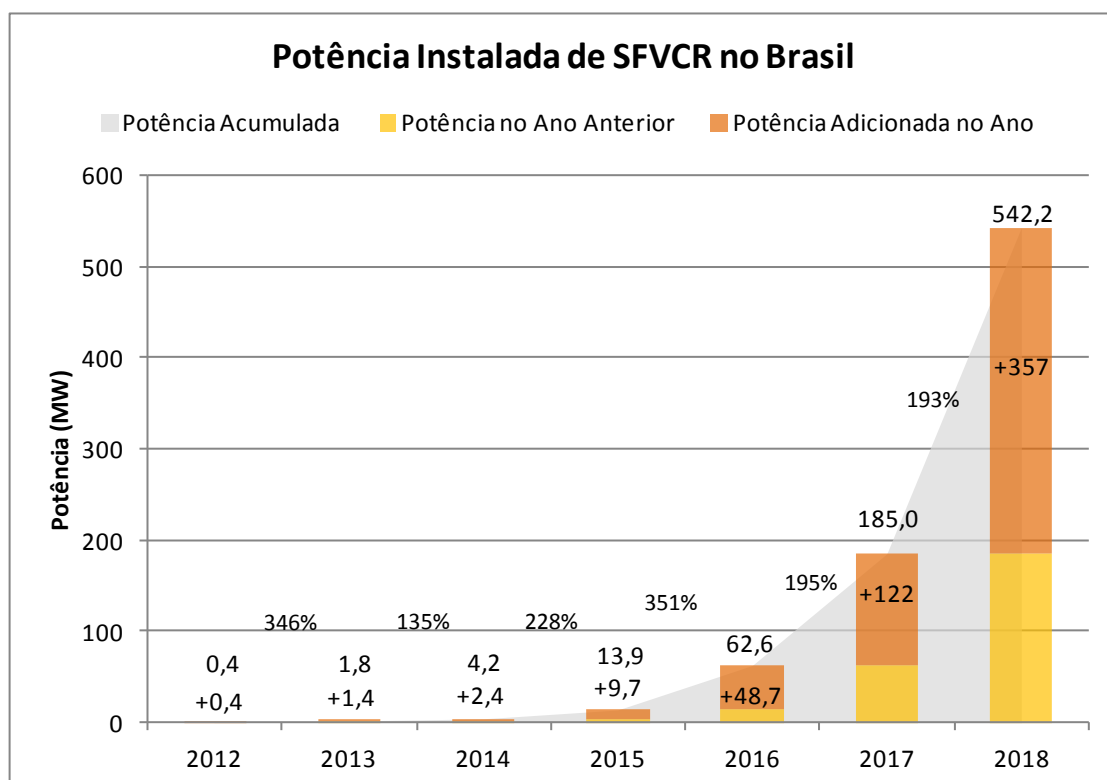


Figura 18 – Evolução da Potência Instalada de SFVCR de Micro e Minigeração Distribuída amparadas pela REN Nº 482 no Brasil.

Fonte: Gráfico do Autor, dados de ANNEL (2019a).

A potência instalada de SFVCR distribuídos aumentou 193% no Brasil entre os anos de 2017 e 2018, sendo que na média dos últimos sete anos a potência aumentou a uma taxa média de 241% ao ano.

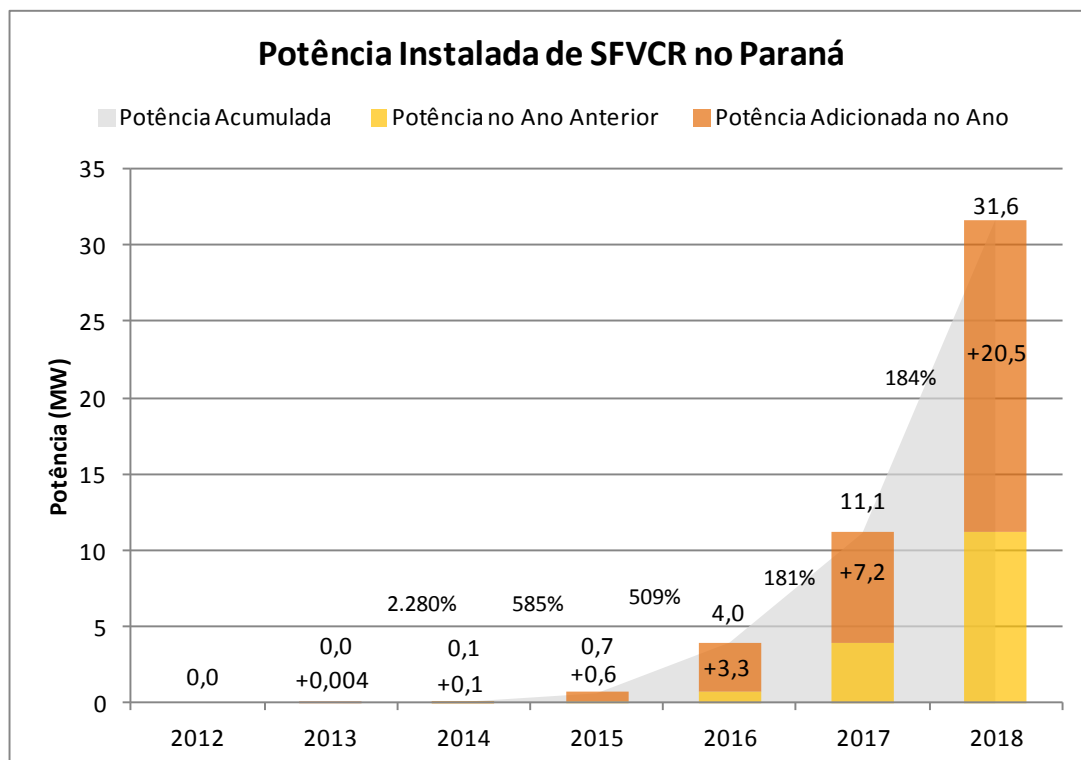


Figura 19 – Evolução da Potência Instalada de SFVCR de Micro e Minigeração Distribuída amparadas pela REN Nº 482 no Paraná.

Fonte: Gráfico do Autor, dados de ANNEL (2019a).

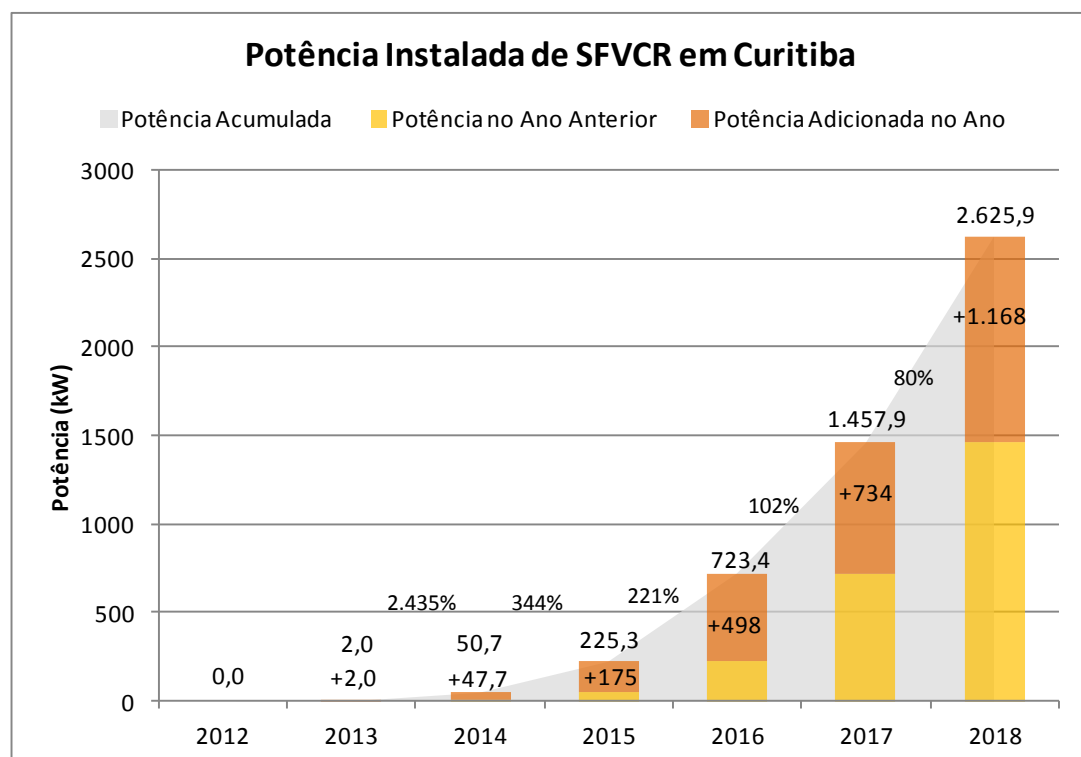


Figura 20 – Evolução da Potência Instalada de SFVCR de Micro e Minigeração Distribuída amparadas pela REN Nº 482 em Curitiba.

Fonte: Gráfico do Autor, dados de ANNEL (2019a).

Existem dois SFV instalados na cidade de Curitiba que merecem uma menção especial pelo seu caráter de pioneirismo na disseminação da energia solar fotovoltaica no estado do Paraná.

O primeiro é o SFV instalado na cobertura do Escritório Verde (EV) da UTFPR, possuindo uma potência de 2,1kWp e inversor de 2kW. Este sistema encontra-se em operação desde 14 de dezembro de 2011, sendo considerado o primeiro SFVCR instalado no estado do Paraná. Como a instalação deste SFV foi anterior à publicação da REN 482/2012, ele não está regulamentado pela resolução, e desta forma não consta no banco de dados de UC's com micro e minigeração distribuídas (TONIN, 2017). Por não constar no banco de dados ele não aparece nos gráficos referentes ao Município de Curitiba e ao Estado do Paraná. Na Figura 21 é possível visualizar o SFVCR instalado no EV.



Figura 21 – Vista Frontal do Escritório Verde da UTFPR.

Fonte: URBANETZ *et al.* (2013).

O segundo sistema que merece menção é o sistema SFV instalado na sede da ELCO Engenharia. Este foi o primeiro SFVCR a ser homologado pela COPEL com base na REN 482/2012. O sistema começou a operar em 2012, mas o processo

de homologação encerrou-se somente em outubro de 2013, data em que o sistema foi considerado apto a operar como microgeração distribuída, participando do sistema de compensação de energia (URBANETZ *et al.*, 2014b). Na Figura 22 é possível visualizar o SFVCR instalado no EV.



Figura 22 – Vista Frontal do Arranjo Fotovoltaico da ELCO.

Fonte: URBANETZ *et al.* (2014b).

Pode-se afirmar assim, que estes dois sistemas marcam o ponto inicial da disseminação da geração fotovoltaica no Paraná. O sistema do EV por colocar em prova a tecnologia fotovoltaica propriamente dita, e o sistema da ELCO por abrir o caminho pelo processo de homologação de SFVCR pela concessionária.

4.3 CARACTERIZAÇÃO GERAL DOS SFVCR DE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA

4.3.1 No Brasil

O resultado da caracterização dos SFVCR de micro e minigeração distribuída no Brasil está inserido na Tabela 12, com os resultados distribuídos para cada classe de unidade consumidora.

Tabela 12 – Caracterização Geral dos SFVCR amparados pela REN Nº 482/2012 no Brasil.

Fonte: Compilação de dados do autor com base na referência ANEEL (2019a).

Classe da UC	Quant. de SFVCR	Potência Total dos SFVCR (kW)	Quant. de Módulos	Área Total Ocupada (m ²)	Potência Média dos SFVCR (kW)	Potência Média dos Módulos (W)	Eficiência Média dos Painéis (%)
Residencial	39.517	193.122	717.310	1.338.937	4,9	271	14,6
Comercial	8.814	232.695	877.709	1.669.767	26,4	271	14,5
Industrial	1.430	56.488	205.505	396.899	39,5	271	14,5
Rural	2.345	41.545	154.413	295.689	17,7	269	14,3
Poder Público	424	18.400	71.152	138.526	43,4	258	14,5
Total	52.530	545.249	2.026.089	3.839.818	10,3	271	14,6

Os SFV instalados em UC residenciais representam 75% da quantidade total de instalações e 35% da potência total instalada, enquanto que os sistemas comerciais e industriais representam juntos 20% da quantidade total de instalações e 53% da potência total instalada. Esta disparidade está relacionada com a potência média dos SFV para cada tipo de consumidor. Os consumidores residenciais possuem sistemas com potência média da ordem de 4,9kW, enquanto que os consumidores comerciais e industriais possuem SFV com potência média de 26,4kW e 39,5kW respectivamente. Essa diferença entre as potências médias é explicada devido a menor demanda energética de uma residência, quando comparada a consumidores comerciais e industriais. A maior disponibilidade de recursos para investimento nos consumidores comerciais e industriais também justifica os SFV de maior potência instalados nestes setores (SCOLARI *et al.*, 2017).

A eficiência média dos painéis FV calculada foi de 14,6%, valores que vão de encontro com os valores de eficiência média de SFV constituídos com módulos de Silício Policristalino que apresentam uma eficiência da ordem de 13% a 16,5% (ALMEIDA *et al.*, 2015).

A Potência Média dos Módulos calculada, que é de 271W, também condiz com os valores comerciais médios dos módulos de Silício Policristalino disponíveis no mercado nos últimos sete anos, que variaram em sua maioria de 250W a 350W. Desde o ano de 2012 observou-se um constante aumento da potência dos módulos fotovoltaicos disponíveis no mercado. Como a Potência Média dos Módulos calculada considerou sistemas instalados em todo o período, a tendência é de que a média calculada esteja sempre atrás dos valores médios de mercado atuais. Conforme novos SFV vão sendo instalados a tendência é de convergência entre a potência média calculada dos módulos instalados em todo o período e a média dos módulos disponíveis no mercado no período atual.

Sabendo que a Irradiação no Plano Inclinado na Latitude média no Brasil é de 1.824 kWh/m² (TIEPOLO e URBANETZ Jr., 2018), e considerando um *performance ratio* de 75% que é o valor de base utilizado na metodologia do Atlas de Energia Solar do Estado do Paraná (TIEPOLO *et al.*, 2017), obtém-se um *Yield* anual médio no Brasil de 1.368 kWh/kWp. Assim, pode-se concluir de forma aproximada que o total anual de energia gerada por todos os SFVCR de geração distribuída seria da ordem de 746 GWh. A título comparativo, o recorde anual de geração de energia da Usina Hidroelétrica de Itaipu foi de 103.100 GWh em 2016 (ITAIPU, 2017).

Em termos de área ocupada, os 3.839.818 m² ocupados pelos SFV seriam suficientes para cobrir 0,28% dos 1.350km² da represa da Usina Hidroelétrica de Itaipu (ITAIPU, 2017). Calculando o fator geração de energia por unidade de área (kWh/m²), tem-se que os SFV produzem em média 194,3 kWh/m² ao ano, enquanto que a Usina de Itaipu produziu 76,4kWh/m² de área alagada em seu melhor ano. Isso significa que 39,3% da área alagada de Itaipu cobertas com módulos FV seriam suficientes para gerar a mesma quantidade de energia ao ano.

4.3.2 No Estado do Paraná

A Tabela 14 apresenta o resultado da caracterização dos SFVCR de micro e minigeração distribuída no Paraná, com os resultados distribuídos para cada classe de unidade consumidora.

Tabela 13 – Caracterização Geral dos SFVCR amparados pela REN Nº 482/2012 no Paraná.

Fonte: Compilação de dados do autor com base na referência ANEEL (2019a).

Classe da UC	Quant. de SFVCR	Potência Total dos SFVCR (kW)	Quant. de Módulos	Área Total Ocupada (m ²)	Potência Média dos SFVCR (kW)	Potência Média dos Módulos (W)	Eficiência Média dos Painéis (%)
Residencial	2.551	11.167	41.752	77.342	4,4	270	14,6
Comercial	695	13.711	50.294	95.398	19,7	273	14,6
Industrial	194	3.406	12.779	23.911	17,6	270	14,6
Rural	162	3.019	11.050	21.066	18,6	268	14,5
Poder Público	17	306	1.171	2.043	18,0	269	14,9
Total	3.619	31.608	117.045	219.761	8,7	270	14,6

De forma semelhante ao identificado no Brasil, os SFV instalados em UC residenciais representam 70% da quantidade total de instalações e 35% da potência total instalada, enquanto que os sistemas comerciais e industriais representam juntos 25% da quantidade total de instalações e 54% da potência total instalada. Os consumidores residenciais possuem sistemas com potência média da ordem de 4,4kW, enquanto que os consumidores comerciais e industriais possuem SFV com potência média de 19,7kW e 17,6kW respectivamente.

A Eficiência Média dos painéis FV calculada é de 14,6%, e condiz com os valores de eficiência dos módulos de Silício Policristalino. A Potência Média dos Módulos calculada, que é de 270W, também condiz com os valores comerciais médios dos módulos de Silício Policristalino disponíveis no mercado no mercado nos últimos sete anos.

4.3.3 Na Cidade de Curitiba

A Tabela 14 apresenta o resultado da caracterização dos SFVCR de micro e minigeração distribuída na Cidade de Curitiba, com os resultados distribuídos para cada classe de unidade consumidora.

De forma semelhante ao identificado no Brasil e no Paraná, os SFV instalados em UC residenciais representam 79% da quantidade total de instalações e 45% da potência total instalada, enquanto que os sistemas comerciais e industriais representam juntos 21% da quantidade total de instalações e 53% da potência total instalada. Os consumidores residenciais possuem sistemas com potência média da ordem de 3,7kW, enquanto que os consumidores comerciais e industriais possuem SFV com potência média de 18,7kW e 8,4kW respectivamente.

Tabela 14 – Caracterização Geral dos SFVCR amparados pela REN Nº 482/2012 em Curitiba.

Fonte: Compilação de dados do autor com base na referência ANEEL (2019a).

Classe da UC	Quant. de SFVCR	Potência Total dos SFVCR (kW)	Quant. de Módulos	Área Total Ocupada (m ²)	Potência Média dos SFVCR (kW)	Potência Média dos Módulos (W)	Eficiência Média dos Painéis (%)
Residencial	304	1.128	4.395	7.829	3,7	258	14,4
Comercial	63	1.178	4.371	8.207	18,7	260	14,4
Industrial	17	142	531	985	8,4	260	14,4
Rural	0	0	0	0	-----	-----	-----
Poder Público	2	37	134	263	18,5	282	14,3
Total	386	2.485	9.432	17.284	6,4	259	14,4

A Eficiência Média dos painéis FV calculada é de 14,4%, e condiz com os valores de eficiência dos módulos de Silício Policristalino. A Potência Média dos Módulos calculada, que é de 259W, também condiz com os valores comerciais médios dos módulos de Silício Policristalino disponíveis no mercado no mercado nos últimos sete anos.

4.4 MAPEAMENTO DOS SFV DISTRIBUÍDOS E CENTRALIZADOS NO BRASIL

Para que seja possível analisar a expansão geográfica e temporal dos SFV instalados no Brasil, foi elaborado um mapeamento de todos os SFV de geração distribuída e centralizada entre os anos 2012 e 2018. Para observar se os SFV estão instalados nos locais de maior potencial fotovoltaico, os marcadores destes sistemas foram sobrepostos ao mapa de Irradiação Total Diária no Plano Inclinado na Latitude, da Segunda Edição do Atlas Brasileiro de Energia Solar (PEREIRA *et al.*, 2017).

Os marcadores representados por círculos pretos estão marcando os SFV de micro e minigeração distribuída; em círculos verdes estão marcados os SFV de geração centralizada.

O resultado geral do mapeamento entre os anos 2013 e 2018 está ilustrado na Figura 23. Os mapas anuais ampliados estão ilustrados no APÊNDICE A.

Observa-se que os SFV de geração distribuída encontram-se localizados, em sua maioria, nas regiões Sul e Sudeste, próximos aos grandes centros de carga e locais de maior poder aquisitivo, não tendo relação direta com o potencial fotovoltaico da região. Isso é devido ao fato que os SFV de geração distribuída estão instalados em sua grande maioria junto à própria unidade consumidora, não podendo sofrer alterações quanto ao local de instalação para coincidir aos locais de maior irradiação. Uma vez que os SFV de geração distribuída não se concentram nos locais de maior irradiação, adotam-se medidas para que a irradiação existente no local seja aproveitada ao máximo, através do posicionamento do painel FV à direção norte e inclinação do painel tanto quanto possível na mesma inclinação da latitude.

Já os SFV de geração centralizada, estão localizados principalmente na região nordeste, em locais de grande irradiação, e não nos grandes centros urbanos. Este comportamento é explicado pelo fato de as grandes usinas FV centralizadas possuem um aprofundado estudo técnico antes de sua implantação, onde são escolhidos os locais de maior irradiação anual, privilegiando assim a geração de energia elétrica.

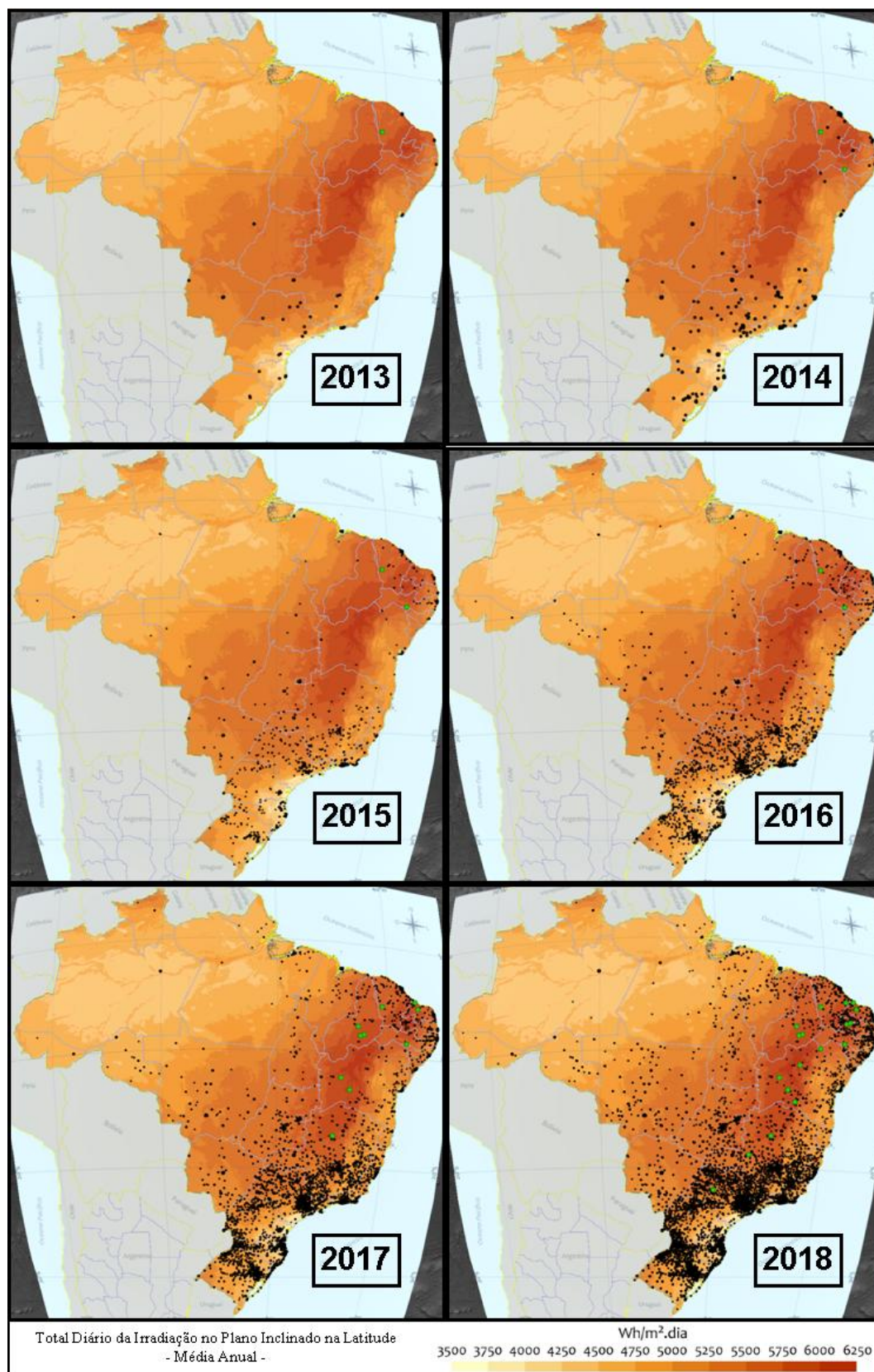


Figura 23 – Expansão Temporal e Geográfica dos SFVCR de Geração Centralizada e Distribuída no território brasileiro entre os anos 2013 e 2018.

Fonte: Compilação de dados do autor com base na referência ANEEL (2019a) e (2019b). Mapa de fundo de (PEREIRA et al., 2017).

Nota: Marcadores pretos representam geração distribuída e verdes geração centralizada.

Várias usinas FV centralizadas listadas no banco de dados estão instaladas em um mesmo município, sendo partes de um empreendimento maior. Assim, as 65 usinas FV centralizadas fazem parte de 24 empreendimentos distintos, estando localizadas em somente 18 municípios diferentes, conforme observa-se nas imagens dos resultados do mapeamento.

Ao se analisar individualmente, por imagens de satélite, a localização das usinas FV de geração centralizada, observa-se que elas estão localizadas próximas à áreas rurais de pequenos municípios. Um dos motivos para a escolha destas áreas é o menor custo médio de aquisição do terreno, uma vez que grandes usinas FV necessitam de uma grande área para a instalação dos painéis FV, o que as tornariam financeiramente inviáveis se fossem instaladas próximas a grandes centros urbanos onde os custos de terrenos são mais elevados. Também é necessário que as usinas sejam instaladas em locais próximos à linhas de transmissão de energia.

É possível observar no mapa o primeiro e único SFV de micro e minigeração distribuída amparada pela REN 482/2012 instalado no ano de 2012. Este sistema de 403kW está instalado no Estádio Governador Roberto Santos (Estádio Pituaçu) na cidade de Salvador na Bahia. O projeto, chamado de Pituaçu Solar foi aprovado pela ANEEL em 2009, fazendo parte do Programa de Eficiência Energética da Companhia de Eletricidade do Estado da Bahia (COELBA). O investimento total deste primeiro SFV foi de R\$ 5,5 milhões, sendo R\$ 3,8 milhões investidos pela concessionária e R\$ 1,7 milhão pelo Governo do Estado da Bahia. O projeto teve apoio técnico da Cooperação Alemã para o Desenvolvimento Sustentável e da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) (COELBA, 2013).

Também se observa a primeira usina FV centralizada comercial, localizada na Cidade de Tauá, no Sertão dos Inhamuns do Ceará. A Usina Solar de Tauá iniciou suas operações no ano de 2011, com uma potência instalada de 1MW em sua primeira etapa de construção. Atualmente está em sua segunda etapa, com uma potência instalada de 5MW. A previsão para a terceira etapa é de 50MW (TAUÁ, 2011).

Na Figura 24 é possível observar a distribuição da potência FV de micro e minigeração distribuída entre as Unidades da Federação. Seis estados brasileiros

possuem 66% da potência FV instalada no país, ficando os 34% restantes distribuídos entre as outras 21 unidades da federação. Destes seis estados, cinco estão localizados na região Sul e Sudeste. Todos os estados possuem pelo menos um SFV de geração distribuída instalado.

Os três maiores SFV distribuídos estão localizados no estado de Minas Gerais. O maior sistema está instalado na cidade de Uberlândia, e possui 4.300 kW. Os cem maiores sistemas instalados representam juntos 13% de toda a potência de geração distribuída instalada no Brasil.

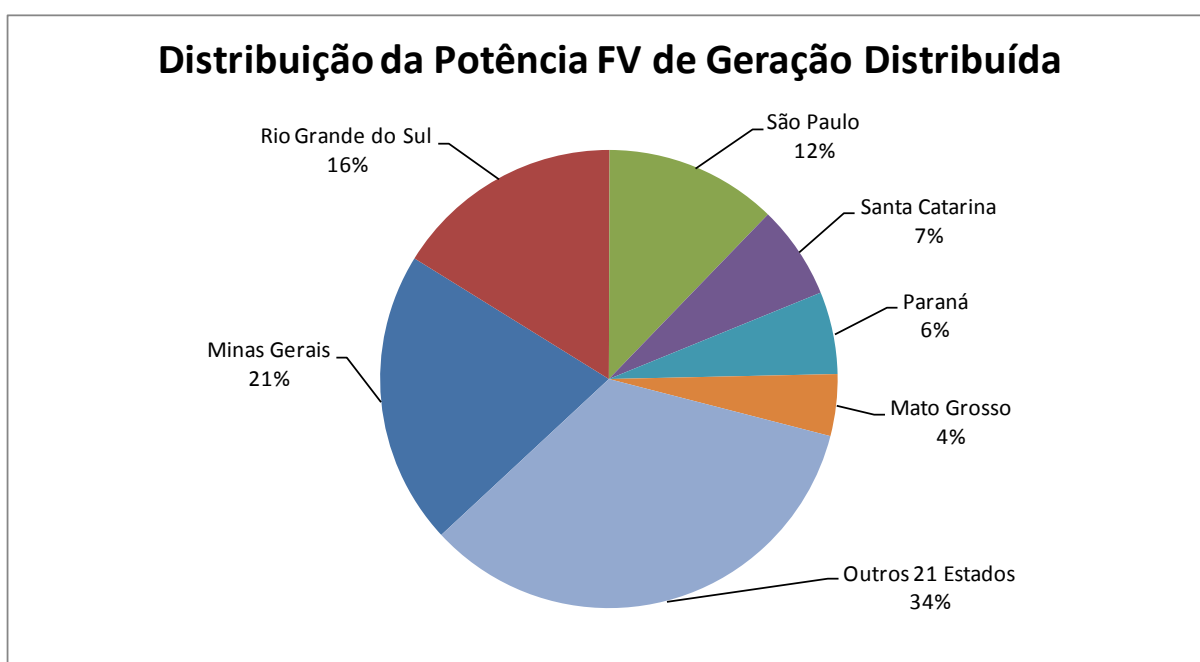


Figura 24 – Distribuição entre as Unidades da Federação da Potência Instalada de SFVCR de Micro e Minigeração Distribuída amparadas pela REN Nº 482/2012.

Fonte: Gráfico do Autor, dados de ANNEL (2019a).

Pode-se observar na Tabela 15 a distribuição da potência e da quantidade de SFVCR de micro e minigeração distribuída entre as Unidades Federativas do Brasil. A tabela está em ordem decrescente de potência total instalada no estado.

Verifica-se variabilidade na posição de cada estado quando a análise é efetuada pela potência total instalada ou pela quantidade de SFV. Os cinco primeiros estados permanecem os mesmos em qualquer uma das análises, variando apenas as suas posições. Destaque para os estados de Minas Gerais e São Paulo

que ocupam a primeira posição em potência instalada e em quantidade de SFVCR respectivamente.

Tabela 15 – Distribuição dos SFVCR de micro e minigeração distribuída amparados pela REN Nº 482/2012 nas Unidades Federativas brasileiras.

Fonte: Compilação de dados do autor com base na referência ANEEL (2019a).

Unidade Federativa	Potência de SFVCR			Quantidade de SFVCR		
	kW	%	Posição	Quant.	%	Posição
Minas Gerais	112.779	20,80%	1	9.543	18,17%	2
Rio Grande do Sul	87.803	16,19%	2	7.328	13,95%	3
São Paulo	65.947	12,16%	3	9.639	18,35%	1
Santa Catarina	35.877	6,62%	4	4.242	8,08%	4
Paraná	31.608	5,83%	5	3.619	6,89%	5
Mato Grosso	23.707	4,37%	6	1.626	3,10%	8
Rio de Janeiro	21.644	3,99%	7	3.101	5,90%	6
Ceará	21.289	3,93%	8	1.341	2,55%	9
Goiás	19.009	3,51%	9	2.010	3,83%	7
Pernambuco	16.813	3,10%	10	946	1,80%	13
Bahia	14.370	2,65%	11	1.263	2,40%	11
Rio Grande do Norte	13.256	2,44%	12	860	1,64%	14
Mato Grosso do Sul	11.251	2,07%	13	1.169	2,23%	12
Paraíba	10.603	1,96%	14	744	1,42%	15
Distrito Federal	9.654	1,78%	15	730	1,39%	16
Espírito Santo	9.566	1,76%	16	1.299	2,47%	10
Piauí	8.220	1,52%	17	462	0,88%	20
Maranhão	6.710	1,24%	18	569	1,08%	18
Tocantins	5.411	1,00%	19	593	1,13%	17
Pará	4.777	0,88%	20	505	0,96%	19
Sergipe	3.928	0,72%	21	380	0,72%	21
Alagoas	3.364	0,62%	22	284	0,54%	22
Rondônia	1.855	0,34%	23	101	0,19%	23
Amapá	1.014	0,19%	24	48	0,09%	25
Amazonas	723	0,13%	25	76	0,14%	24
Acre	644	0,12%	26	41	0,08%	26
Roraima	425	0,08%	27	11	0,02%	27
Total - Brasil	542.249	100,00%	-----	52.530	100,00%	-----

Quando se analisa a distribuição da geração FV centralizada nos estados brasileiros observa-se que todos os 65 SFV estão localizados em apenas 8 estados, sendo 6 destes estados localizados na região Nordeste e 2 na região Sudeste, conforme mostra a Figura 25.

Ao se distribuir os 1.776 MW instalados de potência FV de geração centralizada por estes 5 estados, observa-se que 72% desta potência está concentrada em apenas 3 estados: Bahia, Minas Gerais e Piauí. A região nordeste possui 70% de toda a potência instalada de forma centralizada no Brasil.

O estado de Minas Gerais além de possuir 22% da potência FV centralizada instalada, também possui a maior potência instalada de SFVCR de micro e minigeração distribuída.

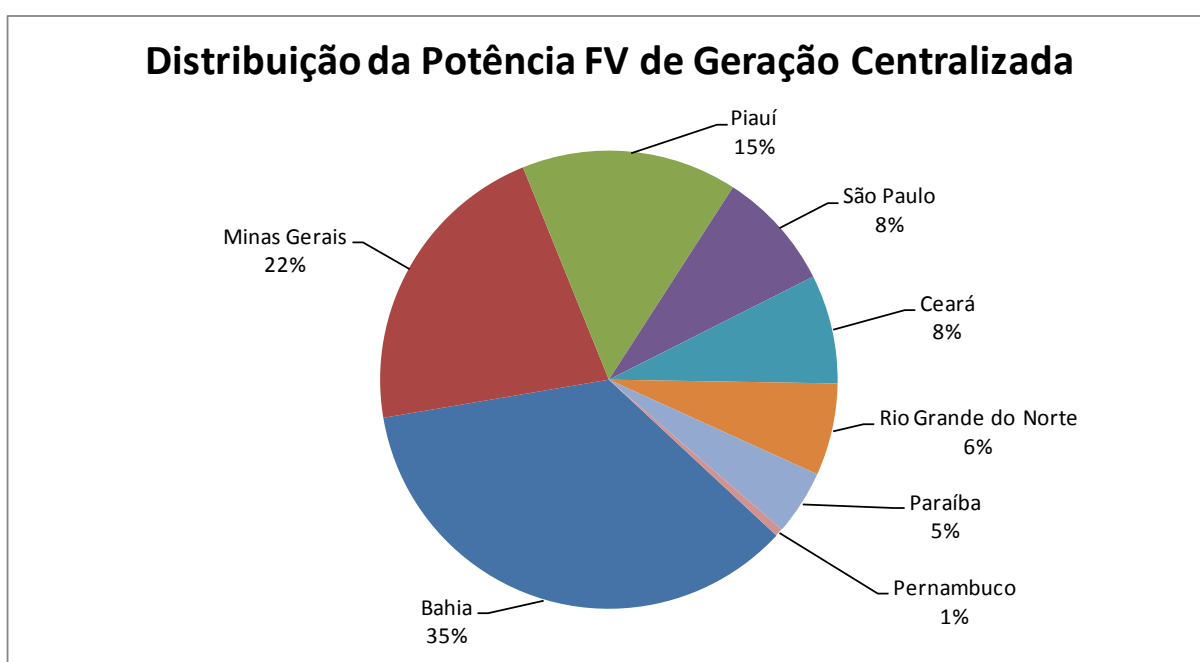


Figura 25 – Distribuição entre as Unidades da Federação da Potência Instalada de SFVCR de Geração Centralizada.

Fonte: Gráfico do Autor, dados de ANNEL (2019b).

4.4.1 Aproveitamento do Potencial Fotovoltaico no Brasil

Devido a sua extensão territorial, o Brasil apresenta grande variação do potencial de geração fotovoltaica em cada região. Assim, é importante avaliar se os

locais onde se concentra a maior potência instalada de SFV correspondem com as regiões de maior potencial de geração fotovoltaica.

O valor médio de irradiação no plano inclinado no Brasil (1.824 kWh/m².ano) é cerca de 4,2% maior do que o valor médio de irradiação da Itália (1.750 kWh/m².ano), que é o quinto país em potência FV instalada no mundo (REN21, 2018). Vinte e uma das vinte e sete Unidades da Federação apresentam valores de irradiação médios superiores aos da Itália. Já em relação à Alemanha (1.251 kWh/m².ano) que é o quarto país em potência FV instalada no mundo (REN21, 2018), o Brasil apresenta um valor de irradiação média 45% superior (TIEPOLO E URBANETZ Jr., 2018).

Conforme já destacado anteriormente, pode-se observar que os locais com maior incidência de SFV de geração distribuída não são necessariamente os locais com maior potencial de geração FV. Esse comportamento é natural, pois, diferentemente das grandes usinas de geração FV centralizadas as quais são instaladas em locais específicos após estudos aprofundados de potencial de geração FV na região, os SFV com geração distribuída estão localizados próximos ao consumidor, principalmente em regiões de maior poder aquisitivo, independente do potencial de geração da região.

Foi elaborada na Figura 26 uma comparação entre o valor médio da irradiação total anual no plano inclinado de cada unidade da federação com a sua potência FV de Micro e Minigeração Distribuída instalada. A título comparativo estão indicados também os valores de irradiação média no Brasil e na Itália, que é o país que apresenta o sétimo maior valor médio de irradiação entre os países europeus. Assim, fica nítida a desconexão entre a localização dos SFV distribuídos e o potencial FV de cada região. De forma semelhante, foi elaborada na Figura 27 uma comparação entre o valor médio da irradiação total anual no plano inclinado de cada unidade da federação com a sua potência FV instalada de geração centralizada. A título comparativo estão indicados também os valores de irradiação média no Brasil e na Itália. Observa-se que todos os estados onde existem usinas FV centralizadas possuem valores de irradiação superiores à média do Brasil.

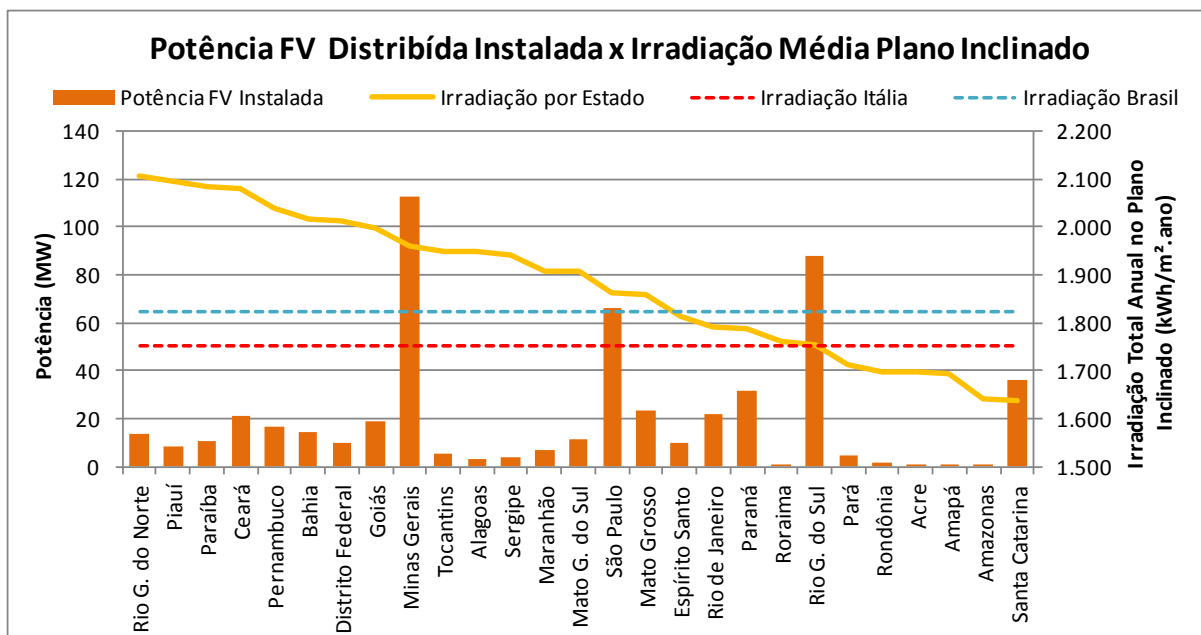


Figura 26 – Comparação Entre a Potência de SFVCR de Micro e Minigeração Distribuída e a Irradiação Média no Plano Inclinado em cada Unidade da Federação.

Fonte: Gráfico do Autor, dados de ANNEL (2019a) e (TIEPOLO e URBANETZ JR., 2018).

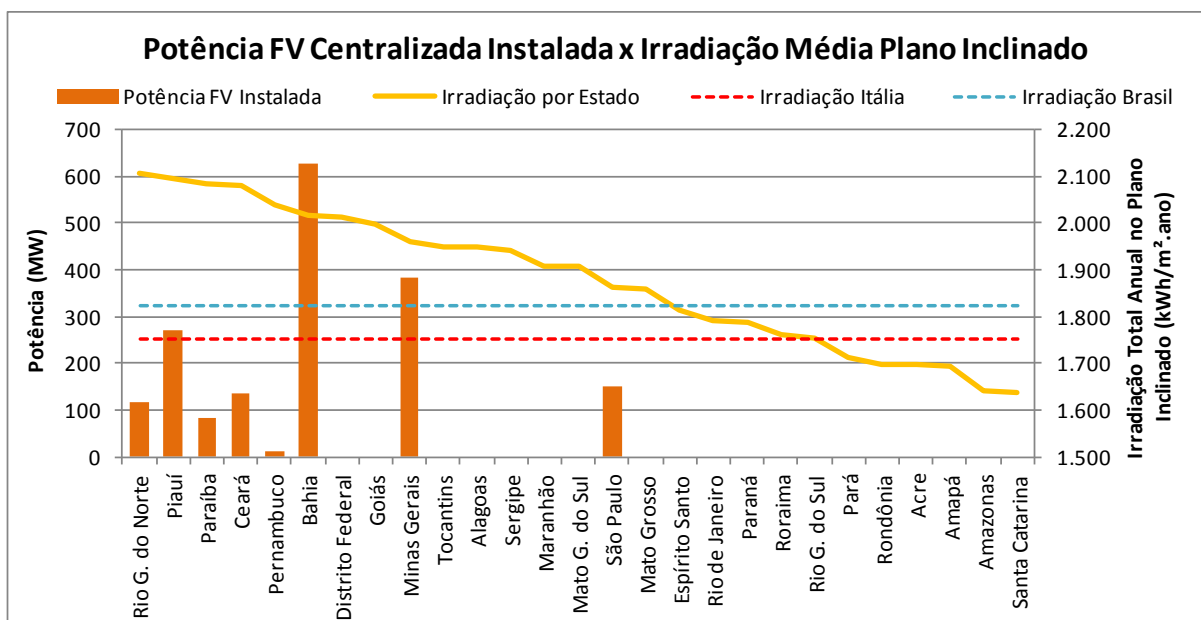


Figura 27 – Comparação Entre a Potência de SFVCR Centralizada e a Irradiação Média no Plano Inclinado em cada Unidade da Federação.

Fonte: Gráfico do Autor, dados de ANNEL (2019b) e (TIEPOLO e URBANETZ JR., 2018).

4.5 MAPEAMENTO DOS SFVCR DISTRIBUÍDOS NO PARANÁ

É possível observar na Figura 28 a distribuição dos SFVCR de micro e minigeração distribuída no Estado do Paraná. Da mesma forma como observado no cenário nacional, no estado do Paraná a grande maioria dos SFVCR de micro e minigeração distribuída estão localizados junto as grandes cidades. A Figura 28 é apresentada ampliada no APÊNDICE B.

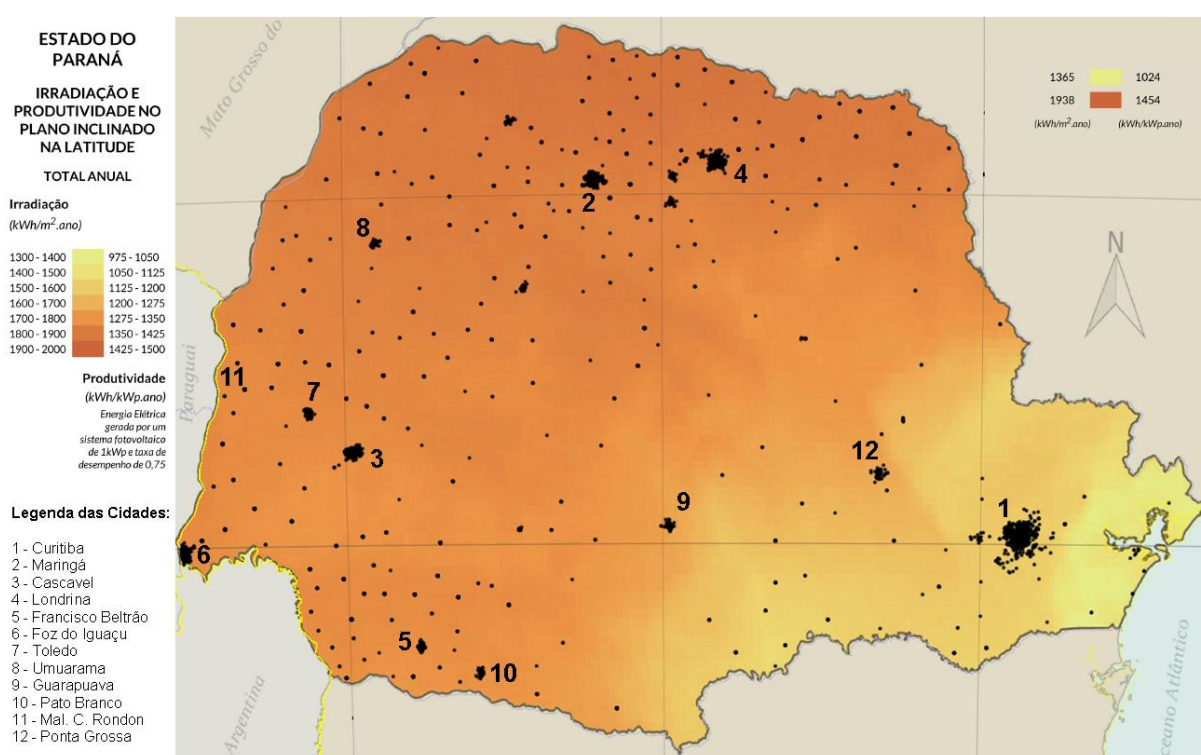


Figura 28 – Mapeamento dos SFVCR de Micro e Minigeração distribuída do Estado do Paraná.

Fonte: Compilação de dados do autor com base na referência ANEEL (2019a). Mapa de fundo de (TIEPOLO *et al.*, 2017).

Exceto pelas cidades de Curitiba, Ponta Grossa e Guarapuava, a maioria dos grandes centros urbanos do Estado do Paraná estão localizados nas regiões de maior irradiação do estado, o que resulta que grande parte dos SFVCR de geração distribuída no estado do Paraná está localizada nas áreas de maior irradiação do estado.

Apesar de o nível de irradiação em uma determinada região não estar ligado de forma absoluta à quantidade de SFVCR de geração distribuída nesta localidade, ele contribuiu para isso. Uma vez que quanto maiores os níveis de irradiação melhor será o custo benefício da instalação de um SFV e menor o tempo de retorno do investimento, podendo ser o fator decisivo entre a instalação ou não de um de SFV.

O maior SFV de micro e minigeração distribuída registrado no Paraná é um sistema de 420 kW, instalado no Supermercado Condor em 2018, no município de Curitiba. A potência deste SFV é equivalente ao somatório da potência dos próximos cinco maiores SFV do estado.

Na Tabela 16 pode-se observar a lista dos municípios com maior quantidade de micro e minigeração distribuída fotovoltaica no estado do Paraná. A tabela está em ordem decrescente de potência total instalada no município.

Tabela 16 – Municípios paranaenses com maior quantidade de SFVCR de micro e minigeração distribuída amparados pela REN Nº 482/2012.

Fonte: Compilação de dados do autor com base na referência ANEEL (2019a).

Município	Potência de SFVCR			Quantidade de SFVCR		
	kW	%	Posição ¹	Quant.	%	Posição ¹
Curitiba	2.485,14	7,86%	1	386	10,67%	1
Maringá	2.441,82	7,73%	2	253	6,99%	2
Cascavel	2.026,80	6,41%	3	226	6,24%	4
Londrina	1.566,28	4,96%	4	231	6,38%	3
Francisco Beltrão	1.522,09	4,82%	5	136	3,76%	6
Foz do Iguaçu	1.274,08	4,03%	6	191	5,28%	5
Toledo	863,41	2,73%	7	91	2,51%	7
Umuarama	598,20	1,89%	8	69	1,91%	8
Guarapuava	488,46	1,55%	10	50	1,38%	11
Pato Branco	445,21	1,41%	11	50	1,38%	11
Mal. Cândido Rondon	425,73	1,35%	12	63	1,74%	9
Ponta Grossa	253,98	0,80%	23	52	1,44%	10
Demais Municípios	17.217,06	54,47%	-----	1.821	50,32%	-----
Total - Paraná	31.608,26	100,00%	-----	3.619	100,00%	-----

Obs.: Municípios com mais de 50 SFV instalados, independente da potência instalada.

¹ Posição em relação à todos os municípios do estado do Paraná.

4.6 MAPEAMENTO DOS SFVCR DE GD NA CIDADE DE CURITIBA

É possível observar no APÊNDICE C o resultado de mapeamento dos SFV de micro e minigeração distribuída na cidade de Curitiba, incluindo os sistemas residências, comerciais, industriais e do poder público, distribuídos pelas regionais da Cidade de Curitiba. Esta figura oferece um panorama geral dos SFVCR, podendo-se observar as regiões de maior incidência.

A regional Matriz representa a área central da cidade de Curitiba, assim, observa-se que a maior quantidade de SFV se concentra no entorno da regional matriz, sobretudo na regional Santa Felicidade, que é caracterizada por ser uma região com bastantes casas de classe média alta e condomínios fechados de alto padrão.

Na Tabela 17 pode-se observar a distribuição da potência e quantidade de SFVCR de micro e minigeração distribuída na Cidade de Curitiba. A tabela está em ordem decrescente de potência total instalada na regional.

Tabela 17 – Distribuição dos SFVCR de micro e minigeração distribuída amparados pela REN Nº 482/2012 nas Regionais da Cidade de Curitiba.

Fonte: Compilação de dados do autor com base na referência ANEEL (2019a).

Regional de Curitiba	Potência de SFVCR			Quantidade de SFVCR		
	kW	%	Posição ¹	Quant.	%	Posição ¹
Portão	748,85	30,13%	1	42	10,88%	5
Santa Felicidade	446,77	17,98%	2	92	23,83%	1
Matriz	427,10	17,19%	3	48	12,44%	4
Boa Vista	313,58	12,62%	4	65	16,84%	2
Cajuru	174,93	7,04%	5	53	13,73%	3
Boqueirão	174,19	7,01%	6	37	9,59%	6
Pinheirinho	92,96	3,74%	7	25	6,48%	7
CIC	57,05	2,30%	8	11	2,85%	8
Bairro Novo	44,65	1,80%	9	11	2,85%	8
Tatuquara	5,06	0,20%	10	2	0,52%	10
Total - Curitiba	2.485,14	100,00%	-----	386	100,00%	-----

O maior SFV de micro e minigeração distribuída registrado em Curitiba é um sistema de 420 kW, instalado no Supermercado Condor em 2018, na regional Portão. A potência deste SFV representa 16,9% da potência total instalada em Curitiba, sendo equivalente ao somatório da potência dos próximos sete maiores SFV do município. Este SFV faz a regional do Portão aparecer em primeiro lugar em potência instalada mesmo estando em quinta posição em relação à quantidade de SFV instalados.

4.7 POTÊNCIA E QUANTIDADE DE SFVCR DE GD PER CAPTA

Pode observar nas Tabela 18, Tabela 19 e Tabela 20 a normalização da potência e quantidade de SFVCR de micro e minigeração distribuída em termos per capta. As tabelas estão em ordem decrescente de quantidade de SFVCR por 10.000 habitantes.

A ordem dos estados, municípios e regionais com maior incidência de geração FV sofre grande alteração quando se avalia a potência e quantidade de SFV per capta, ao invés de se considerar os valores absolutos.

O Brasil (Tabela 18) possui uma média de 25,19 SFVCR a cada 100.000 habitantes, e 260,08 kW de potência FV a cada 100.000 habitantes. O estado do Rio Grande do Sul assume a liderança tanto na quantidade de sistemas quanto na potência instalada, possuindo 64,68 SFV a cada 100.000 habitantes e 774,99 kW a cada 100.000 habitantes.

No estado do Paraná (Tabela 19) observam-se cidades com índices per capta bastante superiores à média nacional. Mesmo municípios sem tradição reconhecida em questões ecológicas apresentam índices per capta bastante superiores à cidade de Curitiba por exemplo, que possui fama de cidade ecológica.

O município de Francisco Beltrão possui os maiores índices per capta de todos os recortes espaciais analisados, possuindo 151,21 SFVCR a cada 100.00 habitantes, um índice 500% maior do que a média nacional; em termos de potência

o município possui 1.692,30 kW a cada 100.000 habitantes, um valor 550% maior do que a média nacional.

A colonização preponderantemente alemã dos municípios de Francisco Beltrão e Marechal Cândido Rondon explicam, em parte, seus bons desempenhos em relação à quantidade e potência de SFV per capita instalados.

A cidade de Curitiba (Tabela 20) possui índices per capita inferiores à média brasileira. Apesar dela se destacar no estado do Paraná quando se avalia os índices de forma absoluta, ela aparece em penúltimo lugar dos municípios avaliados quando a análise é efetuada de forma per capita.

Mesmo a região de Curitiba que apresenta os melhores índices per capita, fica consideravelmente atrás de vários municípios paranaenses sem tradição ecológica.

A regional de Santa Felicidade assume a liderança na quantidade de sistemas, possuindo 53,59 SFV a cada 100.000 habitante, um valor 166% maior do que a média de Curitiba.

A regional do Portão, mesmo estando em quarta posição na quantidade de SFV per capita, assume a liderança em termos de potência, possuindo 403,12 kW a cada 100.000 habitante, um valor 211% maior do que a média de Curitiba. O SFV de 420kW instalado no Supermercado Condor, já mencionado, faz com que a regional do Portão assumira essa liderança, sendo que este único SFV representa 56% da potência total instalada na regional.

Em função dos índices per capita adotados (100.000 Hab.) municípios com menos de 100.000 habitantes possuem valores per capita superiores a potência e quantidade de SFV efetivamente instalados. Deste modo, devem-se fazer as devidas ressalvas ao se interpretar tais dados.

Tabela 18 – Quantidade e Potência per capita de SFVCR de micro e minigeração distribuída amparados pela REN Nº 482/2012 nas Unidades Federativas brasileiras.

Fonte: Compilação de dados do autor com base na referência ANEEL (2019a).

Unidade Federativa	Habitantes ¹	Quant. de SFVCR por 100.000 Habitantes		Potência por 100.000 Habitantes	
		Quant.	Posição	kW	Posição
Rio Grande do Sul	11.329.605	64,68	1	774,99	1
Santa Catarina	7.075.494	59,95	2	507,06	4
Mato Grosso	3.441.998	47,24	3	688,76	2
Minas Gerais	21.040.662	45,36	4	536,01	3
Mato Grosso do Sul	2.748.023	42,54	5	409,44	5
Tocantins	1.555.229	38,13	6	347,95	7
Espírito Santo	3.972.388	32,70	7	240,82	13
Paraná	11.348.937	31,89	8	278,51	9
Goiás	6.921.161	29,04	9	274,65	10
Rio Grande do Norte	3.479.010	24,72	10	381,04	6
Distrito Federal	2.974.703	24,54	11	324,55	8
São Paulo	45.538.936	21,17	12	144,82	17
Paraíba	3.996.496	18,62	13	265,31	11
Rio de Janeiro	17.159.960	18,07	14	126,13	18
Sergipe	2.278.308	16,68	15	172,43	16
Ceará	9.075.649	14,78	16	234,57	14
Piauí	3.264.531	14,15	17	251,79	12
Pernambuco	9.496.294	9,96	18	177,05	15
Alagoas	3.322.820	8,55	19	101,23	21
Bahia	14.812.617	8,53	20	97,01	22
Maranhão	7.035.055	8,09	21	95,38	23
Pará	8.513.497	5,93	22	56,12	26
Amapá	829.494	5,79	23	122,24	19
Rondônia	1.757.589	5,75	24	105,56	20
Acre	869.265	4,72	25	74,10	24
Roraima	576.568	1,91	26	73,64	25
Amazonas	4.080.611	1,86	27	17,71	27
Total - Brasil	208.494.900	25,19	-----	260,08	-----

¹ Projeção da população para o ano de 2018, segundo IBGE (2019b).

Tabela 19 – Quantidade e Potência per capita de SFVCR de micro e minigeração distribuída amparados pela REN Nº 482/2012 nos municípios paranaenses.

Fonte: Compilação de dados do autor com base na referência ANEEL (2019a).

Município	Habitantes ¹	Quant. de SFVCR por 100.000 Habitantes		Potência por 100.000 Habitantes	
		Quant.	Posição ²	kW	Posição ²
Francisco Beltrão	89.942	151,21	1	1.692,30	1
Mal. Cândido Rondon	52.379	120,28	2	812,79	2
Foz do Iguaçu	258.823	73,80	3	492,26	8
Toledo	138.572	65,67	4	623,08	4
Cascavel	324.476	69,65	5	624,64	3
Umuarama	110.590	62,39	6	540,92	7
Pato Branco	81.893	61,06	7	543,65	6
Maringá	417.010	60,67	8	585,55	5
Londrina	563.943	40,96	9	277,74	9
Guarapuava	180.334	27,73	10	270,86	10
Curitiba	1.917.185	20,13	11	129,62	11
Ponta Grossa	348.043	14,94	12	72,97	12
Demais Municípios	6.865.747	26,52	-----	250,77	-----
Total - Paraná	11.348.937	31,89	-----	278,51	-----

Obs.: Municípios com mais de 50 SFV instalados, independente da potência instalada.

¹ Projeção da população para o ano de 2018, segundo IBGE (2018b).

² Posição em relação ao doze municípios citados na tabela.

Tabela 20 – Quantidade e Potência per capita de SFVCR de micro e minigeração distribuída amparados pela REN Nº 482/2012 nas regionais de Curitiba.

Fonte: Compilação de dados do autor com base na referência ANEEL (2019a).

Regional de Curitiba	Habitantes ¹	Quant. de SFVCR por 100.000 Habitantes		Potência por 100.000 Habitantes	
		Quant.	Posição	kW	Posição
Santa Felicidade	171.661	53,59	1	260,26	2
Boa Vista	273.545	23,76	2	114,64	4
Matriz	209.414	22,92	3	203,95	3
Portão	185.764	22,61	4	403,12	1
Cajuru	236.849	22,38	5	73,86	6
Boqueirão	207.234	17,85	6	84,05	5
Pinheirinho	152.124	16,43	7	61,11	7
Bairro Novo	168.229	6,54	8	26,54	9
CIC	204.239	5,39	9	27,93	8
Tatuquara	120.641	1,66	10	4,19	10
Total - Curitiba	1.917.185 ²	20,13	-----	129,62	-----

¹ Projeção da população para o ano de 2018, segundo AGÊNCIA CURITIBA (2017).

² Projeção da população para o ano de 2018, segundo IBGE (2018b).

4.8 ANÁLISE DOS SFVCR RESIDÊNCIAIS

Como os SFVCR de micro e minigeração distribuída residenciais representam a grande maioria dos SFV em termos de quantidade de sistemas instalados convém analisá-los individualmente.

Os estados brasileiros apresentam grande variação na quantidade de residências, assim, nas Tabela 21, Tabela 22 e Tabela 23 é possível observar a quantidade de SFVCR residenciais por 100.000 casas. As tabelas estão em ordem decrescente de quantidade de SFVCR residenciais por 100.000 casas.

A potência e quantidade absoluta dos SFVCR residenciais nas unidades da federação e nas regionais de Curitiba encontram-se nas Tabela 24, Tabela 25 Tabela 26 no APÊNDICE D. As tabelas estão em ordem decrescente de quantidade de SFVCR residenciais.

O estado de Santa Catarina assume a primeira posição em relação a quantidade de SFVR_{100.000C}. Um fato que contribuiu para este bom desempenho do estado foi o projeto “Bônus Eficiente – Linha Fotovoltaica” lançado no ano de 2017 pela Centrais Elétricas de Santa Catarina (CELESC). O projeto subsidiou durante o ano de 2017 a aquisição de 1.000 SFV de 2,6kWp cada para consumidores residenciais (CELESC, 2017). Os 1.000 SFV instalados durante o programa representam 30% da quantidade total de SFV residenciais instalados no estado, mostrando como projetos de incentivo à geração fotovoltaica contribuem para a expansão da tecnologia na região alvo.

No estado do Paraná, o município de Francisco Beltrão possui a maior quantidade de SFVR_{100.000C} dentre todos os recortes espaciais analisados. Já o município de Curitiba ocupa a décima posição em quantidade de SFVR_{100.000C}, apresentando valores inferiores à média do Paraná e do Brasil.

Conforme já destacado, a colonização preponderantemente alemã dos municípios de Francisco Beltrão e Marechal Cândido Rondon explicam, em parte, seus bons desempenhos em relação à quantidade e potência de SFV per capita instalados.

Na cidade de Curitiba a regional Santa Felicidade, que é caracterizada por ser uma região com bastantes casas de classe média alta e condomínios fechados de alto padrão possui vantagem quando a análise considera somente os SFV residenciais. Ela assume a primeira posição entre as regionais tanto em quantidade quanto em potência de $SFVR_{100.000C}$, possuindo valores superiores à todos os estados brasileiros e à média do Paraná, ficando atrás porém, dos Municípios de Francisco Beltrão, Marechal Cândido Rondon e Foz do Iguaçu.

Em função dos índices por casas adotados (100.000 Casas) municípios com menos de 100.000 casas possuem valores de $SFVR_{100.000C}$ superiores a potência e quantidade de SFV efetivamente instalados. Deste modo, devem-se fazer as devidas ressalvas ao se interpretar tais dados.

Tabela 21 – Quantidade e Potência de SFVCR Residenciais por 100.000 casas nas Unidades Federativas brasileiras.

Fonte: Compilação de dados do autor com base na referência ANEEL (2019a).

Unidade Federativa	Quantidade de Casas ¹	Quantidade de SFVCR por 100.000 Casas		Potência por 100.000 Casas	
		Quant.	Posição	kW	Posição
Santa Catarina	1.721.728	191,09	1	817,40	4
Rio Grande do Sul	3.068.544	160,24	2	834,78	2
Tocantins	387.180	127,07	3	826,11	3
Minas Gerais	5.410.211	125,91	4	588,00	6
Mato Grosso	869.266	123,55	5	899,07	1
Mato Grosso do Sul	728.442	115,73	6	581,58	7
Distrito Federal	561.160	112,09	7	654,67	5
Espírito Santo	939.473	109,32	8	415,47	9
Goiás	1.752.281	92,85	9	330,75	11
Paraná	2.996.476	85,13	10	372,68	10
São Paulo	10.901.634	74,83	11	320,62	12
Rio Grande do Norte	857.319	67,19	12	418,60	8
Rio de Janeiro	4.151.921	65,97	13	315,17	13
Sergipe	550.673	50,30	14	285,39	15
Paraíba	1.015.228	47,18	15	312,95	14
Ceará	2.201.195	43,79	16	252,31	17
Piauí	826.459	34,36	17	262,98	16
Pernambuco	2.316.502	26,81	18	175,70	20
Alagoas	799.048	26,41	19	160,88	21
Amapá	147.422	25,78	20	142,61	23
Maranhão	1.615.635	25,32	21	186,76	18
Pará	1.786.887	24,96	22	159,81	22
Bahia	3.803.495	23,24	23	123,30	24
Rondônia	427.558	16,61	24	180,82	19
Acre	178.951	15,65	25	98,93	26
Amazonas	735.085	8,57	26	71,29	27
Roraima	104.570	6,69	27	120,08	25
Total - Brasil	50.854.343	77,71	-----	379,76	-----

¹ Quantidade de domicílios do tipo “casas” em 2010, segundo IBGE (2010).

Tabela 22 – Quantidade e Potência de SFVCR Residenciais por 100.000 casas nos municípios do Paraná.

Fonte: Compilação de dados do autor com base na referência ANEEL (2019a).

Município	Quantidade de Casas ¹	Quantidade de SFVCR por 100.000 Casas		Potência por 100.000 Casas	
		Quant.	Posição ²	kW	Posição ²
Francisco Beltrão	22.866	345,49	1	1.337,97	2
Mal. Cândido Rondon	14.421	325,91	2	1.343,60	1
Foz do Iguaçu	70.000	230,00	3	1.098,73	3
Toledo	35.849	203,63	4	921,39	5
Cascavel	78.948	200,13	5	912,12	6
Umuarama	29.980	186,79	6	1.018,85	4
Pato Branco	19.830	181,54	7	834,14	7
Maringá	93.843	174,76	8	785,50	8
Londrina	130.689	131,61	9	631,39	9
Curitiba	421.471	72,13	10	267,68	11
Guarapuava	48.211	70,52	11	365,75	10
Ponta Grossa	87.298	52,69	12	190,15	12
Demais Municípios	1.943.070	62,84	-----	275,04	-----
Total - Paraná	2.996.476	85,13	-----	372,68	-----

Obs.: Municípios com mais de 50 SFV (todas as classes) instalados, independente da potência instalada.

¹ Quantidade de domicílios do tipo “casas” em 2010, segundo IBGE (2010).

² Posição em relação ao doze municípios citados na tabela.

Tabela 23 – Quantidade e Potência de SFVCR Residenciais por 100.000 casas nas Regionais de Curitiba.

Fonte: Compilação de dados do autor com base na referência ANEEL (2019a).

Regional de Curitiba	Quantidade de Casas ¹	Quantidade de SFVCR por 100.000 Casas		Potência por 100.000 Casas	
		Quant.	Posição	kW	Posição
Santa Felicidade	37.300	214,48	1	834,99	1
Matriz	21.068	137,65	2	420,64	3
Portão	29.489	98,34	3	539,01	2
Boa Vista	68.095	80,77	4	325,46	4
Cajuru	63.375	67,85	5	209,28	5
Pinheirinho	38.456	54,61	6	153,58	7
Boqueirão	57.529	52,15	7	179,20	6
Bairro Novo	40.179	19,91	8	72,55	8
CIC	45.065	15,53	9	41,23	9
Tatuquara	22.886	8,74	10	22,11	10
Total - Curitiba	421.471 ²	72,13	-----	267,68	-----

¹ Quantidade de domicílios do tipo “casas” em 2010, segundo IPPUC (2015).

² Quantidade de domicílios do tipo “casas” em 2010, segundo IBGE (2010).

4.9 CONSIDERAÇÕES A RESPEITO DOS ERROS ENCONTRADOS NO BANCO DE DADOS DE UC COM GD

O banco de dados de UC's com geração distribuída (ANEEL, 2019a) é um recente e promissor banco de dados que fornece e fornecerá cada vez mais uma grande variedade de informações para estudos e pesquisas com foco em geração distribuída e assuntos correlatos.

Porém, para que este banco de dados possa ser utilizado com segurança é necessário que as informações cadastradas sejam confiáveis.

Algumas informações constantes no banco de dados puderam ser verificadas por rotinas matemáticas ou através do mapeamento:

- **Data de Conexão:** dos 52.530 SFVCR, 20 deles (0,04% do total) apresentavam data de conexão anterior ao ano de 2012, um dado nitidamente errôneo, visto que a REN 482 que homologa este tipo de conexão foi publicada no ano de 2012.

- **Potência Média de cada Módulo:** ao se calcular a potência média de cada módulo, foram identificados 1.147 SFVCR com valores de potência média do módulo incompatíveis com os valores típicos de mercado de módulos FV, o que representa 2,2% do universo de dados (52.530 SFV). Foram registrados valores de potência dos módulos desde apenas 1,3W até 55.000W, enquanto que estes valores deveriam girar em torno de 271W.

- **Eficiência do Painel FV:** ao se calcular a eficiência do painel FV, foram identificados 2.258 SFVCR com valores de eficiência incompatíveis com os valores típicos de eficiência de Painéis FV constituído de módulos de silício policristalino, o que representa 4,3% do universo de dados (52.530 SFV). Foram registrados valores de eficiência desde apenas 0,04% até 3.598.400%, enquanto que estes valores deveriam girar em torno de 14,6%.

- **Indicação de SFV como pertencente à Curitiba:** através do mapeamento dos SFVCR no município de Curitiba através do CEP, identificou-se que em 11 UC's o CEP indicado não correspondia ao município de Curitiba, mas sim a cidades da

região metropolitana de Curitiba. Este valor representa 2,8% do universo de dados (397 SFV).

Assim, dos 52.530 SFVCR de micro e minigeração distribuída no Brasil, 2.891 SFVCR apresentaram um ou mais informações incorretas no cadastro no banco de dados, o que representa 5,5% do universo de dados.

Convém que se destaque que estes erros encontrados são relativos somente os dados que podem ser verificados por rotinas matemáticas ou através do mapeamento, sendo que existem diversas outras informações cadastradas que não são passíveis de conferência.

A tendência seria de que quanto mais sistemas fossem cadastrados maior seria a amostragem para se fazer análises e conseqüentemente menores seriam os erros de amostragem. Porém, o que se evidencia é que se não forem tomadas as devidas providências, esses erros de cadastramento podem fazer com que pesquisas acadêmicas apresentem resultados incorretos, planejamentos energéticos não estejam baseados em informações corretas, políticas públicas não tenham a eficiência desejada, entre diversos outros impactos negativos.

Assim, é fundamental a orientação dos responsáveis pelos cadastramentos sobre a importância deste banco de dados, para que todo cadastramento de informações seja efetuado com senso crítico e com a devida prudência.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve como escopo realizar um panorama da geração fotovoltaica de micro e minigeração distribuída amparada pela REN N°482/2012 da ANNEL no território brasileiro, no Estado do Paraná e na Cidade de Curitiba. Para isso, fez-se inicialmente uma pesquisa bibliográfica a respeito de fontes renováveis na matriz elétrica brasileira e sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica. A partir da fundamentação teórica, partiu-se para a etapa coleta e análise de dados.

Os bancos de dados utilizados foram: o Banco de Informações de Geração (BIG) que corresponde principalmente a usinas de grande porte com geração centralizada; e o Banco de Dados de Unidades Consumidoras de Micro e Minigeração Distribuída (MMGD) amparadas pela REN N°482/2012 que corresponde a usinas de até 5MW com geração distribuída (GD). A partir deste ponto foi efetuada a normalização destes dados de acordo com a metodologia definida no Capítulo 3.

Desta forma foi possível avaliar a inserção da geração fotovoltaica sobre diferentes aspectos, como características técnicas, níveis de irradiação solar, aspectos urbanos da região, entre outros, sendo possível assim identificar as características usuais destes SFV e entender como ocorre o seu processo de disseminação e consolidação no Brasil.

Primeiramente observou-se a tendência de aumento da participação da geração FV centralizada frente a geração FV distribuída, sendo que até o final do ano 2018 77% da potência FV instalada no Brasil era de geração centralizada. Porém, destacou-se que isso não exclui o seu caráter de geração distribuída, já consolidado pela quantidade de SFV distribuídos existentes no Brasil.

A rápida evolução da potência fotovoltaica distribuída instalada pôde ser observada tanto no Brasil quanto no Paraná e em Curitiba, sendo que nos últimos sete anos a potência fotovoltaica instalada no Brasil aumentou a uma taxa média de 241% ao ano.

A caracterização geral dos sistemas fotovoltaicos de geração distribuída tornou possível conhecer o perfil típico de um sistema fotovoltaico instalado em

diferentes classes de unidades consumidoras, no Brasil, no Paraná e em Curitiba. Nos três recortes espaciais analisados os resultados obtidos foram semelhantes.

Observou-se que embora os SFV residenciais representem a maioria dos sistemas instalados, eles correspondem a menos da metade da potência total instalada tanto no Brasil, quanto no Paraná e Curitiba. Enquanto os SFV residenciais apresentam uma potência média no Brasil de 4,9kW, os sistemas Comerciais e Industriais apresentam potências médias de 26,4kW e 39,5kW respectivamente.

A eficiência média dos painéis FV (14,4 %) e a potência média dos módulos (271 W) condisseram com os valores típicos de literatura e de mercado dos últimos sete anos para estes dois parâmetros.

Através do mapeamento dos sistemas fotovoltaicos no território brasileiro observou-se que os sistemas de geração centralizada estão localizados próximos aos locais de maior irradiação solar, ao passo que os sistemas de geração distribuída concentram-se nos grandes centros urbanos e não necessariamente nos locais de maior irradiação solar.

Identificou-se através do mapeamento dos SFVCR de micro e minigeração distribuída no Paraná que grande parte dos SFVCR de geração distribuída está localizada nas áreas de maior irradiação do estado. Isso se deve ao fato de que a maioria dos grandes centros urbanos do Estado do Paraná está localizada nas regiões de maior irradiação do estado.

O mapeamento dos SFVCR no Município de Curitiba tornou possível observar as regiões com mais incidência de SFVCR e identificar como se dá a distribuição dos SFV de diferentes classes de UC nas diferentes regionais.

Ao analisar os SFVCR de micro e minigeração distribuída de modo per capita foi possível normalizar a análise. Observou-se que a ordem dos estados, municípios e regionais com maior incidência de geração FV sofre grande alteração quando se avalia a potência e quantidade de SFV per capita, ao invés de se considerar os valores absolutos. Comportamento semelhante é observado ao se analisar somente os SFVCR residenciais de modo absoluto e de forma normalizada a cada 100.000 casas.

Por fim, foram efetuadas considerações a respeito dos erros encontrados no banco de dados de unidade consumidoras com micro e minigeração distribuída, destacando-se os diversos impactos negativos que o excesso de erros de cadastramento no banco de dados pode ocasionar. Também foi salientada a importância de que o cadastramento de informações no banco de dados seja efetuado com senso crítico e com a devida prudência.

Com este trabalho a acelerada expansão dos SFVCR de micro e minigeração pôde ser compreendida em diversas abordagens e assim, espera-se que possa ser melhor aproveitada em seus aspectos técnicos, urbanos e sociais.

Como proposta para trabalhos futuros, visando dar continuidade a este estudo, sugere-se a replicação deste estudo para outros estados brasileiros e municípios a fim de que possam ser efetuadas comparações e observadas tendências regionais. Também sugere-se a constante atualização deste estudo, com as informações mais recentes a respeito da quantidade e potência de SFV instalados.

REFERÊNCIAS

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). **Norma Brasileira Regulamentadora (NBR) 11704:2008 – Sistemas Fotovoltaicos – Classificação**. Rio de Janeiro, 2013.

ACSELRAD, Henri. **Discursos da sustentabilidade urbana**. Revista brasileira de estudos urbanos e regionais, n. 1, p. 79-90, 2011.

ADENE (Agência de Desenvolvimento do Nordeste). Aspectos Fundamentais do Planejamento Energético. Brasília, 2015. Disponível em: < http://siteantigo.sudene.gov.br/conteudo/download/PE_Aspectos_Fundamentais.pdf >. Acesso em 14 de fevereiro de 2018.

AGÊNCIA CURITIBA (Agência Curitiba de Desenvolvimento S/A). **Perfil Econômico das Regionais**. Curitiba, 2017. Disponível em: < <http://www.agencia.curitiba.pr.gov.br/perfil-economico-regional> >. Acesso em 19 de fevereiro de 2019.

ALMEIDA, Eliane; ROSA, Anna C.; DIAS, Fernanda C. L. S.; BRAZ, Kathlen T. M.; LANA, Luana T. C.; SANTO, Olívia C. E.; SACRAMENTO, Thays C. B.. **Energia Solar Fotovoltaica: Revisão Bibliográfica**. Belo Horizonte, 2015. Disponível em: < <http://www.fumec.br/revistas/eol/article/download/3574/1911> > . Acesso em: 05 jun. 2018.

ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica). **Resolução Normativa nº 414, de 09 de Setembro de 2010**. Brasília, 2010. Disponível em: < <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2010414.pdf> >. Acesso em 19 de março de 2017.

ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica). **Resolução Normativa nº 482, de 17 de Abril de 2012**. Brasília, 2012. Disponível em: < <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf> >. Acesso em 10 de fevereiro de 2017.

ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica). **Resolução Normativa nº 687, de 24 de Novembro de 2015**. Brasília, 2015a. Disponível em: < <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf> >. Acesso em 10 de fevereiro de 2017.

ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica). **Resolução Normativa nº 676, de 25 de Agosto de 2015**. Brasília, 2015b. Disponível em: < <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015676.pdf> >. Acesso em 10 de fevereiro de 2017.

ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica). **Nota Técnica nº 0056/2017-SRD/ANEEL – Atualização das Projeções de Consumidores Residenciais e Comerciais com microgeração solar fotovoltaicos no horizonte 2017-2024**, Brasília, 2017a. Disponível em: < http://www.aneel.gov.br/documents/656827/15234696/Nota+T%C3%A9cnica_0056_PROJE%C3%87%C3%95ES+GD+2017>. Acesso em: 16 outubro de 2017.

ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica). **Ofício Circular nº 0010/2017-SRD/ANEEL, de 22 de Março de 2017**. Brasília, 2017b. Disponível em: < http://www.aneel.gov.br/documents/656827/15234696/OficioCircular_10-2017/366f48db-36a9-3d57-0eac-4ab7e4012cfb >. Acesso em 04 de abril de 2017.

ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica). **Perguntas e Respostas sobre a Aplicação da Resolução Normativa Nº 482/2012 – Atualizado em 25/05/2017**. Brasília, 2017c. Disponível em: < http://www.aneel.gov.br/documents/656827/15234696/FAQ+-V3_20170524/ab9ec474-7dfd-c98c-6753-267852784d86 >. Acesso em 04 de abril de 2017.

ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica). **Outorgas e Registros de Geração: Unidades Consumidoras com Geração Distribuída**. 2019a. Disponível em: < <http://www2.aneel.gov.br/scg/gd/gd.asp> >. Acesso em 15 de janeiro de 2018.

ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica). **Banco de Informações de Geração (BIG)**. 2019b. Disponível em: < <http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm> >. Acesso em 01 de janeiro de 2019.

BENEDITO, Ricardo 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 (mestrado), Universidade de São Paulo, Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia – PIPGE. São Paulo, 2009.

BERARDI, Umberto. **Clarifying the new interpretations of the concept of sustainable building**. Sustainable Cities and Society, v. 8, p. 72-78, 2013.

BOEFF, Luís F. **Relé de Potência Reversa**. In: Salão UFRGS 2013: SIC - XXV Salão de Iniciação Científica da UFRGS. Porto Alegre, 2013. Disponível em: < https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/93218/Resumo_32448.pdf >. Acesso em 19 de fevereiro de 2018.

BORGES, Fernando H.; TACHIBANA, Wilson K. **A evolução da preocupação ambiental e seus reflexos no ambiente dos negócios: uma abordagem histórica**. In: XXV Encontro Nacional dos Estudantes de Engenharia de Produção. Porto Alegre, 2005.

BRASIL (Governo da República Federativa do Brasil). **iNDC - Contribuição do Brasil às Nações Unidas**. Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC), 2016. Disponível em < http://www.itamaraty.gov.br/images/ed_desenvsust/BRASIL-iNDC-portugues.pdf >. Acesso em 10 de fevereiro de 2018.

CAMPOS, Henrique M. V. D. B. **Geração Distribuída de Energia Solar Fotovoltaica na Matriz Elétrica de Curitiba e Região: Um Estudo de Caso**. Dissertação (Mestrado), Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – PPGEC. Curitiba, 2016.

CELESC (Centrais Elétricas de Santa Catarina). **Projeto Bônus Fotovoltaico**. 2017. Disponível em < <http://bonusfotovoltaico.celesc.com.br/> >. Acesso em 25 de fevereiro de 2019.

COELBA (Companhia de Eletricidade do Estado da Bahia). **Notícia: Coelba Inaugura Centro de Visitação Sobre Energia Solar no Estádio de Pituaçu**. Salvador, 2013. Disponível em < <http://www.coelba.com.br/Noticias/Pages/Coelba-Inaugura-Centro-de-Visita%C3%A7%C3%A3o-Sobre-Energia-Solar-no-Est%C3%A1dio-de-Pitua%C3%A7u.aspx> >. Acesso em 06 de maio de 2018.

CONNOLLY, D.; LUND, H.; MATHIESEN, B. V. **Smart Energy Europe: The technical and economic impact of one potential 100% renewable energy scenario for the European Union**. Renewable and Sustainable Energy Reviews. n. 60, p. 1634-1653, 2016.

CRESPI, Mariane H. **Análise Energética e de Custo do Potencial Fotovoltaico Conectado à Rede de Energia Elétrica do Complexo Aeroportuário de Joinville**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação), Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Joinville, 2015.

CURITIBA (Prefeitura de Curitiba). **Administrações Regionais e Bairros**. Curitiba, 2017. Disponível em: <<http://www.curitiba.pr.gov.br/conteudo/o-que-sao-administracoes-regionais/80>>. Acesso em: 12 jun. 2017.

DGS (Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie). **Planning & Installing Photovoltaic Systems - A guide for installers, architects and engineers**. Earth-scan. UK, 2008.

DUFFIE, J. A., BECKMAN, W. A. **Solar engineering of thermal processes**. 3. Ed. John Wiley & Sons. New York, 2013.

EIA (U.S. Energy Information Administration). **Nonrenewable and Renewable Energy Sources**. 2017. Disponível em <https://www.eia.gov/energyexplained/?page=nonrenewable_home>. Acesso em 16 de fevereiro de 2018.

EPE (Empresa de Pesquisa Energética). **Balanco Energético Nacional 2012: ano base 2011**. Brasília, 2012. Disponível em <<http://epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-131/topico-103/Relat%C3%B3rio%20Final%202012.pdf>>. Acesso em 18 de fevereiro de 2018.

EPE (Empresa de Pesquisa Energética). **Balanco Energético Nacional 2013: ano base 2012**. Brasília, 2013. Disponível em <<http://epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-129/topico-101/Relat%C3%B3rio%20Final%202013.pdf>>. Acesso em 18 de fevereiro de 2018.

EPE (Empresa de Pesquisa Energética). **Balanco Energético Nacional 2014: ano base 2013**. Brasília, 2014. Disponível em <<http://epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-128/topico-99/Relat%C3%B3rio%20Final%202014.pdf>>. Acesso em 10 de fevereiro de 2018.

EPE (Empresa de Pesquisa Energética). **Balanco Energético Nacional 2015: ano base 2014**. Brasília, 2015. Disponível em <<http://epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-127/topico-97/Relat%C3%B3rio%20Final%202015.pdf>>. Acesso em 10 de fevereiro de 2018.

EPE (Empresa de Pesquisa Energética). **Balanco Energético Nacional 2016: ano base 2015**. Brasília, 2016a. Disponível em <https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2016.pdf>. Acesso em 10 de fevereiro de 2018.

EPE (Empresa de Pesquisa Energética). **Plano Nacional de Energia (PNE) 2050 – Estudos da Demanda de Energia**. Rio de Janeiro, 2016b. Disponível em: < <http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-227/topico-458/DEA%2013-15%20Demanda%20de%20Energia%202050.pdf> >. Acesso em 10 fevereiro de 2018.

EPE (Empresa de Pesquisa Energética). **Balço Energético Nacional 2017: ano base 2016**. Brasília, 2017a. Disponível em < http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-46/topico-82/Relatorio_Final_BEN_2017.pdf >. Acesso em 10 de fevereiro de 2018.

EPE (Empresa de Pesquisa Energética). **Plano Decenal de Expansão de Energia (PDE) 2026**. Brasília, 2017b. Disponível em < <http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-40/PDE2026.pdf> >. Acesso em 18 de fevereiro de 2018.

EPE (Empresa de Pesquisa Energética). **Relatório Síntese do Balço Energético Nacional 2018: ano base 2017**. Brasília, 2018a. Disponível em < [http://epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Publicações Arquivos/publicacao-303/topico-397/Relat%C3%B3rio%20S%C3%ADntese%202018-ab%202017vff.pdf](http://epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-303/topico-397/Relat%C3%B3rio%20S%C3%ADntese%202018-ab%202017vff.pdf) >. Acesso em 31 de dezembro de 2018.

EPE (Empresa de Pesquisa Energética). **Balço Energético Nacional 2018: ano base 2017**. Brasília, 2018b. Disponível em < <http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-303/topico-419/BEN2018.pdf> >. Acesso em 31 de dezembro de 2018.

ECT (Empresa Brasileira de Correios e Telégrafo). **Aplicativo Busca CEP**. Versão DNE: 1901. 2019. Disponível em: < <http://www.buscacep.correios.com.br/sistemas/buscacep/>>. Acesso em: 17 fev. 2019.

GAZOLI, Jonas R.; VILLALVA, Marcelo G.; GUERRA, Juarez. **Energia Solar Fotovoltaica - Introdução**. Revista O Setor Elétrico, Edição 81, Editora Atitude Editorial. 2012. Disponível em: < http://www.asetoreletrico.com.br/wp-content/uploads/2012/11/Ed81_fasc_energias_renovaveis_cap9.pdf >. Acesso em 09 de março de 2018.

GESEL (Grupos de Estudos do Setor Elétrico). **Aspectos Teóricos e Analíticos da Segurança Energética e os Desafios do Setor Elétrico Brasileiro**. Texto de Discussão do Setor Elétrico nº 71. Rio de Janeiro, 2017. Disponível em < http://www.gesel.ie.ufrj.br/app/webroot/files/publications/04_tdse71.pdf >. Acesso em 10 de fevereiro de 2018.

GHENSEV, Almir. **Materiais e Processos de Fabricação de Células Fotovoltaicas**. Monografia (Especialização), Universidade Federal de Lavras (UFLA). Minas Gerais, 2006.

GOOGLE. **Programa Google Earth Pro**. 2017. Versão 7.1.8.3036.

HUETING, Roefie; REIJNDERS, Lucas. **Broad sustainability contra sustainability: The proper construction of sustainability indicators**. *Ecological Economics*, 50 (2004), p. 249–260, 2004.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). **Resultados Preliminares do Universo do Censo Demográfico 2010**. 2010. Disponível em: < ftp://ftp.ibge.gov.br/Censos/Censo_Demografico_2010/resultados_preliminares/por_municipios.zip >. Acesso em 24 de fevereiro de 2019.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). **Projeção da População do Brasil e das Unidades da Federação**. 2019a. Disponível em: < <https://ibge.gov.br/apps/populacao/projecao/> >. Acesso em 15 de janeiro de 2019.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). **Cidades e Estados do Brasil**. 2019b. Disponível em: < <https://cidades.ibge.gov.br/> >. Acesso em 19 de fevereiro de 2019.

IPPUC (Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Curitiba). **Nosso Bairro – Perfil Físico-Territorial e Socioeconômico dos 75 Bairros de Curitiba**. Curitiba, 2015. 75 Volumes. Disponível em: < http://www.ippuc.org.br/nossobairro/nosso_bairro.htm >. Acesso em: 08 jul. 2018.

IPPUC (Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Curitiba). **Arquivos Cartográficos de Curitiba – Divisa de Regionais**. Curitiba, 2017a. Disponível em: < <http://ippuc.org.br/geodownloads/geo.htm/> >. Acesso em: 13 jun. 2017.

ITAIPU (Itaipu Binacional). **Perguntas Frequentes**. 2017. Disponível em: < <https://www.itaipu.gov.br/sala-de-imprensa/perguntas-frequentes> > . Acesso em: 05 jun. 2018.

JA (JA Solar). **Catálogo do Produto**. 2018a. Disponível em: < <http://www.jasolar.com/uploadfile/2018/0930/20180930024825527.pdf> > . Acesso em: 08 de Março de 2019.

JA (JA Solar). **Catálogo do Produto**. 2018b. Disponível em: < <http://www.jasolar.com/uploadfile/2018/0930/20180930024742450.pdf> > . Acesso em: 08 de Março de 2019.

JINKO (Jinko Solar). **Catálogo do Produto**. 2017a. Disponível em: < <https://www.jinkosolar.com/ftp/Eagle%20JKM275-295M-60-A1-US.pdf> > . Acesso em: 08 de Março de 2019.

JINKO (Jinko Solar). **Catálogo do Produto**. 2017b. Disponível em: < <https://www.jinkosolar.com/ftp/Eagle%2060.pdf> > . Acesso em: 08 de Março de 2019.

ITAIPU (Itaipu Binacional). **Geração**. 2019. Disponível em: < <https://www.itaipu.gov.br/energia/geracao> > . Acesso em 03 de janeiro de 2019.

KAREKEZI, Stephen; LATA, Kusum; COELHO, Suani T. **Traditional Biomass Energy**. International Conference for Renewable Energies. Bonn, 2004.

KUANG, Yonghong; ZHANG, Yongjun; ZHOU, Bin; LI, Canbing; CAO, Yijia; LI, Lijuan; ZENG, Long. **A review of renewable energy utilization in islands**. Renewable and Sustainable Energy Reviews. n. 59, p. 504–513, 2016.

MCT (Ministério da Ciência e Tecnologia). **Livro Azul da 4ª Conferência Nacional de Ciência e Tecnologia e Inovação para o Desenvolvimento Sustentável**, Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, ISBN 978-85-60755-37-0, 2010.

MME (Ministério de Minas e Energia). **Energia Solar no Brasil e no Mundo – Ano de Referência 2015**. Brasília, 2016. Disponível em: < <http://www.mme.gov.br/documents/10584/3580498/17+-+Energia+Solar+-+Brasil+e+Mundo+-+ano+ref.+2015+%28PDF%29/4b03ff2d-1452-4476-907d-d9301226d26c;jsessionid=41E8065CA95D1FABA7C8B26BB66878C9.srv154> >. Acesso em 10 de janeiro de 2018.

NREL (National Renewable Energy Laboratory). **Cell Efficiencies Chart**. 2017. Disponível em: < <https://www.nrel.gov/pv/assets/images/efficiency-chart.png> >. Acesso em 09 de março de 2018.

O SETOR ELÉTRICO. **Matriz Cada Vez Mais Diversificada**. Atitude Editorial. Edição 80. São Paulo, 2013. Disponível em: < <https://www.osetoreletrico.com.br/matriz-cada-vez-mais-diversificada> >. Acesso em 10 de fevereiro de 2018.

OLIVEIRA, Sérgio H. F. **Geração Distribuída de Eletricidade; Inserção de Edificações Fotovoltaicas Conectadas à Rede no Estado de São Paulo**. Tese (doutorado), Universidade de São Paulo, Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia – PIPGE. São Paulo, 2002.

ONS (Operador Nacional do Sistema Elétrico). **Sobre o Sistema: Mapas**. 2017. Disponível em < <http://ons.org.br/pt/paginas/sobre-o-sin/mapas> >. Acesso em 01 de março de 2018.

ONU (Organização das Nações Unidas). Declaração da Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente. Estocolmo, 1972. Disponível em: < <http://www.un-documents.net/unche.htm> >. Acesso em 05 de abril de 2018.

PEREIRA, Enio B.; MARTINS, Fernando R.; GONÇALVES, André R.; COSTA, Rodrigo S.; LIMA, Francisco, J. L. de; RUTHER, Ricardo; ABREU, Samuel L. de; TIEPOLO, Gerson M.; PEREIRA, Silvia V.; SOUZA, Jefferson G. de. **Atlas Brasileiro de Energia Solar – 2ª Edição**. São José dos Campos, 2017. Disponível em: < http://labren.ccst.inpe.br/atlas_2017.html >. Acesso em 01 de março de 2018.

PINHO, João T.; GALDINO, Marco A. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. Rio de Janeiro, 2014.

PRONEA (Programa Nacional de Educação Ambiental). **Educação Ambiental: Por um Brasil Sustentável**. ProNEA, Marcos Legais & Normativos. Brasília, 2014.

PVTECH. **Top 10 Solar Module Suppliers in 2018**. 2019. Disponível em: < <https://www.pv-tech.org/editors-blog/top-10-solar-module-suppliers-in-2018> >. Acesso em 08 de março de 2019.

REN21. **Renewable 2012 – Global Status Report**. 2012. Disponível em: < http://www.ren21.net/Portals/0/documents/Resources/GSR2012_low%20res_FINAL.pdf >. Acesso em 10 de fevereiro de 2018.

REN21. **Renewable 2013 – Global Status Report**. 2013. Disponível em: < http://www.ren21.net/Portals/0/documents/Resources/GSR/2013/GSR2013_lowres.pdf >. Acesso em 10 de fevereiro de 2018.

REN21. **Renewable 2014 – Global Status Report**. 2014. Disponível em: < http://www.ren21.net/Portals/0/documents/Resources/GSR/2014/GSR2014_full%20report_low%20res.pdf >. Acesso em 10 de fevereiro de 2018.

REN21. **Renewable 2015 – Global Status Report**. 2015. Disponível em: < http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2015/07/REN12-GSR2015_Onlinebook_low1.pdf >. Acesso em 10 de fevereiro de 2018.

REN21. **Renewable 2016 – Global Status Report**. 2016. Disponível em: < http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2016/05/GSR_2016_Full_Report_lowres.pdf >. Acesso em 10 de fevereiro de 2018.

REN21. **Renewable 2017 – Global Status Report**. 2017. Disponível em: < http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2017/06/17-8399_GSR_2017_Full_Report_0621_Opt.pdf >. Acesso em 10 de fevereiro de 2018.

REN21. **Renewable 2018 – Global Status Report**. 2018. Disponível em: < http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2018/06/17-8652_GSR2018_FullReport_web_final_.pdf >. Acesso em 30 de dezembro de 2018.

RÜTHER, R., NASCIMENTO, Lucas R., CAMPOS, Rafael A. **Extreme overirradiance events in Brazil: consequences on PV power plant output performance**. Solar Energy. 2017.

SCOLARI, Bruno S.; TONOLO, Édwin A.; PAN, Roberto C. Y.; URBANETZ Jr., Jair. **Mapeamento e Caracterização Geral dos Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica na Cidade de Curitiba: Resultados Preliminares**. Conferência Internacional de Energias Inteligentes – Smat Energy CIEI&EXPO. Curitiba, 2017.

SCOLARI, Bruno S.; URBANETZ Jr., Jair. **Panorama dos Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica Amparados Pela REN Nº482/2012 da ANEEL no Brasil**. VII Congresso Brasileiro de Energia Solar. Gramado, 2018.

TAUÁ (Usina Solar de Tauá). **Apresentação do Empreendimento**. 2011. Disponível em: < <http://www.crea-rj.org.br/wp-content/uploads/2011/12/MPX-MAUR%C3%8DCIO-MOSZKOWCZ.pdf> >. Acesso em 06 de maio de 2018.

TIEPOLO, Gerson M. **Estudo do Potencial de Geração de Energia Elétrica Através de Sistemas Fotovoltaicos Conectados a Rede no Estado do Paraná**. Tese (doutorado), Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas – PPGEPS. Curitiba, 2015.

TIEPOLO, Gerson M.; PEREIRA, Enio B.; URBANETZ Jr.; Jair; PEREIRA, Silva V.; GONÇALVES, André R.; LIMA, Francisco J. L.; COSTA, Rodrigo S.; ALVES, Alisson R. **Atlas de Energia Solar do Estado do Paraná**. Curitiba, 2017. Disponível em: < http://ftp.cptec.inpe.br/labren/publ/livros/Atlas_Solar_do_Estado_do_Parana.pdf >. Acesso em 06 de junho de 2018.

TIEPOLO, Gerson M.; URBANETZ Jr., Jair. **Atlas de Energia solar do Estado do Paraná – Comparação do Potencial do Paraná com Outros Estados e Europa**. Conferência Internacional de Energias Inteligentes - Smart Energy. Curitiba, 2018.

TONIN, Fabiana S.; URBANETZ Jr., Jair. **Caracterização de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica – SFVCR**. Induscon, Curitiba, 2016.

TONIN, Fabiana S. **Caracterização de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica na Cidade de Curitiba**. Dissertação (Mestrado), Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Energia – PPGSE. Curitiba, 2017.

TRINA (Trina Solar). **Catálogo do Produto**. 2018a. Disponível em: < https://static.trinasolar.com/sites/default/files/Datasheet_Tallmax%20HC_1500V%20M%20Plus_Nov%202018.pdf >. Acesso em: 08 de Março de 2019.

TRINA (Trina Solar). **Catálogo do Produto**. 2018b. Disponível em: < https://static.trinasolar.com/sites/default/files/PS-M-0328%20Datasheet_Tallmax_2018_B_0.pdf >. Acesso em: 08 de Março de 2019.

URBANETZ Jr., Jair. **Sistemas Fotovoltaicos Conectados a Redes de Distribuição Urbanas: Sua Influência na Qualidade de Energia Elétrica e Análise dos Parâmetros que Possam Afetar a Conectividade**. Tese (doutorado), Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – PPGEC. Florianópolis, 2010.

URBANETZ Jr., Jair; TIEPOLO, Gerson M.; FUSANO, Renato H.; CASAGRANDE, Eloy F. J.; CANCELIERI, Osiris J. **Análise do Desempenho do Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede Elétrica do Escritório Verde da UTFPR**. Revista SODEBRAS, Volume 8, Nº 88, abril 2013.

URBANETZ Jr., Jair; CASAGRANDE, Eloy F. J.; TIEPOLO, Gerson M. **Acompanhamento do Desempenho do Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede Elétrica do Escritório Verde da UTFPR**. IX Congresso Brasileiro de Planejamento Energético (CBPE). Florianópolis, 2014a.

URBANETZ Jr., Jair; CHINVELSKI, Tiago; SIMÃO, Carla A. F.; MAKISHI, Lilian M. **Primeiro Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede Elétrica Homologado pela Copel**. V Congresso Brasileiro de Energia Solar. Recife, 2014b.

URBANETZ, Isabela V.; NETTO, Allana M.; SCOLARI, Bruno S.; URBANETZ Jr., Jair. **Panorama Atual e Cenário 2025 da Energia Solar Fotovoltaica no Brasil**. Conferência Internacional de Energias Inteligentes - Smart Energy. Curitiba, 2018.

VILLALVA, Marcelo G.; GAZOLI, Jonas R. **Energia Solar Fotovoltaica: Conceitos e Aplicações**. Ed. Érica. São Paulo, 2012.

WCED (World Commission on Environment and Development). **Our Common Future**. 1987. Disponível em: < <http://www.un-documents.net/our-common-future.pdf> >. Acesso em 31 de dezembro de 2018.

WBG (World Bank Group). **Total Population**. 2018. Disponível em: < <https://data.worldbank.org/indicator/SP.POP.TOTL> >. Acesso em 30 de dezembro de 2018.

APÊNDICE A

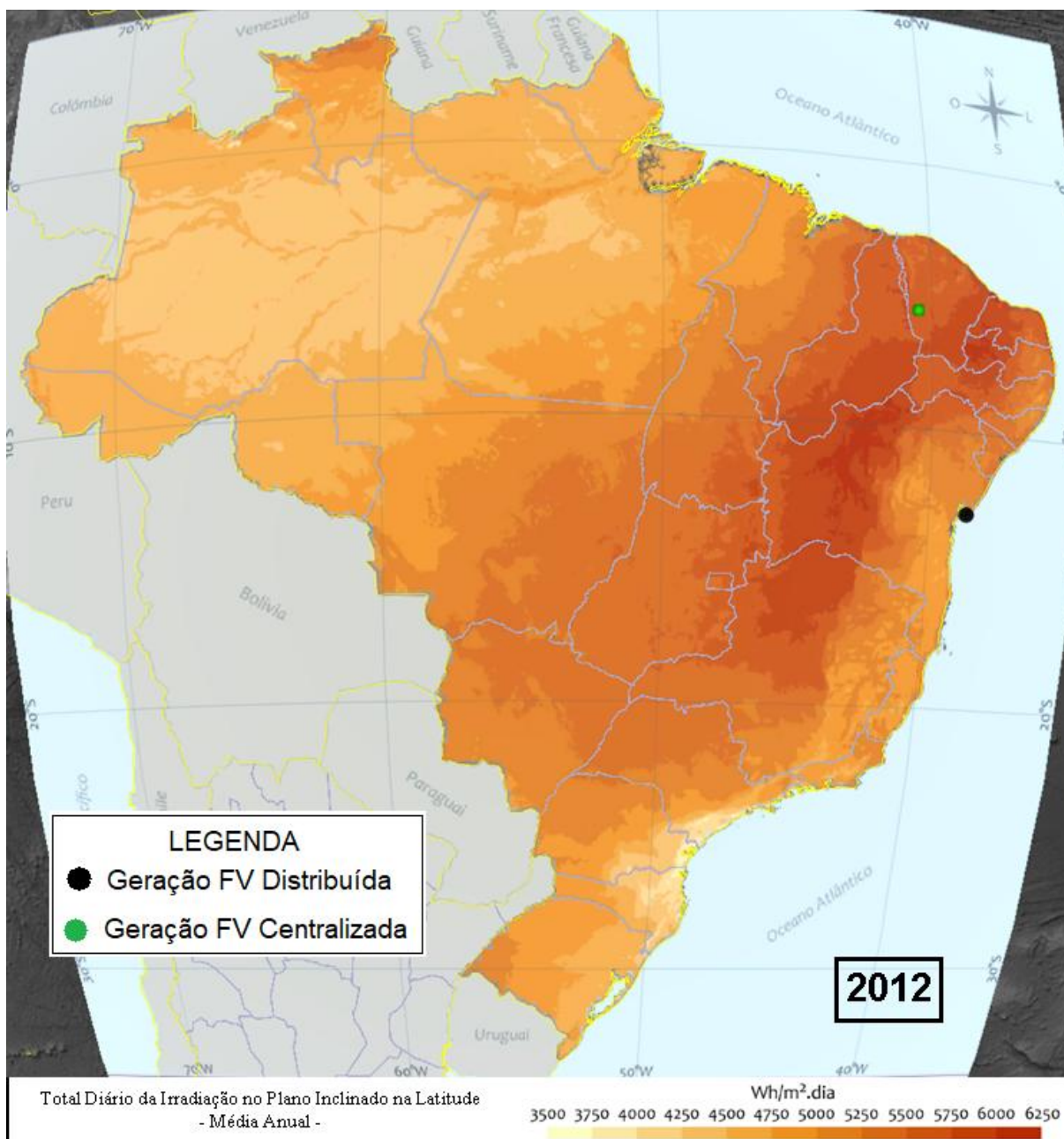


Figura 29 – Mapeamento dos SFV de Geração Distribuída e Centralizada existentes no ano de 2012 no Brasil.

Fonte: Compilação de dados do autor com base na referência ANEEL (2019a) e (2019b). Mapa de fundo de (PEREIRA *et al.*, 2017).

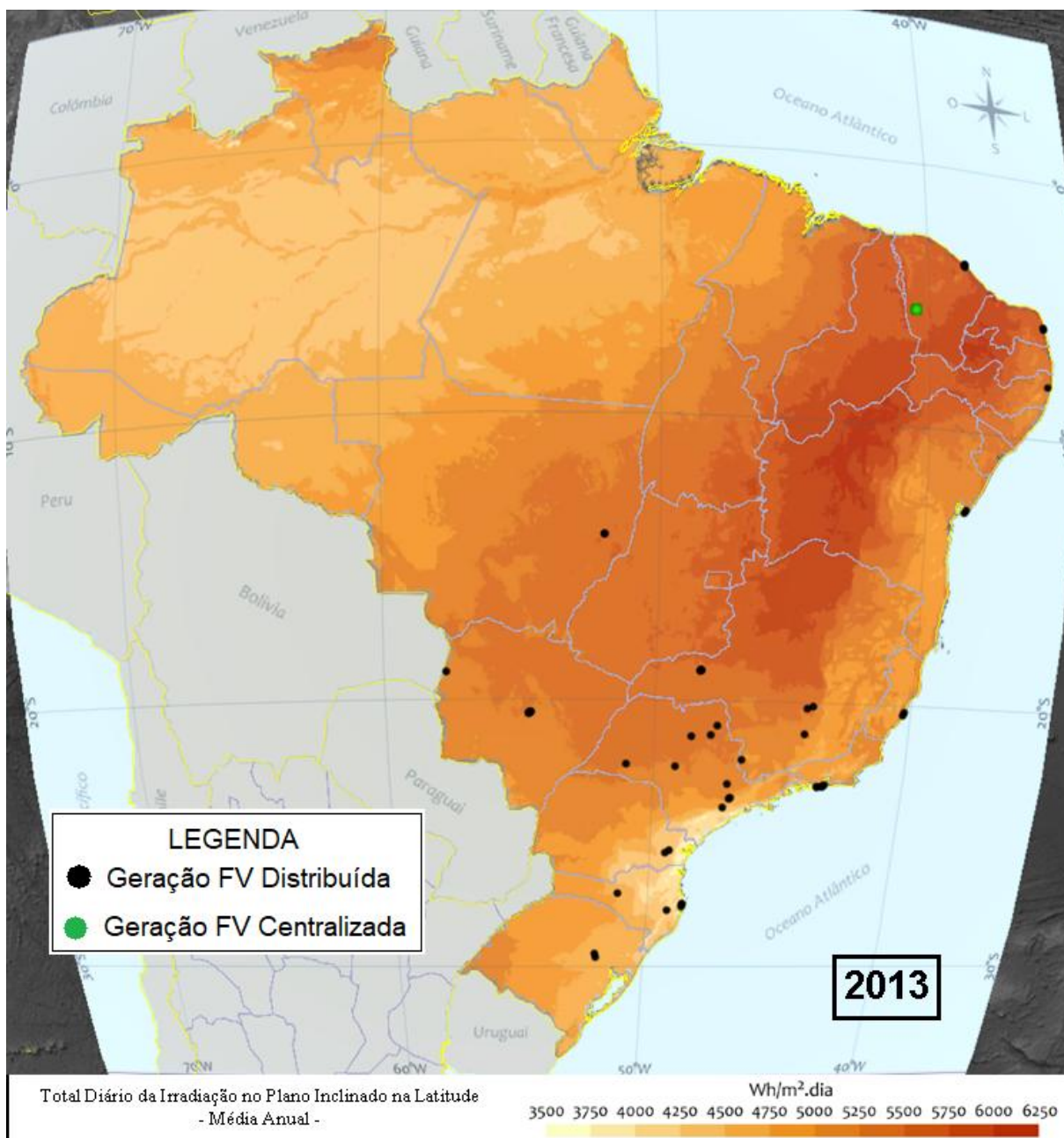


Figura 30 – Mapeamento dos SFV de Geração Distribuída e Centralizada existentes no ano de 2013 no Brasil.

Fonte: Compilação de dados do autor com base na referência ANEEL (2019a) e (2019b). Mapa de fundo de (PEREIRA *et al.*, 2017).

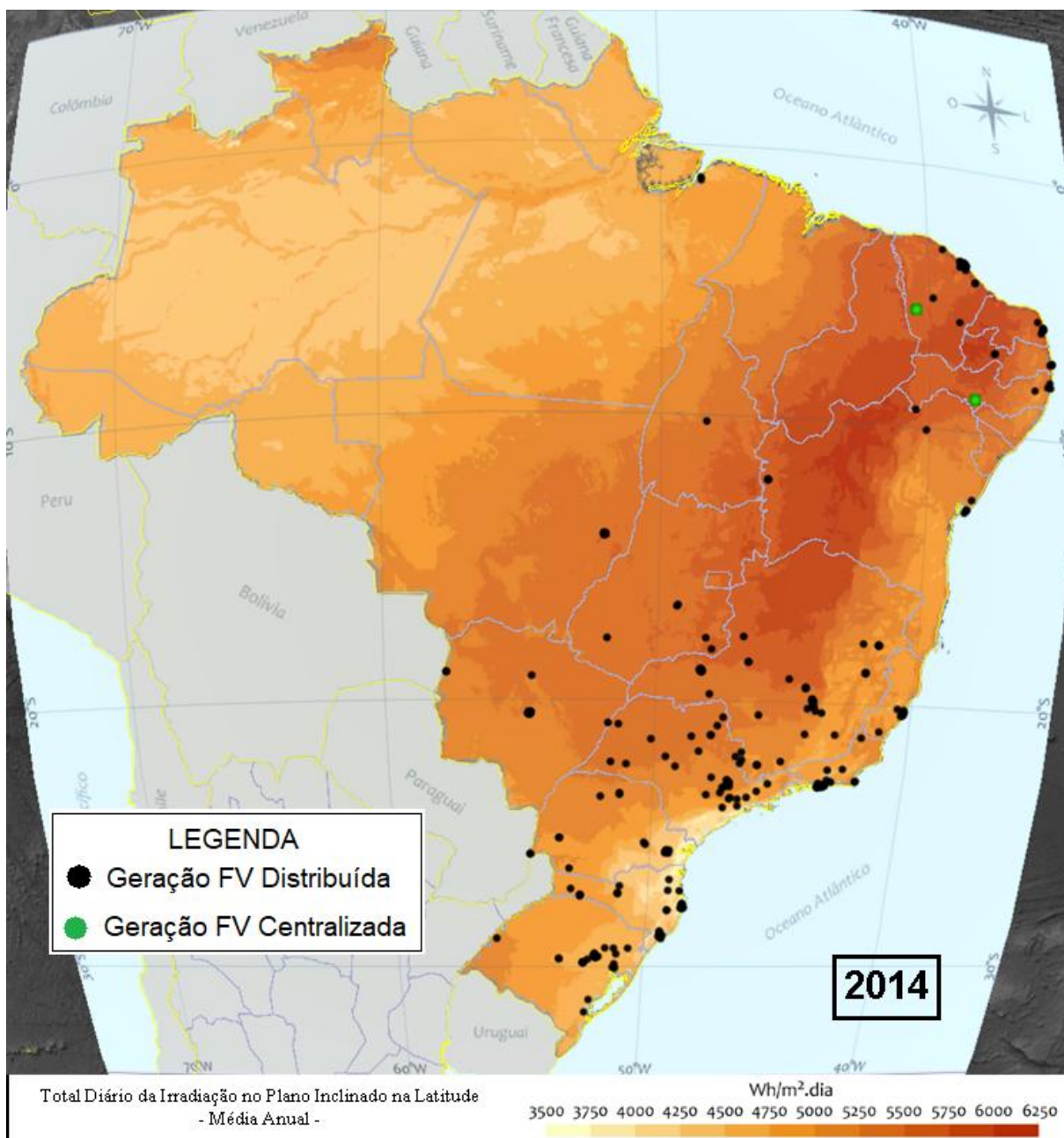


Figura 31 – Mapeamento dos SFV de Geração Distribuída e Centralizada existentes no ano de 2014 no Brasil.

Fonte: Compilação de dados do autor com base na referência ANEEL (2019a) e (2019b). Mapa de fundo de (PEREIRA *et al.*, 2017).

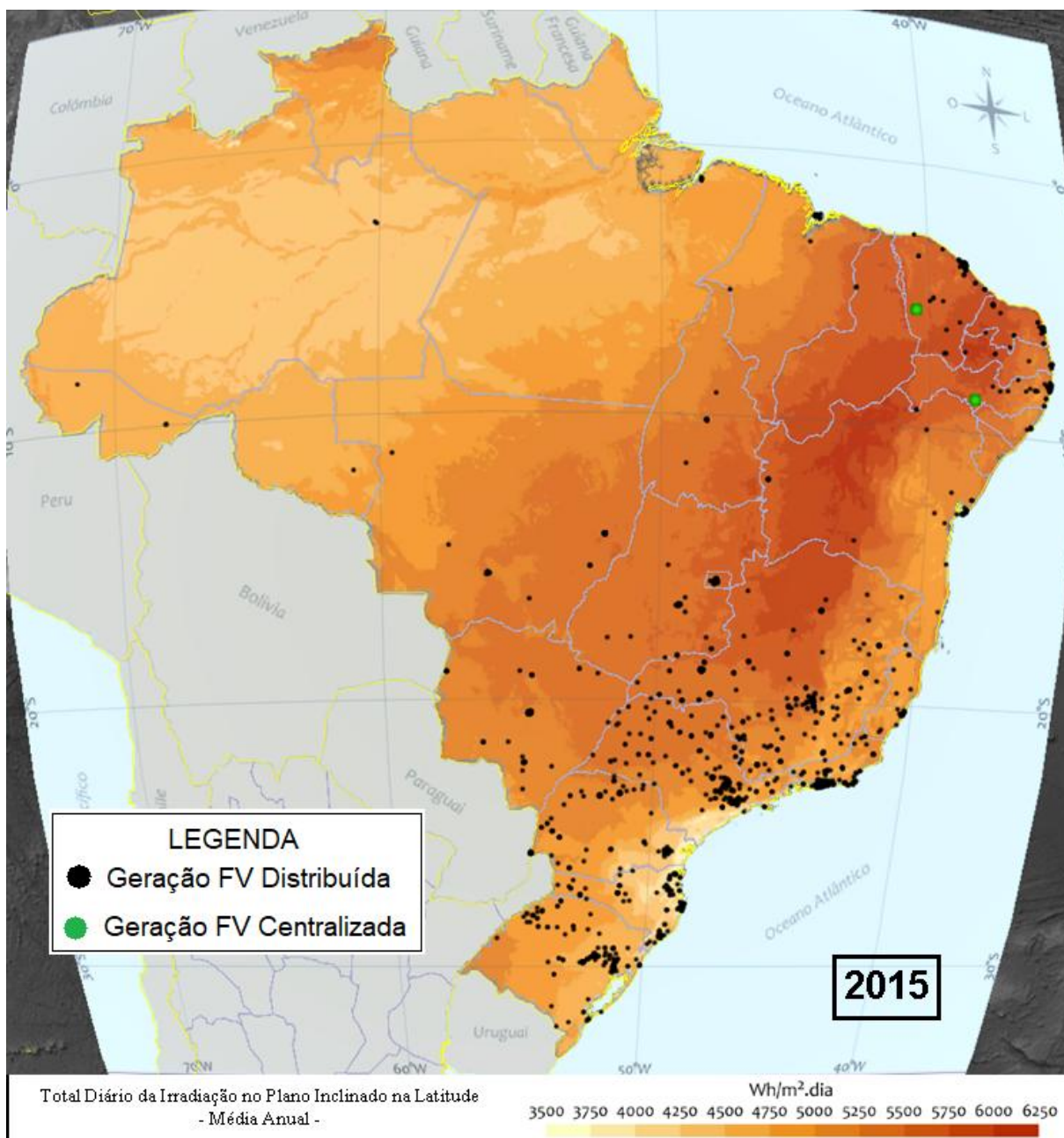


Figura 32 – Mapeamento dos SFV de Geração Distribuída e Centralizada existentes no ano de 2015 no Brasil.

Fonte: Compilação de dados do autor com base na referência ANEEL (2019a) e (2019b). Mapa de fundo de (PEREIRA *et al.*, 2017).

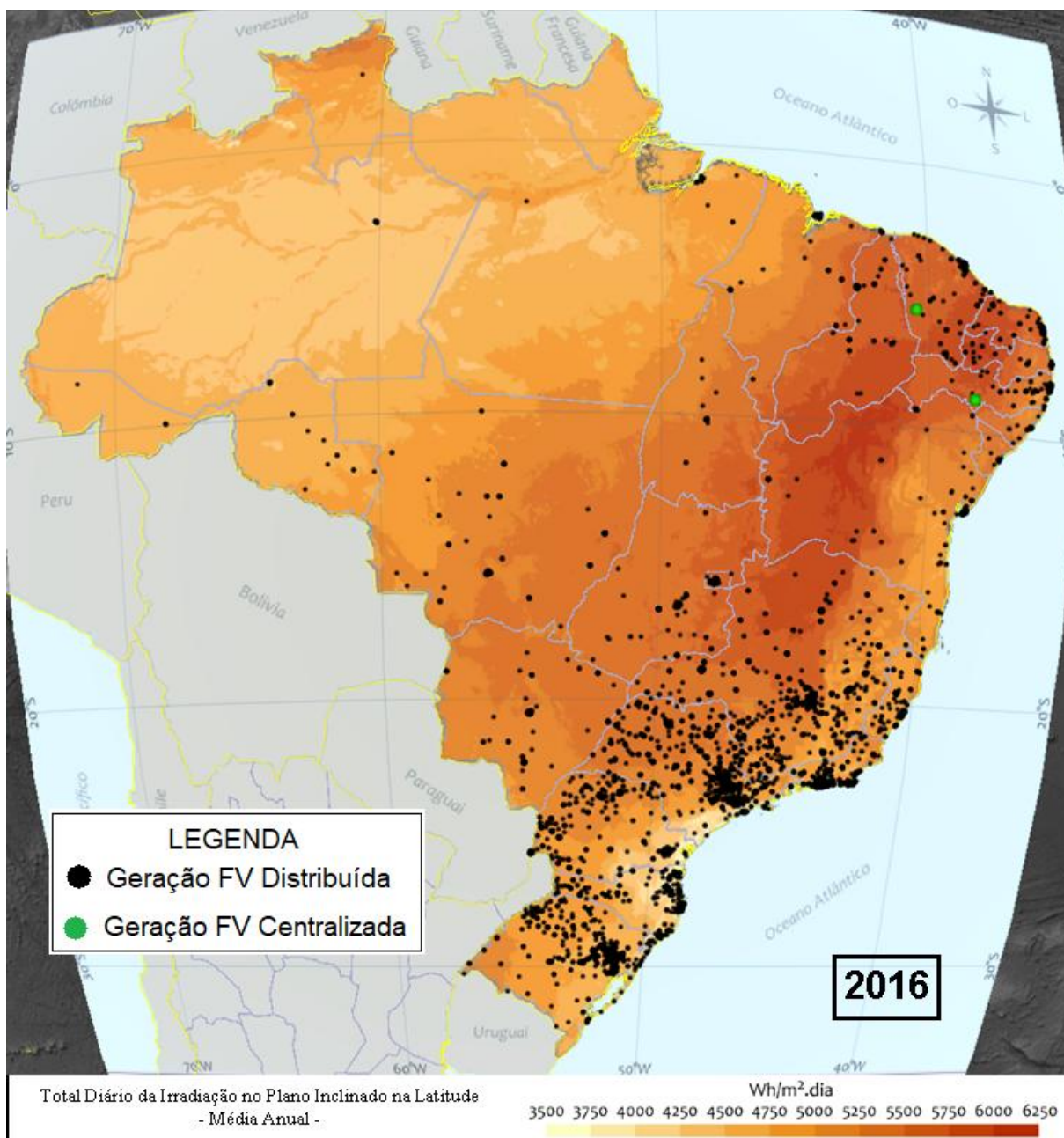


Figura 33 – Mapeamento dos SFV de Geração Distribuída e Centralizada existentes no ano de 2016 no Brasil.

Fonte: Compilação de dados do autor com base na referência ANEEL (2019a) e (2019b). Mapa de fundo de (PEREIRA *et al.*, 2017).

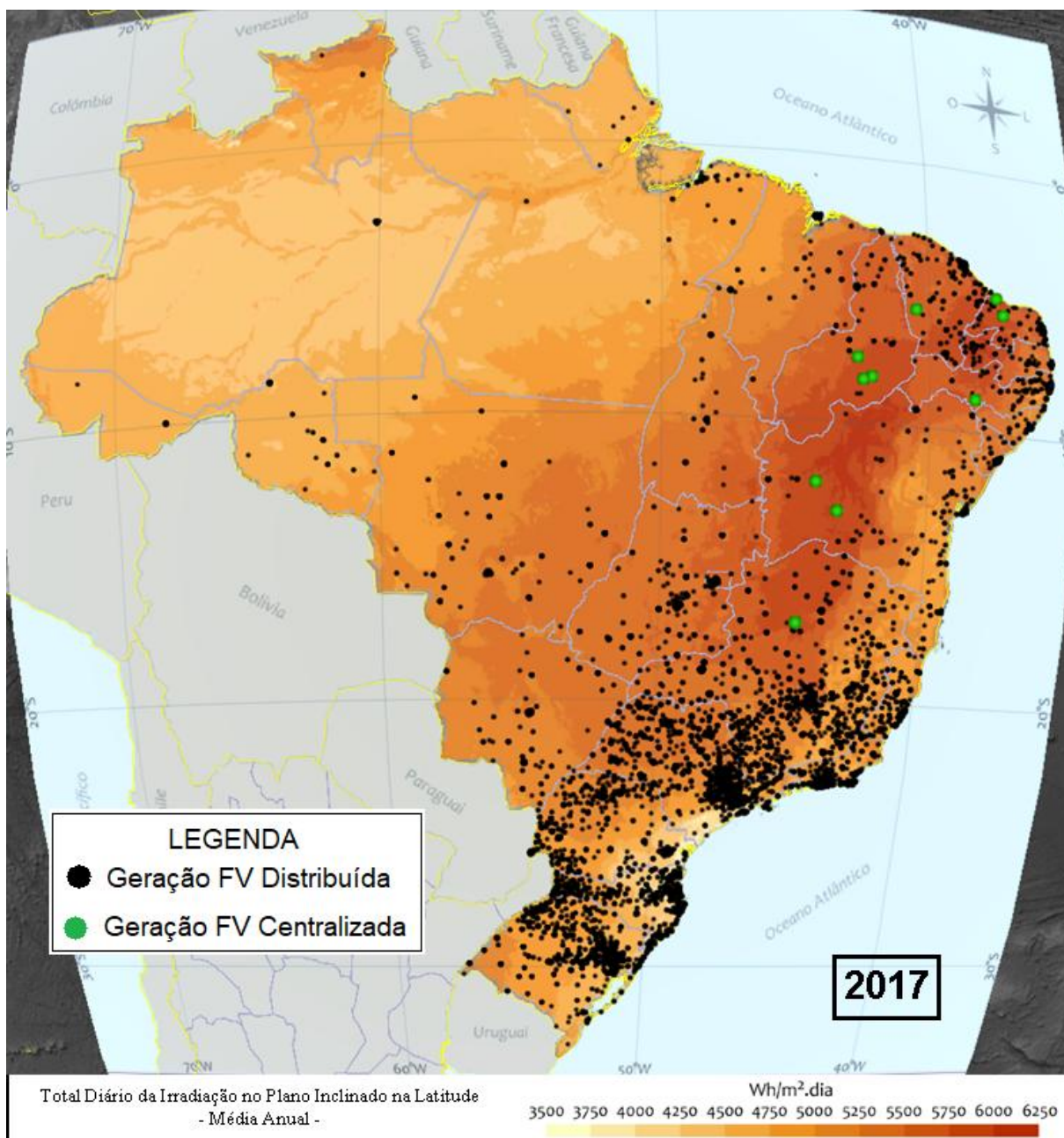


Figura 34 – Mapeamento dos SFV de Geração Distribuída e Centralizada existentes no ano de 2017 no Brasil.

Fonte: Compilação de dados do autor com base na referência ANEEL (2019a) e (2019b). Mapa de fundo de (PEREIRA *et al.*, 2017).

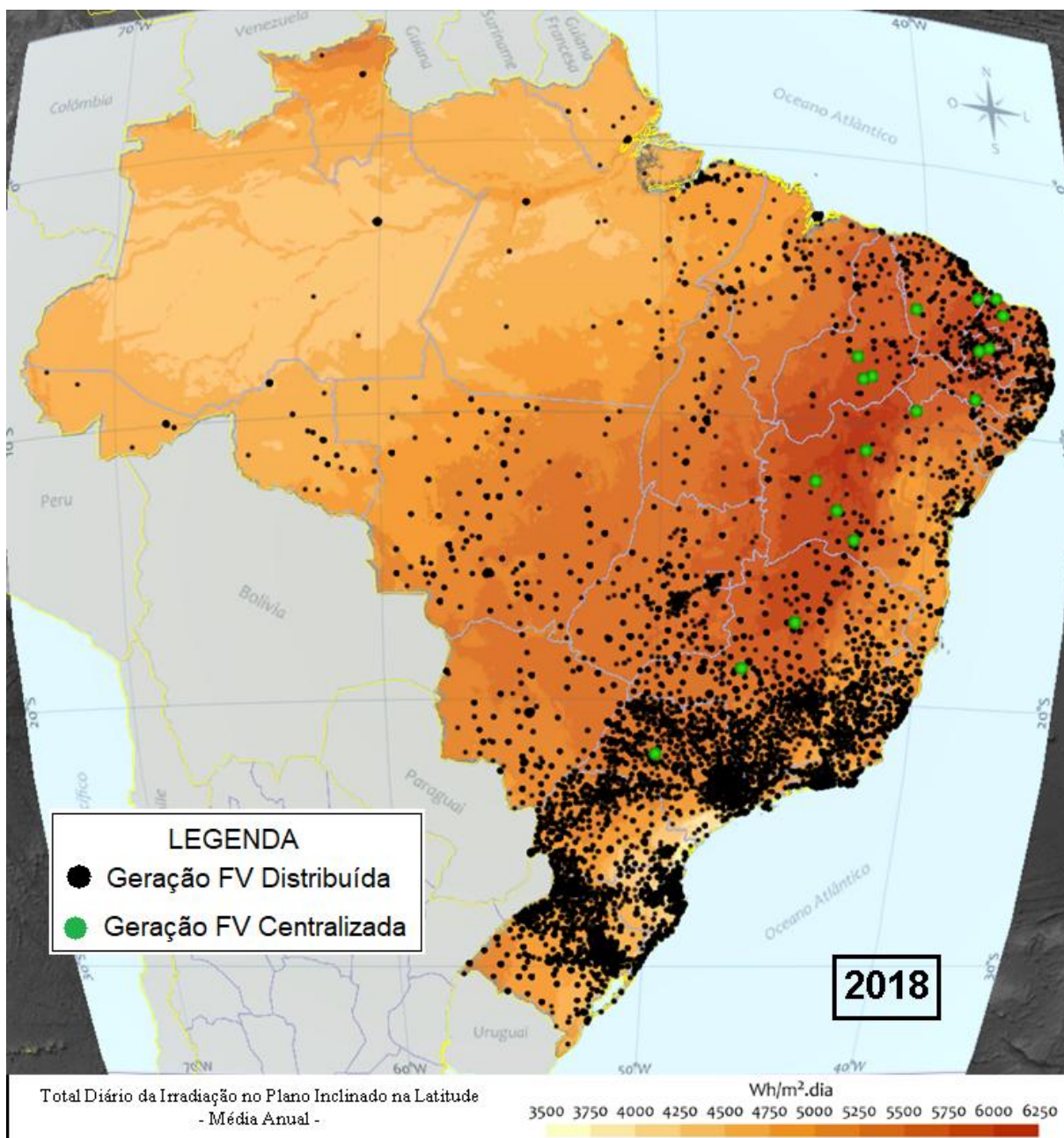


Figura 35 – Mapeamento dos SFV de Geração Distribuída e Centralizada existentes no ano de 2018 no Brasil.

Fonte: Compilação de dados do autor com base na referência ANEEL (2019a) e (2019b). Mapa de fundo de (PEREIRA *et al.*, 2017).

APÊNDICE B

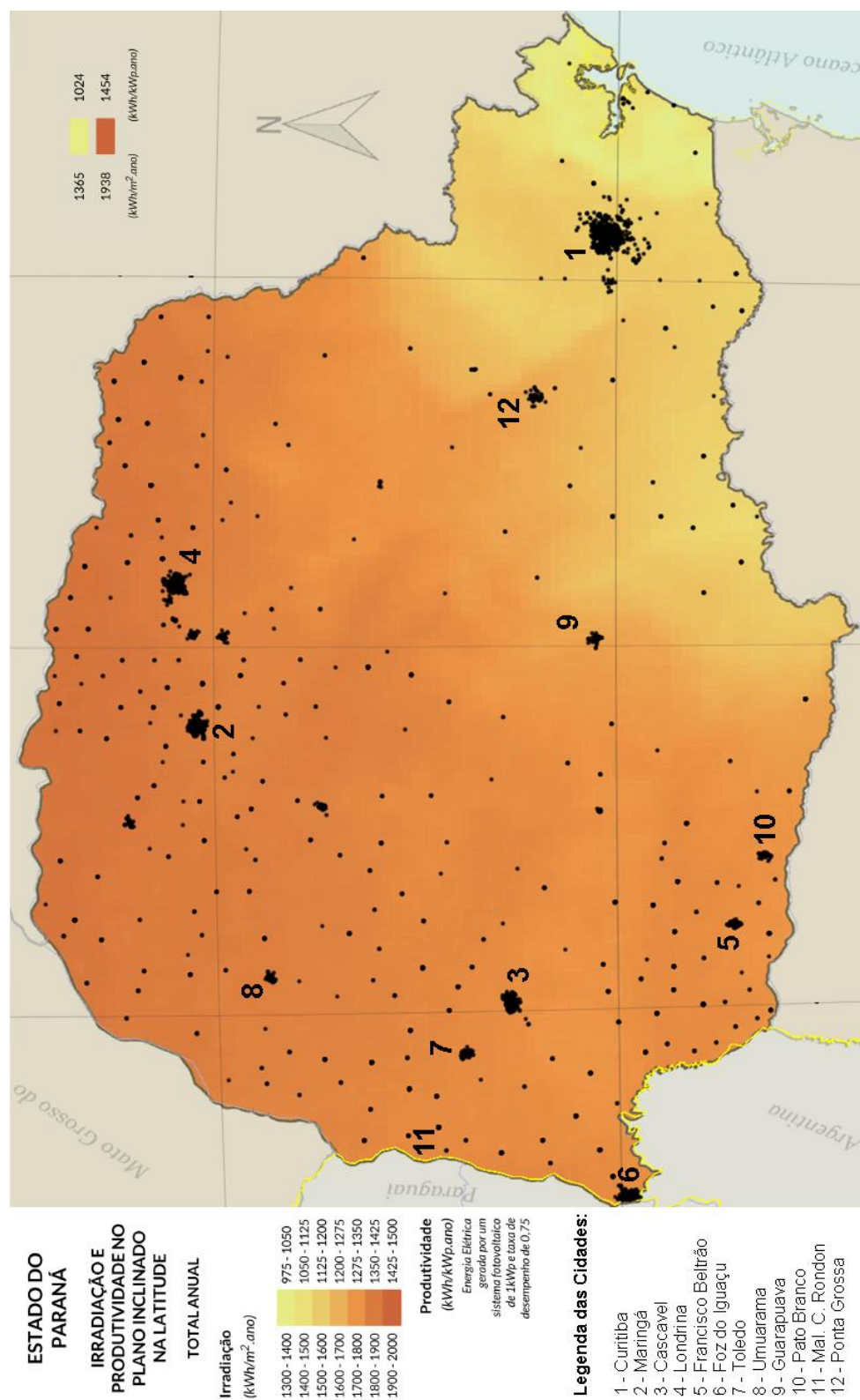


Figura 36 – Mapeamento dos SFVCR de Micro e Minigeração distribuída do Estado do Paraná.

Fonte: Compilação de dados do autor com base na referência ANEEL (2019a). Mapa de fundo de (Tiepolo et al., 2017).

APÊNDICE C

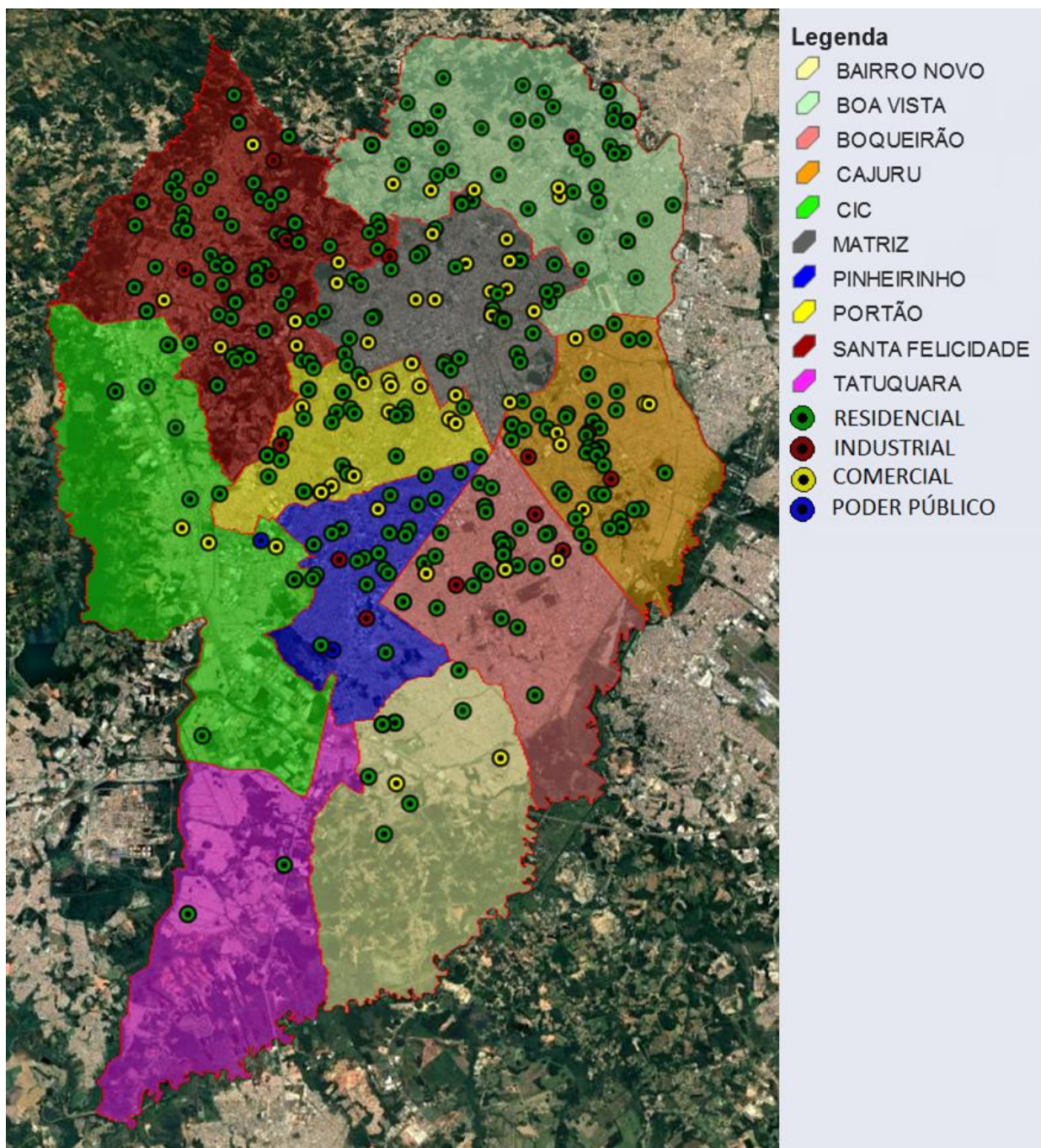


Figura 37 – Mapeamento dos SFV na Cidade de Curitiba – Por Classe.

Fonte: Compilação de dados do autor com base na referência ANEEL (2019a). Imagem de Satélite de (GOOGLE, 2017). Dados Cartográficos das Regionais de (IPPUC, 2017).

APÊNDICE D

Tabela 24 – Quantidade e Potência de SFVCR Residenciais nas Unidades Federativas brasileiras.

Fonte: Compilação de dados do autor com base na referência ANEEL (2019a).

Unidade Federativa	Quantidade de SFVCR residenciais			Potência de SFVCR residenciais		
	Quant.	%	Posição	kW	%	Posição
São Paulo	8.158	20,64%	1	34.952,94	18,10%	1
Minas Gerais	6.812	17,24%	2	31.811,89	16,47%	2
Rio Grande do Sul	4.917	12,44%	3	25.615,61	13,26%	3
Santa Catarina	3.290	8,33%	4	14.073,47	7,29%	4
Rio de Janeiro	2.739	6,93%	5	13.085,61	6,78%	5
Paraná	2.551	6,46%	6	11.167,15	5,78%	6
Goiás	1.627	4,12%	7	5.795,64	3,00%	8
Mato Grosso	1.074	2,72%	8	7.815,34	4,05%	7
Espírito Santo	1.027	2,60%	9	3.903,19	2,02%	13
Ceará	964	2,44%	10	5.553,76	2,88%	9
Bahia	884	2,24%	11	4.689,83	2,43%	10
Mato Grosso do Sul	843	2,13%	12	4.236,44	2,19%	11
Distrito Federal	629	1,59%	13	3.673,74	1,90%	14
Pernambuco	621	1,57%	14	4.070,01	2,11%	12
Rio Grande do Norte	576	1,46%	15	3.588,71	1,86%	15
Tocantins	492	1,25%	16	3.198,55	1,66%	16
Paraíba	479	1,21%	17	3.177,13	1,65%	17
Pará	446	1,13%	18	2.855,55	1,48%	19
Maranhão	409	1,03%	19	3.017,33	1,56%	18
Piauí	284	0,72%	20	2.173,42	1,13%	20
Sergipe	277	0,70%	21	1.571,58	0,81%	21
Alagoas	211	0,53%	22	1.285,50	0,67%	22
Rondônia	71	0,18%	23	773,11	0,40%	23
Amazonas	63	0,16%	24	524,02	0,27%	24
Amapá	38	0,10%	25	210,24	0,11%	25
Acre	28	0,07%	26	177,03	0,09%	26
Roraima	7	0,02%	27	125,57	0,07%	27
Total - Brasil	39.517	100,00%	-----	193.122,36	100,00%	-----

Tabela 25 – Quantidade e Potência de SFVCR Residenciais nos municípios do Paraná.**Fonte: Compilação de dados do autor com base na referência ANEEL (2019a).**

Município	Quantidade de SFVCR residenciais			Potência de SFVCR residenciais		
	Quant.	%	Posição ¹	kW	%	Posição ¹
Curitiba	304	11,92%	1	1.128,21	10,10%	1
Londrina	172	6,74%	2	825,16	7,39%	2
Maringá	164	6,43%	3	737,14	6,60%	4
Foz do Iguaçu	161	6,31%	4	769,11	6,89%	3
Cascavel	158	6,19%	5	720,10	6,45%	5
Francisco Beltrão	79	3,10%	6	305,94	2,74%	7
Toledo	73	2,86%	7	330,31	2,96%	6
Umuarama	56	2,20%	8	305,45	2,74%	8
Mal. Cândido Rondon	47	1,84%	9	193,76	1,74%	9
Ponta Grossa	46	1,80%	10	166,00	1,49%	11
Pato Branco	36	1,41%	11	165,41	1,48%	12
Guarapuava	34	1,33%	12	176,33	1,58%	10
Demais Municípios	1.221	47,86%	-----	5.344,23	47,86%	-----
Total - Paraná	2.551	100,00%	-----	11.167,15	100,00%	-----

Obs.: Municípios com mais de 50 SFV (todas as classes) instalados, independente da potência instalada.

¹ Posição em relação aos dose municípios citados na tabela.

Tabela 26 – Quantidade e Potência de SFVCR Residenciais nas Regionais de Curitiba.**Fonte: Compilação de dados do autor com base na referência ANEEL (2019a).**

Regional de Curitiba	Quantidade de SFVCR residenciais			Potência de SFVCR residenciais		
	Quant.	%	Posição	kW	%	Posição
Santa Felicidade	80	26,32%	1	311,45	27,61%	1
Boa Vista	55	18,09%	2	221,62	19,64%	2
Cajuru	43	14,14%	3	132,63	11,76%	4
Boqueirão	30	9,87%	4	103,09	9,14%	5
Portão	29	9,54%	5	158,95	14,09%	3
Matriz	29	9,54%	5	88,62	7,85%	6
Pinheirinho	21	6,91%	7	59,06	5,23%	7
Bairro Novo	8	2,63%	8	29,15	2,58%	8
CIC	7	2,30%	9	18,58	1,65%	9
Tatuquara	2	0,66%	10	5,06	0,45%	10
Total - Curitiba	304	100,00%	-----	1.128,21	100,00%	-----

ANEXO A

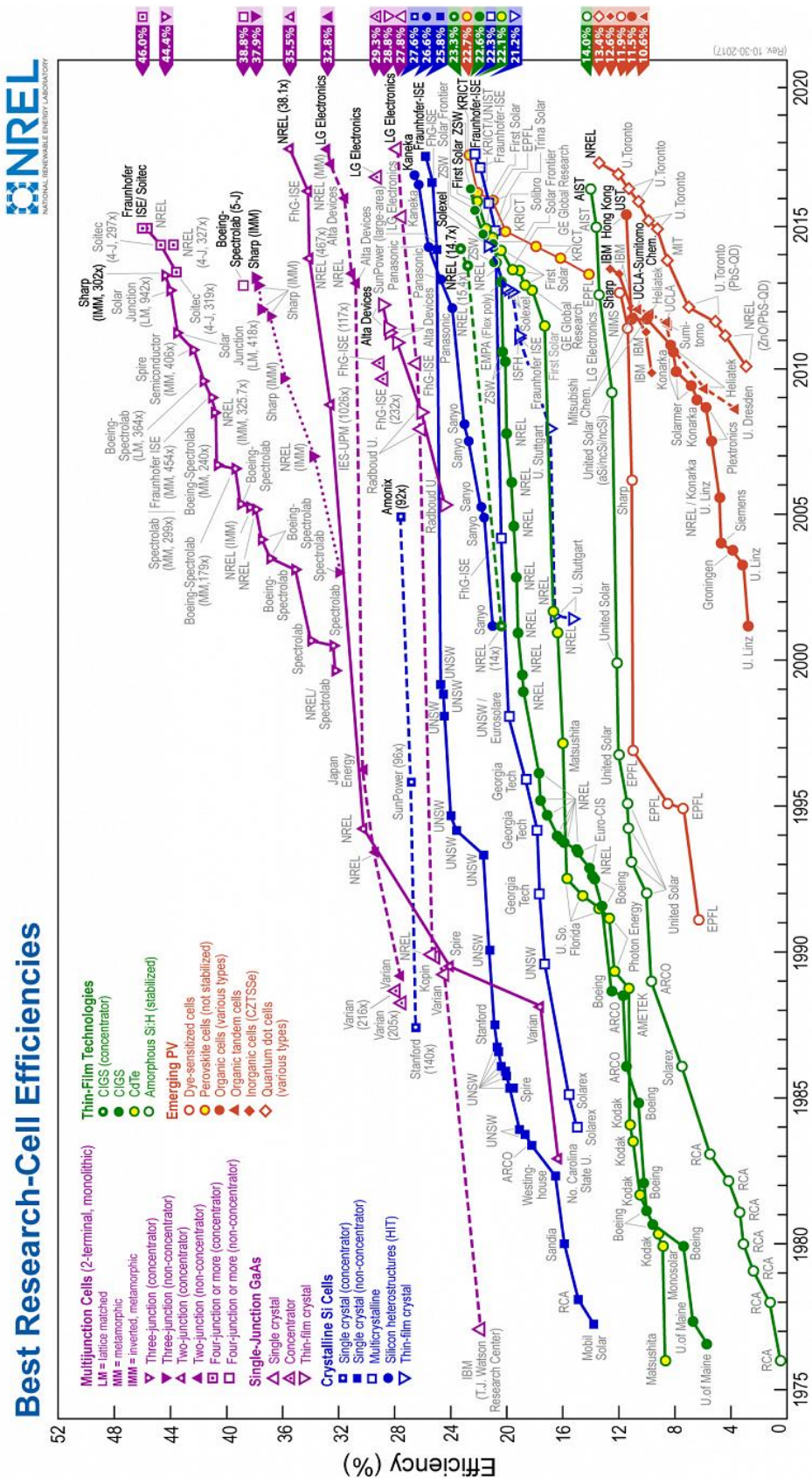


Figura 38 – Evolução da Eficiência das Diferentes Tecnologias FV.

Fonte: NREL (2017).

ANEXO B

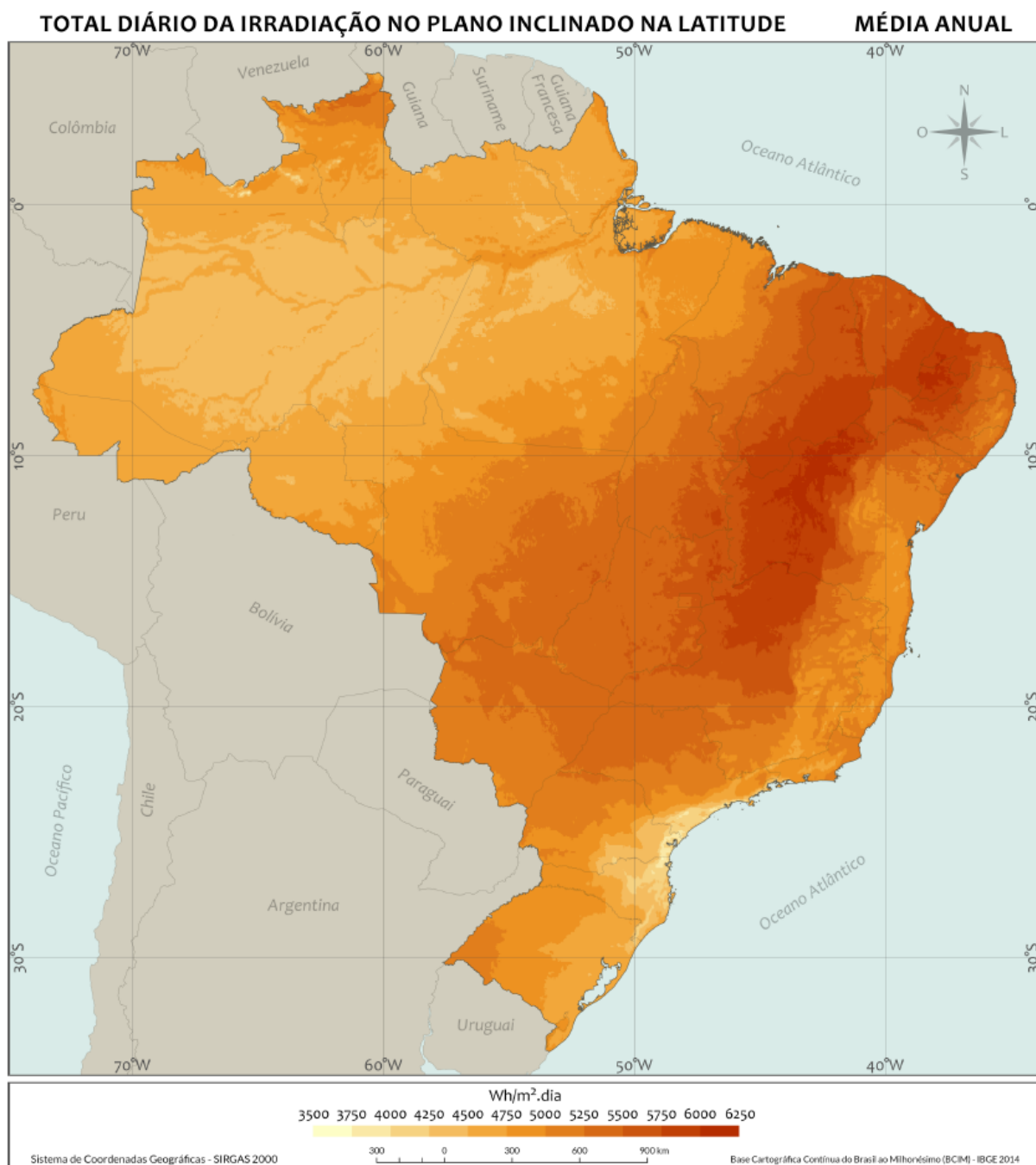


Figura 39 – Média Anual da Irradiação Total Diária no Plano Inclinado na Latitude no Brasil.

Fonte: PEREIRA et al. (2017).

ANEXO C

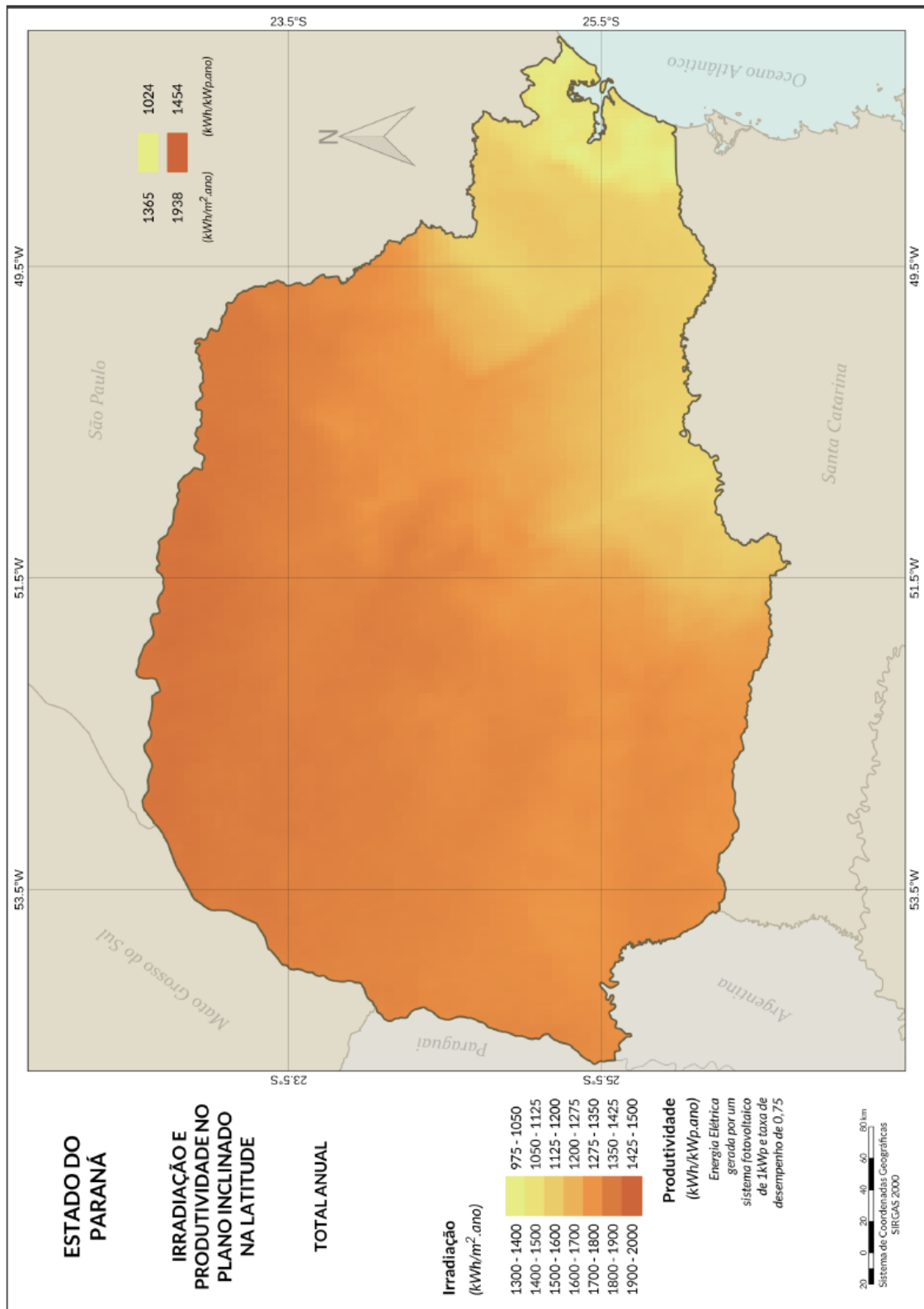


Figura 40 – Total Anual da Irradiação e Produtividade no Plano Inclinado na Latitude no Paraná.

Fonte: Tiepolo *et al.* (2017).

ANEXO D

USINAS em Operação							
CEG	Usina	Data Operação	Potência Outorgada (kW)	Potência Fiscalizada (kW)	Destino da Energia	Proprietário	Município
UFV.RS.RO.028222-7.01	Araras - RO	05-06-2001	20,48	20,48	REG	100% para Fundação de Amparo à Pesquisa e Extensão Universitária	Nova Mamoré - RO
UFV.RS.CE.030060-8.01	Tauá	01-07-2011	5.000	5.000	REG	100% para TAUÁ GERACAO DE ENERGIA LTDA.	Tauá - CE
UFV.RS.SP.030345-3.01	IEE	15-06-2001	12,26	12,26	REG	não identificado	São Paulo - SP
UFV.RS.SP.030346-1.01	UFV IEE/Estacionamento	15-06-2001	3	3	REG	não identificado	São Paulo - SP
UFV.RS.SP.030442-5.01	PV Beta Test Site	-	1,70	1,70	REG	100% para DuPont do Brasil S.A	Barueri - SP
UFV.RS.BA.030730-0.01	Pituaçu Solar	-	404,80	404,80	REG	100% para Superintendência dos Desportos do Estado da Bahia	Salvador - BA
UFV.RS.SP.030977-0.01	Tanquinho	-	1.082	1.082	REG	100% para SPE CPFL SOLAR 1 ENERGIA S.A.	Campinas - SP
UFV.RS.SC.030978-8.01	Silva Neto I	10-10-2012	1,70	1,70	REG	100% para João Bento da Silva Neto	Florianópolis - SC
UFV.RS.SP.031066-2.01	Solaris	-	1,04	1,04	REG	100% para Solaris Tecnologia Fotovoltaica Indústria Comercio e Serviço Ltda. - EPP	Leme - SP

Figura 41 – Exemplo das Informações Contidas no BIG.

Fonte: ANNEL, 2019b.

ANEXO E

Distribuidora	Código da GD	Titular da UC	Classe	Subgrupo	Modalidade	Qtd UCs recebem os créditos				UF	CEP	Data Conexão	Fonte	Potência Instalada (kW)	Qtd Módulos	Qtd Inversores	Área Arranjo
						1	1	1	1								
AMPLA ENERGIA E SERVIÇOS S.A.	GD.RJ.000.012.841	JORGE FERNANDES VILLAS BOAS	Residencial	B3	Geracao na propria UC	1	Guapimirim	RJ	25940-000	27/07/2017	Radiação solar	4,20	16	1	25,74		
COMPANHIA DE ELETRICIDADE DO ESTADO DA BAHIA	GD.BA.000.011.132	JORGE FERNANDO GARRIDO SALES	Residencial	B1	Geracao na propria UC	1	Salvador	BA	40440-430	29/05/2017	Radiação solar	3,00	12	1	21		
Companhia Energética do Maranhão	GD.MA.000.036.150	JORGE FERNANDO GONDIM SILVA	Residencial	B1	Geracao na propria UC	1	São Luis	MA	65075-040	02/07/2018	Radiação solar	4,60	18	1	34,68		
ELETROPAULO METROPOLITANA ELETRICIDADE DE SÃO PAULO S.A.	GD.SP.000.019.718	JORGE FERNANDO KOURY LOPES	Residencial	B1	Geracao na propria UC	1	São Paulo	SP	01435-020	14/12/2017	Radiação solar	8,20	34	1	54,4		
COOPERATIVA DE ELETRIFICAÇÃO RURAL CACHOERAS ITABORÁI LTDA	GD.RJ.000.054.129	Jorge Ferreira das Chagas	Residencial	B1	Geracao na propria UC	1	Cachoeiras de Macacu	RJ	28695-000	05/07/2018	Radiação solar	3,00	12	1	20		
CENTRAIS ELÉTRICAS DO PARÁ S.A. - CELPA	GD.PA.000.020.130	JORGE FERREIRA DE ARAUJO	Residencial	B1	Geracao na propria UC	1	Curuçá	PA	68755-000	01/12/2017	Radiação solar	3,00	18	1	38		
LIGHT SERVICOS DE ELETRICIDADE S A	GD.RJ.000.001.384	Jorge Ferreira de Souza	Residencial	B1	Geracao na propria UC	1	Rio de Janeiro	RJ	22511-130	04/07/2016	Radiação solar	8,20	26	1	52		
ENERGISA TOCANTINS DISTRIBUIDORA DE ENERGIA S.A.	GD.TO.000.036.338	Jorge Frederico	Residencial	B1	Geracao compartilhada	2	Araguaina	TO	77820-000	20/11/2017	Radiação solar	15,75	50	1	95,94		

Figura 42 – Exemplo das Informações Contidas no Banco de Dados de Unidades Consumidoras com Micro e Minigeração Distribuída.

Fonte: ANNEL, 2019a.