



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA.
CENTRO TECNOLÓGICO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

ANDRIGO FILIPPO GONÇALVES ANTONIOLLI

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE GERADORES SOLARES
FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE ELÉTRICA NO BRASIL**

Florianópolis, 2015

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA.
CENTRO TECNOLÓGICO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

ANDRIGO FILIPPO GONÇALVES ANTONIOLLI

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE GERADORES SOLARES
FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE ELÉTRICA NO BRASIL**

Dissertação submetida ao
Programa de Pós-graduação em
Engenharia Civil da Universidade
Federal de Santa Catarina para a
obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Civil. Área de
concentração: Construção Civil.
Orientador: Prof. Ricardo Rüther,
PhD.

Florianópolis, 2015

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

ANTONIOLLI, ANDRIGO FILIPPO GONÇALVES
AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE GERADORES SOLARES
FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE ELÉTRICA NO BRASIL / ANDRIGO
FILIPPO GONÇALVES ANTONIOLLI ; orientador, Ricardo Rüther -
Florianópolis, SC, 2015.
153 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Civil.

Inclui referências

1. Engenharia Civil. 2. SFVCR. 3. Potência Instalada.
4. performance de sistemas. 5. bancos de dados de
irradiação. I. Rüther, Ricardo . II. Universidade Federal de
Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia
Civil. III. Título.

AGRADECIMENTOS

A todos que de alguma forma participaram do desenvolvimento deste trabalho;

Aos meus familiares, por todo apoio e incentivo, além do auxílio financeiro para me manter nos estudos;

Ao Prof. Ricardo Rüther, pela orientação como profissional e pesquisador, prestando todo apoio desde a época do trabalho de conclusão de curso da engenharia civil.

Ao André Nobre, pelo companheirismo e coorientação durante a dissertação, rendendo um artigo em conferência internacional.

Aos meus colegas de trabalho do LabEEE e do Grupo FOTOVOLTAICA-UFSC, especialmente ao Alexandre, pelo incentivo e troca de informações de um pesquisador mais experiente. À Clarissa, com quem diariamente trabalhei em projetos que ajudaram no amadurecimento deste trabalho. Ao Rafael, pelo apoio durante todo o processo de organizações de tabelas no Excel. Ao Karran, pelo suporte no desenvolvimento da plataforma online.

À Nádia, pela compreensão, paciência e apoio durante os momentos mais difíceis.

Aos meus amigos e sócios da WAZ Engenharia, pela compreensão nos períodos em que tive que me dedicar integralmente à dissertação e aos projetos de P&D.

Ao meu grande amigo Franciel, pelo companheirismo amizade de longos anos, paciência, apoio, incentivo para continuar me atualizando a novas tecnologias e por ser “meu espelho” durante os ensaios para as apresentações de qualificação e defesa da dissertação.

Ao CNPq, que financiou minha bolsa de mestrado. À Tractebel Energia, pelos projetos de P&D nos quais atuei durante o período de mestrado.

E, finalmente, a Deus, por sempre iluminar o meu caminho nos momentos que mais precisei.

“Para nós os grandes homens não são aqueles que resolveram os problemas, mas aqueles que os descobriram”. (Albert Schweitzer)

RESUMO

Este trabalho avalia a situação de sistemas FV conectados à rede (SFVCR) no país e também o desempenho de uma amostra de dez desses sistemas, analisando dados de irradiação solar e geração FV. Para cada sistema, é estudada a taxa de desempenho (PR, de *performanceratio*), comparando valores de irradiação solar obtidos através de cinco diferentes bancos de dados com os valores obtidos de medições (através de piranômetros ou células de referência) *in loco* ou próximas ao SFVCR analisado. Através dos resultados, foram calculados os valores das diferenças existentes entre bancos de dados de irradiação e a variabilidade interanual dos valores medidos. Através dos dados de geração, é feito o cálculo de produtividade energética (*yield*) de cada sistema e comparado o desempenho interanual (2012-2013), além de simular a geração FV com diferentes bancos de dados de irradiação e confrontar com valores reais de energia gerada por cada SFVCR. Por fim, pretende-se, demonstrar a importância do estudo de irradiação solar para as diferentes situações de empreendimentos solares FV, tanto em micro e minigeração de energia quanto em grandes usinas.

Palavra-chave: SFVCR, Potência Instalada, performance de sistemas, bancos de dados de irradiação.

ABSTRACT

This study evaluates the current state of Brazilian grid-connected photovoltaic (PV) systems (Portuguese acronym: SFVCR), and also assesses the performance of a sample of ten of these systems by analyzing collected solar irradiance and PV generation data. For each system, the performance ratio (PR) was studied, by comparing solar irradiance values obtained from five different databases with values obtained from measurements taken at or near the system site by pyranometers or reference cells. The differences between measured insolation and the irradiation databases were calculated, as was the interannual variability of the measured values. The insolation measurements, together with the power generation data, allowed the systems' energy yields to be compared year over year (2012 to 2013), as well as to the predictions obtained by simulating PV generation with irradiation data from the databases. The results further demonstrate the importance of careful solar irradiation studies in the planning of PV projects ranging from micro- and mini-generation to large power plants.

Keywords: PV System, Solar PV Potential, System Performance, Irradiation Databases

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Diagrama simbólico dos processos de interação da radiação solar com a atmosfera terrestre.	28
Figura 2.2 - Órbita da Terra em torno do Sol, com seu eixo N-S inclinado de um ângulo de 23,5°.	29
Figura 2.3 - Variação da posição do sol com as estações do ano.....	30
Figura 2.4 - Espectro Solar.....	31
Figura 2.5 - Irradiação solar global horizontal, em valores médios anuais para os totais diários (kWh/m ² /dia).....	32
Figura 2.6 - Média anual da variabilidade dos totais diários de irradiação global horizontal.	33
Figura 2.7 - Irradiação solar incidente sobre plano com inclinação igual à latitude local, e voltado para o norte. Valores médios anuais para os totais diários (kWh/m ² /dia).....	34
Figura 2.8 - Sistema solar fotovoltaico isolado puro.....	41
Figura 2.9 - Sistema híbrido.....	42
Figura 2.10 - Sistema solar fotovoltaico conectado à rede (SFVCR).	43
Figura 2.11 - Face frontal de uma célula FV de silício monocristalino. .	44
Figura 2.12 - Face frontal de uma célula FV de silício multicristalino. ...	44
Figura 2.13 - Face frontal de um módulo FV de filme fino de silício amorfo.....	45
Figura 2.14 - Filme fino sobre um substrato flexível.	45
Figura 2.15 - Potência FV instalada acumulada no mundo no final de 2012 e no final de 2013, e a participação percentual de cada região do mundo.	49
Figura 2.16 - Parcela da capacidade FV instalada em 2012 e em 2013 referente as diversas regiões do mundo.....	50
Figura 2.17 - Histórico de ano a ano da potência instalada na Europa X Américas X Total no mundo.	51
Figura 2.18 - Mercado mundial, potência total acumulada e potência total instalada.....	52
Figura 3.1 - Estados brasileiros onde estão situados os dez SFVCR analisados neste trabalho.	55
Figura 3.2- SFVCR FLN 1: primeiro sistema BAPVdo Brasil (operando desde 1997).....	57
Figura 3.3 - SFVCR FLN 2: espaço de estar solar localizado no Hospital Universitário do campus da UFSC.	58

Figura 3.4 - SFVCR FLN-3: integrado à cobertura do prédio de cargas da INFRAERO no aeroporto de Florianópolis.....	59
Figura 3.5 - Distribuição dos subsistemas da planta piloto. Sistema estudado em vermelho.....	60
Figura 3.6 - SFVCR FLN-4: planta piloto do Projeto MegaWatt Solar. ..	61
Figura 3.7 - BHO-1: SFVR residencial em Belo Horizonte - MG.....	62
Figura 3.8 - SFVCR SAL-1: sistema integrado ao estádio Pituaçu, em Salvador - BA.....	63
Figura 3.9 - Horário que o SFVCR SBC-1 tem sombreamento para cada uma das quatro estações do ano.....	64
Figura 3.10 - SFVCR SBC 1: Carport solar na empresa MotorZ.	65
Figura 3.11 - SFVCR MAC 1: sistema integrado às instalações da UTE Norte Fluminense.....	66
Figura 3.12 - SFVCR CUR-1: sistema integrado à edificação do projeto Escritório Verde da UTFPR.	67
Figura 3.13 - SFVCR BEL-1: sistema BAPV em uma edificação comercial, destacado em vermelho o sistema considerado neste estudo e em verde a ampliação.....	69
Figura 3.14 - BEL 1: Projeções de sombra no SFVCR nos dias e horários de (a) 21 de junho às 9 h e (b) 21 de dezembro às 16 h.....	70
Figura 4.1 - Fluxograma do Método.....	72
Figura 5.1- Potência FV instalada anual e acumulada para SFVCR no Brasil. (Até março/2015 foram catalogados 100 kWp).....	83
Figura 5.2 - Potência FV instalada por setores.....	84
Figura 5.3 - Número de SFVCR instalados por setor	85
Figura 5.4 - Potência FV de SFVCR instalados por estado.....	86
Figura 5.5—Quantidade de SFVCR instalados por estado.....	86
Figura 5.6—Mapa em escala de cor indicando a distribuição da capacidade instalada de energia solar fotovoltaica conectada à rede no Brasil por estado.	87
Figura 5.7 - Mapa dos SFVCR no Brasil.....	88
Figura 5.8 – Imagem da plataforma <i>online</i> do site teste. Mapa online de SFVCR no Brasil com informações de potência instalada e número de sistemas.	89
Figura 5.9 - SFVCR FLN-1: Média do total mensal da irradiação no plano dos módulos FV (kWh/m ² /mês).....	97

Figura 5.10 - SFVCR FLN-1: Perfil anual da disponibilidade de irradiação no plano dos módulos medido e para os diferentes bancos de dados, valores de janeiro a dezembro.....	98
Figura 5.11 - SFVCR FLN-1: PR ao longo de dois anos medidos (2012-2013) X PR referente a banco dedados.....	99
Figura 5.12 - FLN-1: Produtividade FV medida X Produtividade FV simulada através de bancos de dados, utilizando PR = 80%.....	101
Figura 5.13 – Dez SFVCR avaliados com seus respectivos valores de Yield anuais em 2012 e 2013.....	103
Figura 5.14 – <i>Performance Ratio (PR)</i> de 2013 dos dez SFVCR avaliados. Valores de <i>PR</i> medidos X valores de <i>PR</i> baseados em bancos de dados de irradiação.....	104
Figura 0.1 - FLN-2: Média do total mensal da irradiação no plano dos módulos FV (kWh/m ² /mês).....	116
Figura 0.2 - FLN-2: PR ao longo de dois anos medidos (2012-2013) X PR referente a banco dedados.....	117
Figura 0.3 - FLN-2: Produtividade FV medida X Produtividade FV simulada através de bancos de dados, utilizando PR = 80%.....	118
Figura 0.4 - FLN-3: Média do total mensal da irradiação no plano dos módulos FV (kWh/m ² /mês).....	119
Figura 0.5 - FLN-3: PR ao longo de dois anos medidos (2012-2013) X PR referente a banco dedados.....	120
Figura 0.6 - FLN-3: Produtividade FV medida X Produtividade FV simulada através de bancos de dados, utilizando PR = 80%.....	121
Figura 0.7 - FLN-4: Média do total mensal da irradiação no plano dos módulos FV (kWh/m ² /mês).....	122
Figura 0.8 - FLN-4: PR ao longo de dois anos medidos (2012-2013) X PR referente a banco dedados.....	123
Figura 0.9 - FLN-4: Produtividade FV medida X Produtividade FV simulada através de bancos de dados, utilizando PR = 80%.....	124
Figura 0.10 -BHO-1: Média do total mensal da irradiação no plano dos módulos FV (kWh/m ² /mês).....	125
Figura 0.11 -BHO-1: PR ao longo de dois anos medidos (2012-2013) X PR referente a banco dedados.....	126
Figura 0.12 – BHO-1: Produtividade FV medida X Produtividade FV simulada através de bancos de dados, utilizando PR = 80%.....	127
Figura 0.13 -SAL-1: Média do total mensal da irradiação no plano dos módulos FV (kWh/m ² /mês).....	128

Figura 0.14 - SAL-1: PR ao longo de dois anos medidos (2012-2013) X PR referente a banco dedados.....	129
Figura 0.15 - SAL-1: Diferenças mensais entre valores de irradiação de bancos de dados usando como base o valor medido (2012 e 2013)..	129
Figura 0.16 - SAL-1: Diferenças entre os valores médios anuais de irradiação dos bancos de dados usando como base o valor medido .	130
Figura 0.17 – SAL-1: Produtividade FV medida X Produtividade FV simulada através de bancos de dados, utilizando PR = 80%.....	130
Figura 0.18 - SBC-1: Média do total mensal da irradiação no plano dos módulos FV (kWh/m ² /mês)	131
Figura 0.19 - SBC-1: PR ao longo de dois anos medidos (2012-2013) X PR referente a banco dedados.....	132
Figura 0.20 – SBC-1: Produtividade FV medida X Produtividade FV simulada através de bancos de dados, utilizando PR = 80%.....	133
Figura 0.21 - MAC-1: Média do total mensal da irradiação no plano dos módulos FV (kWh/m ² /mês)	134
Figura 0.22 - MAC-1: PR ao longo de dois anos medidos (2012-2013) X PR referente a banco dedados.....	135
Figura 0.23 – SAL-1: Produtividade FV medida X Produtividade FV simulada através de bancos de dados, utilizando PR = 80%.....	136
Figura 0.24 - CUR-1: Média do total mensal da irradiação no plano dos módulos FV (kWh/m ² /mês)	137
Figura 0.25 - CUR-1: PR ao longo de dois anos medidos (2012-2013) X PR referente a banco dedados.....	138
Figura 0.26 – CUR-1: Produtividade FV medida X Produtividade FV simulada através de bancos de dados, utilizando PR = 80%.....	139
Figura 0.27 - BEL-1: Média do total mensal da irradiação no plano dos módulos FV (kWh/m ² /mês)	140
Figura 0.28 - BEL-1: PR ao longo de dois anos medidos (2012-2013) X PR referente a banco dedados.....	141
Figura 0.29 – BEL-1: Produtividade FV medida X Produtividade FV simulada através de bancos de dados, utilizando PR = 80%.....	142

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - RMSE entre dados medidos e transpostos para diferentes modelos matemáticos de transposição.	37
Tabela 2 - Diferença entre os desvios apresentados por modelos matemáticos de transposição da irradiação difusa dos dados de satélite do projeto SWERA.	38
Tabela 3.1 – Índices de irradiação e coordenadas de cada cidade analisada (Base de dados SWERA).	56
Tabela 3.2-SFVCR usados como estudo de caso e suas respectivas coordenadas e inclinação dos módulos FV.	56
Tabela 5.1 - Geração dos SFVCR em análise para estudo de caso, para 2012 e 2013. No SFVCR FLN-4 ocorreram problemas na conexão elétrica ao longo de 2012, por isso enquanto os demais SFVCR em Florianópolis tiveram maiores valores em 2012 do que em 2013, para o FLN-4 ocorreu ao contrário.	91
Tabela 5.2 - <i>Yield</i> dos SFVCR em análise para estudo de caso, para 2012 e 2013. No SFVCR FLN-4 ocorreram problemas na conexão elétrica ao longo de 2012, por isso enquanto os demais SFVCR em Florianópolis tiveram maiores valores em 2012 do que em 2013, para o FLN-4 ocorreu ao contrário.	92
Tabela 5.3 - Diferença de erros na transposição de valores de irradiação entre os modelos matemáticos usados pelo programa Radiasol.	93
Tabela 5.4[Parte 1 de 2] - Irradiação no plano dos módulos para cada SFVCR. Valores medidos ao longo de 2012 e 2013, e valores referentes a bancos de dados de irradiação.	95
Tabela 5.5 - SFVCR FLN-1: Diferenças mensais entre valores de irradiação de bancos de dados usando como base o valor medido (2012 e 2013). [Cor vermelha para mínimo e Azul para máximo]	100
Tabela 5.6 - SFVCR FLN1: Diferenças entre os valores médios anuais de irradiação dos bancos de dados usando como base o valor medido. [Cor vermelha para mínimo e Azul para máximo]	101
Tabela 5.7 - Tabela resumo dos dez SFVCR avaliados: Diferenças entre os valores médios anuais de irradiação dos bancos de dados usando como base o valor medido.	105
Tabela 0.1 - FLN-2: Diferenças mensais entre valores de irradiação de bancos de dados usando como base o valor medido (2012 e 2013) ..	117

Tabela 0.2 – FLN-2: Diferenças entre os valores médios anuais de irradiação dos bancos de dados usando como base o valor medido .	118
Tabela 0.3 - FLN-3: Diferenças mensais entre valores de irradiação de bancos de dados usando como base o valor medido (2012 e 2013)..	120
Tabela 0.4 -FLN-3: Diferenças entre os valores médios anuais de irradiação dos bancos de dados usando como base o valor medido .	121
Tabela 0.5 - FLN-4: Diferenças mensais entre valores de irradiação de bancos de dados usando como base o valor medido (2012 e 2013...	123
Tabela 0.6 - FLN-4: Diferenças entre os valores médios anuais de irradiação dos bancos de dados usando como base o valor medido .	124
Tabela 0.7 - BHO-1: Diferenças mensais entre valores de irradiação de bancos de dados usando como base o valor medido (2012 e 2013)..	126
Tabela 0.8 – BHO-1: Diferenças entre os valores médios anuais de irradiação dos bancos de dados usando como base o valor medido .	127
Tabela 0.9 - SBC-1: Diferenças mensais entre valores de irradiação de bancos de dados usando como base o valor medido (2012 e 2013)..	132
Tabela 0.10 - SBC-1: Diferenças entre os valores médios anuais de irradiação dos bancos de dados usando como base o valor medido .	133
Tabela 0.11 - MAC-1: Diferenças mensais entre valores de irradiação de bancos de dados usando como base o valor medido (2012 e 2013)..	135
Tabela 0.12 - MAC-1: Diferenças entre os valores médios anuais de irradiação dos bancos de dados usando como base o valor medido .	136
Tabela 0.13 - CUR -1: Diferenças mensais entre valores de irradiação de bancos de dados usando como base o valor medido (2012 e 2013)..	138
Tabela 0.14 - CUR-1: Diferenças entre os valores médios anuais de irradiação dos bancos de dados usando como base o valor medido .	139
Tabela 0.15 - BEL -1: Diferenças mensais entre valores de irradiação de bancos de dados usando como base o valor medido (2012 e 2013)..	141
Tabela 0.16 - BEL-1: Diferenças entre os valores médios anuais de irradiação dos bancos de dados usando como base o valor medido .	142

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	21
1.1	Objetivos	24
1.1.1	Objetivo geral.....	24
1.1.2	Objetivos específicos.....	24
1.2	Estrutura do trabalho.....	24
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	27
2.1	Transferência Radiativa.....	27
2.2	Radiação solar	29
2.2.1	Espectro solar, constante solar e distribuição da insolação no topo da atmosfera	31
2.2.2	Instrumentos de medição	35
2.3	Base de dados de irradiação	35
2.4	Modelos matemáticos	36
2.5	Energia fotovoltaica	39
2.5.1	Sistemas Fotovoltaicos.....	40
2.6	Produtividade (<i>Yield</i>) de SFVCR.....	45
2.7	Taxa de desempenho (PerformanceRatio – <i>PR</i>) de SFVCR ...	46
2.8	Ferramentas computacionais.....	47
2.9	Regulamentação nacional para fontes renováveis de energia	47
2.10	Dados de mercado	49
2.10.1	Módulos fotovoltaicos	49
2.11	Considerações finais.....	52
3	OBJETO DE ESTUDO	55
3.1	Características dos sistemas	57
4	MÉTODO.....	71
4.1	Estudos de caso de dez SFVCR no Brasil	73
4.1.1	Seleção dos dez SFVCR para estudos de caso	73
4.1.2	Geração FV	73
4.1.3	Dados de irradiação solar.....	73
4.1.4	Desempenho dos SFVCR	78
4.1.5	Diferenças entre bancos de dados de irradiação solar .	79
4.1.6	Geração medida x geração simulada	80
4.1.7	Comparação entre sistemas.....	81
4.2	Inventário dos SFVCR instalados no Brasil	81

5	RESULTADOS	83
5.1	Inventário dos SFVCR instalados no Brasil até o final de 2014	83
5.1.1	Análise dos totais ano a ano	83
5.1.2	Análise por setor	84
5.1.3	Análise por Estado	85
5.1.4	Mapa do volume de SFVCR no Brasil	87
5.1.5	Consequências e resultados da pesquisa: Proposta de inventário interativo <i>online</i>	88
5.2	Estudo de caso de dez SFVCR no Brasil	90
5.2.1	Seleção dos dez SFVCR para estudos de caso	90
5.2.2	Análise entre modelos matemáticos usados para transposição de irradiação solar	93
5.2.3	Dados de irradiação solar	94
5.2.4	Desempenho dos SFVCR	99
6	CONCLUSÕES	107
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	109
	APÊNDICE A: resultados individuais de cada SFVCR	115
	SFVCR FLN-2	116
	SFVCR FLN-3	119
	SFVCR FLN-4	122
	SFVCR BHO-1	125
	SFVCR SAL-1	128
	SFVCR SBC-1	131
	SFVCR MAC-1	134
	SFVCR CUR-1	137
	SFVCR BEL-1	140
	APÊNDICE B: listagem dos SFVCR catalogados	143

1 INTRODUÇÃO

Para contornar as agressões que a utilização de fontes convencionais de geração de energia vêm causando ao planeta, busca-se mudar e ampliar urgentemente a matriz energética mundial, reduzindo o uso dos combustíveis fósseis. Neste contexto, as fontes renováveis de energia, como a solar, a biomassa e a eólica, vêm crescendo mundialmente de forma significativa a partir do início da década de 1990, impulsionadas pela pressão ambiental que gera mecanismos econômicos de incentivo à utilização de tais fontes (FANTINELLI, 2002).

Graças aos progressos tecnológicos e de redução de custos já alcançados e em desenvolvimento na área fotovoltaica (FV), o aproveitamento de energia solar para geração de energia elétrica é hoje uma alternativa energética promissora para enfrentar os desafios provocados pela demanda de energia.

A energia solar, além de inesgotável, é uma fonte capaz de reduzir os efeitos nocivos criados pelo uso dos combustíveis fósseis, evitando assim os impactos negativos das grandes centrais de produção de energia (LOPO, 2010). Esta energia pode ser aproveitada tanto como fonte de calor quanto de luz e eletricidade. O calor pode ser utilizado diretamente para aquecimento de ambientes, aquecimento de fluídos ou para geração de energia elétrica. A luz diurna pode ser aproveitada para iluminação natural através de uma arquitetura adaptada para tal, e também para geração de energia elétrica através do efeito fotovoltaico.

O efeito fotovoltaico ocorre quando fótons contidos nos raios solares incidem sobre um material semicondutor, tipicamente silício, excitando elétrons e gerando uma corrente elétrica (RÜTHER, 2004). Os módulos FV além de gerarem energia elétrica, também podem ser utilizados como parte arquitetônica da edificação, servindo de detalhes em fachadas, telhados, coberturas, entre outras finalidades que variam conforme a criatividade do projetista.

No Brasil, ainda é comum o uso de energia elétrica para o aquecimento de água, tanto em torneiras quanto em chuveiros, o que resulta em sobrecargas frequentes da rede elétrica. O povo brasileiro costuma passar o dia fora de casa e retornar à noite, por volta das 20 horas, provável horário de banho, quando o chuveiro

elétrico contribui para o horário de pico noturno (ONS, 2013), pois seu uso representa uma parcela considerável de consumo de energia elétrica residencial, cerca de 24% (NASPOLINI, 2012).

Além do horário de pico noturno referente ao chuveiro elétrico, os novos hábitos brasileiros geram um pico diurno (entre 14:00 e 16:00) (ONS, 2013) causado pelo aumento recente na quantidade de domicílios que usam ar condicionado, devido ao aumento das temperaturas diárias (principalmente no verão) e ao aumento do poder aquisitivo do povo brasileiro. A curva de carga desses equipamentos durante o dia é semelhante à curva de geração diária solar FV(RAMOS, 2014), o que revela a energia solar uma fonte promissora para redes descentralizadas.

O consumo total anual de energia elétrica no Brasil foi de 463,3 TWh em 2013, com um acréscimo de 3,4% em comparação com 2012; sendo que o setor residencial em 2013 representou uma parcela de 27% do consumo total (124,90 TWh/ano)(EPE, 2014). Dentro do setor residencial, o chuveiro elétrico sozinho consome cerca de 28,23 TWh/ano (24% do consumo final residencial, conforme comentado anteriormente), o que equivale a um consumo médio diário nacional de 77,34 GWh/dia. O ar condicionado consome cerca de 20% do consumo final residencial (NASPOLINI, 2012), o que resulta em 23,53 TWh/ano e uma parcela diária de 64,46 GWh. Esse consumo da rede elétrica pública poderia ser minimizado com a utilização da energia solar fotovoltaica; pois o SFVCR irá atender parte desse consumo. Isso resulta em vantagens socioeconômicas, técnicas e ambientais.

No entanto, essa redução se dará principalmente no setor comercial, público e industrial, pois o ar condicionado residencial é mais usado à noite.

O Brasil é privilegiado quando o assunto é energia solar, pois possui um dos melhores índices de irradiação solar no mundo (1.000-2.600 kWh/m²/ano, para o plano horizontal) (PEREIRA, 2006) e atualmente no país têm sido feitos investimentos em P&D e na utilização comercial de fontes renováveis de energia. Apesar de todas as características naturais favorecerem a energia solar no Brasil, dos 140 GWp instalados mundialmente até o final de 2013 (EPIA, 2013), cerca de 20 MWp (0,014%) foram do Brasil, valor muito baixo comparado com países de território e irradiação menores.

Grande parte do território brasileiro está situado em áreas tropical e subtropical. Em Florianópolis - SC, que fica localizada ao sul do Brasil, o clima é subtropical. Nesta capital, ao longo de mais de 15 anos, foram medidos dados de irradiação global horizontal junto a um sistema FV instalado no campus da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Através dos valores medidos, observou-se uma irradiação anual média de 1.527 kWh/m². A comparação dos valores medidos com os obtidos através do Atlas Brasileiro de Energia Solar (PEREIRA, 2006), mostrou que os valores do Atlas superestimam a irradiação anual em cerca de 10,1% para Florianópolis - SC, já considerando as perdas associadas ao horizonte solar (NASCIMENTO, 2013).

Neste trabalho, o desempenho de uma amostra de dez geradores solares FV é avaliado levando em conta os índices de desempenho e a disponibilidade do recurso solar obtido através de distintas fontes de dados. O trabalho apresenta também um banco de dados consolidado sobre os sistemas FV conectados à rede (SFVCR) instalados no Brasil, a partir de uma pesquisa junto a fontes oficiais do governo (ANEEL), concessionárias de energia, empresas instaladoras e diretamente com usuários finais que instalaram SFVCR no Brasil.

Foram realizados dez estudos de caso com SFVCR. Para cada estudo de caso, buscou-se obter o máximo possível de informações sobre as características técnicas desses sistemas e comparar a geração de cada um deles com a irradiação sobre o plano dos módulos, para calcular a taxa de desempenho (*PR*, de *performance ratio*) e a produtividade (*Yield*) (MARION, 2005).

Atualmente, no Brasil, há registros parciais para os dados de potência FV instalada. Portanto, o levantamento se torna bastante difícil, tornando necessária uma consulta direta a empresas instaladoras. Porém, o trabalho fornece subsídios importantes para que pesquisadores consigam analisar com mais informações o setor.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

O objetivo deste trabalho é avaliar o desempenho de uma amostra de dez sistemas FV conectados à rede (SFVCR), comparando o desempenho real com o estimado por simulação computacional, em função dos valores de irradiação solar medidos e de alguns dos vários bancos de dados existentes e também inventariar os SFVCR em operação no Brasil.

1.1.2 Objetivos específicos

Para atingir o objetivo geral, definiu-se como objetivos específicos:

- Mapear a potência total dos SFVCR instalados no Brasil;
- Localizar os SFVCR por estados e municípios;
- Identificar dez SFVCR com no mínimo um ano de dados de geração;
- Coletar dados de SFVCR em diversas regiões do país, e
- Comparar valores de irradiação medidos *in loco* (ou medidos por estações próximas ao SFVCR analisado) com valores de bancos de dados de irradiação existentes.

1.2 Estrutura do trabalho

Este trabalho está dividido em seis capítulos: Introdução, Revisão Bibliográfica, Objeto de Estudo, Método, Resultados e Conclusões.

Este primeiro capítulo apresenta uma introdução sobre o tema do trabalho, abordando sua importância para o mercado e o potencial sustentável para o futuro. Em seguida são apresentados os objetivos gerais e específicos.

No segundo capítulo há uma breve revisão bibliográfica sobre as condições de radiação solar no Brasil. Há também uma revisão sobre as diversas formas de aproveitamento de luz solar e os diferentes tipos de materiais.

O terceiro capítulo descreve o objeto de estudo. Já o capítulo quatro contém o método da pesquisa, trazendo a exposição dos critérios e processos utilizados para realização do trabalho. No quinto capítulo são expostos os resultados obtidos depois da aplicação do método de pesquisa. O sexto e último capítulo, são feitas considerações finais apontando as conclusões do trabalho.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Transferência Radiativa

A radiação solar constitui a principal força motriz para processos térmicos (como o aquecimento da superfície e dos oceanos), dinâmicos (como a própria atmosfera) e químicos (como a fotossíntese das plantas). A energia proveniente do Sol chega à superfície propagando-se como energia radiante ou simplesmente radiação. O fluxo de energia que o topo da atmosfera terrestre recebe do Sol por unidade de área é chamada de “constante solar” e vale aproximadamente 1.367 W/m^2 (GUIMARÃES, 2003)¹.

A principal característica da radiação é a radiância (ou intensidade de radiação). Essa grandeza se refere à quantidade de radiação solar num intervalo unitário de comprimento de onda e ângulo sólido que atravessa uma unidade de área tomada perpendicularmente à direção considerada, na unidade de tempo (PAIVA, 2005).

Conhecendo-se a radiância, pode-se determinar outra grandeza muito importante no estudo da radiação atmosférica: a irradiância, que é a densidade de fluxo de radiação integrada em todo o espectro. A irradiância representa a potência de radiação solar que passa através de um plano na unidade de área (W/m^2) (MARTINS, PEREIRA e ECHER, 2004).

A irradiância solar que incide na superfície da Terra depende, além dos fenômenos referentes ao Sol, da interação da radiação eletromagnética com os constituintes do sistema Terra-Atmosfera. A transmissão da radiação solar através da atmosfera é um processo complexo de difícil descrição, devido ao grande número de propriedades físicas da atmosfera que a influenciam, como, por exemplo, as concentrações de vapor d'água, a concentração de gotículas, a presença de cristais de gelo, etc. (MARTINS, PEREIRA e ECHER, 2004).

¹ Vale ressaltar que a “constante solar” na verdade não é uma constante, pois existem vários fenômenos solares (manchas solares, erupções solares, etc.) que fazem que a intensidade de energia emitida pelo Sol varie ao longo do tempo (GUIMARÃES, 2003).

A razão entre a irradiância solar na superfície terrestre e no topo da atmosfera é definida como transmitância atmosférica. Ao atravessar a atmosfera, a radiação solar é atenuada por processos de espalhamento e absorção causados pelas partículas em suspensão (denominadas aerossóis), pelas nuvens e pelas moléculas de gases atmosféricos. Os coeficientes de absorção e de espalhamento dependem do comprimento de onda da radiação e das espécies de gases e partículas presentes na atmosfera (MARTINS, PEREIRA e ECHER, 2004). A Figura 2.1 apresenta um diagrama com os principais processos de interação da radiação solar e térmica com a atmosfera.

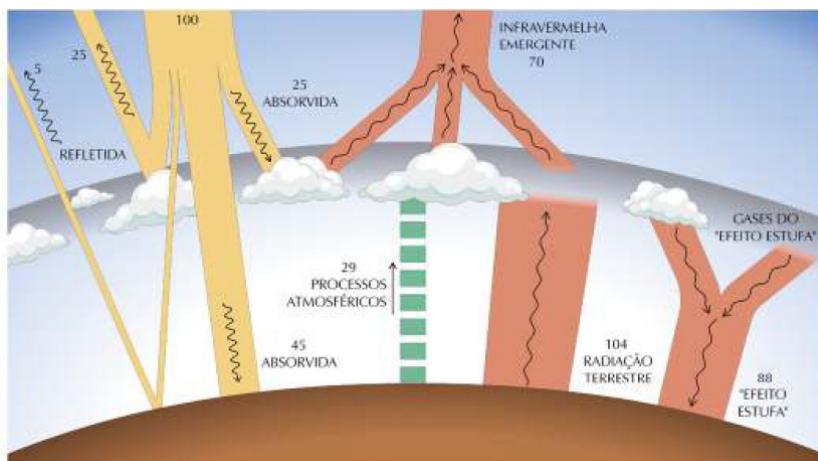


Figura 2.1 - Diagrama simbólico dos processos de interação da radiação solar com a atmosfera terrestre.

Fonte: Atlas Brasileiro de Energia Solar (PEREIRA *et al.*, 2006).

As nuvens, a superfície do planeta, os gases e partículas atmosféricas refletem cerca de 30% da radiação incidente no topo da atmosfera. Os 70% restantes são absorvidos, produzindo aquecimento do sistema e causando a evaporação de água (calor latente) ou convecção (calor sensível). A absorção da radiação solar é seletiva, sendo o vapor d'água, o ozônio (O_3) e o dióxido de carbono (CO_2) os principais absorvedores. A energia absorvida pelo sistema Terra-Atmosfera é reemitida na faixa do infravermelho do espectro da radiação eletromagnética, sendo que 6% são provenientes da

superfície e 64% têm origem em nuvens e constituintes atmosféricos (PEREIRA *et al.*, 2006).

2.2 Radiação solar

A órbita da Terra ao redor do Sol e a rotação da Terra em torno do seu próprio eixo são os principais fatores que determinam a quantidade de energia solar que chega à Terra e as mudanças do clima do sistema Terra-atmosfera. A órbita terrestre é elíptica e o eixo de rotação é inclinado, em $23,5^\circ$, como mostra a Figura 2.2 (PEREIRA e COLLE, 1997).

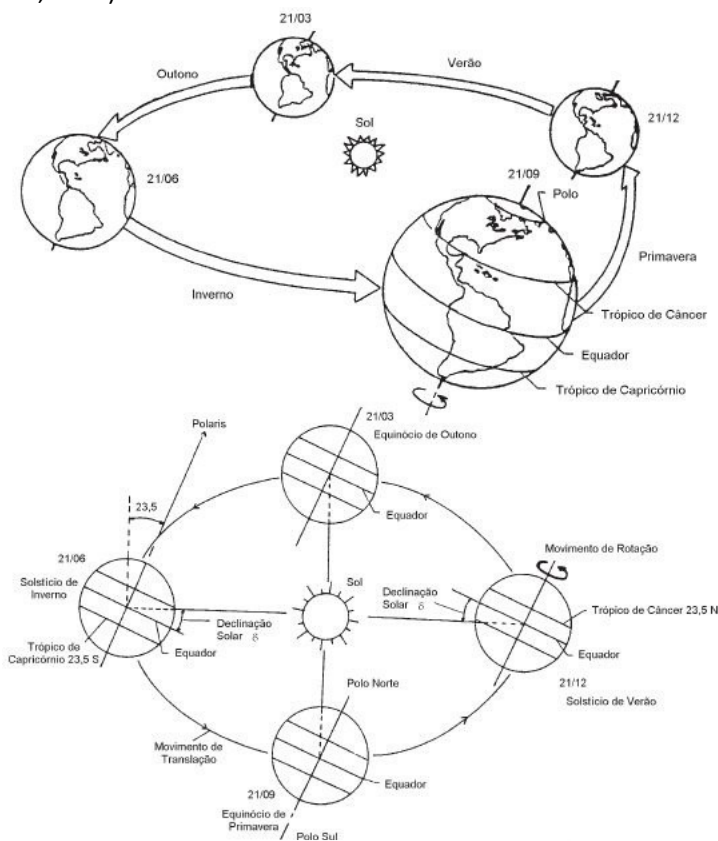


Figura 2.2 - Órbita da Terra em torno do Sol, com seu eixo N-S inclinado de um ângulo de $23,5^\circ$.

Fonte: Photovoltaic System Technology – An European Handbook, 1992.

A característica mais destacável das variações climáticas, causadas pela inclinação do eixo de rotação, é a mudança das estações do ano. Durante o solstício de verão (no hemisfério norte), que acontece no dia 21 de junho, o Sol se posiciona diretamente acima da latitude $23,5^{\circ}\text{N}$ ao meio dia, chamada de trópico de Câncer. A elevação do sol acima do horizonte e a duração dos dias atingem os valores máximos no hemisfério norte durante o solstício de verão, e todas as latitudes acima do círculo Ártico ($66,5^{\circ}\text{N}$) tem o Sol acima do horizonte por vários dias ao longo do verão. No hemisfério sul, a elevação do Sol é mínima nessa ocasião, os dias são mais curtos e para as latitudes abaixo do círculo Antártico ($66,5^{\circ}\text{S}$) o Sol não nasce. Este é o começo do verão no hemisfério norte, sendo que no hemisfério sul o verão começa no dia 21 de dezembro, correspondendo ao solstício de inverno do hemisfério norte (BERGAMASCHI, 2011).

Desta forma, a posição do coletor ou painel solar pode ser ajustada conforme latitude local e o período do ano onde há necessidade de mais energia, ocasionando um maior aproveitamento da radiação solar (INMET – LABSOLAR, 1998).

Para a captação destes raios solares recomenda-se que no hemisfério sul, os painéis FV fiquem orientadas para o norte geográfico, e que no hemisfério norte os painéis FV fiquem voltados para o sul. Deste modo haverá um melhor aproveitamento e geração de energia solar durante o ano. A Figura 2.3 mostra um exemplo de uma casa com placas solares localizada no hemisfério sul e a respectiva trajetória do sol durante o ano.

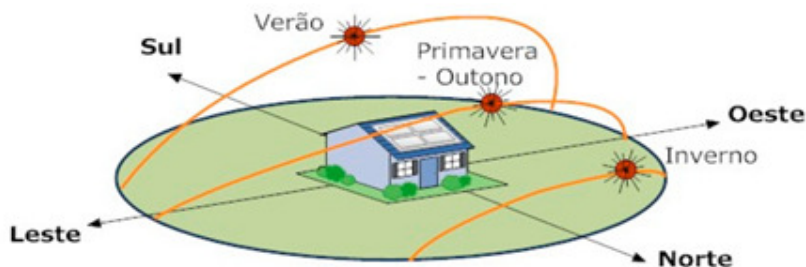


Figura 2.3 - Variação da posição do sol com as estações do ano.

Fonte: SERRÃO, 2010.

2.2.1 Espectro solar, constante solar e distribuição da insolação no topo da atmosfera

A distribuição da radiação eletromagnética emitida pelo Sol como função do comprimento de onda incidente no topo da atmosfera é chamada de espectro solar. A constante solar é a densidade superficial de potência solar no topo da atmosfera. Esta constante é definida como o fluxo de energia solar (energia por tempo) que cruza uma unidade de área normal a um raio solar na distância média entre o Sol e a Terra (GUIMARÃES, 2003).

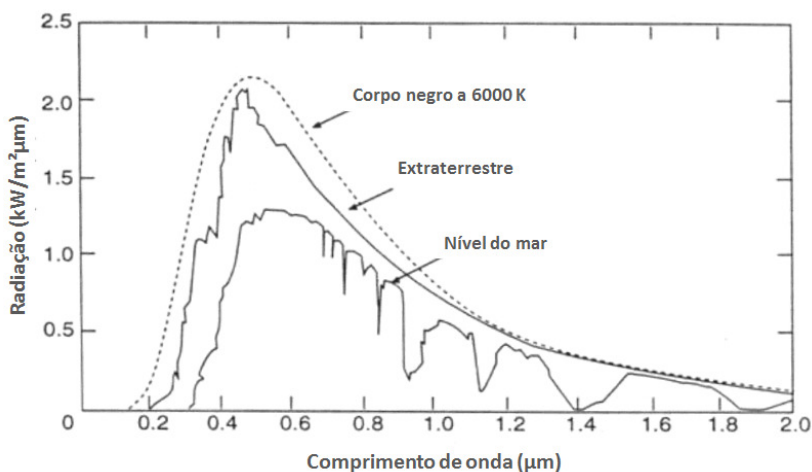


Figura 2.4 - Espectro Solar.

Fonte: www.fc.uni.edu.pe/mhorn/IF442%20clase2.htm

Sobre a energia eletromagnética que deixa o Sol, aproximadamente 50% ocorre em comprimentos de onda além da região do visível (infravermelho), cerca de 40% na região do visível e os 10% restantes na região do ultravioleta (GUIMARÃES, 2003).

A incidência de radiação solar sobre a superfície terrestre depende da latitude local e da posição no tempo (hora do dia e dia do ano). Isso se deve à inclinação do eixo imaginário em torno do qual a Terra gira diariamente e a trajetória elíptica que a Terra faz ao redor do Sol (ANEEL, 2003), conforme mostra a Figura 2.2.

O Brasil apresenta um grande potencial para aplicações de energia solar durante o ano todo, devido à sua grande área superficial e elevada irradiação solar com pequena variabilidade anual (TIRADENTES, 2006). Mesmo com o clima mais temperado da região sul, ainda ocorre um potencial considerável para a utilização da energia solar para todos os fins.

Na Figura 2.5 é apresentado o mapa com os níveis de irradiação solar global horizontal, informados em valores médios anuais para os totais diários ($\text{kWh}/\text{m}^2/\text{dia}$). Na Figura 2.6 é apresentado um mapa com as médias anuais da variabilidade dos totais diários de irradiação global horizontal.

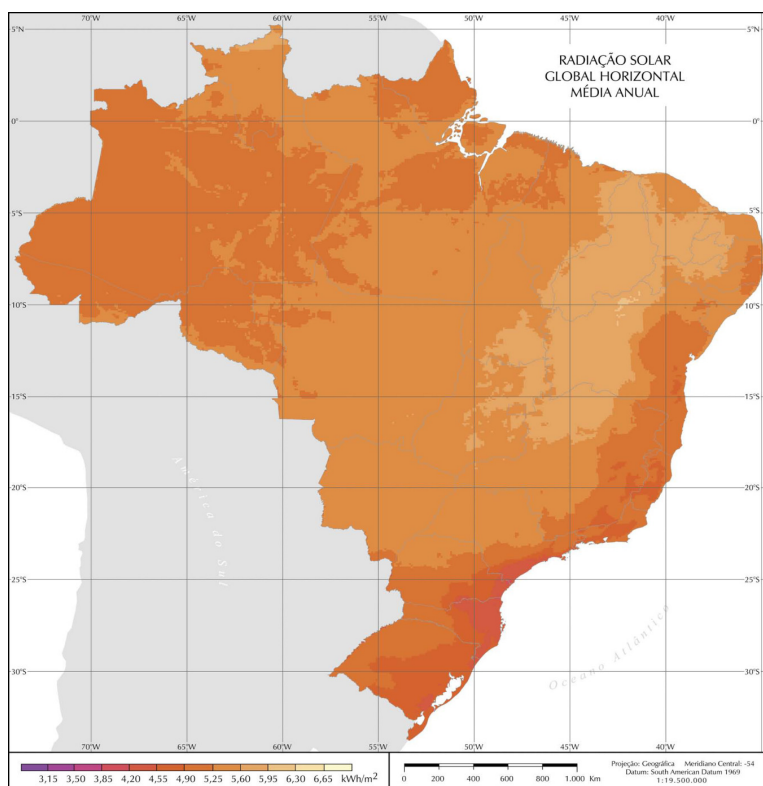


Figura 2.5 - Irradiação solar global horizontal, em valores médios anuais para os totais diários ($\text{kWh}/\text{m}^2/\text{dia}$).

Fonte: Atlas de Irradiação Solar do Brasil (PEREIRA *et al.*, 2006).

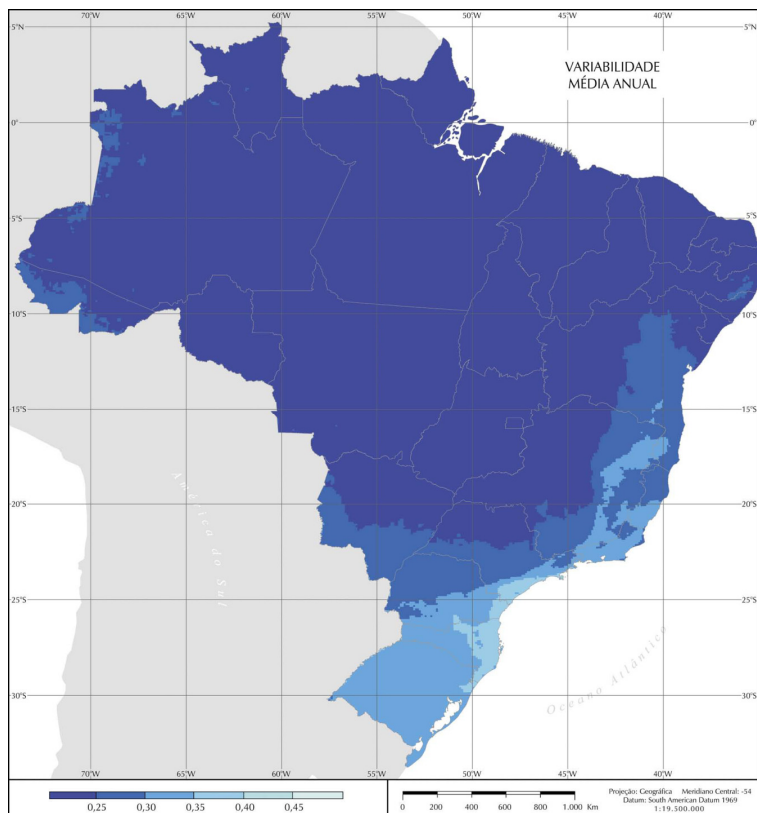


Figura 2.6 - Média anual da variabilidade dos totais diários de irradiação global horizontal.

Fonte: Atlas de Irradiação Solar do Brasil (PEREIRA *et al.*, 2006).

O Brasil é um dos países com melhores níveis de irradiação solar no mundo (1.000-2.600 kWh/m²/ano, para o plano horizontal) (PEREIRA *et al.*, 2006). O valor de irradiação incidente sobre o território brasileiro é mais privilegiado do que o incidente sobre os países que possuem maior potência FV instalada dentro da União Europeia, como Alemanha (950-1.250 kWh/m²/ano), Itália (1.100-1.900 kWh/m²/ano), Espanha (1.200-2.000 kWh/m²/ano) e França (1.000-1.700 kWh/m²/ano) (PVGIS, 2013).

A Figura 2.7 mostra o mapa solarimétrico com os níveis de irradiação médios anuais incidentes sobre um plano inclinado à latitude local e voltado para o norte geográfico.

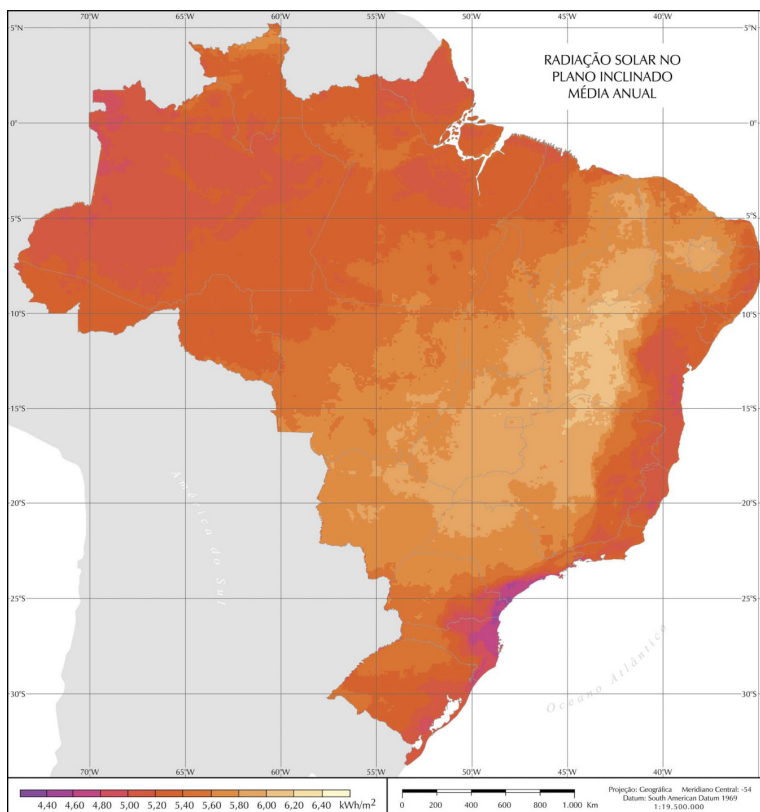


Figura 2.7 - Irradiação solar incidente sobre plano com inclinação igual à latitude local, e voltado para o norte. Valores médios anuais para os totais diários (kWh/m²/dia).

Fonte: PEREIRA *et al.*, 2006.

2.2.2 Instrumentos de medição

Os instrumentos de medição do recurso solar utilizados com mais frequência atualmente se baseiam em sensores do tipo termopilhas, pares bi-metálicos e fotocélulas. Os equipamentos de menor custo são aqueles que utilizam fotocélulas como elemento sensor, mas têm como desvantagem a falta de resposta espectral adequada, pois as fotocélulas não possuem uniformidade na resposta espectral. Os instrumentos de medição do recurso solar encontrados com mais frequência são piranômetros e actinógrafos, de radiação global; heliógrafos, de número de horas de insolação, e os piroheliômetros, de radiação direta normal.

2.3 Base de dados de irradiação

No dimensionamento de sistemas fotovoltaicos é de fundamental importância o uso de valores de irradiação referentes ao local onde será implantado o sistema, levando em conta períodos de longo prazo. Como normalmente não existem dados medidos *in loco*, esses valores são estimados através de bancos de dados.

Egler (2013) avalia a região noroeste do continente americano e analisa os índices de irradiação referentes a cinco bancos de dados (Meteonorm 6.1, NASA SSE, 3 TIER, INPE e NREL CSR), foi encontrado para o Panamá e a Colômbia, um desvio padrão de $\pm 6,1\%$ e $\pm 7,9\%$, respectivamente. Para a Venezuela foi de $\pm 6,4\%$, Equador $\pm 13,3\%$ e Peru $\pm 9,0\%$. Dentro dos 38 locais analisados, o menor nível de desvio foi em Piura, Peru ($\pm 3,1\%$) e o maior nível em El Puyo, Equador ($\pm 14,6\%$). O estudo avaliou a média da irradiação global horizontal a longo prazo dos bancos de dados utilizados para simulação de geração média anual de sistemas fotovoltaicos e mostrou como existem diferenças entre essas referências.

No Brasil, a análise desenvolvida por Nascimento (2013), mostra o comportamento a longo prazo (15 anos) de um SFVCR em Florianópolis – SC. Dentro do estudo foram observados os dados de irradiação medidos por piranômetros e os de geração medidos através do inversor, possibilitando assim, realizar a avaliação da taxa de desempenho (*PR*) do sistema ao longo do tempo de operação. Durante a análise foram comparados os valores de irradiação medidos com

valores apresentados por Pereira *et al.* (2006), no Atlas Brasileiro de Energia Solar, e concluiu-se que os valores do Atlas superestimam a irradiação anual em cerca de 10% para Florianópolis.

Ao contrário dos dois estudos citados, nesta dissertação de mestrado são analisados cinco diferentes bancos de dados disponíveis para o Brasil e os valores além de serem comparados entre si, são confrontados com dados gerados através de medições *in loco*. Ao invés de analisar apenas um SFVCR a longo prazo e apresentar valores de *Yield* e *PR*, como no trabalho desenvolvido por Nascimento (2013), este trabalho analisa dez diferentes SFVCR a curto prazo (2012-2013), distribuídos por sete estados brasileiros, possibilitando a observação do desempenho dos sistemas para diferentes regiões do país e apresenta resultados de *Yield*, *PR*, comparação entre o total de energia efetivamente gerada e o total de energia simulada (calculada em função dos diferentes bancos de dados de irradiação), variabilidade interanual da irradiação solar medida e o comportamento desses valores quando comparados a médias de longo prazo de bancos de dados de irradiação disponíveis.

2.4 Modelos matemáticos

Dentro da área de energia solar FV, para fazer estudos de irradiação solar e simulação de geração de sistemas FV, existem alguns modelos matemáticos que são utilizados como método de transposição da irradiação difusa. Tais métodos realizam o cálculo para transpor os valores de irradiação no plano horizontal (G_{Hor}) para o plano inclinado (G_{POA}). Entre os diferentes modelos existentes, destacam-se: Hay e McKay(1985), Liu e Jordan(1961), Klucher(1979), Perez(1987) e o Isotrópico(COLLARES-PEREIRA, 1979).

Para o estudo realizado ao longo da dissertação de mestrado, é utilizado o modelo matemático de Perez(1987), devido a informações encontradas na literatura (indicadas a seguir) e análises que são apresentadas no tópico de resultados desse trabalho de mestrado. Para Cingapura – país cuja categoria climática é a mesma que para o Brasil (tropical) e a latitude é similar à região Norte do Brasil – foi encontrado o menor erro (%) na transposição do plano horizontal para o plano inclinado utilizando o modelo de Perez (KHOO *et al.*, 2014). A Tabela 1 apresenta os valores calculados da Raiz Quadrada do Erro Quadrático

Médio (RMSE) entre dados medidos e transpostos para os diferentes modelos no estudo realizado em Cingapura.

Tabela 1 - RMSE entre dados medidos e transpostos para diferentes modelos matemáticos de transposição.

Fonte: (KHOO et al, 2014).

	RMSE entre dados medidos e transpostos (%)							
	60° NE 10° inclinação	60° NE 20° inclinação	60° NE 30° inclinação	60° NE 40° inclinação	0° NE 90° inclinação	180° S 90° inclinação	90° E 90° inclinação	270° W 90° inclinação
Liu & Jordan	1,0	1,9	2,8	3,7	6,4	7,8	5,0	5,2
Klucher	1,2	1,6	2,3	3,0	4,5	5,3	4,3	4,1
Perez et al.	0,6	1,1	1,6	2,2	3,6	5,1	3,0	3,2

Conforme a Tabela 1, observa-se que foram utilizados diferentes ângulos de inclinação e orientação. Cada valor de transposição calculado foi comparado com o valor medido por sensor orientado para a mesma face calculada. Nota-se que o modelo de Perez apresentou os menores valores de RMSE em relação ao dado medido por sensor.

Observa-se que quanto maior o ângulo de inclinação, maior o erro (RMSE), pois a participação do modelo é maior na estimativa do valor. Ou seja, o modelo matemático utiliza valores de irradiação global horizontal na transposição dos valores para a inclinada. Quanto maior for a inclinação, maior será o erro que cada modelo infere na medida.

Para o território brasileiro, Santos&Rüther (2014) compararam os diferentes modelos matemáticos para transposição da irradiação difusa e analisaram os dados de irradiação do projeto SWERA para as 27 capitais brasileiras. Com os valores de irradiação global horizontal (G_{Hor}), utilizou-se a ferramenta Radiasol² (KREZNINGER, 1998) para calcular a irradiação no plano inclinado à latitude local para cada capital usando os quatro modelos matemáticos existentes no programa (Hay e McKay, Klucher, Perez e Isotrópico) e os resultados foram comparados com os valores de irradiação inclinada existente no banco de dados SWERA. A Tabela 2 apresenta os valores calculados referentes aos quatro modelos para cada capital.

²Disponível em <www.solar.ufrgs.br/#softwares>.

Tabela 2 - Diferença entre os desvios apresentados por modelos matemáticos de transposição da irradiação difusa dos dados de satélite do projeto SWERA.

Os valores próximos de zero indicam um melhor ajuste. Fonte: (SANTOS& RÜTHER, 2014).

Cidades	Latitude Local	irradiação média diária a partir de dados do projeto SWERA ($\alpha = \text{Latitude}$)	Desvio dos valores de irradiação difusa do SWERA (%)			
			PEREZ	ISOTROPIC	KLUCHER	HAY AND MCKAY
Boa Vista (RR)	0°	5,3	-0,0	-0,0	-0,0	-0,0
Macapá (AP)	0°	5,3	1,1	1,1	1,1	1,1
Belém (PA)	1°	5,4	-0,2	-0,3	3,1	-0,3
São Luís (MA)	2°	5,5	-0,1	-0,3	3,1	-0,3
Manaus (AM)	3°	5,1	-0,1	-0,3	3,0	-0,3
Fortaleza (CE)	4°	5,6	-0,1	-0,5	2,9	-0,5
Teresina (PI)	5°	5,7	-0,1	-0,6	2,8	-0,5
Natal (RN)	6°	5,5	-0,2	-0,8	2,7	-0,7
João Pessoa (PB)	7°	5,4	-0,4	-1,1	2,4	-1,0
Recife (PE)	8°	5,2	-0,4	-1,3	2,2	-1,2
Maceió (AL)	9°	5,3	-0,6	-1,6	2,0	-1,4
Porto Velho (RO)	9°	5,2	-0,0	-1,0	2,6	-0,6
Palmas (TO)	10°	5,6	-0,3	-1,2	2,3	-0,8
Rio Branco (AC)	10°	5,2	0,1	-1,1	2,5	-0,8
Aracaju (SE)	11°	5,5	0,7	-1,9	1,8	1,6
Salvador (BA)	13°	5,5	-1,1	-2,5	1,2	-2,2
Cuiabá (MT)	15°	5,6	-0,5	-2,0	1,8	-1,1
Brasília (DF)	16°	5,7	-0,5	-2,0	1,7	-1,0
Goiânia (GO)	16°	5,8	-0,6	-2,0	1,6	-1,1
Belo Horizonte (MG)	20°	5,7	-1,8	-3,7	0,2	-2,4
Campo Grande (MS)	20°	5,7	-1,4	-3,3	0,7	-2,0
Vitória (ES)	20°	5,0	-1,9	-4,4	-0,2	-3,4
Rio de Janeiro (RJ)	22°	5,2	-3,9	-6,4	-2,1	-5,1
São Paulo (SP)	23°	5,0	-2,4	-5,2	-0,7	-3,7
Curitiba (PR)	25°	4,9	-2,8	-6,0	-1,5	-4,4
Florianópolis (SC)	27°	4,8	-3,5	-7,0	-2,4	-5,2
Porto Alegre (RS)	29°	5,1	-2,5	-6,0	-1,2	-3,8

Conforme se pode observar nos valores apresentados na Tabela 2, os modelos de Perez e Klucher obtiveram as menores diferenças quando comparadas com os dados de irradiação inclinada do projeto SWERA. Segundo a conclusão de Santos&Rüther (2014), para as regiões de latitude menor (até 20°), localizadas ao norte, o modelo de Perez apresenta valores mais próximos aos utilizados como referência (dados medidos). Para as regiões com latitude maior, localizadas ao sul, o modelo de Klucher apresenta a menor diferença.

Segundo Khoo *et al.* (2014) e Santos & Rüther (2014), o modelo matemático ideal para a região norte brasileira é o de Perez. Em relação à região sul do país, ainda conforme Santos & Rüther (2014), o modelo matemático ideal é o de Klucher. Santos & Rüther (2013) utiliza como referência os dados de satélite do banco de dados SWERA, e tais

valores não têm o mesmo nível de incerteza quando comparados com dados de piranômetros.

2.5 Energia fotovoltaica

O sistema solar fotovoltaico funciona basicamente com painéis solares que, através do efeito fotovoltaico, convertem a energia do sol em energia elétrica de maneira silenciosa, não-poluente e renovável. Este tipo de sistema tem grande importância no que se trata da eficiência energética, citando como exemplo, o fato de que a demanda de energia elétrica para o uso de sistemas de ar condicionado é máxima quando a insolação é máxima. Nesta situação, a curva de geração FV é bastante coincidente com a curva de consumo do ar condicionado (RÜTHER, 2004).

As instalações fotovoltaicas podem ser integradas junto ao ponto de consumo, ou seja, como parte da arquitetura do edifício. Também podem ser instaladas de forma centralizada como uma grande usina, fornecendo energia para pontos mais distantes (RÜTHER, 2004).

Os painéis solares fotovoltaicos devem oferecer condições de operação de 30 anos ou mais. Painéis fotovoltaicos são mais versáteis do que outros coletores solares para aquecimento de água ou ar, pois são complementados com cabos elétricos que são mais simples de instalar do que tubulações e reservatórios (RÜTHER, 2004).

O Brasil possui comunidades isoladas, onde cerca de 15% da população não possui acesso à energia elétrica (GTES, 2004). Por se tratarem de regiões distantes da rede elétrica, a opção por fontes renováveis pontuais se torna mais viável. A quantidade de radiação incidente nessas regiões é outro fator muito animador para o aproveitamento da energia solar.

2.5.1 Sistemas Fotovoltaicos

As principais categorias de sistemas fotovoltaicos são: isolados (puros ou híbridos) ou conectados à rede.

I. Sistemas FV isolados

A característica principal dos sistemas FV isolados é o fato de não serem conectados a uma rede elétrica pública de distribuição ou mesmo a uma mini-rede. Eles podem ser do tipo puro (quando o Sol é a única fonte para a geração de energia elétrica) ou híbrido (quando há alguma – ou algumas – fonte complementar para geração de energia elétrica, além do Sol).

Para armazenar a energia gerada pelos painéis fotovoltaicos em sistemas isolados se faz necessário o uso de um banco de baterias, para que, posteriormente, a energia seja distribuída para os pontos de consumo. Esse tipo de tecnologia é utilizado no Brasil em algumas comunidades onde a rede elétrica é de difícil acesso (RÜTHER, 2004).

No país, a legalização para sistemas FV isolados é regulamentada pela Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel), através da Resolução Normativa nº493, de 05 de junho de 2012, que define “Microsistema Isolado de Geração e Distribuição de Energia Elétrica – MIGDI ou Sistema Individual de Geração de Energia Elétrica com Fonte Intermitente – SIGFI”. Em sistemas isolados é necessário um controlador de carga para abastecer o banco de baterias, que tem como principal função controlar a carga enviada para a bateria, melhorando sua vida útil.

A Figura 2.8 mostra um esquema de uma residência com sistema FV isolado puro.

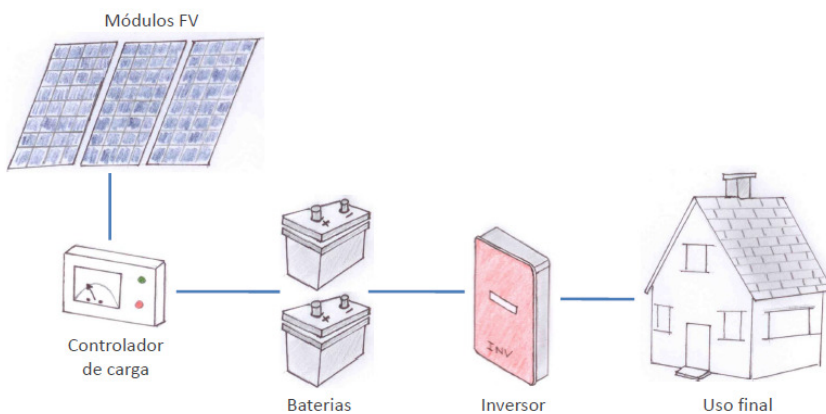


Figura 2.8 - Sistema solar fotovoltaico isolado puro.

O sistema FV isolado também pode ser utilizado numa configuração híbrida, juntamente com um gerador complementar, que pode ser um motor a diesel, um gerador eólico ou qualquer outro que utilize um tipo de fonte de energia auxiliar.

Na Figura 2.9 é apresentado o esquema ilustrativo de um sistema com essas características.

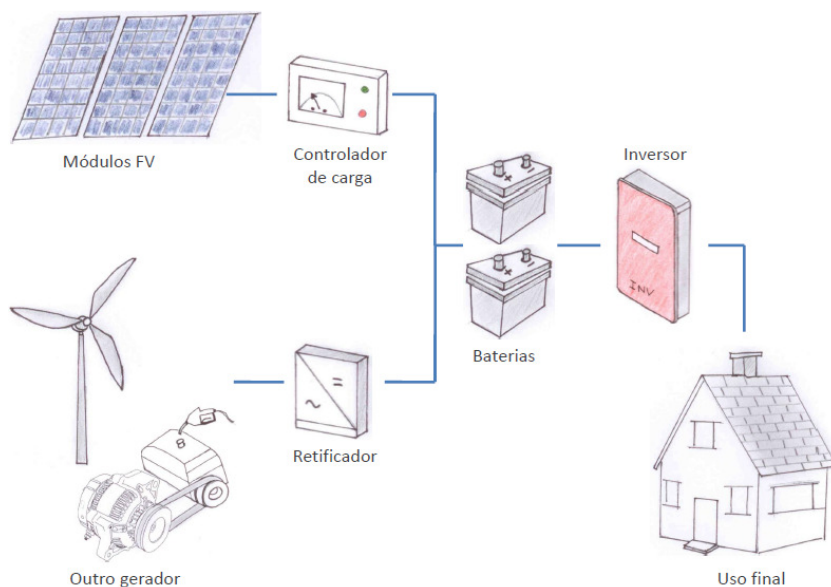


Figura 2.9 - Sistema híbrido.

II. Sistemas FV conectados à rede (SFVCR)

Os SFVCR costumam não utilizar armazenamento de energia, pois a rede elétrica pública é utilizada como sistema de armazenamento. Os equipamentos principais que compõem um SFVCR são os painéis fotovoltaicos e inversores que têm a função de sincronizar os módulos com a rede.

A Figura 2.10 mostra o esquema de uma residência com SFVCR.

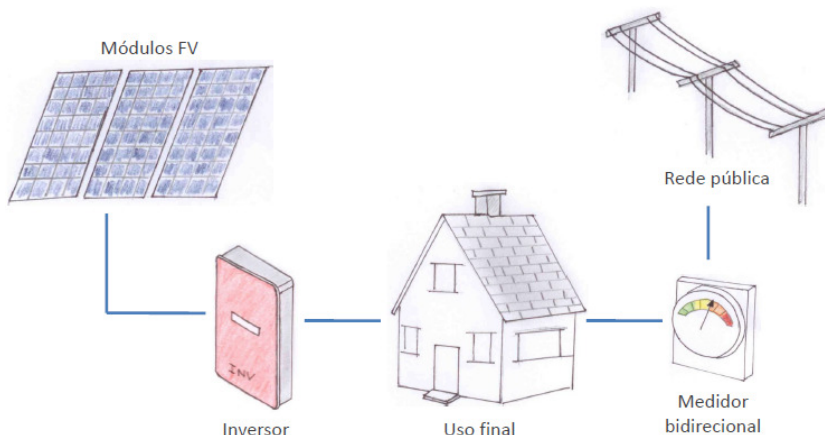


Figura 2.10 - Sistema solar fotovoltaico conectado à rede (SFVCR).

2.5.1.1 Células Fotovoltaicas

A conversão de energia solar em eletricidade, através de um material semicondutor, ocorre na célula fotovoltaica. Um semicondutor apropriado é aquele com mais sensibilidade para gerar o maior produto corrente-tensão para a luz visível, pois a maior parcela de energia fornecida pelo sol está na região visível do espectro (GTES, 2004).

As células mais encontradas no mercado são as de silício. A seguir são apresentados três diferentes tipos de tecnologias de células FV de silício.

I. Silício monocristalino [m-Si]

Estas células são obtidas a partir de barras cilíndricas de silício monocristalino produzidas em fornos especiais. Sua eficiência de conversão da luz solar em energia elétrica é de 12 a 20% em produtos comerciais. É o tipo de tecnologia que utiliza mais material e energia para a fabricação de células FV (GTES, 2004). A Figura 2.11 mostra a face frontal de uma célula FV de silício monocristalino.



Figura 2.11 - Face frontal de uma célula FV de silício monocristalino.

II. Silício multicristalino [p-Si]

Nestas células FV o silício está solidificado em forma de um bloco composto por vários pequenos cristais. Por não ser um único cristal, a eficiência comparada ao monocristalino é menor, mas, em compensação, o custo do multicristalino, por exigir menos energia no processo de fabricação, se torna mais barato (NASCIMENTO, 2004). A

mostra a face frontal de uma célula FV de silício multicristalino.

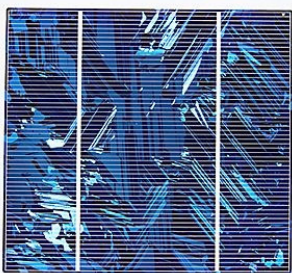


Figura 2.12 - Face frontal de uma célula FV de silício multicristalino.

III. Filme fino de silício amorfo [a-Si]

Nesta tecnologia, as células FV estão dispostas em filmes finos de silício amorfo depositados sobre substratos de baixo custo, como vidro, aço, inox e plásticos. Esta tecnologia tem espaço no mercado por sua maior versatilidade para se adaptar bem à arquitetura das edificações, podendo os módulos FV ser flexíveis e até mesmo semitransparentes.

Por outro lado, esta tecnologia possui uma eficiência baixa comparada com as duas tecnologias descritas anteriormente, variando entre 5 a 10% (PARIDA, INIYAN e GOIC, 2011). A Figura 2.13 mostra a face frontal de um módulo FV de filme fino de silício amorfo e a Figura 2.14 mostra um exemplo de filme fino aplicado sobre um substrato flexível.



Figura 2.13 - Face frontal de um módulo FV de filme fino de silício amorfo.

Figura 2.14 - Filme fino sobre um substrato flexível.

2.6 Produtividade (*Yield*) de SFVCR

O *Yield* (produtividade) é uma relação simples entre energia gerada sobre potência instalada de um sistema, na qual se pode saber o quanto cada unidade de potência nominal instalada do SFVCR está gerando. A unidade tipicamente usada é o kWh/kWp.

$$Yield = \frac{E_{FV}}{P_{FV}} \quad \text{Equação 2.1}$$

Onde:

Yield = produtividade

E_{FV} = energia gerada

P_{FV} = potência instalada

2.7 Taxa de desempenho (PerformanceRatio – PR) de SFVCR

A taxa de desempenho, mais conhecida pelo termo em inglês *PR* (*PerformanceRatio*), é uma das variáveis mais importantes quando se avalia a eficiência de um SFVCR. Nesta análise pode-se encontrar o fator de qualidade para o sistema. Neste trabalho será utilizada a sigla *PR* para designar esta grandeza. O *PR* é indicado em porcentagem (%) e apresenta a relação entre as saídas de energia reais e teóricas do SFVCR, mostrando a porcentagem de energia disponível para injetar na rede após a dedução de perdas de energia (perdas térmicas, condução e inversores) e o consumo de energia para a operação.

Em um SFVCR ocorrem perdas: relacionadas à temperatura de operação dos módulos FV, no cabeamento elétrico, na conversão CC/CA no inversor, por sombreamento, entre outras.

Quanto mais perto de 100% for o valor de *PR*, menores são as perdas no SFVCR. No entanto, não é possível atingir um *PR* de 100% na prática, pois há perdas inevitáveis que surgem durante o funcionamento de um sistema FV. Para a realidade técnica atual, normalmente um sistema FV bem projetado e instalado, que utiliza módulos FV e inversores de boa qualidade, e que esteja em perfeitas condições de funcionamento tem um *PR* de cerca de 80% (DECKER e JAHN; 1997; MARION *et al.*;2005; MONDOL *et al.*;2006; REICH *et al.*;2012; RUTHER *et al.*;2010; ZOMER *et al.*;2013).

Segundo estudo realizado na Alemanha por Reich (2011), no qual foi analisado o *PR* de cerca de 100 SFVCR, foi encontrado uma média de ~84% para o valor de *PR*. Entre os sistemas analisados, os que apresentaram o maior valor de *PR* foram sistemas bem instalados e com tecnologias mais avançadas. Acredita-se que com o avanço dos estudos, capacitação técnica e os avanços de tecnologias na área FV possam tornar o *PR*>90% uma realidade (REICH, 2012).

2.8 Ferramentas computacionais

Os programas computacionais já estão presentes em todas as áreas, facilitando o desenvolvimento de inúmeros projetos. Tratando-se de sistemas fotovoltaicos, os programas aperfeiçoam o projeto fornecendo condições climáticas, características dos componentes e do perfil de demanda de energia.

Atualmente já existem programas desenvolvidos por empresas ou universidades capazes de simular sistemas FV isolados (puros ou híbridos) ou SFVCR. Existem dois softwares bastante utilizados e ambos serviram como auxílio durante o atual trabalho. São os seguintes:

Radiasol: É um *software* nacional desenvolvido pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Utiliza modelos matemáticos e no programa os cálculos são realizados através de rotinas que determinam o efeito de inclinação da face onde os módulos serão orientados, contando com as diferentes componentes da irradiância, direta e difusa. Também é possível alterar o desvio azimutal e a inclinação. O usuário pode selecionar o modelo de distribuição da radiação para realizar os cálculos, obtendo um conjunto de dados na forma de tabelas ou gráficos (www.solar.ufrgs.br).

PVSyst: Enquanto o Radiasol é utilizado para obter valores de radiação, o PVSyst é um software usado para dimensionamento de sistemas FV. Permite fazer simulações na fase de projeto final ou em uma fase pós-constructiva com monitorações através de dados enviados pelo sistema FV. As simulações podem ser feitas tanto para sistemas isolados quanto os conectados à rede (www.pvsyst.com). Através de dados meteorológicos, o programa otimiza os sistemas, permitindo a escolha de uma correta orientação e posicionamento dos módulos FV em uma área de máxima exposição ao sol e mínima de sombreamento.

2.9 Regulamentação nacional para fontes renováveis de energia

A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) aprovou a resolução 482/2012 que estabelece regras para a micro- e a minigeração distribuída através de sistemas FV. Para microgeração, a limitação é de até 100 kW de potência com conexão em baixa tensão, e para minigeração a potência instalada pode ser acima de 100kW até no máximo 1 MW com conexão em média tensão. A regra é válida

também para fontes renováveis como energia hídrica (PCH), biomassa, eólica e também para cogeração qualificada.

A resolução 482/2012 criou um sistema de compensação de energia, no qual o pequeno consumidor que instalar geradores em sua unidade tem a possibilidade de trocar energia com a distribuidora. Instalando unidades geradoras em residências, por exemplo, a energia produzida que não for consumida será injetada na rede distribuidora, que utilizará o crédito para abastecer o consumo dos meses subsequentes. Os créditos devem ser utilizados em até 36 meses. As informações são apresentadas na fatura do consumidor, para que o mesmo tenha um controle do saldo de energia. Caso expire o prazo de 36 meses e os créditos de energia não forem consumidos, o saldo não utilizado torna-se propriedade da distribuidora(ANEEL, 2012).

Para sistemas FV com potência instalada maior que 1MWp, a comercialização passa a ser diferente, através de contratação regulada (Leilões) e contratação livre. Em leilões são definidos os preços de compra e venda pelo órgão organizador. No caso do Brasil existem os leilões de Ambiente de Contratação Regulada (ACR), que são delegados pela ANEEL e realizados pela Câmara de Comercialização de Energia elétrica (CCEE). Em leilões definidos pelo Conselho Nacional de Política Energética (CNPE), os mesmos são realizados diretamente pela ANEEL (CCEE, 2014). No Ambiente de Contratação Livre (ACL), os geradores, produtores, comercializadores de energia e os consumidores livres e especiais têm a liberdade para negociar a compra de energia. Esse tipo de contrato deve ser, obrigatoriamente, registrado na CCEE.

2.10 Dados de mercado

2.10.1 Módulos fotovoltaicos

A potência instalada acumulada mundial de sistemas FV ultrapassou os 140 GWp em 2013. A Figura 2.15 mostra a potência FV instalada acumulada no mundo no final de 2012 e no final de 2013, e a participação percentual de cada região do mundo.

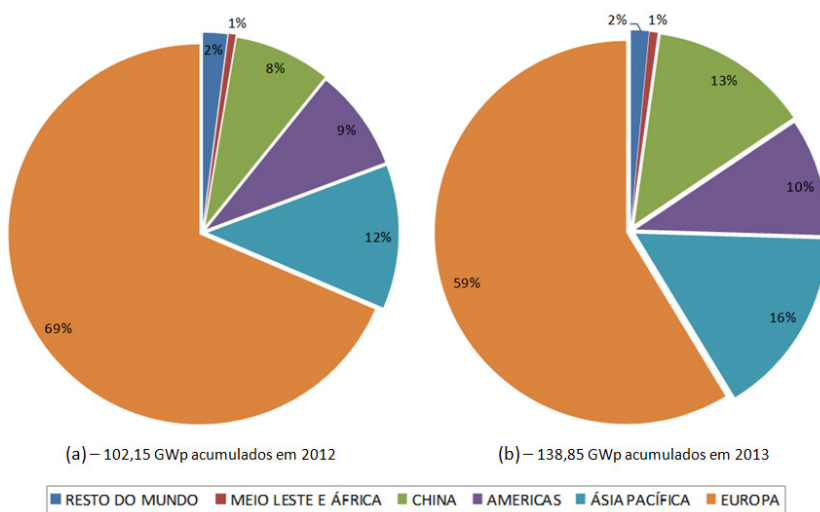


Figura 2.15 - Potência FV instalada acumulada no mundo no final de 2012 e no final de 2013, e a participação percentual de cada região do mundo.

Fonte: adaptado de EPIA, 2014.

A potência instalada mundial durante o ano de 2012 foi de 31,09 GWp(EPIA, 2013)e ao longo de 2013 foi de 38,35 GWp(EPIA, 2014), segundo Press Release do EPIA's Global Market Outlook (GMO), que será publicado em junho de 2015, a potência instalada ao longo de 2014 foi de 40 GW. Na Figura 2.16 pode-se observar crescimento massivo do mercado chinês em 2013e qual foi a participação de cada região durante os anos de 2012 e 2013.

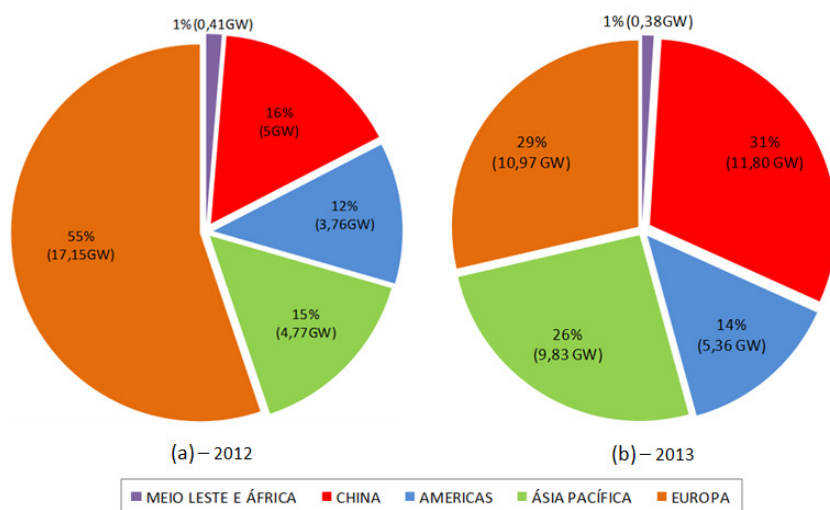


Figura 2.16 - Parcela da capacidade FV instalada em 2012 e em 2013 referente as diversas regiões do mundo.

Fonte: adaptado de EPIA, 2014.

Conforme observado na Figura 2.15, o mercado Europeu tinha participação em mais de 50% da potência FV instalada mundial até 2013. Desde 2004 até 2012 a Europa veio sendo responsável por mais da metade do valor da potência instalada no mundo. No entanto, conforme observado na Figura 2.16, em 2013 a China mudou esse cenário.

Na Figura 2.17, apresenta-se o histórico do mercado FV europeu comparado com as Américas e o total mundial.

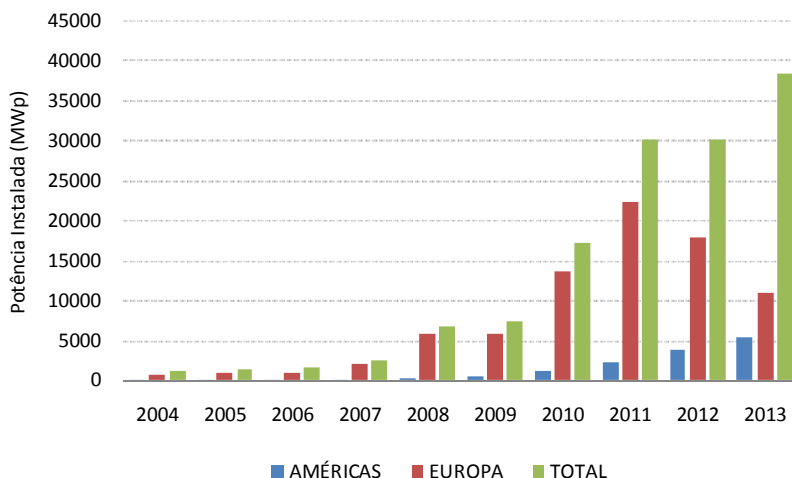


Figura 2.17 - Histórico de ano a ano da potência instalada na Europa X Américas X Total no mundo.

Fonte: adaptado de EPIA, 2014.

A média da participação europeia no mercado FV segundo os dados históricos apresentados na Figura 2.17 é de 73% do total anual instalado no mundo. Na região das Américas, a potência média anual instalada é de 7% do total mundial, sendo que mais de 90% dos sistemas FV estão concentrados nos EUA e o Brasil não chega nem a 1% dessa parcela.

No ano 2012, o líder do mercado mundial foi a Alemanha, com a instalação de 7,5GWp, seguida da China com 5 GWp e Itália com 3,4GWp instalados (EPIA, 2013). Em 2013, a Alemanha passou para a quarta posição com uma potência instalada de 3,3 GWp e o maior instalador de sistemas FV do ano foi a China com 11,8 GWp, seguida do Japão com 6,9 GWp e EUA com 4,8 GWp (EPIA, 2014).

Do total de energia fotovoltaica instalada atualmente no mundo, a Figura 2.18 mostra os principais produtores mundiais em suas respectivas posições com uma análise comparativa entre a potência total acumulada no final de 2013 e a potência total instalada do ano.

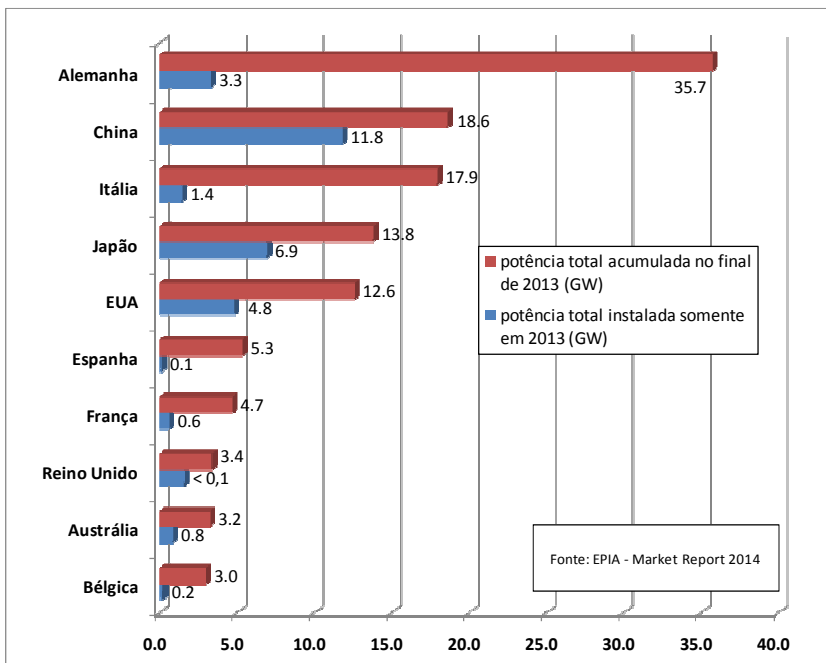


Figura 2.18 - Mercado mundial, potência total acumulada e potência total instalada.

Fonte: adaptado de EPIA, 2014.

2.11 Considerações finais

O sol é uma fonte de energia capaz de satisfazer indefinidamente muitas das necessidades energéticas, desde que se desenvolva uma tecnologia apropriada para explorar adequadamente este recurso. Neste sentido, a construção civil tem demonstrado a eficiência da aplicação das técnicas.

Projetar para aproveitar a energia solar significa, inicialmente, enfrentar questões de geometria, questões econômicas e até mesmo culturais— o assunto é ainda desconhecido por muitos e as fontes de

energia tradicionais persistem por ser mais cômodo. O conhecimento e domínio das trajetórias do sol na latitude local, diárias e sazonais, constituem uma base inicial que irá auxiliar a tomar decisões quanto ao partido arquitetônico a ser adotado. Por isso, antes de iniciar qualquer projeto é preciso levar em conta as condições solares.

3 OBJETO DE ESTUDO

Ao longo do trabalho serão analisados dez SFVCR, distribuídos por sete estados brasileiros, submetidos a diferentes índices de irradiação solar e situados em diferentes zonas climáticas. Os Estados nos quais os dez SFVCR estão situados estão indicados na Figura 3.1.

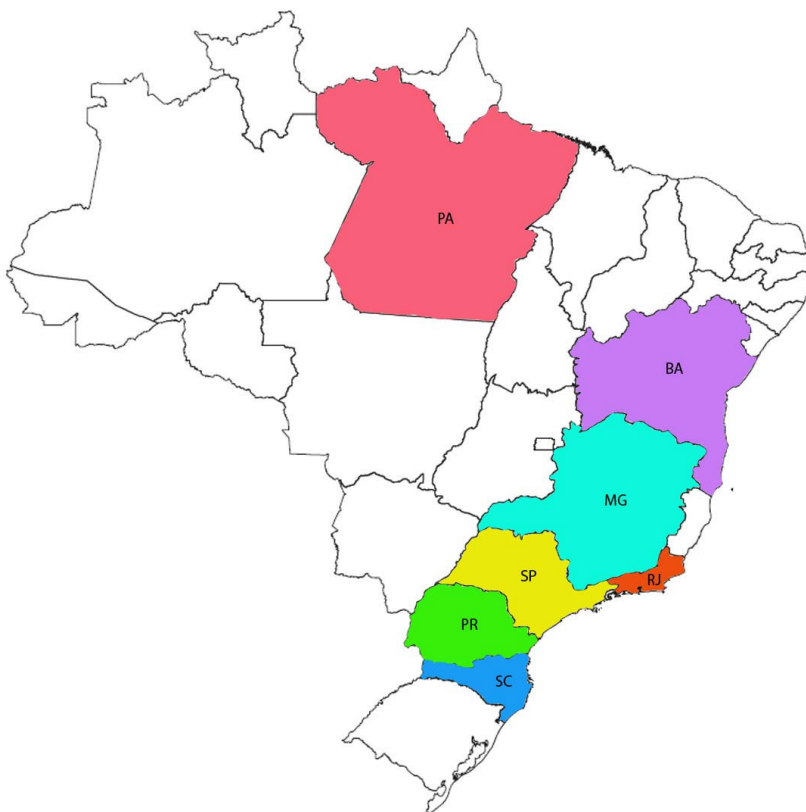


Figura 3.1 - Estados brasileiros onde estão situados os dez SFVCR analisados neste trabalho.

Para cada um dos sete estados analisados, os SFVCR estão instalados numa mesma cidade. Em um estudo preliminar, foi verificado o nível de irradiação global horizontal de cada cidade, para uma comparação entre a disponibilidade solar. Conforme mostrado na Tabela 3.1, as cidades que apresentam maior disponibilidade solar

(4,91 a 5,26 kWh/m²/dia) são Belém-PA, Salvador-BA e Belo Horizonte-MG, e as com menor potencial (4,41 a 4,83 kWh/m²/dia) são Florianópolis-SC, São Bernardo do Campo-SP, Curitiba-PR e Macaé-RJ. Os dados de irradiação solar foram obtidos junto ao banco de dados do Projeto SWERA (SWERA, 2014), com uma resolução espacial de 10 x 10 km e foram coletados dados de irradiação mensais [médias dos totais diários mensais, em kWh/m²/dia].

Tabela 3.1 – Índices de irradiação e coordenadas de cada cidade analisada (Base de dados SWERA).

ESTADO	CIDADE	COORDENADAS		IRRADIAÇÃO: Média anual do total diário (kWh/m ² /dia)	IRRADIAÇÃO: Total anual médio (kWh/m ² /ano)
		Latitude	Longitude		
SC	Florianópolis	-27,6	48,51	4,41	1.610
PR	Curitiba	-25,42	-49,27	4,77	1.741
SP	São Bernardo do Campo	-23,71	-46,58	4,62	1.686
MG	Belo Horizonte	-19,5	-42,58	4,91	1.792
RJ	Macaé	-22,3	-41,87	4,83	1.763
BA	Salvador	-12,93	-39,41	4,97	1.814
PA	Belém	-1,45	-48,5	5,26	1.920

Na Tabela 3.2 são apresentados os dez SFVCR selecionados para os estudos de caso, indicando suas coordenadas, desvio azimutal, inclinação e a tecnologia dos módulos FV.

Tabela 3.2-SFVCR usados como estudo de caso e suas respectivas coordenadas e inclinação dos módulos FV.

#	Sistema	Coordenadas		Azimute [0-360]	Inclinação[graus]	Tecnologia
		Lat. (S)	Long. (W)			
1	FLN-1	27,6	48,5	0	27	a-Si
2	FLN-2	27,4	48,5	5 O	5	μ-Si
3	FLN-3	27,6	48,5	31 L	12	μ-Si
4	FLN-4	27,6	48,5	51 L	6	a-Si
5	BHO-1	19,5	42,5	90 L	12	m-Si
6	SAL-1	12,9	39,4	vários	5	a-Si
7	SBC-1	23,7	46,5	104 O	12	a-Si
8	MAC-1	22,3	41,8	110 L	12	p-Si
9	CUR-1	25,4	49,2	22 O	15	μ-Si
10	BEL-1	1,4	48,5	145 O	10	μ-Si

3.1 Características dos sistemas

#1. FLN-1

O SFVCR FLN-1 está localizado em Florianópolis-SC, e opera desde setembro de 1997 na cobertura do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Foi o primeiro SFVCR a ser integrado à arquitetura de uma edificação no Brasil (RÜTHER, 1998; RÜTHER & DACOREGIO, 2000). A potência instalada é de 2kWp, e o sistema é composto por módulos opacos e semitransparentes de filme fino de silício amorfo (a-Si), inversores e sensores de irradiação horizontal, inclinada e de temperatura ambiente e do módulo. O painel FV está orientado para o norte geográfico e com inclinação igual à latitude local (27°). A Figura 3.2 apresenta imagens do sistema.



Figura 3.2- SFVCR FLN 1: primeiro sistema BAPV³ do Brasil (operando desde 1997).

³BAPV – Building-Applied Photovoltaic System: SFVCR integrado a uma edificação já existente, descaracterizando a arquitetura original.

#2. FLN-2

O SFVCR FLN-2 foi projetado para ser uma área coberta de convivência ao lado do Hospital Universitário, no campus da UFSC de Florianópolis - SC. Este SFVCR entrou em operação em junho de 2009. O sistema é composto por uma estrutura metálica sobre a qual foi instalado o painel fotovoltaico, com 15 módulos de silício microcristalino (μ -Si), de 132,5 Wp cada, totalizando 1,99 kWp. O painel fotovoltaico encontra-se voltado a 5° oeste de desvio azimutal em relação ao norte, com inclinação de 5° e ocupando uma área de 27m². A Figura 3.3 apresenta imagens do sistema.



Figura 3.3 - SFVCR FLN 2: espaço de estar solar localizado no Hospital Universitário do campus da UFSC.

#3. FLN-3

O SFVCR FLN-3 está localizado em Florianópolis - SC, no Aeroporto Hercílio Luz, e entrou em operação em junho de 2009. O painel FV foi instalado na cobertura do terminal de cargas da INFRAERO, com 16 módulos de silício microcristalino (μ -Si), de 132,5 Wp cada, totalizando 2,12 kWp. O painel FV encontra-se voltado a 31° leste de desvio azimutal em relação ao norte, com inclinação de 6° e ocupando uma área de 29 m². A Figura 3.4 apresenta imagens do sistema.



Figura 3.4 - SFVCR FLN-3: integrado à cobertura do prédio de cargas da INFRAERO no aeroporto de Florianópolis.

#4. FLN-4

O SFVCR FLN-4 é um dos subsistemas do SFVCR instalado na frente da sede da ELETROSUL, em Florianópolis - SC, que é uma planta piloto do Projeto Eletrosul Megawatt Solar e já está em operação desde fevereiro 2009 (URBANETZ *et al.*, 2011; SANTOS & RÜTHER, 2014). O conceito de projeto foi demonstrar a flexibilidade e utilização da tecnologia fotovoltaica em três aspectos principais: orientação, inclinação e forma da cobertura. A planta piloto possui cobertura metálica curva de 234 m², com 88 módulos fotovoltaicos de filmes finos flexíveis de silício amorfo (a-Si) 136 Wp. A potência total instalada é de 11,97 kWp com três inversores e um sistema de aquisição de dados de temperatura do módulo, irradiação solar e parâmetros elétricos com resolução temporal de cinco minutos. A planta piloto está dividida em três subsistemas os quais foram divididos da seguinte forma:

- Subsistema 1: 28 módulos totalizando 3,81kWp ligados ao inversor 1. Neste subsistema, metade dos módulos está orientada para o nordeste e a outra metade para o sudoeste;
- Subsistema 2: 30 módulos totalizando 4,08 kWp ligados ao inversor 2. Neste subsistema, os módulos estão orientados para o sudoeste;
- Subsistema 3: 30 módulos totalizando 4,08 kWp ligados ao inversor 3. Neste subsistema, os módulos estão orientados para o nordeste.

Na Figura 3.5 é apresentado um diagrama esquemático com a indicação dos três subsistemas que compõem a planta piloto. O SFVCR FLN-4 refere-se ao Subsistema 3 dessa planta piloto, e está destacado em vermelho. A Figura 3.6 apresenta imagens da planta piloto.



Figura 3.5 - Distribuição dos subsistemas da planta piloto. Sistema estudado em vermelho.

Fonte: ZOMER *et al.*, 2012.



Figura 3.6 - SFVCR FLN-4: planta piloto do Projeto MegaWatt Solar.

#5. BHO-1

O SFVCR BHO-1 é um sistema do tipo BAPV integrado a uma residência unifamiliar, localizada em Belo Horizonte - MG. Foi o primeiro SFVCR residencial do município e está em operação desde março 2010. A potência instalada é de 3,57 kWp, e o painel FV é composto por módulos de silício monocristalino com a mesma inclinação (12°) da arquitetura do telhado existente e 90° leste de desvio azimutal em relação ao norte. A Figura 3.7 apresenta imagens do sistema.



Figura 3.7 - BHO-1: SFVR residencial em Belo Horizonte - MG.

#6. SAL-1

O SFVCR SAL-1 está localizado em Salvador - BA, no Estádio de Pituaçu. Este estádio foi escolhido pela COELBA para ser um projeto vitrine para a tecnologia FV por ser um estádio importante da cidade, e por ser propriedade do governo do Estado. O sistema está operando desde abril de 2011 e possui uma potência instalada de 404,8 kWp; os módulos FV estão distribuídos nas coberturas e nos estacionamentos do estádio. A inclinação do sistema é de 5° e o desvio azimutal é variado. A Figura 3.8 apresenta imagens do SFVCR do projeto Pituaçu Solar.



Figura 3.8 - SFVCR SAL-1: sistema integrado ao estádio Pituaçu, em Salvador - BA.

#7. SBC-1

O SFVCR SBC-1 está instalado em São Bernardo do Campo - SP, em frente à empresa Motor Z, do grupo Zeppini. O projeto consiste em uma estrutura metálica com uma cobertura FV curvada com potência instalada de 2,45 kWp, com inclinação de 12° e orientada para o Sudoeste (desvio azimutal de -104° do Norte verdadeiro). O sistema está em operação desde Junho de 2008 e foi projetado para ser um estacionamento de veículos (carport solar). Apresenta sombreamento no período da manhã, por volta das 10:00 h (Figura 3.9). A Figura 3.10 apresenta imagens do sistema em geral.

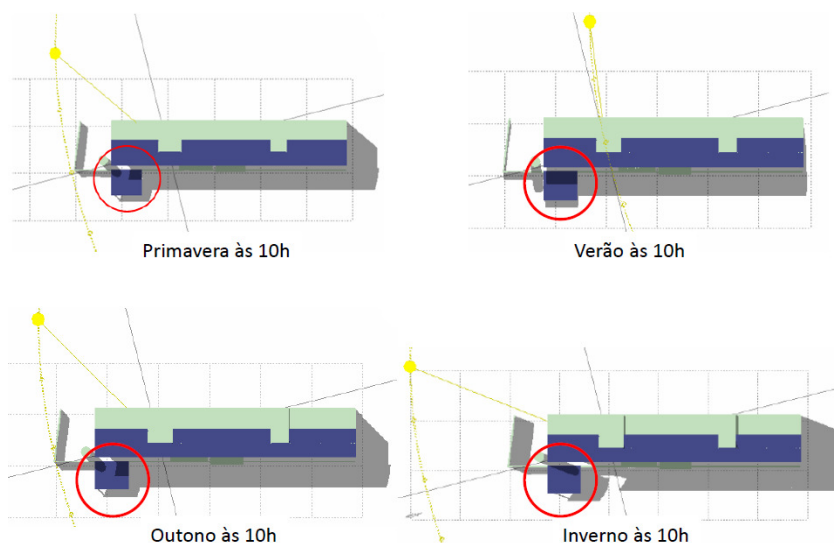


Figura 3.9 - Horário que o SFVCR SBC-1 tem sombreamento para cada uma das quatro estações do ano.



Figura 3.10 - SFVCR SBC 1: Carport solar na empresa MotorZ.

#8. MAC-1

O SFVCR MAC-1 está localizado em Macaé-RJ, integrado à cobertura do prédio administrativo da usina termoeletrica Norte Fluminense do Grupo EDF (Electricité de France), e possui um painel de 1.800 módulos FV inclinados a 12° e com desvio azimutal de 110° leste em relação ao norte totalizando uma potência instalada de 315 kWp, capaz de atender ao consumo elétrico total do prédio na base anual. A cobertura projetada para servir de suporte para os módulos FV também coleta a água da chuva, no intuito de tornar a usina mais autossuficiente em água, bem como reduzir a carga térmica sobre a edificação, através do sombreamento que a cobertura FV causa. A Figura 3.11 apresenta imagens do sistema.



Figura 3.11 - SFVCR MAC 1: sistema integrado às instalações da UTE Norte Fluminense.

#9. CUR-1

O SFVCR CUR-1 está integrado à edificação de um projeto da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) chamada de Escritório Verde, na qual a proposta é de uma edificação sustentável modelo de 150m²(URBANETZ JR., 2014). Além de utilizar o sol para aproveitamento da luz natural no interior da edificação, o projeto previu geração FV conectada à rede para abastecer a demanda de energia elétrica. O SFVCR do Escritório verde tem uma potência instalada de 2,10 kWp e é composto por um inversor monofásico em 220V de 2kW de potência nominal para um painel FV de 15m² no qual estão instalados dez módulos de silício multicristalino inclinados a 15° com desvio azimutal de 22° oeste em relação ao norte. Entrou em operação em dezembro de 2011. A Figura 3.12 apresenta imagens do sistema.



Figura 3.12 - SFVCR CUR-1: sistema integrado à edificação do projeto Escritório Verde da UTFPR.

#10. BEL-1

O SFVCR BEL-1 foi instalado no edifício de uso comercial da UNICRED, localizado em Belém-PA, com uma potência instalada de 12,6 kWp, sendo composto por 60 módulos FV de silício multicristalino de 210 Wp cada, instalados através de estruturas de suporte em alumínio com inclinação de 10° sobre a laje de cobertura do prédio. O SFVCR teve início de operação em março de 2012, possui sistema de monitoração e o kit de inversores é composto por três aparelhos de 3,8 kW. Com o resultado da experiência positiva do primeiro sistema, a empresa decidiu ampliar a área de módulos FV na cobertura e aumentar a geração de energia do prédio. Em outubro de 2013 concluiu-se a instalação de mais 34,56 kWp de geração FV, com 144 novos módulos de silício multicristalino de 240 Wp cada, seguindo as mesmas características de inclinação e instalação do primeiro sistema.

Os módulos de ambos estão com inclinação de 10° e desvio azimutal de 145° oeste em relação ao norte. O novo sistema possui dois inversores de 15 kW cada. A configuração FV atual do prédio da UNICRED é de 47,16 kWp de potência instalada e chega a suprir cerca de 50% do consumo do prédio (BLASQUES, 2014). A Figura 3.13 apresenta imagens do edifício e do SFVCR.



Figura 3.13 - SFVCR BEL-1: sistema BAPV em uma edificação comercial, destacado em vermelho o sistema considerado neste estudo e em verde a ampliação.

O sistema analisado tem uma área considerável de sombreamento a partir das 9 h no inverno e das 16 h no verão. As perdas médias anuais de sombreamento são da ordem de 9,6 %, com máximo verificado nos meses de novembro e dezembro (17,22 %) e mínimo em agosto (0,78 %). A Figura 3.14 apresenta a simulação para as duas estações, as quais foram calculadas para os dias 21 de junho e 21 de dezembro, solstício de inverno e de verão (BLASQUES, 2014).

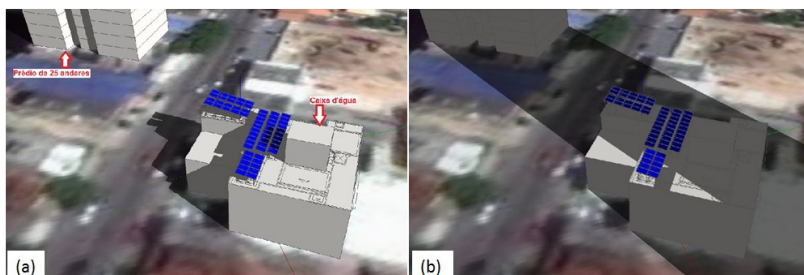


Figura 3.14 - BEL 1: Projeções de sombra no SFVCR nos dias e horários de (a) 21 de junho às 9 h e (b) 21 de dezembro às 16 h.

Fonte: BLASQUES, 2014.

4 MÉTODO

Neste trabalho, conforme definido nos objetivos, foram desenvolvidas duas linhas de estudo quanto aos SFVCR (integrados ou não a edificações) em operação no Brasil até final de 2014, incluindo aqueles cujo início de operação está previsto para 2015.

A primeira linha de estudo consiste no estudo de caso de dez SFVCR selecionados em função da disponibilidade de dados de geração no mínimo na base mensal, com o objetivo de comparar o seu desempenho real com o estimado por simulação computacional.

A segunda linha consiste de um levantamento de informações sobre os SFVCR em operação no Brasil até março de 2015, procurando identificar e inventariar o máximo de sistemas, através da consulta a empresas instaladoras, proprietários de SFVCR, concessionárias de energia e consulta ao Banco de Informações de Geração (BIG) da ANEEL [www.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=15].

As atividades desenvolvidas no atual trabalho estão divididas em etapas, conforme mostra o fluxograma da Figura 4.1 – Fluxograma do Método.

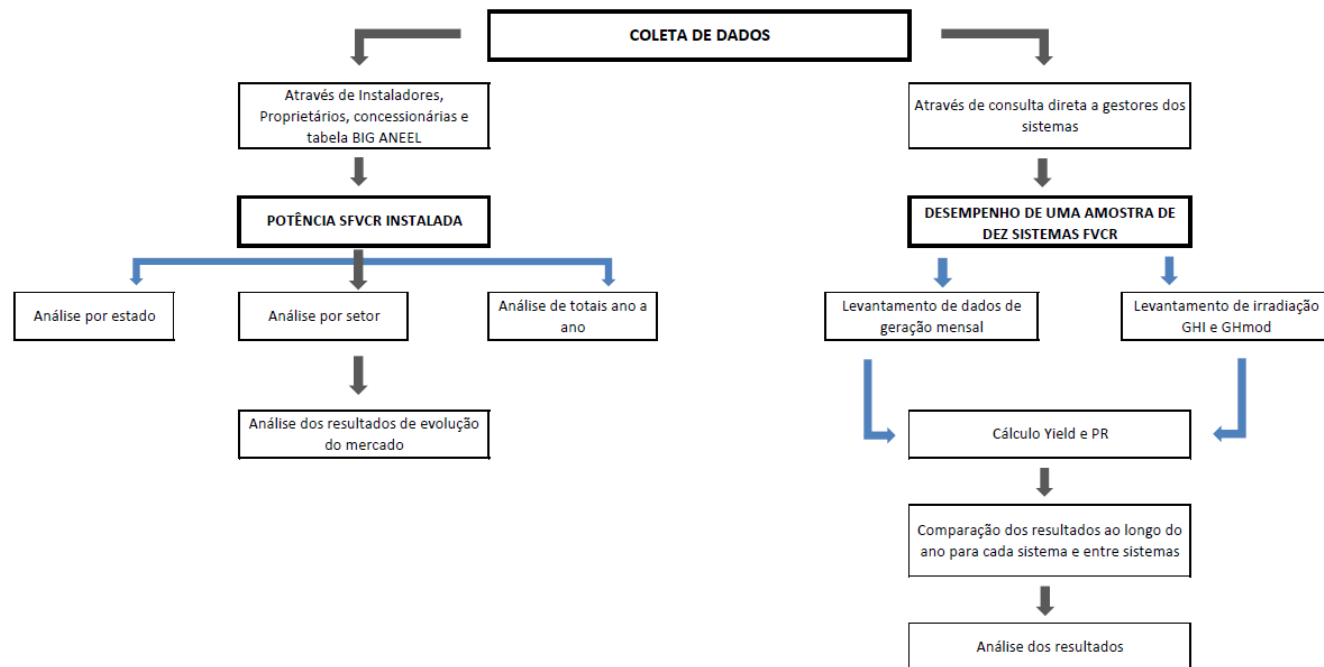


Figura 4.1 - Fluxograma do Método.

4.1 Estudos de caso de dez SFVCR no Brasil

Para realizar os estudos de caso, foram necessárias as seguintes informações sobre cada SFVCR: potência instalada, coordenadas, orientação e inclinação dos módulos FV, geração FV (mensal e anual) e níveis de irradiação (mensal e anual) no plano dos módulos FV.

Com essas informações, foram então calculadas grandezas de desempenho de cada sistema nas bases anual e mensal. A partir dos resultados obtidos, foram então feitas análises comparativas.

Nos itens a seguir são detalhados os passos para levantar as informações sobre cada SFVCR, e os cálculos das grandezas de desempenho.

4.1.1 Seleção dos dez SFVCR para estudos de caso

Identificou-se, através de consultas a universidades e ao Sunny Portal⁴, dez SFVCR que dispõem de monitoração contínua e confiável dos dados de geração dos mesmos. Tais sistemas estão distribuídos entre os estados de Santa Catarina, Paraná, Rio de Janeiro, São Paulo, Minas Gerais, Bahia e Pará.

4.1.2 Geração FV

Para cada SFVCR selecionado foram solicitados os dados de geração mensal (kWh/mês) disponíveis ao longo dos anos de 2012 e 2013. Para alguns dos sistemas selecionados não havia dados para todo o período de interesse.

4.1.3 Dados de irradiação solar

Foi feito um levantamento dos valores de irradiação solar incidente medida e estimada no plano dos módulos de cada SFVCR, para os anos 2012 e 2013. Para os dados medidos, inicialmente a

⁴Sunny Portal é a página do fabricante de inversores SMA na qual estão disponíveis online informações de geração de SFVCR que utilizam inversores desta marca.

intenção era utilizar dados de sensores de medição *in loco*. No entanto, nem todos os dez sistemas possuem um medidor próprio. A seguir são então apresentadas as considerações sobre as diferentes fontes de dados de irradiação adotadas e que são comparadas.

4.1.3.1 Medição *in loco* ou em estações próximas

Para dois dos quatro sistemas localizados no campus da UFSC (FLN-2 e FLN-4), em Florianópolis-SC, foram utilizados os dados de irradiação global horizontal registrada por um piranômetro instalado junto a um destes sistemas (FLN-1)⁵ e, através do *software* RADIASOL (KREZNINGER, 1998), foram calculados os valores de irradiação para o plano dos módulos de cada sistema.

Para o sistema FLN-3, que está localizado no aeroporto de Florianópolis, a cerca de 9 km de distância dos demais, foram utilizados os dados de irradiação medidos por uma célula de referência que fica instalada junto aos módulos FV.

Para o sistema SAL-1, que está integrado ao estádio do Pítuaçu em Salvador - BA, foram utilizados dados de irradiação de uma célula de referência com inclinação de 5° instalada no próprio sistema.

Para o sistema localizado em Curitiba-PR (CUR-1), os dados de irradiação foram obtidos a partir do banco de dados disponibilizado pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) para a estação A807, localizada na região metropolitana de Curitiba (INMET, 2013). Como o piranômetro do INMET está instalado na posição horizontal, foi também utilizado o programa Radiasol para determinar a irradiação que efetivamente incide sobre os módulos deste sistema.

Para o sistema localizado em Belém - PA (BEL-1), os dados de irradiação foram obtidos a partir do piranômetro instalado também em Belém, a 5 km de distância. Os valores foram extraídos da mesma fonte do artigo publicado por BLASQUES (2014), o qual faz uma análise do sistema ao longo dos 20 primeiros meses de operação.

⁵Para o sistema FLN-1, junto ao qual está instalado o citado piranômetro, foram utilizados diretamente os dados de um segundo piranômetro posicionado com a mesma orientação e inclinação dos módulos FV deste sistema.

Para o SFVCR localizado em São Bernardo do Campo - SP (SBC-1), os valores de irradiação medida são os registrados na estação meteorológica do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo (IAG-USP), a cerca de 7 km de distancia (27,65° S; 46,62° O) do sistema. Como o piranômetro está instalado na posição horizontal, foi utilizado o *software* Radiasol para encontrar os valores de irradiação no plano dos módulos.

Para o SFVCR localizado em Macaé - RJ (MAC-1) foram utilizados os dados de irradiação global horizontal da Estação do INMET (22°23'S; 41°49'O).

Para o SFVCR localizado em Belo Horizonte - MG (BHO-1) foram utilizados os dados de irradiação global horizontal da Estação INMET (19°53'S; 43°58'O).

4.1.3.2 Análise entre modelos matemáticos usados para transposição de irradiação solar

Em função do impasse quanto ao modelo matemático a ser adotado para transposição de irradiação solar, comentada no item 2.4 da revisão bibliográfica, neste trabalho foi feita uma análise preliminar, similar à realizada por Santos & Rüther (2014); porém, para tal análise, foram utilizados dados medidos por piranômetros *in loco* em Florianópolis (sul do Brasil). Tal estudo indicou as diferenças entre os modelos matemáticos de Perez e Klucher, definindo qual modelo utilizar na ferramenta Radiasol para calcular a transposição dos valores de irradiação solar difusa incidente na superfície horizontal para a inclinada, que no caso foi o de Perez (apresentado no item 5.2.2).

A análise de transposição dos valores de irradiação solar foi realizada utilizando os dados do SFVCR FLN-1 (um dos sistemas localizados em Florianópolis e analisados ao longo desta dissertação). Para realizar o estudo, foram necessários dados de irradiação solar, medidos através de um piranômetro na horizontal e outro inclinado à latitude local (27,6°). Os valores de irradiação horizontal foram transpostos para uma inclinação de 27,6°; para essa transposição foram utilizados quatro diferentes modelos matemáticos existentes na plataforma do programa Radiasol (Klucher, Perez, Hay e McKay e o Isotrópico). Para cada modelo matemático de transposição, foram comparados os valores de irradiação inclinada calculada com os valores

de irradiação medidos através do piranômetro inclinado. Aplicando a Equação 4.1 pode-se observar qual é o erro de transposição de cada modelo matemático.

$$Erro = \frac{(Calculado\ Inclinado - Medido\ Inclinado)}{Medido\ Inclinado} \quad \text{Equação 4.1}$$

4.1.3.3 Banco de dados de irradiação

Primeiramente, foram identificadas as bases de dados que disponibilizam informações de irradiação solar para o território brasileiro, que são: SWERA (Atlas), Olade (Radiasol), Meteonorm, Roriz e NASA. Os valores de irradiação utilizados neste estudo são os das cidades onde cada SFVCR analisado está instalado, para que esses sejam confrontados com dados de medidores *in loco* ou em estações próximas, como mencionado anteriormente.

I. SWERA / Atlas Brasileiro de Energia Solar

O projeto Solar and Wind Energy Resource Assessment (SWERA) reúne, em seu site, bancos de dados e ferramentas de análise do recurso solar e eólico desenvolvidos em conjunto com várias organizações internacionais (SWERA, 2013). A coordenação das atividades no Brasil e América Latina ficou com o Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CPTEC/INPE), em colaboração com a UFSC, que instalou e operacionalizou as estações solarimétricas que validaram o modelo matemático. O INPE publicou, como um dos resultados do projeto SWERA, o “Atlas Brasileiro de Energia Solar” (PEREIRA *et al.*, 2006). O projeto possui informações de todo o território brasileiro com resolução espacial de 10 km x 10 km e pode ser acessado em [http://en.openei.org/wiki/Solar_and_Wind_Energy_Resource_Assessment_\(SWERA\)](http://en.openei.org/wiki/Solar_and_Wind_Energy_Resource_Assessment_(SWERA)).

II. Meteonorm

O Meteonorm é um conceituado banco de dados que contém valores para a radiação solar, temperatura e outras grandezas medidas. Os valores medidos são baseados em medições de longo prazo (10 anos e mais), realizadas pelos serviços de meteorologia oficiais de cada país. Em todo o mundo, para cada local selecionado, o Meteonorm realiza uma interpolação espacial entre os valores medidos nas

estações de medição mais próximas. A interpolação leva em conta a altitude do local específico e a topografia do terreno. Para o Brasil, esta avaliação é baseada em dados de radiação do período de 1986 a 2005. Para download do banco de dados Meteonorm deve-se acessar: www.meteonorm.com

III. NASA - SolRad-Net

O banco de dados de radiação solar do *Solar Radiation Network* (SolRad-Net, <http://solrad-net.gsfc.nasa.gov/>) é disponibilizado pela NASA com dados de 1992 a 2014. O SolRad-Net é uma rede de sensores terrestres, proporcionando alta frequência de medições de fluxo solar, disponibilizados em tempo quase real para a comunidade científica e outros usuários finais. Esta rede foi implementada como uma parte do projeto AERONET. O núcleo brasileiro da atual rede foi desenvolvido no âmbito científico do componente LBA-ECO do *Large-Scaleiosphere-Atmosphere Experiment* na Amazônia. Historicamente, o SolRad-Net tem selecionado preferencialmente locais que rotineiramente experimentam intervalos de queimadas de biomassa, como a Amazônia e a África Subsaariana, devido à sua monitorização a longo prazo.

IV. RORIZ

O banco de dados RORIZ foi elaborado a partir de dados horários, registrados em 411 estações climatológicas do INMET. Para a grande maioria das estações, os dados são de apenas 3 anos, entre janeiro de 2008 e dezembro de 2010. Todas as estações incluídas na base de dados pertencem à categoria "Automáticas" e registram dados de irradiância solar Global, Direta Normal e Difusa. Os dados medidos nas estações automáticas do INMET são disponibilizados ao público em uma das páginas do Instituto Nacional de Meteorologia (www.inmet.gov.br/sonabra/maps/automaticas.php).

V. OLADE / Radiasol

A Organização Latino Americana de Energia (OLADE) publicou em 1987 mapas com dados derivados de correlações a partir de informações sobre o número de horas de insolação, registrados nas estações do Instituto Nacional de Meteorologia e outras estações brasileiras. OLADE é o banco de dados utilizado pelo programa Radiasol, desenvolvido pela UFRGS, e utiliza dados históricos de irradiação durante o período de 10 anos. Para *download* do

programa Radiasol, o qual utiliza o banco de dados OLADE, deve-se acessar: www.solar.ufrgs.br/#softwares

4.1.4 Desempenho dos SFVCR

Com valores de geração e irradiação medidos, mais os valores médios de irradiação extraídos dos bancos de dados, pode-se dar início à análise de desempenho dos SFVCR.

4.1.4.1 Produtividade (*Yield*)

Para o cálculo da produtividade (*yield*) de cada SFVCR, foram utilizados dados de geração mensal [kWh/mês] e anual [kWh/ano] disponíveis para os anos de 2012 e 2013. A equação 4.2 indica como encontrar o valor da produtividade.

$$Yield = \frac{E_{FV}}{P_{FV}} \quad \text{Equação 4.2}$$

onde,

Yield = Produtividade do SFVCR [kWh/(kWp.mês) ou kWh/(kWp.ano)];

E_{FV} = Energia total gerada pelo SFVCR no período considerado [kWh/mês ou kWh/ano]

P_{FV} = Potência nominal instalada do SFVCR em c.c. [kWp]

Feitos os cálculos, os resultados são apresentados em um único gráfico de barras com os valores de *yield* de cada um dos dois anos em estudo, para cada SFVCR, podendo-se assim analisar a variabilidade interanual de cada sistema através da produtividade (*yield*).

4.1.4.2 Taxa de desempenho (*PerformanceRatio*, PR)

Estando disponíveis os valores de irradiação, potência FV e energia gerada é possível calcular a taxa de desempenho (*PerformanceRatio*, PR) de cada sistema através da Equação 02. Assim como o *yield*, o PR também é calculado nas bases mensais e anuais.

$$PR_X = \frac{E_X / [G_{POA} / Irr_{CPT}]}{P_{FV}} \quad \text{Equação 4.3}$$

Onde:

PR_X = Taxa de desempenho do SFVCR “X” analisado, para o período considerado (mensal ou anual).

E_X = Energia FV gerada do SFVCR “X” analisado, no período considerado [kWh/mês ou kWh/ano]

G_{POA} = Irradiação solar no plano dos módulos para o período considerado [kWh/m²/mês ou kWh/m²/ano]

Irr_{CPT} = Irradiância solar nas CPT = 1 kW/m².

CPT = Condições Padrão de Teste.

P_{FV} = Potência nominal instalada do SFVCR [kWp]

Após obter os valores referentes ao desempenho mensal e anual de cada sistema analisado utilizando dados G_{POA} medidos, é feita a mesma análise utilizando G_{POA} referente a mais cinco diferentes bancos de dados, os quais já foram citados no item 4.1.3.3. Assim, pode-se comparar os PRs calculados para as diferentes referências de irradiação.

4.1.5 Diferenças entre bancos de dados de irradiação solar

Como mencionado anteriormente, foram estudadas diferentes bases de dados que possuem informações de irradiação solar estimada. Neste trabalho foram verificadas as diferenças existentes entre os diferentes bancos de dados de irradiação, com a finalidade de orientar pesquisadores ou projetistas de sistemas FV sobre quais são as diferenças entre os bancos de dados disponíveis no Brasil.

Para o cálculo da diferença, foram utilizados, como valores de referência, os dados de irradiação efetivamente medida (*in loco* ou em estações próximas ao SFVCR) ao longo de 2012 e 2013 ($G_{poa_{medidor}}$), e comparados com outros cinco valores referentes a bancos de dados de irradiação estimados, com médias de 10 a 22 anos (G_{poa_X}). A equação 4.4 mostra como é feito o cálculo para encontrar a diferença entre um valor medido e o estimado pelo banco de dados.

$$Diferença_x = \frac{Gpoa_x}{Gpoa_{medidor}} - 1$$

Equação 4.4

Onde:

X = banco de dados analisado: METEONORM, OLADE, SWERA, RORIZ ou NASA.

Diferença_x = diferença entre valor do banco de dados “x” e o valor efetivamente medido .

Gpoa_x = irradiação total incidente no plano dos módulos, conforme banco de dados “x” [kWh/m²/ano ou kWh/m²/mês].

Gpoa_{medidor} = irradiação total incidente no plano dos módulos, conforme medidor instalado junto ou próximo ao SFVCR [kWh/m²/ano ou kWh/m²/mês].

4.1.6 Geração medida x geração simulada

Encontrados os percentuais das diferenças entre os valores de irradiação, foi calculada a influência que os valores de sub- ou superestimação nos dados de (*Gpoa_x*) causaram na estimativa da geração de um SFVCR. Para isso, foram utilizados como valores de referência, os valores históricos medidos de geração FV ao longo de 2012 e 2013 de cada sistema, e tais valores foram comparados com a simulação de energia FV gerada em função dos valores de *Gpoa_x* de cada um dos cinco bancos de dados analisados, considerando um PR típico de 80%. A equação 4.5 mostra como encontrar a geração simulada de cada sistema para os cinco diferentes bancos de dados.

$$E_{FV_X} = P_{FV} \cdot (G_{poa_X} / Irr_{CPT}) \cdot PR_{TÍPICO} \quad \text{Equação 4.5}$$

Onde:

X = banco de dados analisado: METEONORM, OLADE, SWERA, RORIZ ou NASA.

E_{FV_X} = Energia FV gerada pelo SFVCR analisado no período considerado [kWh/mês ou kWh/ano], tendo como base o valor de irradiação fornecido pelo banco de dados “x”.

P_{FV} = Potência nominal instalada do SFVCR [kWp]

G_{POA_X} = irradiação total incidente no plano dos módulos, conforme banco de dados “x” [kWh/m²/mês ou kWh/m²/ano].

Irr_{CPT} = Irradiância solar nas CPT = 1 kW/m².

$PR_{TÍPICO}$ = Rendimento do sistema (inversor e conexões). Utiliza-se tipicamente o valor 80% por ser a média dos valores frequentemente encontrados na literatura (75% a 85%) (DECKER e JAHN; 1997; MARION *et al.*; 2005; MONDOL *et al.*; 2006; REICH *et al.*; 2012; RUTHER *et al.*; 2010; ZOMER *et al.*; 2013).

4.1.7 Comparação entre sistemas

Nesta etapa é necessário ter a análise de todos os SFVCR selecionados. Sendo assim, é gerado um gráfico de dispersão para cada sistema, comparando os valores mensais de PR referentes ao medidor com os PRs calculados a partir dos valores de irradiação dos bancos de dados. Também é feita uma análise com os PRs anuais em um gráfico de barras para visualizar a variação entre os valores.

Com os dados de geração FV, analisa-se a variabilidade interanual entre sistemas através do *Yield* calculado para os dois anos avaliados.

4.2 Inventário dos SFVCR instalados no Brasil

Para fazer um levantamento dos SFVCR instalados no Brasil, inicialmente foi elaborado um formulário de cadastro para cada sistema, no qual se procurou obter as seguintes informações: localização (cidade, estado e coordenadas geográficas), potência instalada (kWp), status (instalado ou em andamento), data de início de operação (para os SFVCR já comissionados), informações sobre os

módulos FV (tecnologia, marca), marca dos inversores, orientação e inclinação dos módulos FV, nível de sombreamento, maneira como o SFVCR foi instalado (se foi integrado/adicionado ao envelope de uma edificação, ou se é um sistema independente), e em qual setor o SFVCR está inserido (residencial, comercial, industrial, governamental, educacional ou P&D).

Em seguida, procurou-se identificar e inventariar o máximo de SFVCR instalados no Brasil – em operação ou previstos para 2015 – através da consulta a empresas instaladoras, proprietários de SFVCR, concessionárias de energia e consulta ao Banco de Informações de Geração (BIG) da ANEEL.

Através destas consultas, observou-se que várias das informações do formulário não estavam disponíveis. Em função disso, as análises foram direcionadas para algumas informações consideradas de maior relevância, tais como: potência, localização, ano de comissionamento e setor. Essas informações são apresentadas através de gráficos do tipo pizza nos resultados deste trabalho.

Os dados coletados foram então organizados em gráficos, que foram apresentados no capítulo de resultados, junto aos quais foram feitas considerações a respeito das informações obtidas.

Com a elaboração do inventário de SFVCR, foi possível através da localização e potência instalada de cada sistema, gerar um gráfico em escala de cor usando a ferramenta ArcGIS para apresentar qual é o volume da potência instalada em cada estado brasileiro. Além do volume da potência FV, foi elaborada uma proposta de inventário online, a qual pode apresentar em uma plataforma interativa, a localização, informações de potência FV instalada e número de SFVCR por estado.

5 RESULTADOS

5.1 Inventário dos SFVCR instalados no Brasil até o final de 2014

Com os levantamentos da pesquisa, foi possível inventariar uma quantidade considerável de SFVCR instalados no Brasil, podendo-se assim gerar resultados sobre potência FV instalada no país e por estado, o crescimento exponencial da energia solar FV nos últimos anos e em que setores socioeconômicos os SFVCR estão sendo inseridos.

5.1.1 Análise dos totais ano a ano

Nessa etapa foram registrados todos os valores de potência FV instalada no Brasil com os respectivos anos de comissionamento dos SFVCR. Até o final do ano de 2000 foram acumulados 3,91 kWp instalados. O crescimento da tecnologia solar FV se manteve lento até o final de 2010, quando a potência acumulada subiu para 605,86kWp. A partir daí, a potência FV instalada (anual e acumulada) no Brasil vem crescendo expressivamente, conforme mostra a Figura 5.1. Observa-se também o crescimento expressivo entre o ano de 2013 até final de 2014.

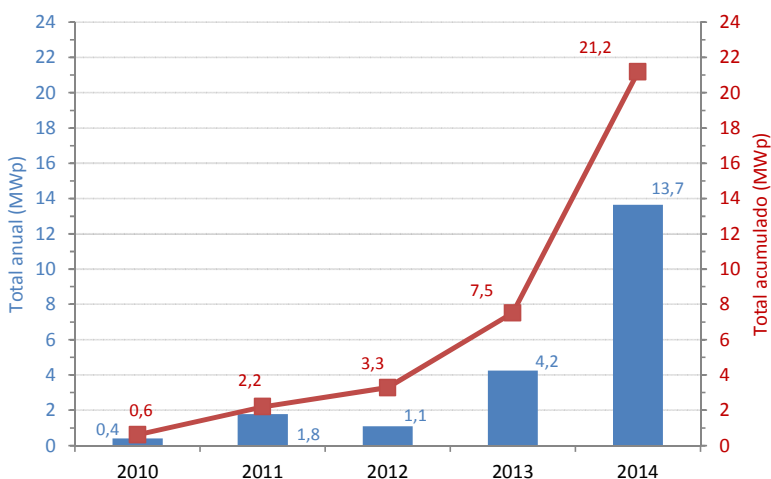


Figura 5.1- Potência FV instalada anual e acumulada para SFVCR no Brasil. (Até março/2015 foram catalogados 100 kWp)

5.1.2 Análise por setor

Para cada SFVCR registrado no inventário é informado em qual setor socioeconômico o sistema está inserido, podendo-se assim identificar quais setores têm desempenhado papel de destaque na área de energia solar FV no Brasil. A Figura 5.2 apresenta as parcelas (%) de potência FV instalada por cada setor no Brasil. Nela se pode observar que a maior geração FV do país é fruto de projetos P&D e instalações no setor educacional. No entanto, na Figura 5.3 observa-se que a maior quantidade (%) de SFVCR instalados está no setor residencial, seguido do comercial e depois P&D/Educacional.

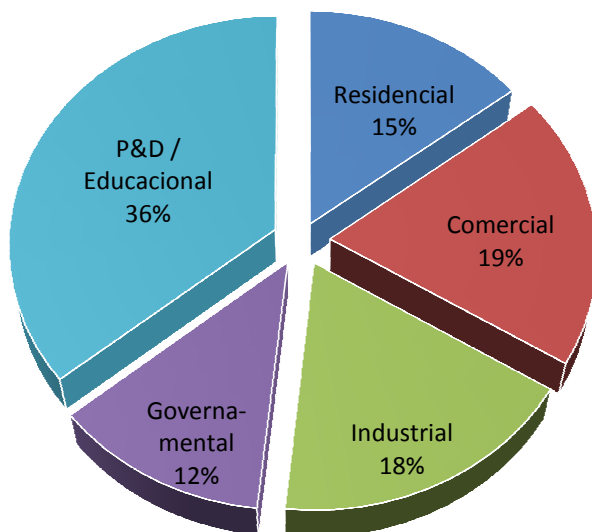


Figura 5.2 - Potência FV instalada por setores

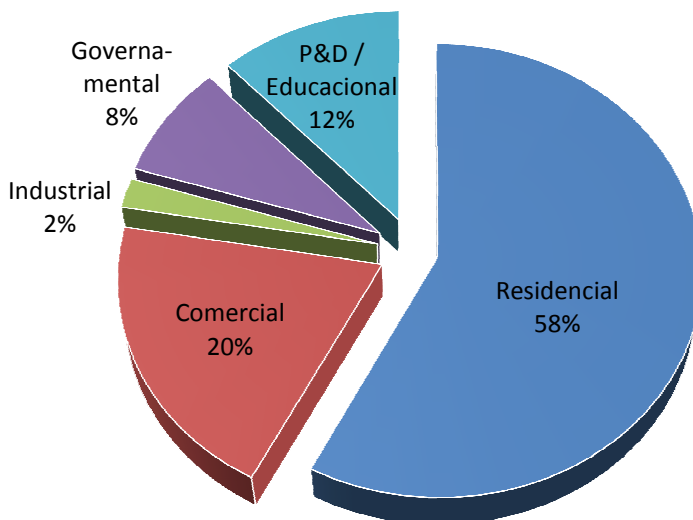


Figura 5.3 - Número de SFVCR instalados por setor

5.1.3 Análise por Estado

Ao inserir os dados de cada SFVCR no inventário, também é cadastrada a localização, podendo assim se identificar qual é o estado com maior potência FV instalada no Brasil. Dos 27 estados brasileiros, os que mais se destacam no mercado FV são oito, os quais estão apresentados na

Figura 5.4. Observa-se que os outros 19 estados ocupam uma parcela de apenas 5% do total instalado no país (21,2MWp) e que o estado com maior potência FV instalada é Santa Catarina (25%), seguido de Minas Gerais (25%) e Bahia (14%). Já na Figura 5.5 as fatias do gráfico tipo pizza representam a quantidade de SFVCR instalados por estado.

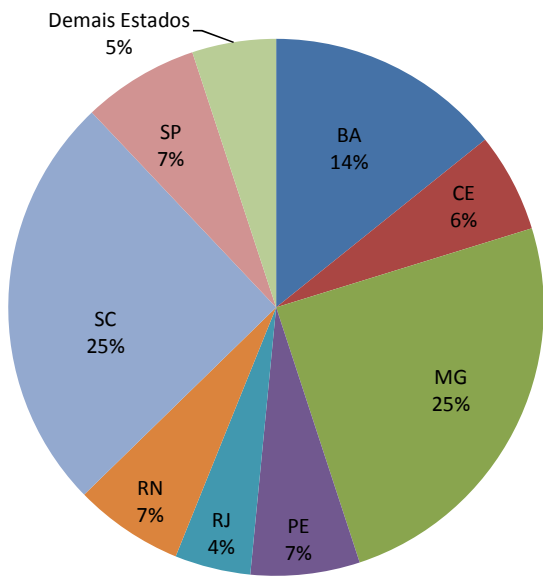


Figura 5.4 - Potência FV de SFVCR instalados por estado.

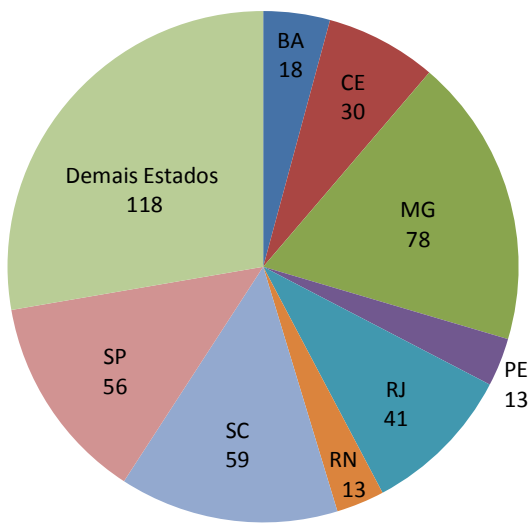


Figura 5.5—Quantidade de SFVCR instalados por estado.

5.1.4 Mapa do volume de SFVCR no Brasil

A Figura 5.6 mostra o volume da potência instalada de energia solar fotovoltaica conectada à rede no Brasil. Como se pode observar, os estados com a maior parte da adoção de energia solar fotovoltaica, até o início de 2015, são Minas Gerais (MG), Santa Catarina (SC) e Bahia (BA), embora se espere que a região Nordeste, rica em recurso solar, venha a ter um grande aumento no número de SFVCR. Segundo o Governo do Estado de Pernambuco (2013) estão previstos leilões para essa região na escala de MW.

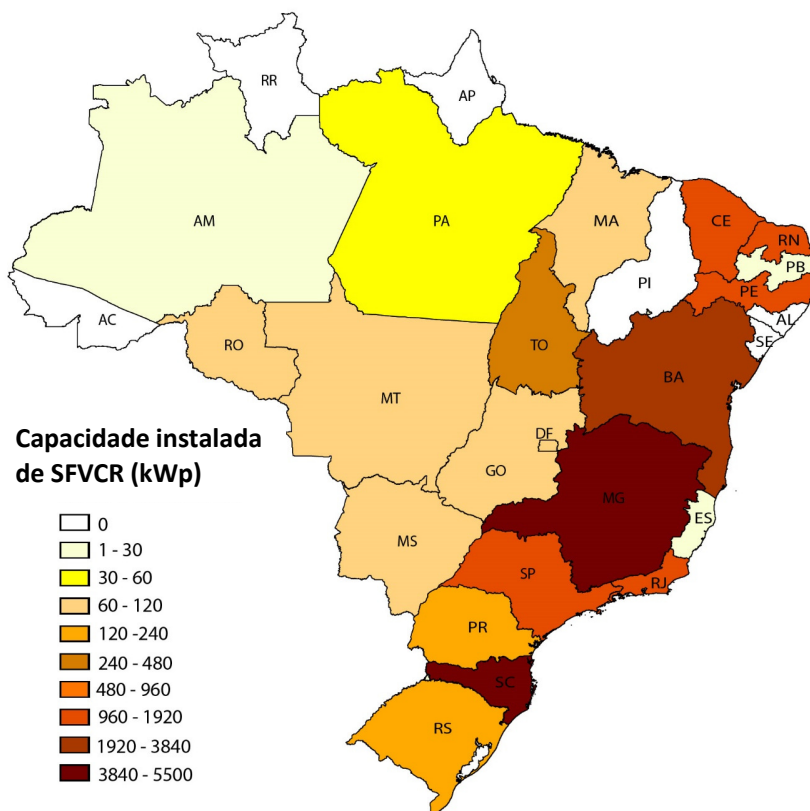


Figura 5.6—Mapa em escala de cor indicando a distribuição da capacidade instalada de energia solar fotovoltaica conectada à rede no Brasil por estado.

Junto a cada sistema estão sendo inseridas as coordenadas geográficas, no intuito de mapear todos os SFVCR do inventário. Para alocar os sistemas em um mapa, criou-se uma plataforma online na qual é inserido o inventário em formato Excel e a mesma identifica as coordenadas inseridas no arquivo, atualizando os pontos no mapa do Brasil. A plataforma segue em testes e pode ser acessada em www.fotovoltica.ufsc.br/andrigoteste.php. Na Figura 5.7 é apresentada uma imagem da plataforma, com as coordenadas de alguns SFVCR já cadastrados no inventário.



Figura 5.7 - Mapa dos SFVCR no Brasil

5.1.5 Consequências e resultados da pesquisa: Proposta de inventário interativo *online*

Em parceria com o Instituto Ideal (www.institutoideal.org) e América do Sol (www.americadosol.org), iniciou-se a elaboração de um inventário *online* de SFVCR no Brasil, no qual podem ser extraídas informações sobre potência instalada e número de sistemas por

estado. A Figura 5.8 apresenta parte desse resultado, uma interface do mapa solar FV online. Estão apresentadas duas imagens; na primeira (A) pode-se observar um mapa em escala de cor semelhante ao desenvolvido neste trabalho de mestrado (Figura 5.6), e a segunda imagem (B) apresenta a metodologia desenvolvida para a elaboração do mapa da Figura 5.7. Os valores existentes nas imagens não são relevantes, pois o programa encontra-se em fase de testes.

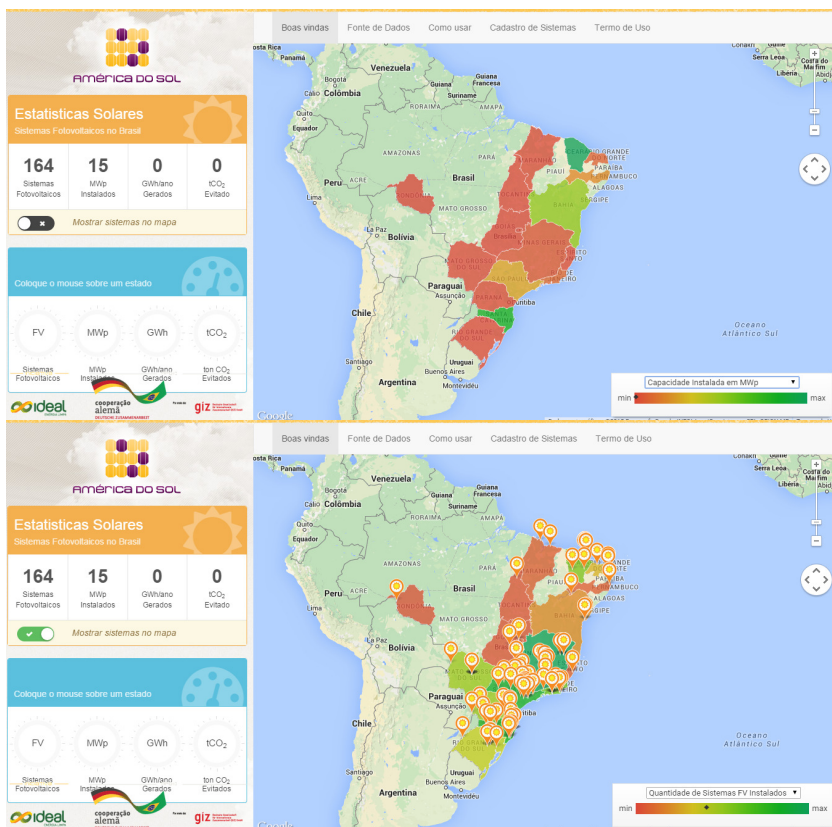


Figura 5.8 – Imagem da plataforma online do site teste. Mapa online de SFVCR no Brasil com informações de potência instalada e número de sistemas.

5.2 Estudo de caso de dez SFVCR no Brasil

5.2.1 Seleção dos dez SFVCR para estudos de caso

No levantamento dos estudos de caso, foram selecionados dez exemplos descritos no capítulo 3 deste trabalho. Esses sistemas serão analisados em detalhes na dissertação. A Tabela 5.1 mostra todos os SFVCR cujos dados foram adquiridos através da pesquisa, com seus respectivos valores de geração e na Tabela 5.2 são apresentados os *yields* desses sistemas.

Tabela 5.1 - Geração dos SFVCR em análise para estudo de caso, para 2012 e 2013. No SFVCR FLN-4 ocorreram problemas na conexão elétrica ao longo de 2012, por isso enquanto os demais SFVCR em Florianópolis tiveram maiores valores em 2012 do que em 2013, para o FLN-4 ocorreu ao contrário.

SFVCR	Potência (kWp)	ANO	Geração FV mensal (kWh/mês) e anual (kWh/ano)												
			JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	TOTAL ANUAL
FLN-1	2,0	2012	234	235	285	196	196	164	139	184	203	163	189	218	2.407
		2013	206	142	147	171	145	130	165	176	171	202	194	232	2.082
FLN-2	1,99	2012	249	226	261	164	149	120	114	141	191	159	232	230	2.237
		2013	242	203	170	181	137	107	124	148	158	211	215	244	2.142
FLN-3	2,12	2012	289	250	296	194	183	141	138	181	224	197	277	268	2.638
		2013	279	215	202	223	167	126	150	181	187	262	271	292	2.556
FLN-4	4,1	2012	390	342	520	394	353	292	262	356	436	369	373	557	4.644
		2013	574	469	426	432	328	245	300	361	381	469	468	612	5.065
BHO-1	3,6	2012	395	471	418	397	315	328	406	427	472	521	352	474	4.976
		2013	354	448	359	329	354	327	368	461	429	382	404	367	4.584
SAL-1	407,9	2012	-	-	-	-	-	-	-	51.549	52.975	60.723	54.900	65.102	-
		2013	59.664	46.304	54.876	40.321	33.911	18.849	33.022	35.330	39.469	43.266	42.816	40.940	488.768
SBC-1	2,5	2012	164	167	158	112	102	65	79	102	108	142	158	166	1.524
		2013	139	140	129	110	92	68	77	97	102	124	156	209	1.443
MAC-1	315,0	2012	40.620	48.410	40.390	32.280	27.930	26.660	32.440	34.320	37.010	45.950	31.710	50.910	448.630
		2013	37.880	40.960	33.400	29.680	30.800	27.050	28.086	34.630	35.420	33.160	36.440	21.585	389.091
CUR-1	2,1	2012	273	240	272	187	137	112	158	196	211	206	218	234	2.444
		2013	225	188	175	185	147	112	144	170	184	258	216	258	2.262
BEL-1	12,6	2012	-	-	1.201	1.234	1.370	1.237	1.362	1.548	1.461	1.331	1.300	1.267	13.310
		2013	1.164	1.000	1.087	1.113	1.176	1.117	1.229	1.389	1.463	1.417	1.275	1.319	14.748

Tabela 5.2 - Yield dos SFVCR em análise para estudo de caso, para 2012 e 2013. No SFVCR FLN-4 ocorreram problemas na conexão elétrica ao longo de 2012, por isso enquanto os demais SFVCR em Florianópolis tiveram maiores valores em 2012 do que em 2013, para o FLN-4 ocorreu ao contrário.

SFVCR	Potência (kWp)	ANO	Yield mensal (kWh/kWp/mês) e anual (kWh/kWp/ano)												
			JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	TOTAL ANUAL
FLN-1	2,0	2012	116	117	141	97	97	81	69	92	101	81	94	108	1.194
		2013	102	71	73	85	72	65	82	87	85	100	96	115	1.033
FLN-2	1,99	2012	125	113	131	83	75	60	58	71	96	80	117	115	1.124
		2013	122	102	85	91	69	54	62	74	80	106	108	123	1.076
FLN-3	2,12	2012	136	118	140	92	86	67	65	85	106	93	131	126	1.244
		2013	132	102	95	105	79	59	71	85	88	124	128	138	1.205
FLN-4	4,08	2012	96	84	127	97	87	72	64	87	107	90	91	137	1.138
		2013	141	115	104	106	80	60	73	88	93	115	115	150	1.241
BHO-1	3,6	2012	111	132	117	111	88	92	114	120	132	146	99	133	1.396
		2013	99	126	101	92	99	92	103	129	120	107	113	103	1.286
SAL-1	407,9	2012	-	-	-	-	-	-	-	126	130	149	135	160	-
		2013	146	114	135	99	83	46	81	87	97	106	105	100	1.198
SBC-1	2,5	2012	67	68	64	46	42	26	32	42	44	58	65	68	622
		2013	57	57	53	45	37	28	31	40	42	50	64	85	589
MAC-1	315,0	2012	129	154	128	102	89	85	103	109	117	146	101	162	1.424
		2013	120	130	106	94	98	86	89	110	112	105	116	69	1.235
CUR-1	2,1	2012	130	114	130	89	65	53	75	93	100	98	104	111	1.164
		2013	107	90	83	88	70	53	69	81	88	123	103	123	1.077
BEL-1	12,6	2012	-	-	95	98	109	98	108	123	116	106	103	101	1.056
		2013	92	79	86	88	93	89	98	110	116	112	101	105	1.170

5.2.2 Análise entre modelos matemáticos usados para transposição de irradiação solar

A Tabela 5.3 mostra a medição mensal de janeiro a dezembro de 2012 do piranômetro inclinado, os valores de transposição calculados e o erro entre o medido e o calculado.

Tabela 5.3 - Diferença de erros na transposição de valores de irradiação entre os modelos matemáticos usados pelo programa Radiasol.

Mês	Klucher				Isotrópico			
	Medido Horizontal	Calculado inclinado	Medido Inclinado	Erro	Medido Horizontal	Calculado inclinado	Medido Inclinado	Erro
jan	4,92	4,35	4,92	-12%	4,92	4,31	4,92	-13%
fev	5,19	4,92	5,19	-5%	5,19	4,81	5,19	-7%
mar	5,72	5,97	5,99	0%	5,72	5,72	5,99	-4%
abr	4,13	4,62	4,27	8%	4,13	4,30	4,27	1%
mai	4,22	5,29	4,22	25%	4,22	4,94	4,22	17%
jun	3,75	4,95	3,75	32%	3,75	4,61	3,75	23%
jul	3,16	3,69	3,16	17%	3,16	3,35	3,16	6%
ago	4,16	4,62	4,16	11%	4,16	4,26	4,16	2%
set	4,77	4,66	4,77	-2%	4,77	4,41	4,77	-8%
out	3,65	3,27	3,65	-10%	3,65	3,23	3,65	-11%
nov	4,94	4,24	4,94	-14%	4,94	4,19	4,94	-15%
dez	4,80	4,16	4,80	-13%	4,80	4,13	4,80	-14%
	Total Anual			Erro total anual	Total Anual			Erro total anual
		1.664	1.635	2%		1.588	1.635	-3%
Mês	Perez				Hay e McKay			
	Medido Horizontal	Calculado inclinado	Medido Inclinado	Erro	Medido Horizontal	Calculado inclinado	Medido Inclinado	Erro
jan	4,92	4,45	4,92	-10%	4,92	4,35	4,92	-12%
fev	5,19	4,98	5,19	-4%	5,19	4,92	5,19	-5%
mar	5,72	5,89	5,99	-2%	5,72	5,97	5,99	0%
abr	4,13	4,51	4,27	5%	4,13	4,62	4,27	8%
mai	4,22	5,07	4,22	20%	4,22	5,29	4,22	25%
jun	3,75	4,73	3,75	26%	3,75	4,95	3,75	32%
jul	3,16	3,55	3,16	12%	3,16	3,69	3,16	17%
ago	4,16	4,44	4,16	7%	4,16	4,62	4,16	11%
set	4,77	4,60	4,77	-3%	4,77	4,66	4,77	-2%
out	3,65	3,40	3,65	-7%	3,65	3,27	3,65	-10%
nov	4,94	4,34	4,94	-12%	4,94	4,24	4,94	-14%
dez	4,80	4,27	4,80	-11%	4,80	4,16	4,80	-13%
	Total Anual			Erro total anual	Total Anual			Erro total anual
		1.648	1.635	1%		1.664	1.635	2%

Conforme pode-se observar, o modelo de Perez apresenta o menor erro na transposição dos valores de irradiação em Florianópolis-SC, região sul do país. Ao contrário da revisão bibliográfica, onde Santos (2013), diz que o modelo de Klucher é mais aconselhado para o sul e Perez para as regiões norte do país. Esta análise, usando valores medidos por piranômetros em solo, indicou Perez como o modelo que apresenta o menor erro (1%) na transposição de valores de irradiação solar em Florianópolis – SC, onde estão localizados quatro dos sistemas avaliados neste trabalho. Portanto, adotou-se o modelo de Perez para os cálculos de transposição dos quatro SFVCR localizados em Florianópolis. É importante mencionar que a avaliação apresentada aqui, leva em conta somente um ano de dados (2012), enquanto que Santos (2013) utilizou um banco de dados de dez anos.

Para os demais sistemas, não foi possível adquirir dados suficientes para realizar o mesmo tipo de análise apresentada na Tabela 5.3, portanto optou-se por utilizar as conclusões de Santos (2013) para as regiões onde estão localizados os demais sistemas, ou seja, de que o melhor modelo de transposição para essas demais regiões é também o de Perez.

5.2.3 Dados de irradiação solar

A Tabela 5.4 apresenta os valores de irradiação ao longo dos anos 2012 e 2013, medidos por piranômetros ou células de referência para cada um dos dez sistemas analisados. Na mesma tabela são apresentados também os valores de irradiação referentes aos diferentes bancos de dados adotados, para cada SFVCR considerado.

Nota-se que para os sistemas de Belo Horizonte - MG (BHO-1) e Macaé - RJ (MAC-1), ainda não foram adquiridos os dados de irradiação medida. Para o sistema de Salvador - BA (SAL-1) os dados medidos iniciam a partir do mês de início de operação do sistema, junho de 2012. O mesmo se passa para o sistema de Belém - PA, que teve início de operação em março de 2012.

Para os cinco métodos, foi utilizado o modelo de Perez no Radiasol, com a entrada do respectivo banco de dados como irradiação G_{HOR} .

Tabela 5.4[Parte 1 de 2] - Irradiação no plano dos módulos para cada SFVCR.
Valores medidos ao longo de 2012 e 2013, e valores referentes a bancos de dados de irradiação.

	SFVCR	dados irrad.	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	TOTAL ANUAL (kWh/m²/ano)
Florianópolis - SC - 2kwp	FLN-1	MEDIDOR 2012	153	151	177	124	131	113	98	129	143	113	148	149	1.628
	FLN-1	MEDIDOR 2013	155	120	126	150	119	92	120	129	126	147	140	160	1.585
	FLN-1	Meteonorm	165	166	167	126	116	136	94	118	130	138	160	157	1.673
	FLN-1	OLADE	149	170	180	126	119	108	83	119	145	112	159	153	1.623
	FLN-1	SWERA	180	198	162	162	119	125	108	133	143	152	199	176	1.856
	FLN-1	RORIZ	162	199	156	145	130	116	82	147	144	154	171	152	1.758
Florianópolis - SC - HU	FLN-1	NASA	159	139	144	120	115	99	104	121	107	132	150	159	1.548
	FLN-2	MEDIDOR 2012	141	146	175	124	130	113	95	122	131	105	133	136	1.552
	FLN-2	MEDIDOR 2013	162	117	125	139	121	89	118	123	116	135	126	146	1.517
	FLN-2	Meteonorm	179	171	160	114	98	105	79	104	121	139	172	173	1.615
	FLN-2	OLADE	157	176	176	121	106	94	78	110	141	116	167	162	1.605
	FLN-2	SWERA	193	206	163	141	108	107	97	123	141	157	212	190	1.838
Florianópolis - SC - Aeroporto	FLN-2	RORIZ	172	208	157	138	116	101	78	133	142	159	181	162	1.748
	FLN-2	NASA	169	145	145	116	104	88	93	113	108	136	159	170	1.547
	FLN-3	MEDIDOR 2012	166	147	169	111	103	79	79	103	125	112	156	157	1.507
	FLN-3	MEDIDOR 2013	164	141	122	128	95	72	86	104	111	149	152	163	1.487
	FLN-3	Meteonorm	179	171	161	115	99	106	80	105	121	139	172	173	1.621
	FLN-3	OLADE	157	177	176	121	107	95	79	111	141	116	167	162	1.608
Florianópolis - SC - Eletrosul S3	FLN-3	SWERA	193	206	163	152	109	108	97	124	142	157	212	190	1.853
	FLN-3	RORIZ	172	208	157	139	117	102	78	134	143	159	181	161	1.752
	FLN-3	NASA	169	145	145	116	105	89	94	114	108	136	159	170	1.550
	FLN-4	MEDIDOR 2012	147	174	183	139	137	127	100	128	147	110	148	141	1.680
	FLN-4	MEDIDOR 2013	168	139	130	156	128	100	125	129	130	140	140	152	1.636
	FLN-4	Meteonorm	177	171	164	119	105	116	85	110	125	140	170	170	1.652
	FLN-4	OLADE	156	175	176	122	109	97	79	112	142	115	166	161	1.611
	FLN-4	SWERA	191	205	163	154	111	111	99	125	142	156	210	188	1.856
	FLN-4	RORIZ	171	207	157	140	119	104	79	137	143	158	180	160	1.756
	FLN-4	NASA	168	145	146	118	109	93	98	117	109	136	158	168	1.564

Tabela 5.4 [Parte 2 de 2] - Irradiação no plano dos módulos para cada SFVCR.
Valores medidos ao longo de 2012 e 2013, e valores referentes a bancos de dados de irradiação.

	SFVCR	dados irrad.	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	TOTAL ANUAL (kWh/m²/ano)
Belo Horizonte - MG	BHO-1	MEDIDOR 2012	126	209	150	157	119	137	137	140	185	170	140	157	1.827
	BHO-1	MEDIDOR 2013	115	223	127	146	129	139	134	154	169	137	148	117	1.740
	BHO-1	Meteonorm	128	154	129	138	128	130	143	149	147	138	140	129	1.653
	BHO-1	OLADE	136	197	131	149	127	138	143	151	161	143	158	137	1.771
	BHO-1	SWERA	187	222	183	175	144	140	143	167	174	180	165	186	2.066
	BHO-1	RORIZ	185	201	223	234	175	176	162	198	212	176	208	143	2.291
	BHO-1	NASA	167	162	161	147	142	139	251	160	151	158	146	150	1.935
Salvador - BA	SAL-1	MEDIDOR 2012	-	-	-	-	-	-	141	154	165	189	169	206	1.024
	SAL-1	MEDIDOR 2013	199	160	203	137	132	113	127	149	167	182	203	171	1.944
	SAL-1	Meteonorm	190	172	173	134	134	118	139	173	156	174	187	196	1.946
	SAL-1	OLADE	220	225	179	143	131	120	134	171	171	183	215	213	2.104
	SAL-1	SWERA	195	214	189	171	141	125	136	141	181	183	181	188	2.045
	SAL-1	RORIZ	174	226	221	166	148	134	155	168	204	173	242	217	2.228
	SAL-1	NASA	183	165	171	149	138	121	132	143	154	173	160	175	1.863
São Bernardo do Campo - Sp	SBC-1	MEDIDOR 2012	169	203	174	131	114	86	113	155	162	175	176	173	1.832
	SBC-1	MEDIDOR 2013	129	175	134	129	99	86	103	133	138	139	161	194	1.619
	SBC-1	Meteonorm	136	140	132	116	111	104	114	125	117	126	146	137	1.504
	SBC-1	OLADE	138	171	154	141	120	112	128	120	130	146	170	161	1.691
	SBC-1	SWERA	181	201	169	170	133	127	131	153	157	168	182	187	1.957
	SBC-1	RORIZ	130	174	146	126	120	179	150	121	141	139	164	165	1.755
	SBC-1	NASA	166	148	157	146	130	129	139	160	143	164	169	170	1.821
Macaé - RJ	MAC-1	MEDIDOR 2012	133	242	146	140	105	109	105	125	144	159	122	179	1.709
	MAC-1	MEDIDOR 2013	134	211	122	132	114	114	109	126	132	187	124	142	1.648
	MAC-1	Meteonorm	163	169	178	139	133	138	124	135	147	164	160	174	1.824
	MAC-1	OLADE	194	212	177	165	142	130	151	157	144	157	177	174	1.979
	MAC-1	SWERA	181	218	174	164	141	128	128	158	160	171	175	178	1.976
	MAC-1	RORIZ	163	233	220	155	135	126	107	132	153	152	217	179	1.971
	MAC-1	NASA	179	168	165	148	132	129	129	144	130	154	155	162	1.796
Curitiba - PR	CUR-1	MEDIDOR 2012	175	155	163	133	113	105	115	144	136	159	179	182	1.758
	CUR-1	MEDIDOR 2013	159	132	123	134	106	77	109	131	119	162	142	169	1.565
	CUR-1	Meteonorm	136	145	141	107	101	117	89	125	120	127	147	141	1.496
	CUR-1	OLADE	145	120	109	96	84	83	113	113	116	133	149	157	1.418
	CUR-1	SWERA	211	141	158	146	113	86	110	120	115	177	168	199	1.744
	CUR-1	RORIZ	128	133	137	114	106	129	116	105	118	123	148	179	1.536
	CUR-1	NASA	168	143	147	130	114	103	119	144	128	147	166	174	1.683
Belém - PA	MAC-1	MEDIDOR 2012	-	-	133	136	149	137	147	160	155	156	160	156	1.487
	MAC-1	MEDIDOR 2013	135	118	124	134	146	141	144	162	156	158	141	144	1.702
	MAC-1	Meteonorm	126	112	128	125	160	163	188	195	169	177	158	147	1.848
	MAC-1	OLADE	134	121	130	126	162	165	191	198	172	183	167	157	1.907
	MAC-1	SWERA	152	140	162	158	163	148	152	168	168	182	162	168	1.923
	MAC-1	RORIZ	130	116	186	114	116	123	130	150	150	149	140	130	1.634
	MAC-1	NASA	139	122	138	139	157	168	182	183	178	177	164	152	1.900

5.2.3.1 Irradiação medida X Irradiação de banco de dados

Para os 10 sistemas avaliados foram obtidos, através do método descrito no item 4.2, os valores medidos de irradiação no plano dos módulos para os anos de 2012 e 2013, e estes valores foram comparados com os valores calculados usando como referência os cinco bancos de dados avaliados no trabalho. Na Figura 5.9 é possível observar o método aplicado em um desses sistemas (FLN-1), através de um gráfico de dispersão, onde se pode comparar a variabilidade interanual dos valores medidos; nota-se como os índices de irradiação de 2012 são diferentes dos de 2013 e como os valores se comportam quando comparados com as médias de vários anos (10-22 anos) dos bancos de dados. Nos tópicos a seguir é dada continuidade ao método avaliando o sistema FLN-1. No Apêndice são apresentados os resultados individuais para os demais sistemas.

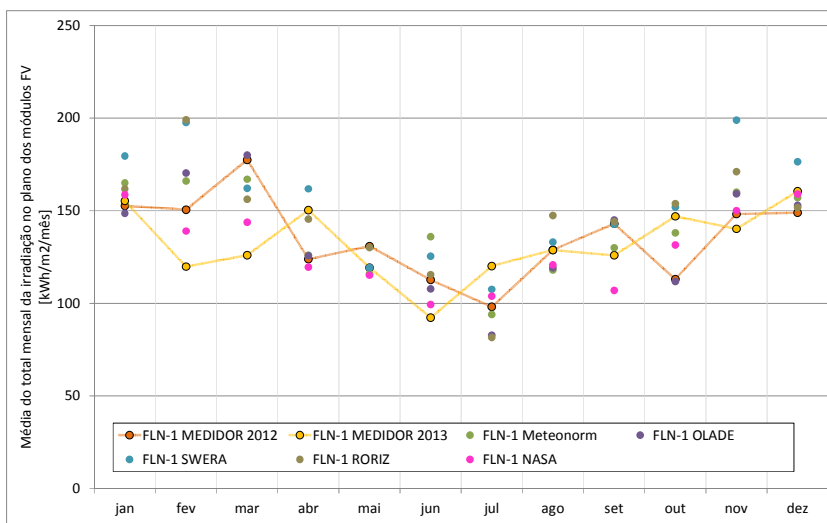


Figura 5.9 - SFVCR FLN-1: Média do total mensal da irradiação no plano dos módulos FV (kWh/m²/mês)

Para uma melhor visualização, na Figura 5.10 pode-se observar em um gráfico de barras o comportamento dos valores dos dois anos medidos e o perfil anual da disponibilidade de irradiação solar no plano dos módulos para diferentes bancos de dados transpostos para o plano do respectivo medidor, utilizando o modelo de irradiação difusa de Perez no *software* Radiasol. Os perfis são apresentados para um período de 12 meses, de janeiro a dezembro, em kWh/m²/mês.

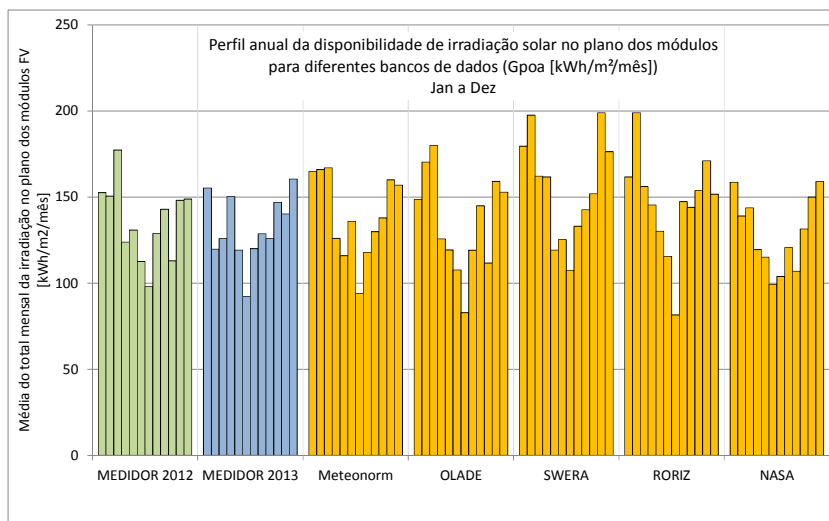


Figura 5.10 - SFVCR FLN-1: Perfil anual da disponibilidade de irradiação no plano dos módulos medido e para os diferentes bancos de dados, valores de janeiro a dezembro.

Ao analisar a Figura 5.10, nota-se como os valores de irradiação referentes aos bancos de dados (barras amarelas), apresentam formas bem diferentes nos perfis anuais de disponibilidade de irradiação. Por exemplo, os perfis gerados a partir dos bancos de dados da NASA e METEONORM, tem uma forma mais “achatada”, enquanto os perfis SWERA, OLADE e RORIZ apresentam uma grande variação entre os valores máximos e mínimos de irradiação.

Já comparando o conjunto de perfis referente aos bancos de dados (barras amarelas) com os valores de irradiação medidos de 2012 (barras verdes) e 2013 (barras azuis), é possível verificar uma maior

semelhança quando comparados com os perfis METEONORM e NASA, enquanto os demais perfis apresentam uma menor semelhança.

5.2.4 Desempenho dos SFVCR

Assim como no item 5.2.3.1, o método descrito no item 4.1.4.2 é aplicado para o sistema FLN-1; os demais sistemas são analisados ao longo no apêndice A.

5.2.4.1 Taxa de desempenho (*PerformanceRatio*, PR)

Foi calculada a taxa de desempenho ao longo de dois anos (01/01/2012-31/12/2013) considerando os valores medidos de irradiação solar e os obtidos através dos cinco bancos de dados. Para visualização da taxa de desempenho do sistema FLN-1, gerou-se um gráfico de dispersão no qual é possível observar a interferência que a variabilidade interanual causa no desempenho do SFVCR (Figura 5.11).

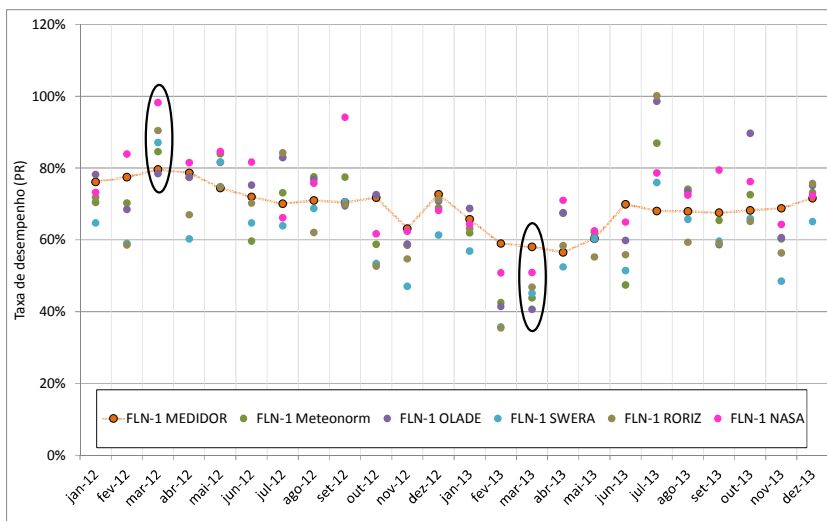


Figura 5.11 - SFVCR FLN-1: PR ao longo de dois anos medidos (2012-2013) X PR referente a banco dedados.

No gráfico da Figura 5.11 estão destacados com círculo preto os conjuntos de PR calculados de bancos de dados X PR medidos nos meses de março/2012 e março/2013. Nota-se que, para o primeiro ano de medições (2012), os dados fornecidos por bancos de dados estão todos acima do dado medido, enquanto que para 2013 a situação inverte.

5.2.4.2 Diferença entre os bancos de dados de irradiação solar

Seguindo os passos descritos no item 4.1.5 e usando a Equação 4.4, foi possível calcular as diferenças entre bancos de dados em relação ao medidor. Os resultados obtidos para o SFVCR FLN-1 foram valores mensais, anuais e médias entre os dois anos estudados (2012-2013). A Tabela 5.5 apresenta os valores mensais para cada uma das cinco bases de dados de irradiação e do medidor. Na Tabela 5.6 são apresentadas as diferenças relativas às médias anuais e interanual. Observando a Tabela 5.5 e, em seguida, a Tabela 5.6, observa-se que, como era de se esperar, considerando as diferenças máximas e mínimas apresentadas: quanto menor o tempo analisado, maior o valor absoluto da diferença entre os bancos de dados, e quanto maior o tempo analisado, menor a diferença absoluta entre os bancos de dados.

Tabela 5.5 - SFVCR FLN-1: Diferenças mensais entre valores de irradiação de bancos de dados usando como base o valor medido (2012 e 2013). [Cor vermelha para mínimo e Azul para máximo]

SFVCR	base de dados	jan/12	fev/12	mar/12	abr/12	mai/12	jun/12	jul/12	ago/12	set/12	out/12	nov/12	dez/12
FLN-1	MEDIDOR	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
	Meteonorm	8%	10%	-6%	2%	-11%	21%	-4%	-8%	-9%	22%	8%	5%
	OLADE	-3%	13%	1%	1%	-9%	-4%	-15%	-8%	1%	-1%	7%	3%
	SWERA	18%	31%	-9%	31%	-9%	11%	10%	3%	0%	34%	34%	18%
	RORIZ	6%	32%	-12%	17%	-1%	3%	-17%	14%	1%	36%	16%	2%
	NASA	4%	-8%	-19%	-3%	-12%	-12%	6%	-6%	-25%	16%	1%	7%
SFVCR	base de dados	jan/13	fev/13	mar/13	abr/13	mai/13	jun/13	jul/13	ago/13	set/13	out/13	nov/13	dez/13
FLN-1	MEDIDOR	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
	Meteonorm	6%	39%	33%	-16%	-3%	47%	-22%	-8%	3%	-6%	14%	-2%
	OLADE	-4%	42%	43%	-16%	0%	17%	-31%	-7%	15%	-24%	13%	-5%
	SWERA	16%	65%	29%	8%	0%	36%	-10%	3%	13%	3%	42%	10%
	RORIZ	4%	66%	24%	-3%	9%	25%	-32%	14%	14%	5%	22%	-5%
	NASA	2%	16%	14%	-20%	-3%	8%	-13%	-6%	-15%	-10%	7%	-1%

Tabela 5.6 - SFVCR FLN1: Diferenças entre os valores médios anuais de irradiação dos bancos de dados usando como base o valor medido. [Cor vermelha para mínimo e Azul para máximo]

SFVCR	base de dados	Anual 2012	Anual 2013	Média 2012-2013
FLN-1	MEDIDOR	0%	0%	0%
	Meteonorm	3%	6%	4%
	OLADE	0%	2%	1%
	SWERA	14%	17%	16%
	RORIZ	8%	11%	9%
	NASA	-5%	-2%	-4%

5.2.4.3 Geração medida X geração simulada

Para analisar a interferência que os valores de sub- ou superestimação nos dados de (G_{poa_x}) causaram na estimativa de geração de um sistema FV, utilizou-se a equação 4.5 para encontrar o valor de geração simulada de cada sistema para os cinco diferentes bancos de dados. Tais valores foram ccomparados, na Figura 5.12, com os valores de geração FV real medida para os anos de 2012 e 2013.

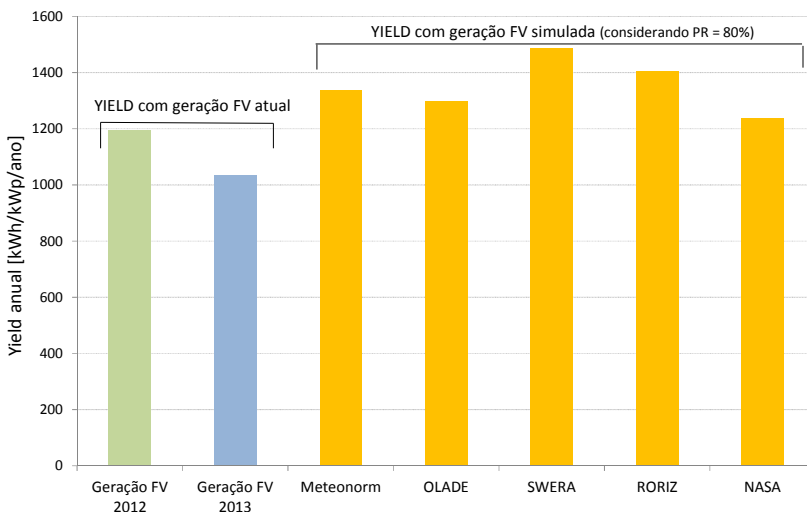


Figura 5.12 - FLN-1: Produtividade FV medida X Produtividade FV simulada através de bancos de dados, utilizando PR = 80%

Nota-se ao analisar a Figura 5.12, que a estimativa da produtividade do SFVCR FLN-1, quando comparada com dados medidos *in loco*, é superestimada quando se utilizam valores de irradiação anuais médios dos bancos de dados em conjunto com um valor estimado para o PR.

Em 2012 (barra verde) o SFVCR FLN-1 teve uma produtividade real de 1.194 kWh/kWp e seu PR real foi de 73%; porém, utilizando as condições estimadas (PR de 80% e valores de bancos de dados de irradiação), a produtividade seria superestimada em 12% com METEONORM, 9% com OLADE, 24% com SWERA, 18% com RORIZ e 4% com NASA.

Já em 2013 (barra azul) o SFVCR FLN-1 teve uma produtividade real de 1.033 kWh/kWp e seu PR real foi de 65% e utilizando as condições estimadas (PR de 80% e valores de bancos de dados de irradiação) a produtividade seria superestimada em 30% com METEONORM, 26% com OLADE, 44% com SWERA, 36% com RORIZ e 20% com NASA.

Pode-se observar, analisando os valores dos dois anos avaliados (em condições reais), que durante o primeiro ano (2012) a geração FV foi maior do que o segundo (2013) devido à variabilidade interanual da irradiação solar (o ano de 2012 foi mais “ensolarado”).

Ressalta-se novamente que os valores medidos se devem a dois anos (2012 e 2013), enquanto que os bancos de dados utilizam médias compostas por valores de vários anos ou décadas, dependendo de cada caso. No entanto, quando comparadas as médias com os valores referentes a cada um dos anos avaliados, as mesmas apresentam uma superestimação na produtividade do sistema.

5.2.4.4 Comparação entre sistemas

Com os valores e análises consolidadas dos 10 SFVCR avaliados nesse trabalho, foi possível gerar dois gráficos de barras.

Na Figura 5.13 é apresentado o gráfico que compara os valores de taxa de desempenho (*Yield*) anuais de cada sistema, podendo-se observar a variabilidade interanual de cada sistema (2012 -2013) e a diferença de *Yield* entre os sistemas. Para cada sistema, é possível observar variações entre os anos. Analisando a Figura 5.13 pode-se

verificar que a produtividade da maioria dos sistemas foi maior em 2012 do que em 2013.

Para os sistemas em que a produtividade em 2012 foi menor do que em 2013, foi verificado que durante o ano de 2012 ocorreram os seguintes problemas para cada SFVCR indicado a seguir:

- FLN-4 houve problemas de conexão elétrica identificados pela equipe de monitoramento.
- SAL-1, começou a operar a partir de agosto de 2012.
- BEL-1, começou a operar a partir de março de 2012.

Na Figura 5.14 cinco diferentes bancos de dados de irradiação estabelecidos foram utilizados para a avaliação comparativa dos desempenhos dos SFVCR. Foi calculado, para cada SFVCR, os valores de PR utilizando como referência os bancos de dados e comparados com os resultados de PR com irradiação local medida. Nota-se ao observar o gráfico, que os valores dos PR estão entre 54 a-79% a não ser o sistema SBC-1, que apresenta um PR bem abaixo do que o esperado, devido a um grande índice de sombreamento e consequentemente um baixo desempenho na geração.

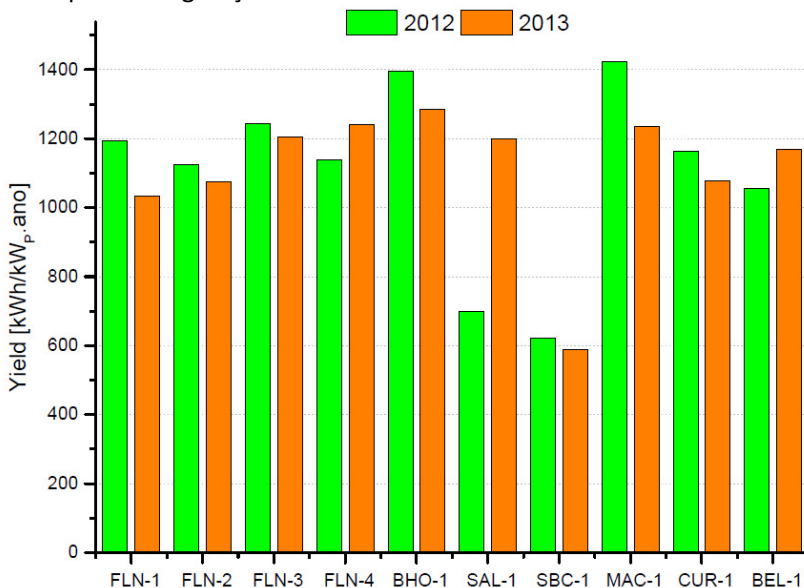


Figura 5.13 – Dez SFVCR avaliados com seus respectivos valores de Yield anuais em 2012 e 2013.

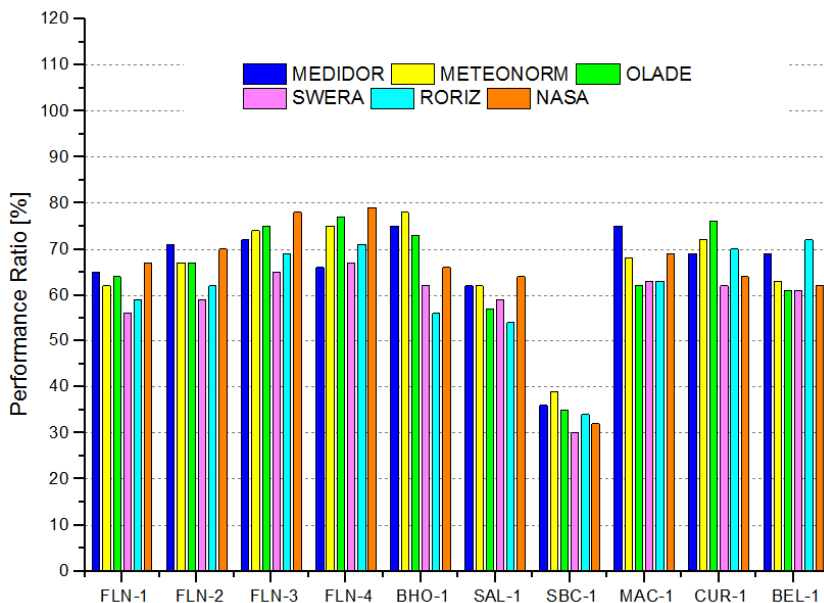


Figura 5.14 –Performance Ratio (PR) de 2013 dos dez SFVCR avaliados. Valores de PR medidos X valores de PR baseados em bancos de dados de irradiação.

Conforme observado nas Figura 5.10 e Figura 5.13, no Brasil existem consideráveis diferenças entre os valores medidos de irradiação quando comparados com valores referentes aos bancos de dados existentes para dimensionar sistemas fotovoltaicos. Na Tabela 5.7 é possível observar as diferenças anuais e das médias entre os dois anos (2012-2013) de cada SFVCR analisado.

Tabela 5.7 - Tabela resumo dos dez SFVCR avaliados: Diferenças entre os valores médios anuais de irradiação dos bancos de dados usando como base o valor medido. [Cor vermelha para mínimo e Azul para máximo]

SFVCR	Base de dados	Anual 2012	Anual 2013	Média 2012-2013	SFVCR	Base de dados	Anual 2012	Anual 2013	Média 2012-2013
FLN-1	MEDIDOR	0%	0%	0%	SAL-1	MEDIDOR		0%	
	METEONORM	3%	6%	4%		METEONORM		0%	
	OLADE	0%	2%	1%		OLADE		8%	
	SWERA	14%	17%	16%		SWERA		5%	
	RORIZ	8%	11%	9%		RORIZ		15%	
	NASA	-5%	-2%	-4%		NASA		-4%	
FLN-2	MEDIDOR	0%	0%	0%	SBC-1	MEDIDOR	0%	0%	0%
	METEONORM	4%	6%	5%		METEONORM	-18%	-7%	-13%
	OLADE	3%	6%	5%		OLADE	-8%	4%	-2%
	SWERA	18%	21%	20%		SWERA	7%	21%	13%
	RORIZ	13%	15%	14%		RORIZ	-4%	8%	2%
	NASA	0%	2%	1%		NASA	-1%	12%	6%
FLN-3	MEDIDOR	0%	0%	0%	MAC-1	MEDIDOR	0%	0%	0%
	METEONORM	8%	9%	8%		METEONORM	7%	11%	9%
	OLADE	7%	8%	7%		OLADE	16%	20%	18%
	SWERA	23%	25%	24%		SWERA	16%	20%	18%
	RORIZ	16%	18%	17%		RORIZ	15%	20%	17%
	NASA	3%	4%	4%		NASA	5%	9%	7%
FLN-4	MEDIDOR	0%	0%	0%	CUR-1	MEDIDOR	0%	0%	0%
	METEONORM	-2%	1%	0%		METEONORM	-15%	-4%	-10%
	OLADE	-4%	-2%	-3%		OLADE	-19%	-9%	-15%
	SWERA	10%	13%	12%		SWERA	-1%	11%	5%
	RORIZ	5%	7%	6%		RORIZ	-13%	-2%	-8%
	NASA	-7%	-4%	-6%		NASA	-4%	8%	1%
BHO-1	MEDIDOR	0%	0%	0%	BEL-1	MEDIDOR		0%	
	METEONORM	-10%	-5%	-7%		METEONORM		9%	
	OLADE	-3%	2%	-1%		OLADE		12%	
	SWERA	13%	19%	16%		SWERA		13%	
	RORIZ	25%	32%	28%		RORIZ		-4%	
	NASA	6%	11%	8%		NASA		12%	

6 CONCLUSÕES

Através da análise preliminar, elaborada com a finalidade de conhecer a situação do mercado FV nacional, foi possível destacar o crescimento exponencial da capacidade instalada de SFVCR no Brasil nos últimos anos, e a importância de trabalhos que o setor de P&D vem desenvolvendo para o mercado FV no país, envolvendo projetos que deverão alavancar o mercado FV no Brasil.

Apesar dos sistemas residenciais serem tipicamente de pequeno porte, o setor residencial até o início de 2015, é o maior instalador de SFVCR no Brasil, e acredita-se que o potencial tende a aumentar, devido aos novos incentivos governamentais para a geração fotovoltaica descentralizada e aos recentes e acentuados aumentos no valor das tarifas de energia elétrica praticadas no Brasil. A existência de um inventário dos SFVCR é de extrema importância para concessionárias de energia e para grupos de pesquisa em energia solar. Além de poder acompanhar o crescimento do mercado, é possível identificar diversas maneiras de integração de sistemas, desempenho em diferentes regiões climáticas, eficiência de novas tecnologias de células FV e inversores.

Na busca por dez estudos de casos, foram encontrados diversos obstáculos até conseguir pelo menos um sistema em cada região do país, como, por exemplo, a negação de informação de alguns gestores de SFVCR já em operação, falhas técnicas e humanas que acarretam faltas de dados ou mesmo redução considerável na geração. Por ser uma tecnologia bastante recente no país, torna-se difícil encontrar uma amostra grande de SFVCR com mais de um ano de operação. Dos 10 sistemas encontrados para estudo, nem todos possuem valor de irradiação medido através de um piranômetro próprio no local (que seria o ideal). Alguns possuem valores registrados por uma célula de referência e outros tiveram que usar como base o valor medido por estações próximas.

Ao comparar valores de apenas dois anos de medição com valores gerados pelos cinco bancos de dados analisados (que consideram períodos de dados de 10 a 22 anos), não é possível tirar conclusões quanto aos dados medidos corresponderem a anos típicos, pois segundo os gráficos gerados para analisar o SFVCR FLN-1, pode-se

notar a diferença expressiva na variabilidade interanual de irradiação solar.

Caso os dois anos de dados medidos de irradiação sejam considerados como anos típicos, a análise de PR do sistema mostrada na Figura 5.11 mostra uma superestimação para março/2012 e uma subestimação para março/2013, dos valores de irradiação fornecidos pelos bancos de dados, além da interferência que a variabilidade interanual causa no desempenho de um SFVCR.

As diferenças mensais entre valores de irradiação que derivam de bancos de dados e valores medidos são mais expressivas do que a variabilidade interanual.

Através do gráfico da Figura 5.12 pode-se concluir que, caso o projetista ou pesquisador fosse projetar um sistema FV para Florianópolis - SC, e simulasse a geração FV através dos bancos de dados analisados nesta dissertação, os valores calculados para a energia estariam superestimados em relação ao que o sistema geraria em 2012 e 2013. No entanto, os valores estimados podem ser mais coerentes com os medidos a longo prazo (>20 anos), caso os anos medidos e apresentados neste trabalho não sejam anos típicos. Para que o investidor possa obter orientação efetivamente adequada, é necessário que se tenha um banco de dados de geração FV de longo prazo para as diversas regiões do país.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. **ABNT NBR 10899:2006** energia solar fotovoltaica, 2006.

ANEEL- Agência Nacional de Energia Elétrica – Resolução normativa nº 482, 2012. [www.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf]

ANEEL, Banco de Informações de Geração (BIG) da ANEEL [www.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=15].

ANEEL. **Atlas de Energia elétrica do Brasil**. Brasília, 2008.

ARCGIS: Software. Disponível em www.esri.com/software/arcgis/arcgis-for-desktop

B. LIU & R. JORDAN, “Daily insolation on surfaces tilted towards equator,” ASHRAE J., vol. 10, pp. 53–59, 1961.

BERGAMASCHI, Homero. **Fotoperiodismo**. Disponível em http://www.webposgrad.propp.ufu.br/ppg/posgraduacao/anexos/002_FOTOPERIODISMO%20SOJA.PDF.

BLASQUES, L. C. M. *et al.* Avaliação de desempenho do primeiro SFCR instalado em edificação comercial na cidade de Belém, estado do Pará, após os primeiros 20 meses de operação monitorada. In: V CBENS V CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR. Anais... Recife - PE: [s.n.], 2014.

CCEE - Câmara de Comercialização de Energia elétrica – [www.ccee.org.br]

COLLARES-PEREIRA M, RABL A. The average distribution of solar radiation correlations between diffuse and hemispherical and between daily and hourly insolation values. *Sol Energy* 1979;22:155-64

DECKER, B.; JAHN, U. Performance of 170 grid connected PV plants in Northern Germany – Analysis of yields and optimization potentials. *Solar Energy*, 1997.

EGLER, M. Global Irradiation in North-Western South America – A Comparison of Long-Term Datasets of Average Annual Irradiation Taken From Five Different Data Sources. 28th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition- PVSEC, 2013.

EPE. **Balanço Energético Nacional: Resultados Preliminares ano Base 2012**. Rio de Janeiro: EPE, 2013. Disponível em: <<https://ben.epe.gov.br/BENRelatorioFinal2013.aspx>>

EPE. **Anuário estatístico de energia elétrica 2014 – ano base 2013**. Rio de Janeiro: EPE, 2014. Disponível em: <www.epe.gov.br/AnuarioEstatisticodeEnergiaEletrica>

EPIA - **MARKET REPORT 2013**.A: EuropeanPhotovoltaicIndustry Association, 2013.

FANTINELLI, J. T., **Tecnologia solar de interesse social e baixo custo para aquecimento de água na moradia**, Dissertação de Mestrado da Faculdade de Engenharia Mecânica da UNICAMP, Campinas - São Paulo, 2002.

GTES, Grupo de Trabalho de Energia Solar -. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos: Edição Especial** PRC-PRODEEM. Rio de Janeiro: Cepel - Cresesb, 2004. Disponível em: www.cresesb.cepel.br/.../Manual de Engenharia FV 2004.pdf

GUIMARÃES, Ana Paula Cardoso. **Estimativa Atmosférica Incidente na Superfície Terrestre**. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro: Rio de Janeiro, 2003.

HAY J.E., MCKAY D.C. Estimating solar irradiance on inclined surfaces: a review and assessment of methodologies. *Int J Sol Energy* 1985; 3:203-40.

IBGE - Censo Demográfico de 01 de agosto de 2010.<http://censo2010.ibge.gov.br/>

IMAMURA, M.S. et al, **“Photovoltaic System Technology - An European Handbook”**, CEC, H. S. Stephens & Associates, 1992.

KHOO, Y. S., Reindl, T., Aberle, A. G., & Member, S. (2014). Optimal Orientation and Tilt Angle for Maximizing in-Plane Solar Irradiation for PV Applications in Singapore, 4(2), 647–653.

KLUCHER TM, Evaluation of models to predict insolation on tilted surfaces. *Sol Energy* 1979;23:111-4.

KRENZINGER, A., 1998. **RADIASOL** – Programa para determinação da radiação solar sob superfícies com diferentes ângulos de inclinação. Laboratório de Energia Solar, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. Disponível em<www.solar.ufrgs.br/#softwares>.

LIOU, Kuo-nan. **Solar radiation at the top of the atmosphere**. In: LIOU, Kuonan. An Introduction to Atmospheric Radiation. Slat Lake City: Academic Press, 1980. Cap. 2, p. 35-48.

LOPO, A. B., **Análise do desempenho térmica de um sistema de aquecimento solar de baixo custo**. Dissertação de mestrado. Universidade federal do Rio Grande do norte, 2010.

MARION et al. - Performance Parameters for Grid-Connected PV Systems. Prepared for the 31st IEEE Photovoltaics Specialists Conference and Exhibition 2005, Florida, USA.

MARTINS, F. R.; PEREIRA, E. B. e ECHER, M. P. de S.. **Levantamento dos recursos de energia solar no Brasil com o emprego de satélite geoestacionário: o Projeto Swera**. *Rev. Bras. Ensino Fís.* [online]. 2004, vol.26, n.2, pp. 145-159. ISSN 1806-1117.

MONDOL, J. D.; YOHANIS, Y.; SMYTH, M.; NORTON, B. Long term performance analysis of a grid connected photovoltaic system in Northern Ireland. *Energy Conversion and Management*, 2006.

NASCIMENTO, C. A. do. **Princípio de funcionamento da célula fotovoltaica**. 2004. 21 f. Monografia (Pós-graduação Lato-sensu) - Ufla, Lavras/mg, 2004. Disponível em: <www.solenerg.com.br/files/monografia_cassio.pdf>.

NASCIMENTO, L. R. **A avaliação de longo prazo de um sistema fotovoltaico integrado à edificação urbana e conectado à rede elétrica pública**. Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, Florianópolis - SC, 2013.

NASPOLINI, H. F., RÜTHER, R. Assessing the technical and economic viability of low-cost domestic solar hot water systems (DSHWS) in low-income residential dwellings in Brazil. **Renewable Energy**, v.48 (2012) 92 e 99

NATIONAL RENEWABLE ENERGY LABORATORY. **Solar and Wind Energy Resource Assessment**. Disponível em: <swera.unep.net>.

NBR 15220 - Desempenho térmico de edificações parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social, 2003.

ONS – Operador Nacional do sistema, www.ons.org.br

PAIVA, C. M. **Estimativa do Balanço de energia e da temperatura da superfície via satélite**. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro: Rio de Janeiro, 2005.

PARIDA, B.; INIYAN, S.; GOIC, R. A review of solar photovoltaic technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Elsevier Ltd, v. 15, n. 3, p. 1625-1636, abr. 2011. ISSN 13640321. [<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1364032110004016>].

PEREIRA, E. B. et al. **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. [S.l.], 2006. [www.ccst.inpe.br/wp-content/themes/ccst-2.0/pdf/atlas_solar-reduced.pdf]

PEREIRA, E. B.; COLLE, S. **A energia que vem do Sol**. Ciência Hoje, Rio de Janeiro, v. 22, n. 130, p.24-35, ago. 1997. Mensal.

PEREZ R., SEALS R, INEICHEN P, STEWART R, MENICUCCI D. **A new simplified version of the Perez diffuse irradiance model for tilted surfaces**. *Sol Energy* 1987;39:221-31.

PERNAMBUCO GOVERNO DO ESTADO. Pernambuco promove primeiro leilão de energia solar do País, que atrai investimentos de R\$ 597 milhões. December of 2013. Available in [<http://www.pe.gov.br/b/7038>].

PVGIS, Solar irradiation and photovoltaic electricity potencial country an regional maps for Europe, European Union, 2001-2012. [<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>]

RAMOS, V. M. *et al.* Análise do impacto de um SFCR em uma edificação com carga predominante de climatização artificial. In: V CBENS - V CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR. Anais... Recife - PE: [s.n.], 2014.

REICH, N. H.; MUELLER, B.; ARMBRUSTER, A.; VAN SARK, W. G. J. H. M.; KIEFER, K.; REISE, C. Performance ratio revisited: is PR > 90% realistic Progress in Photovoltaics: Research and Applications, 2012.

RÜTHER, R. **Edifícios solares fotovoltaicos : o potencial da geração solar fotovoltaica integrada a edificações urbanas e interligada à rede elétrica pública no Brasil**. / Ricardo Rütther. – Florianópolis : LABSOLAR, 2004.

RÜTHER, R. **Experiences and Operational Results of the First Grid - Connected, Building - Integrated, Thin Film Photovoltaic Installation in Brazil**. In: Viena. Anais do 2nd World Conference and Exhibition of Photovoltaic Solar Energy Conversion, 1998. p. 2655-2658.

RÜTHER, R. ; DACOREGIO, M. M. . **Performance Assessment of a 2 kWp Grid - Connected, Building - Integrated, Amorphous Silicon**

- Photovoltaic Installation in Brazil.** Progress in Photovoltaics, Inglaterra, v. 7, n.2, p. 257-266, 2000.
- RÜTHER, R.; NASCIMENTO, L.; URBANETZ, J.; PFITSCHER, P.; VIANA, T. Long-term performance of the first grid-connected, building-integrated, thin-film amorphous silicon PV installation in Brazil. EUA: Proceedings of the 35th IEEE Photovoltaic Specialists Conference. New York, 2010.
- SALAMONI, I. T.; RÜTHER, R.; ZILLES, R. **Uma oportunidade para o desenvolvimento da indústria fotovoltaica no Brasil: eletricidade solar para os telhados.** Parcerias Estratégicas, Brasília, v. 14, p.219-243, 2009.
- SANTOS, I. **Desenvolvimento de ferramenta de apoio à decisão em projetos de integração solar fotovoltaica à arquitetura.** Tese de doutorado. Universidade Federal de Santa Catarina, 2013.
- SANTOS, I.P. ; RÜTHER, R. **Limitations in solar module azimuth and tilt angles in building integrated photovoltaics at low latitude tropical sites in Brazil.** Renewable Energy , v. 63, p. 116-124, 2014.
- SERRÃO, M.A.S. **Dimensionamento de um sistema fotovoltaico para uma casa de veraneio em Pouso da Cajaíba - Paraty.** 2010. 99 f. Monografia (Bacharel) - Ufrj, Rio de Janeiro, 2010.
- SOUZA, L.G.M., **Sistema de aquecimento solar de água para aplicações residenciais utilizando materiais alternativos,** V CONEM – Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, Recife-Pe, 2006.
- SOUZA, R.M. **Exportações e Consumo de Energia Elétrica: uma análise baseada na integração de Modelos Econométrico e de Insumo-Produto Inter-Regional para Minas Gerais e o restante do Brasil.** 2008. Dissertação (Mestrado em Economia Aplicada). Universidade Federal de Juiz de Fora. Juiz de Fora, 2008.
- SWERA - Solar and Wind Energy Resource Assessment. [<http://en.openei.org/apps/SWERA>]. Acessado em 2014.
- TIRADENTES, A. A. R. **Uso da Energia Solar para Geração de eletricidade e para aquecimento de água.** Monografia. Universidade Federal de Lavras: Lavras, 2006.
- URBANETZ JR, J. *et al.* Análise do desempenho de dois anos de operação do sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica do Escritório verde da UTFPR. In: V CBENS V CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR. Anais. Recife - PE: [s.n.], 2014.
- URBANETZ, J.; ZOMER, C. D.; RÜTHER, R. Compromises between form and function in grid-connected, building-integrated photovoltaics

(BIPV) at low-latitude sites. *Building and Environment* , p. 2107-2113, 2011.

User's Guide PVsyst Contextual Help, University of Geneva 1994-2010.
ZOMER, C. D.; NASCIMENTO, L. ; URBANETZ JR., J. ; OKUDA, B. ; FLORES, F. ; RUTHER, R. . **Geração solar fotovoltaica integrada a edificações urbanas: compromissos entre forma e função**. In: IV Congresso Brasileiro de Energia Solar e V Conferencia Latino-Americana da ISES, 2012, São Paulo. Anais do IV Congresso Brasileiro de Energia Solar e V Conferencia Latino-Americana da ISES, 2012.

ZOMER, C., *et al.* -The balance between aesthetics and performance in building-integrated photovoltaics in the tropics. *Progress in Photovoltaics*, 2013.

APÊNDICE A: RESULTADOS INDIVIDUAIS DE CADA SFVCR

Neste apêndice estão apresentados os resultados individuais de cada SFVCR, seguindo o mesmo método e padrão apresentado para o sistema FLN-1 no capítulo resultados. A seguir, pode-se observar separadamente, para cada sistema, os gráficos de irradiação medida X irradiação de bancos de dados, *PerformanceRatio* (PR), tabelas indicando as diferenças mensais e anuais entre valores de irradiação medidos no local e os existentes em bancos de dados. Por fim, para cada sistema, um gráfico apresentando Yield e comparando a geração medida X geração simulada usando valores de bancos de dados de irradiação.

SFVCR FLN-2

Irradiação medida X Irradiação de banco de dados

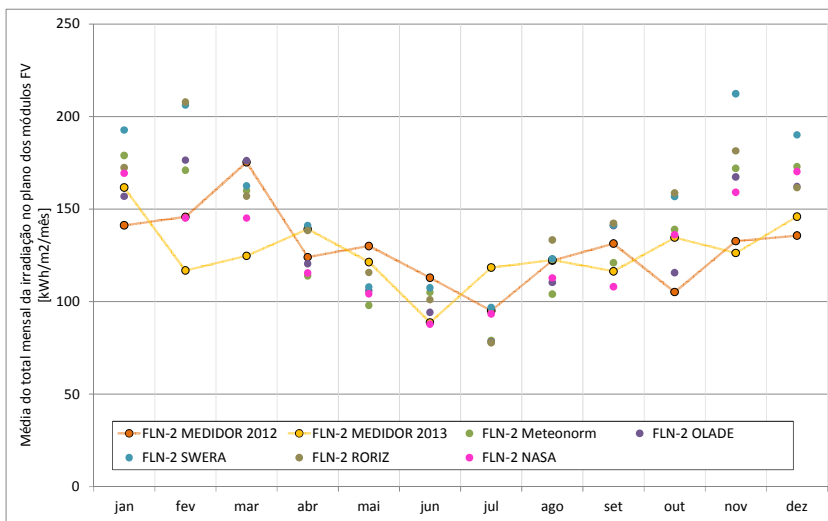


Figura 0.1 - FLN-2: Média do total mensais da irradiação no plano dos módulos FV (kWh/m²/mês)

Taxa de desempenho (PerformanceRatio, PR)

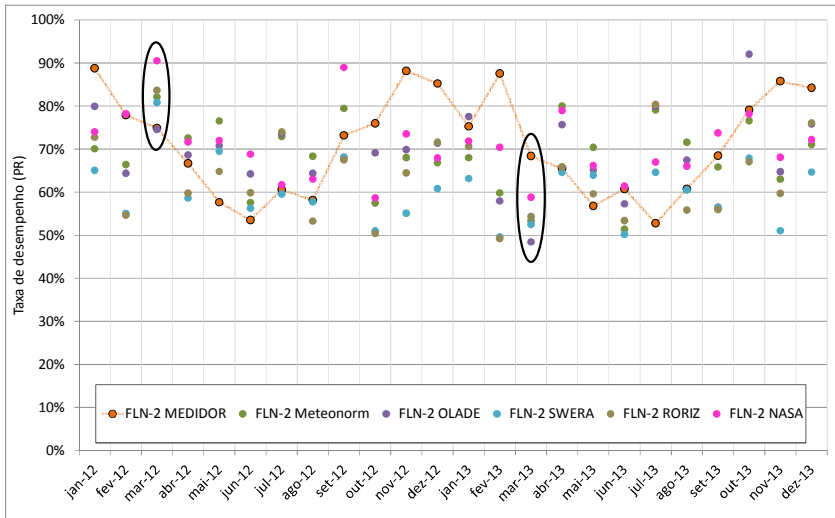


Figura 0.2 - FLN-2: PR ao longo de dois anos medidos (2012-2013) X PR referente a banco dedados.

Diferença entre banco de dados de irradiação solar

Tabela 0.1 - FLN-2: Diferenças mensais entre valores de irradiação de bancos de dados usando como base o valor medido (2012 e 2013)

SFVCR	base de dados	jan/12	fev/12	mar/12	abr/12	mai/12	jun/12	jul/12	ago/12	set/12	out/12	nov/12	dez/12
FLN-2	MEDIDOR	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
	Meteororm	27%	17%	-9%	-8%	-25%	-7%	-17%	-15%	-8%	32%	30%	28%
	OLADE	11%	21%	0%	-3%	-19%	-17%	-18%	-10%	7%	10%	26%	20%
	SWERA	36%	41%	-7%	14%	-17%	-5%	2%	1%	8%	49%	60%	40%
	RORIZ	22%	43%	-10%	12%	-11%	-11%	-18%	9%	8%	51%	37%	19%
	NASA	20%	0%	-17%	-7%	-20%	-22%	-2%	-8%	-18%	29%	20%	26%
SFVCR	base de dados	jan/13	fev/13	mar/13	abr/13	mai/13	jun/13	jul/13	ago/13	set/13	out/13	nov/13	dez/13
FLN-2	MEDIDOR	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
	Meteororm	11%	46%	28%	-18%	-19%	18%	-33%	-15%	4%	3%	36%	19%
	OLADE	-3%	51%	41%	-13%	-13%	6%	-34%	-10%	21%	-14%	33%	11%
	SWERA	19%	77%	30%	1%	-11%	21%	-18%	0%	21%	16%	68%	30%
	RORIZ	7%	78%	26%	-1%	-5%	14%	-34%	9%	22%	18%	44%	11%
	NASA	5%	24%	16%	-17%	-14%	-1%	-21%	-8%	-7%	1%	26%	17%

Tabela 0.2 – FLN-2: Diferenças entre os valores médios anuais de irradiação dos bancos de dados usando como base o valor medido

SFVCR	base de dados	Anual 2012	Anual 2013	Média 2012-2013
FLN-2	MEDIDOR	0%	0%	0%
	Meteonorm	4%	6%	5%
	OLADE	3%	6%	5%
	SWERA	18%	21%	20%
	RORIZ	13%	15%	14%
	NASA	0%	2%	1%

Geração medida X geração simulada

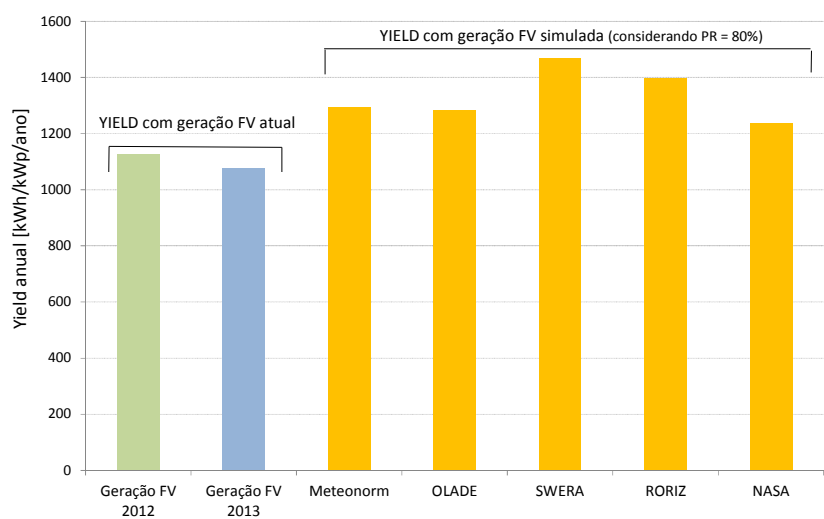


Figura 0.3 - FLN-2: Produtividade FV medida X Produtividade FV simulada através de bancos de dados, utilizando PR = 80%

SFVCR FLN-3

Irradiação medida X Irradiação de banco de dados

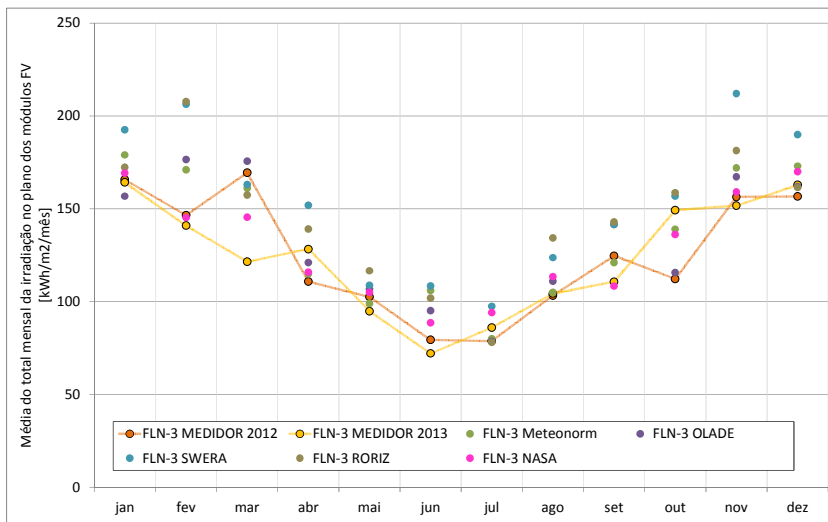


Figura 0.4 - FLN-3: Média do total mensal da irradiação no plano dos módulos FV (kWh/m²/mês)

Taxa de desempenho (PerformanceRatio, PR)

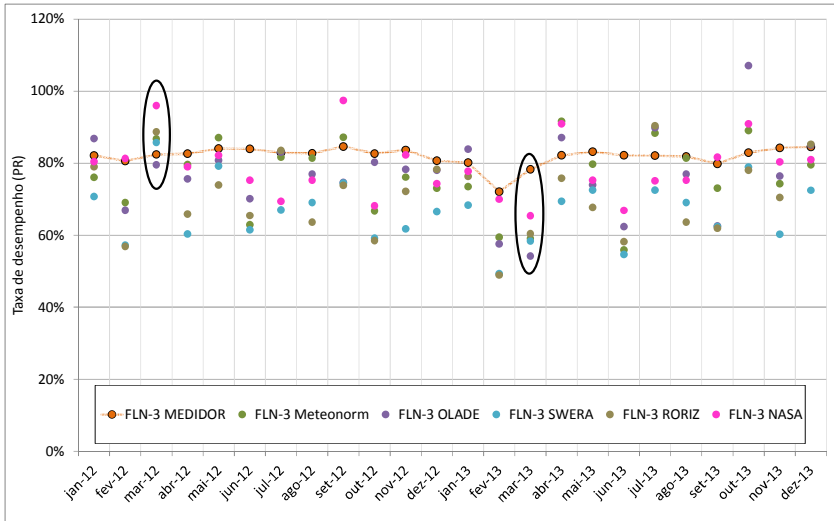


Figura 0.5 - FLN-3: PR ao longo de dois anos medidos (2012-2013) X PR referente a banco dedados

Diferença entre banco de dados de irradiação solar

Tabela 0.3 - FLN-3: Diferenças mensais entre valores de irradiação de bancos de dados usando como base o valor medido (2012 e 2013)

SFVCR	base de dados	jan/12	fev/12	mar/12	abr/12	mai/12	jun/12	jul/12	ago/12	set/12	out/12	nov/12	dez/12
FLN-3	MEDIDOR	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
	Meteororm	8%	17%	-5%	4%	-3%	33%	2%	2%	-3%	24%	10%	10%
	OLADE	-5%	20%	4%	9%	4%	20%	0%	8%	13%	3%	7%	3%
	SWERA	16%	41%	-4%	37%	6%	37%	24%	20%	14%	40%	36%	21%
	RORIZ	4%	42%	-7%	25%	14%	28%	-1%	30%	15%	41%	16%	3%
	NASA	2%	-1%	-14%	5%	2%	12%	19%	10%	-13%	21%	2%	9%
SFVCR	base de dados	jan/13	fev/13	mar/13	abr/13	mai/13	jun/13	jul/13	ago/13	set/13	out/13	nov/13	dez/13
FLN-3	MEDIDOR	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
	Meteororm	9%	21%	33%	-10%	4%	47%	-7%	1%	9%	-7%	13%	6%
	OLADE	-5%	25%	45%	-6%	12%	32%	-9%	6%	28%	-23%	10%	-1%
	SWERA	17%	46%	34%	18%	15%	50%	13%	19%	28%	5%	40%	17%
	RORIZ	5%	47%	30%	8%	23%	41%	-9%	29%	29%	6%	20%	-1%
	NASA	3%	3%	20%	-10%	11%	23%	9%	9%	-2%	-9%	5%	4%

Tabela 0.4 -FLN-3: Diferenças entre os valores médios anuais de irradiação dos bancos de dados usando como base o valor medido

SFVCR	base de dados	Anual 2012	Anual 2013	Média 2012-2013
FLN-3	MEDIDOR	0%	0%	0%
	Meteonorm	8%	9%	8%
	OLADE	7%	8%	7%
	SWERA	23%	25%	24%
	RORIZ	16%	18%	17%
	NASA	3%	4%	4%

Geração medida X geração simulada

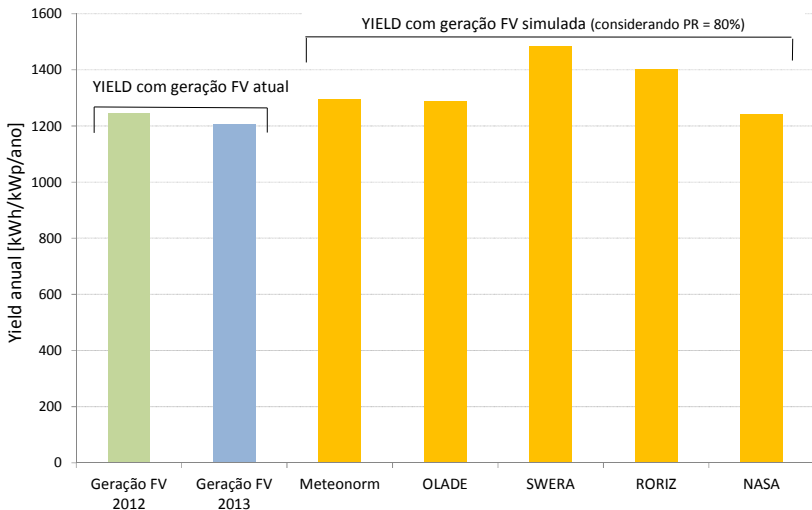


Figura 0.6 - FLN-3: Produtividade FV medida X Produtividade FV simulada através de bancos de dados, utilizando PR = 80%

SFVCR FLN-4

Irradiação medida X Irradiação de banco de dados

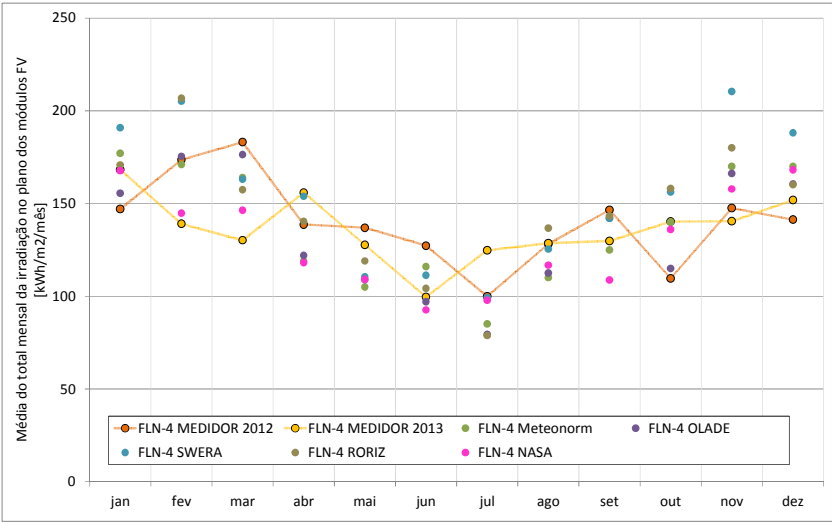


Figura 0.7 - FLN-4: Média do total mensal da irradiação no plano dos módulos FV (kWh/m²/mês)

Taxa de desempenho (PerformanceRatio, PR)

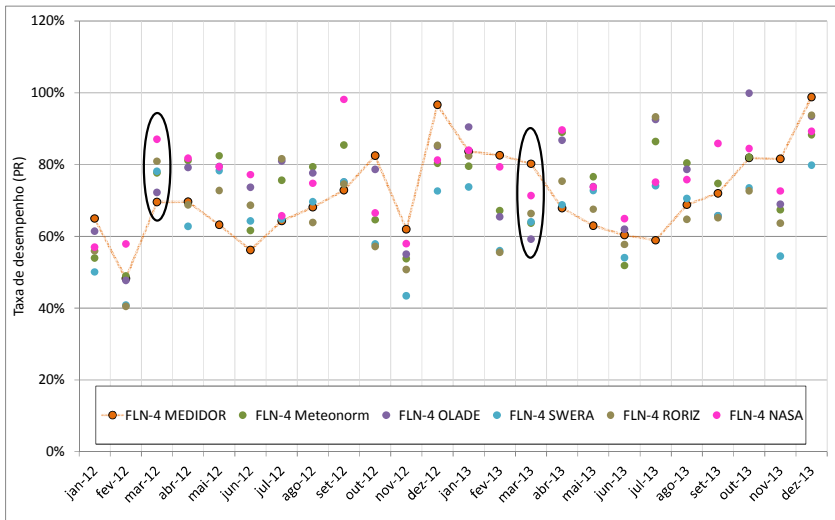


Figura 0.8 - FLN-4: PR ao longo de dois anos medidos (2012-2013) X PR referente a banco dedados

Diferença entre banco de dados de irradiação solar

Tabela 0.5 - FLN-4: Diferenças mensais entre valores de irradiação de bancos de dados usando como base o valor medido (2012 e 2013)

SFVCR	base de dados	jan/12	fev/12	mar/12	abr/12	mai/12	jun/12	jul/12	ago/12	set/12	out/12	nov/12	dez/12
FLN-4	MEDIDOR	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
	Meteororm	20%	-1%	-10%	-14%	-23%	-9%	-15%	-14%	-15%	28%	15%	20%
	OLADE	6%	1%	-4%	-12%	-21%	-24%	-21%	-12%	-3%	5%	13%	14%
	SWERA	30%	18%	-11%	11%	-19%	-13%	-1%	-2%	-3%	43%	43%	33%
	RORIZ	16%	19%	-14%	1%	-13%	-18%	-21%	7%	-2%	44%	22%	13%
	NASA	14%	-17%	-20%	-15%	-20%	-27%	-2%	-9%	-26%	24%	7%	19%
SFVCR	base de dados	jan/13	fev/13	mar/13	abr/13	mai/13	jun/13	jul/13	ago/13	set/13	out/13	nov/13	dez/13
FLN-4	MEDIDOR	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
	Meteororm	5%	23%	26%	-24%	-18%	16%	-32%	-14%	-4%	0%	21%	12%
	OLADE	-8%	26%	35%	-22%	-15%	-3%	-36%	-13%	10%	-18%	18%	6%
	SWERA	13%	48%	25%	-1%	-13%	12%	-21%	-2%	9%	11%	50%	24%
	RORIZ	2%	49%	21%	-10%	-7%	5%	-37%	6%	10%	13%	28%	5%
	NASA	0%	4%	12%	-24%	-15%	-7%	-22%	-9%	-16%	-3%	12%	11%

Tabela 0.6 - FLN-4: Diferenças entre os valores médios anuais de irradiação dos bancos de dados usando como base o valor medido

SFVCR	base de dados	Anual 2012	Anual 2013	Média 2012-2013
FLN-4	MEDIDOR	0%	0%	0%
	Meteonorm	-2%	1%	0%
	OLADE	-4%	-2%	-3%
	SWERA	10%	13%	12%
	RORIZ	5%	7%	6%
	NASA	-7%	-4%	-6%

Geração medida X geração simulada

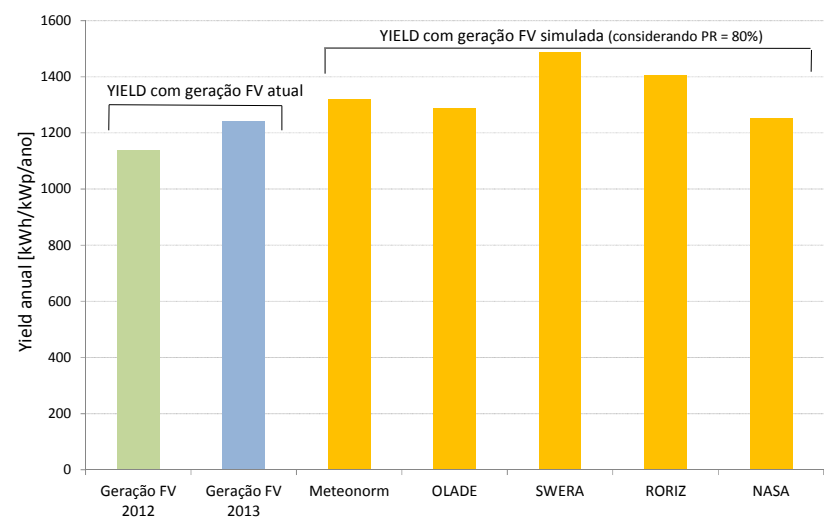


Figura 0.9 - FLN-4: Produtividade FV medida X Produtividade FV simulada através de bancos de dados, utilizando PR = 80%

SFVCR BHO-1

Irradiação medida X Irradiação de banco de dados

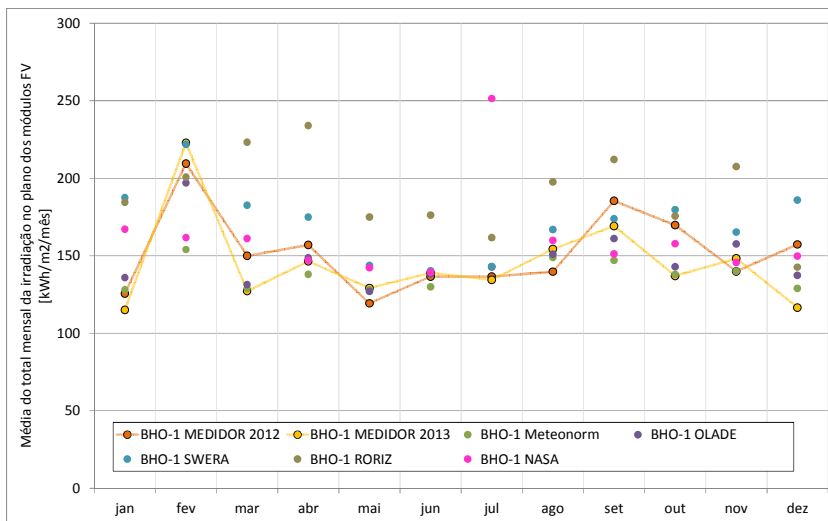


Figura 0.10 -BHO-1: Média do total mensal da irradiação no plano dos módulos FV (kWh/m²/mês)

Taxa de desempenho (PerformanceRatio, PR)

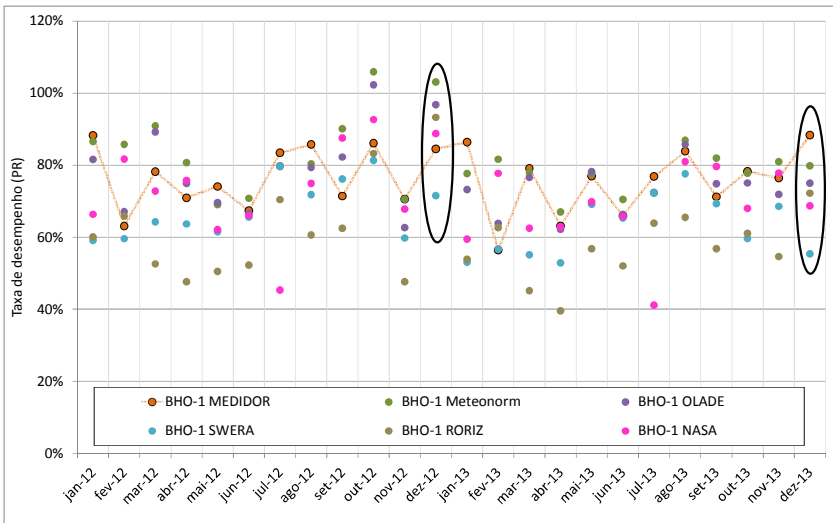


Figura 0.11 -BHO-1: PR ao longo de dois anos medidos (2012-2013) X PR referente a banco dedados

Diferença entre banco de dados de irradiação solar

Tabela 0.7 - BHO-1: Diferenças mensais entre valores de irradiação de bancos de dados usando como base o valor medido (2012 e 2013)

SFVCR	base de dados	jan/12	fev/12	mar/12	abr/12	mai/12	jun/12	jul/12	ago/12	set/12	out/12	nov/12	dez/12
BHO-1	MEDIDOR	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
	Meteonorm	2%	-26%	-14%	-12%	7%	-5%	5%	7%	-21%	-19%	0%	-18%
	OLADE	8%	-6%	-12%	-5%	6%	1%	5%	8%	-13%	-16%	13%	-13%
	SWERA	49%	6%	22%	11%	20%	3%	5%	19%	-6%	6%	18%	18%
	RORIZ	47%	-4%	49%	49%	47%	29%	18%	41%	14%	3%	48%	-9%
	NASA	33%	-23%	7%	-6%	19%	2%	84%	14%	-18%	-7%	4%	-5%
SFVCR	base de dados	jan/13	fev/13	mar/13	abr/13	mai/13	jun/13	jul/13	ago/13	set/13	out/13	nov/13	dez/13
BHO-1	MEDIDOR	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
	Meteonorm	11%	-31%	1%	-6%	-1%	-6%	6%	-3%	-13%	1%	-6%	11%
	OLADE	18%	-12%	3%	1%	-2%	-1%	6%	-2%	-5%	4%	6%	18%
	SWERA	63%	0%	44%	19%	11%	1%	6%	8%	3%	31%	11%	60%
	RORIZ	60%	-10%	75%	60%	36%	27%	20%	28%	25%	28%	40%	22%
	NASA	45%	-27%	27%	0%	10%	0%	87%	4%	-11%	15%	-2%	29%

Tabela 0.8 – BHO-1: Diferenças entre os valores médios anuais de irradiação dos bancos de dados usando como base o valor medido

SFVCR	base de dados	Anual 2012	Anual 2013	Média 2012-2013
BHO-1	MEDIDOR	0%	0%	0%
	Meteonorm	-10%	-5%	-7%
	OLADE	-3%	2%	-1%
	SWERA	13%	19%	16%
	RORIZ	25%	32%	28%
	NASA	6%	11%	8%

Geração medida X geração simulada

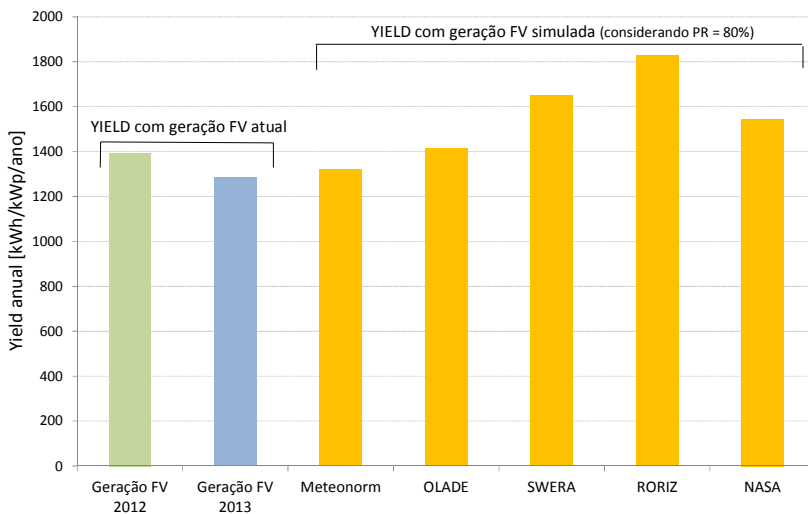


Figura 0.12 – BHO-1: Produtividade FV medida X Produtividade FV simulada através de bancos de dados, utilizando PR = 80%

SFVCR SAL-1

Irradiação medida X Irradiação de banco de dados

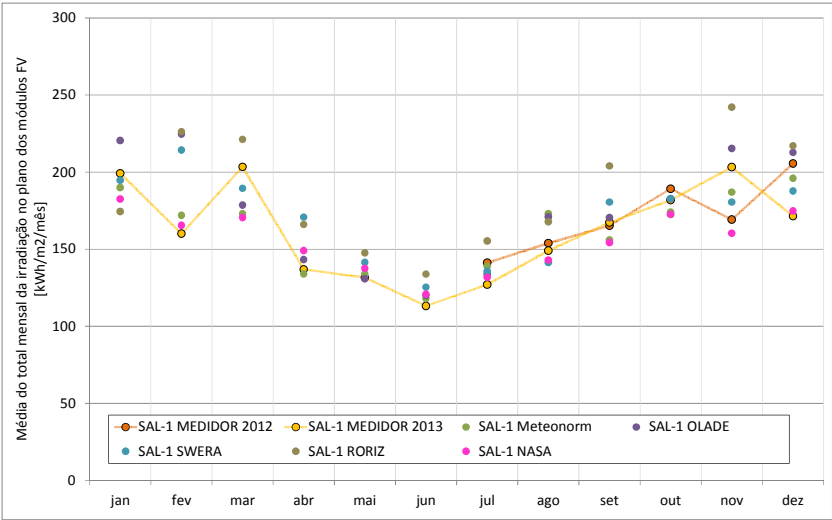


Figura 0.13 -SAL-1: Média do total mensal da irradiação no plano dos módulos FV (kWh/m²/mês)

Taxa de desempenho (PerformanceRatio, PR)

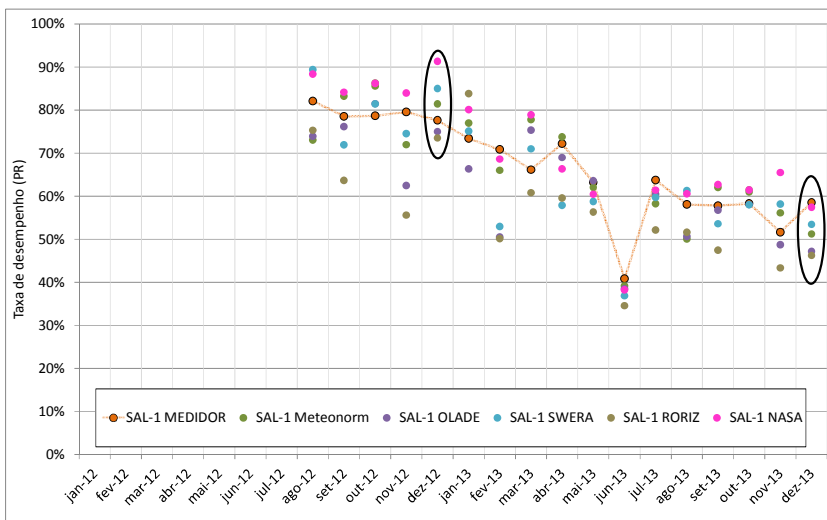


Figura 0.14 - SAL-1: PR ao longo de dois anos medidos (2012-2013) X PR referente a banco dedados

Diferença entre banco de dados de irradiação solar

SFVCR	base de dados	jan/12	fev/12	mar/12	abr/12	mai/12	jun/12	jul/12	ago/12	set/12	out/12	nov/12	dez/12
SAL-1	MEDIDOR						0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
	Meteornorm						62%	-2%	12%	-6%	-8%	11%	-5%
	OLADE						65%	-5%	11%	3%	-3%	27%	3%
	SWERA						72%	-4%	-8%	9%	-3%	7%	-9%
	RORIZ						84%	10%	9%	23%	-9%	43%	6%
	NASA						66%	-7%	-7%	-7%	-9%	-5%	-15%
SFVCR	base de dados	jan/13	fev/13	mar/13	abr/13	mai/13	jun/13	jul/13	ago/13	set/13	out/13	nov/13	dez/13
SAL-1	MEDIDOR	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
	Meteornorm	-5%	7%	-15%	-2%	2%	4%	9%	16%	-7%	-4%	-8%	14%
	OLADE	11%	40%	-12%	5%	-1%	6%	5%	15%	2%	0%	6%	24%
	SWERA	-2%	34%	-7%	25%	8%	11%	7%	-5%	8%	1%	-11%	10%
	RORIZ	-12%	41%	9%	21%	12%	18%	22%	13%	22%	-5%	19%	27%
	NASA	-8%	3%	-16%	9%	5%	7%	4%	-4%	-8%	-5%	-21%	2%

Figura 0.15 - SAL-1: Diferenças mensais entre valores de irradiação de bancos de dados usando como base o valor medido (2012 e 2013)

SFVCR	base de dados	Anual 2012	Anual 2013	Média 2012-2013
SAL-1	MEDIDOR	0%	0%	0%
	Meteonorm	77%	0%	28%
	OLADE	92%	8%	38%
	SWERA	86%	5%	34%
	RORIZ	103%	15%	47%
	NASA	70%	-4%	22%

Figura 0.16 - SAL-1: Diferenças entre os valores médios anuais de irradiação dos bancos de dados usando como base o valor medido

Geração medida X geração simulada

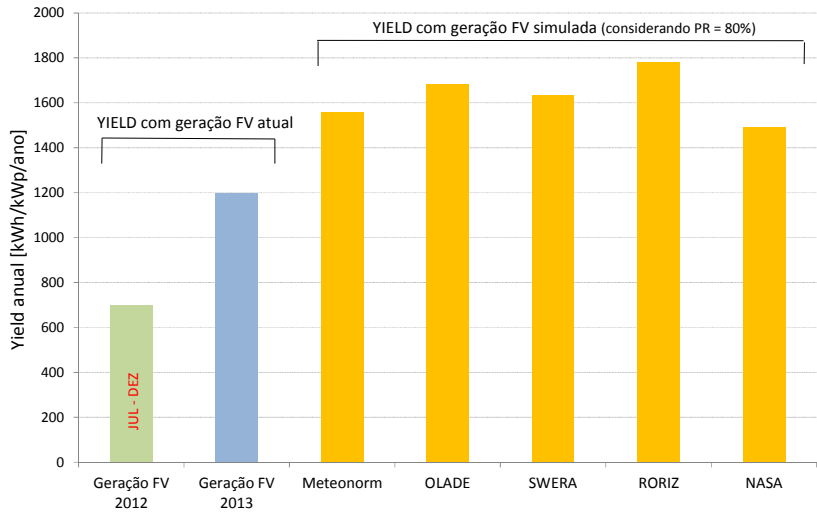


Figura 0.17 – SAL-1: Produtividade FV medida X Produtividade FV simulada através de bancos de dados, utilizando PR = 80%

SFVCR SBC-1

Irradiação medida X Irradiação de banco de dados

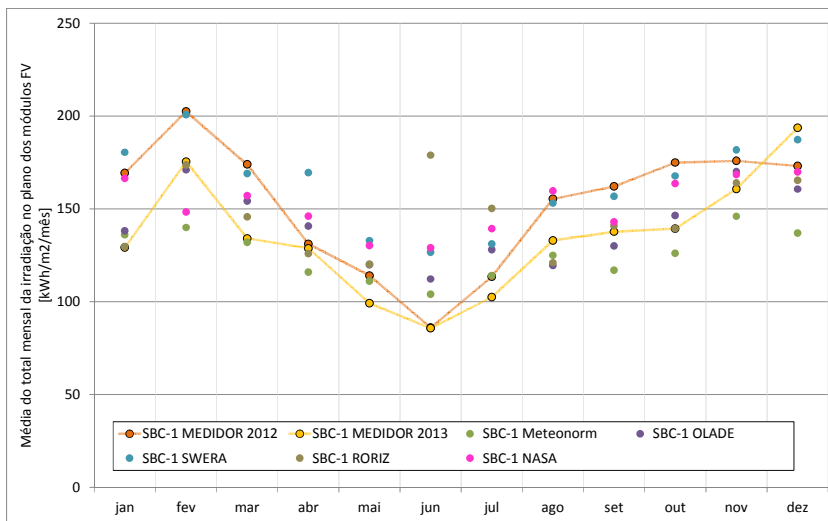


Figura 0.18 - SBC-1: Média do total mensal da irradiação no plano dos módulos FV (kWh/m²/mês)

Taxa de desempenho (PerformanceRatio, PR)

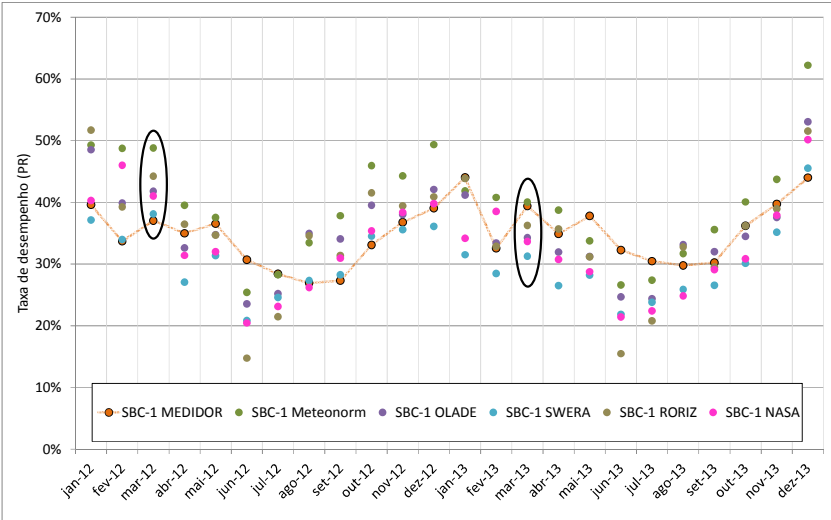


Figura 0.19 - SBC-1: PR ao longo de dois anos medidos (2012-2013) X PR referente a banco dedados

Diferença entre banco de dados de irradiação solar

Tabela 0.9 - SBC-1: Diferenças mensais entre valores de irradiação de bancos de dados usando como base o valor medido (2012 e 2013)

SFVCR	base de dados	jan/12	fev/12	mar/12	abr/12	mai/12	jun/12	jul/12	ago/12	set/12	out/12	nov/12	dez/12
SBC-1	MEDIDOR	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
	Meteonom	-20%	-31%	-24%	-12%	-3%	21%	0%	-20%	-28%	-28%	-17%	-21%
	OLADE	-18%	-16%	-11%	7%	5%	30%	13%	-23%	-20%	-16%	-3%	-7%
	SWERA	7%	-1%	-3%	29%	17%	47%	16%	-1%	-3%	-4%	3%	8%
	RORIZ	-23%	-14%	-16%	-4%	5%	108%	32%	-22%	-13%	-20%	-7%	-4%
	NASA	-2%	-27%	-10%	11%	14%	50%	23%	3%	-12%	-6%	-4%	-2%
SFVCR	base de dados	jan/13	fev/13	mar/13	abr/13	mai/13	jun/13	jul/13	ago/13	set/13	out/13	nov/13	dez/13
SBC-1	MEDIDOR	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
	Meteonom	5%	-20%	-2%	-10%	12%	21%	11%	-6%	-15%	-10%	-9%	-29%
	OLADE	7%	-3%	15%	9%	21%	31%	25%	-10%	-6%	5%	6%	-17%
	SWERA	40%	14%	26%	32%	34%	48%	28%	15%	14%	20%	13%	-3%
	RORIZ	0%	-1%	9%	-2%	21%	109%	47%	-9%	2%	0%	2%	-15%
	NASA	29%	-15%	17%	13%	31%	51%	36%	20%	4%	17%	5%	-12%

Tabela 0.10 - SBC-1: Diferenças entre os valores médios anuais de irradiação dos bancos de dados usando como base o valor medido

SFVCR	base de dados	Anual 2012	Anual 2013	Média 2012-2013
SBC-1	MEDIDOR	0%	0%	0%
	Meteonorm	-18%	-7%	-13%
	OLADE	-8%	4%	-2%
	SWERA	7%	21%	13%
	RORIZ	-4%	8%	2%
	NASA	-1%	12%	6%

Geração medida X geração simulada

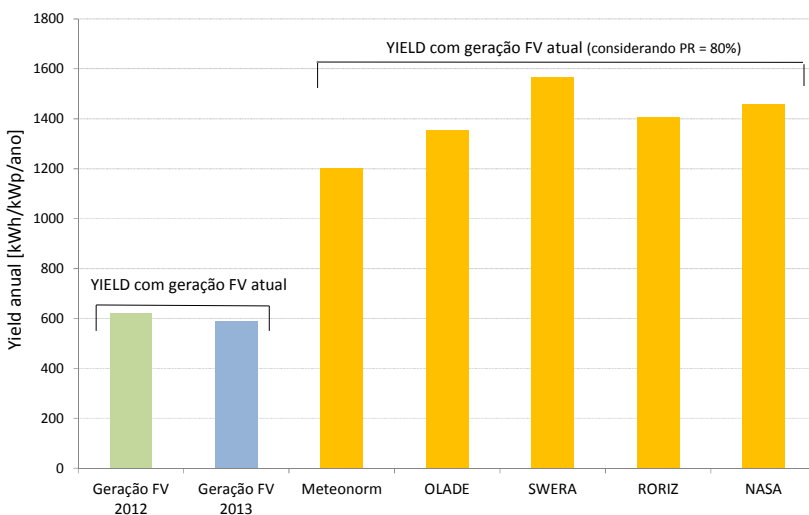


Figura 0.20 – SBC-1: Produtividade FV medida X Produtividade FV simulada através de bancos de dados, utilizando PR = 80%

SFVCR MAC-1

Irradiação medida X Irradiação de banco de dados

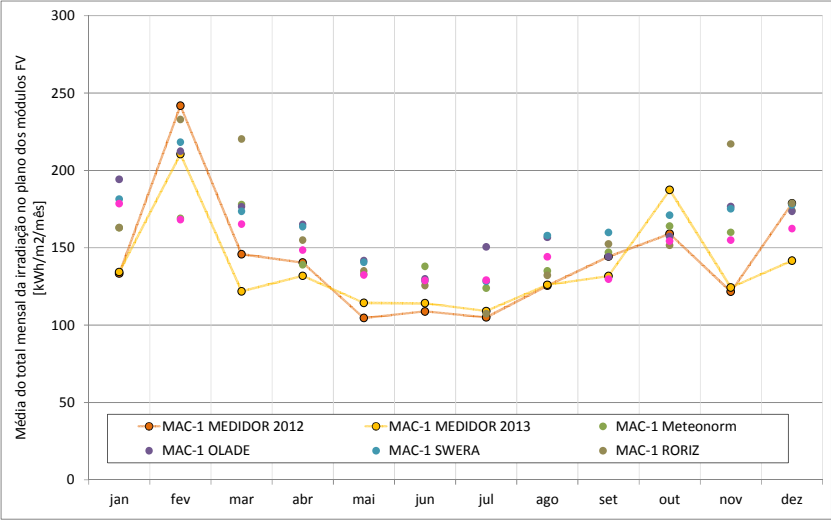


Figura 0.21 - MAC-1: Média do total mensal da irradiação no plano dos módulos FV (kWh/m²/mês)

Taxa de desempenho (PerformanceRatio, PR)

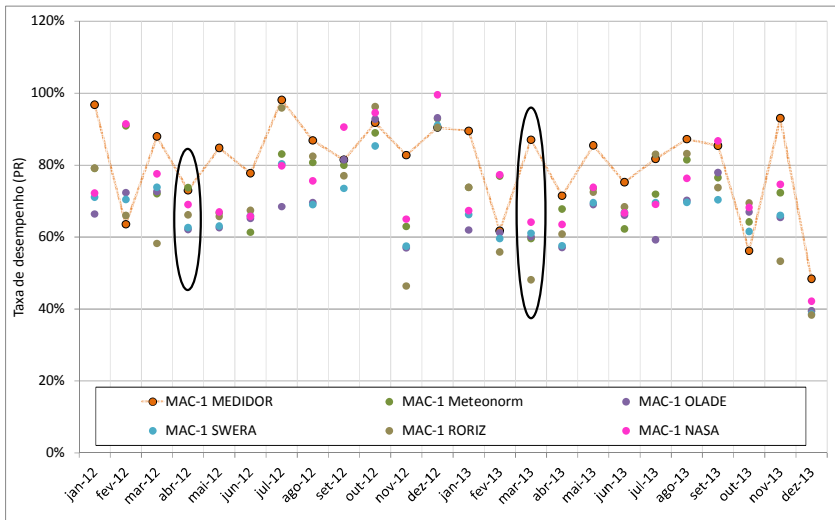


Figura 0.22 - MAC-1: PR ao longo de dois anos medidos (2012-2013) X PR referente a banco dedados

Diferença entre banco de dados de irradiação solar

Tabela 0.11 - MAC-1: Diferenças mensais entre valores de irradiação de bancos de dados usando como base o valor medido (2012 e 2013)

SFVCR	base de dados	jan/12	fev/12	mar/12	abr/12	mai/12	jun/12	jul/12	ago/12	set/12	out/12	nov/12	dez/12
MAC-1	MEDIDOR	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
	Meteonorm	22%	-30%	22%	-1%	27%	27%	18%	8%	2%	3%	32%	-3%
	OLADE	46%	-12%	21%	18%	35%	19%	43%	25%	0%	-1%	45%	-3%
	SWERA	36%	-10%	19%	16%	34%	18%	22%	26%	11%	8%	44%	-1%
	RORIZ	22%	-4%	51%	10%	29%	15%	2%	5%	6%	-5%	78%	0%
	NASA	34%	-30%	13%	6%	27%	18%	23%	15%	-10%	-3%	27%	-9%
SFVCR	base de dados	jan/13	fev/13	mar/13	abr/13	mai/13	jun/13	jul/13	ago/13	set/13	out/13	nov/13	dez/13
MAC-1	MEDIDOR	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
	Meteonorm	21%	-20%	46%	5%	16%	21%	14%	7%	12%	-13%	29%	23%
	OLADE	45%	1%	45%	25%	24%	14%	38%	24%	10%	-16%	42%	23%
	SWERA	35%	4%	42%	24%	23%	13%	18%	25%	21%	-9%	41%	25%
	RORIZ	21%	11%	81%	17%	18%	10%	-2%	5%	16%	-19%	75%	26%
	NASA	33%	-20%	36%	13%	16%	13%	18%	14%	-2%	-18%	25%	15%

Tabela 0.12 - MAC-1: Diferenças entre os valores médios anuais de irradiação dos bancos de dados usando como base o valor medido

SFVCR	base de dados	Anual 2012	Anual 2013	Média 2012-2013
MAC-1	MEDIDOR	0%	0%	0%
	Meteonorm	7%	11%	9%
	OLADE	16%	20%	18%
	SWERA	16%	20%	18%
	RORIZ	15%	20%	17%
	NASA	5%	9%	7%

Geração medida X geração simulada

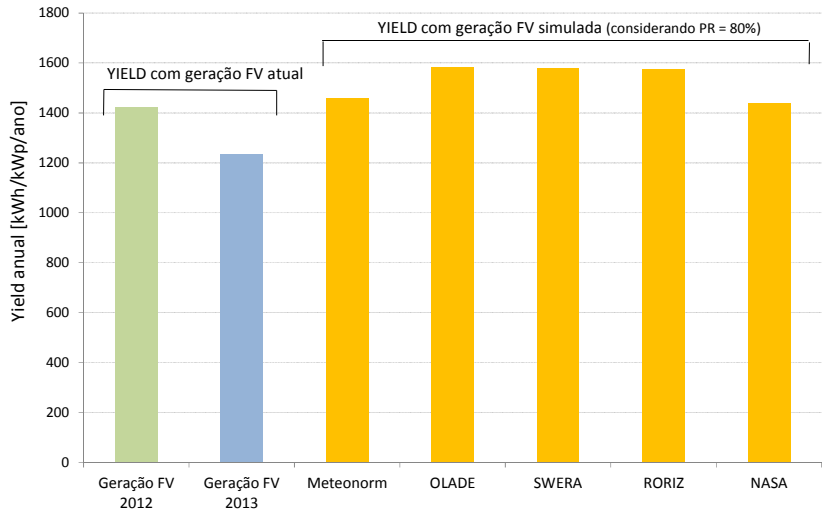


Figura 0.23 – SAL-1: Produtividade FV medida X Produtividade FV simulada através de bancos de dados, utilizando PR = 80%

SFVCR CUR-1

Irradiação medida X Irradiação de banco de dados

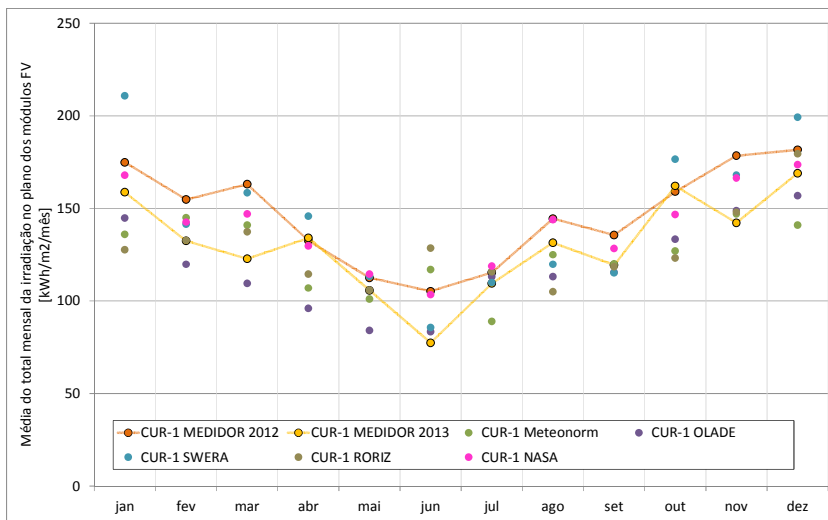


Figura 0.24 - CUR-1: Média do total mensal da irradiação no plano dos módulos FV (kWh/m²/mês)

Taxa de desempenho (PerformanceRatio, PR)

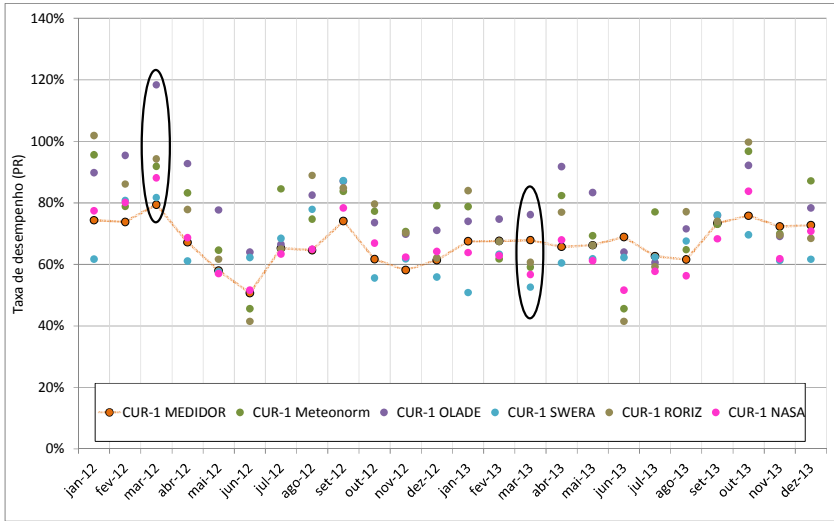


Figura 0.25 - CUR-1: PR ao longo de dois anos medidos (2012-2013) X PR referente a banco dedados

Diferença entre banco de dados de irradiação solar

Tabela 0.13 - CUR -1: Diferenças mensais entre valores de irradiação de bancos de dados usando como base o valor medido (2012 e 2013)

SFVCR	base de dados	jan/12	fev/12	mar/12	abr/12	mai/12	jun/12	jul/12	ago/12	set/12	out/12	nov/12	dez/12
CUR-1	MEDIDOR	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
	Meteonom	-22%	-6%	-14%	-19%	-10%	11%	-23%	-13%	-12%	-18%	-18%	-22%
	OLADE	-17%	-23%	-33%	-28%	-25%	-21%	-2%	-22%	-15%	-16%	-17%	-14%
	SWERA	21%	-9%	-3%	10%	1%	-19%	-5%	-17%	-15%	11%	-6%	10%
	RORIZ	-27%	-14%	-16%	-14%	-6%	22%	0%	-27%	-13%	-23%	-17%	-1%
	NASA	-4%	-8%	-10%	-2%	2%	-2%	3%	0%	-5%	-8%	-7%	-4%
SFVCR	base de dados	jan/13	fev/13	mar/13	abr/13	mai/13	jun/13	jul/13	ago/13	set/13	out/13	nov/13	dez/13
CUR-1	MEDIDOR	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
	Meteonom	-14%	9%	15%	-20%	-4%	51%	-19%	-5%	1%	-22%	3%	-17%
	OLADE	-9%	-10%	-11%	-28%	-21%	8%	3%	-14%	-3%	-18%	5%	-7%
	SWERA	33%	7%	29%	9%	7%	11%	0%	-9%	-3%	9%	18%	18%
	RORIZ	-20%	0%	12%	-15%	0%	66%	6%	-20%	-1%	-24%	4%	6%
	NASA	6%	8%	20%	-3%	8%	34%	9%	9%	7%	-10%	17%	3%

Tabela 0.14 - CUR-1: Diferenças entre os valores médios anuais de irradiação dos bancos de dados usando como base o valor medido

SFVCR	base de dados	Anual 2012	Anual 2013	Média 2012-2013
CUR-1	MEDIDOR	0%	0%	0%
	Meteonorm	-15%	-4%	-10%
	OLADE	-19%	-9%	-15%
	SWERA	-1%	11%	5%
	RORIZ	-13%	-2%	-8%
	NASA	-4%	8%	1%

Geração medida X geração simulada

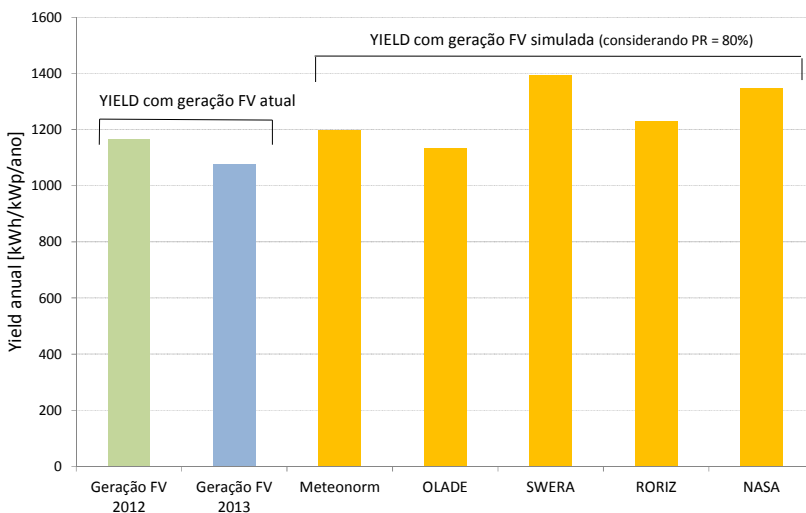


Figura 0.26 – CUR-1: Produtividade FV medida X Produtividade FV simulada através de bancos de dados, utilizando PR = 80%

SFVCR BEL-1

Irradiação medida X Irradiação de banco de dados

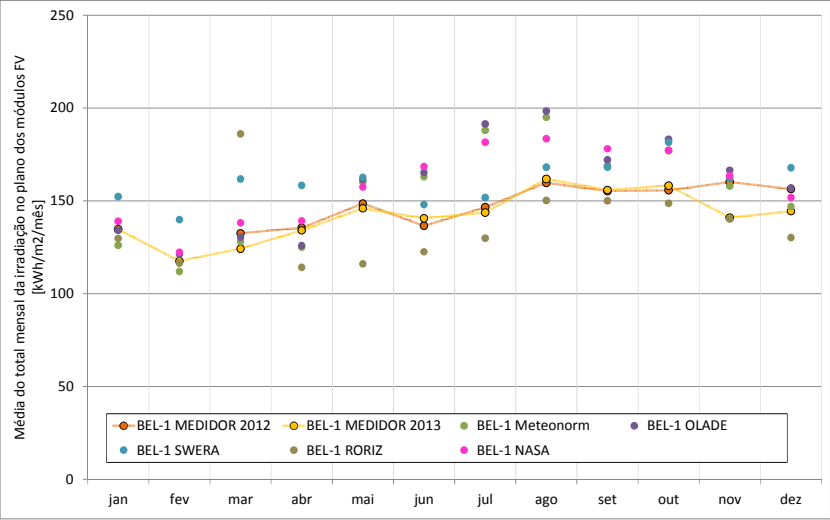


Figura 0.27 - BEL-1: Média do total mensal da irradiação no plano dos módulos FV (kWh/m²/mês)

Taxa de desempenho (PerformanceRatio, PR)

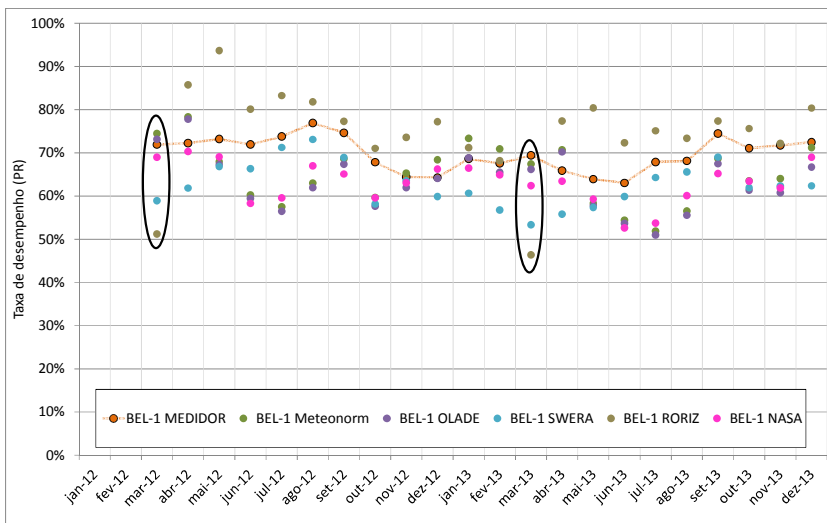


Figura 0.28 - BEL-1: PR ao longo de dois anos medidos (2012-2013) X PR referente a banco dedados

Diferença entre banco de dados de irradiação solar

Tabela 0.15 - BEL -1: Diferenças mensais entre valores de irradiação de bancos de dados usando como base o valor medido (2012 e 2013)

SFVCR	base de dados	jan/12	fev/12	mar/12	abr/12	mai/12	jun/12	jul/12	ago/12	set/12	out/12	nov/12	dez/12
BEL-1	MEDIDOR			0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
	Meteonom			-3%	-8%	8%	19%	28%	22%	9%	14%	-1%	-6%
	OLADE			-2%	-7%	9%	21%	31%	24%	11%	18%	4%	0%
	SWERA			22%	17%	10%	8%	4%	5%	8%	17%	1%	7%
	RORIZ			40%	-16%	-22%	-10%	-11%	-6%	-3%	-5%	-12%	-17%
	NASA			4%	3%	6%	23%	24%	15%	15%	14%	2%	-3%
SFVCR	base de dados	jan/13	fev/13	mar/13	abr/13	mai/13	jun/13	jul/13	ago/13	set/13	out/13	nov/13	dez/13
BEL-1	MEDIDOR	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
	Meteonom	-6%	-5%	3%	-7%	10%	16%	31%	21%	8%	12%	12%	2%
	OLADE	0%	3%	5%	-6%	11%	17%	33%	23%	10%	16%	18%	9%
	SWERA	13%	19%	30%	18%	11%	5%	6%	4%	8%	15%	15%	16%
	RORIZ	-4%	-1%	50%	-15%	-21%	-13%	-10%	-7%	-4%	-6%	-1%	-10%
	NASA	3%	4%	11%	4%	8%	20%	26%	13%	14%	12%	16%	5%

Tabela 0.16 - BEL-1: Diferenças entre os valores médios anuais de irradiação dos bancos de dados usando como base o valor medido

SFVCR	base de dados	Anual 2012	Anual 2013	Média 2012-2013
BEL-1	MEDIDOR	0%	0%	0%
	Meteonorm	24%	9%	16%
	OLADE	28%	12%	20%
	SWERA	29%	13%	21%
	RORIZ	10%	-4%	2%
	NASA	28%	12%	19%

Geração medida X geração simulada

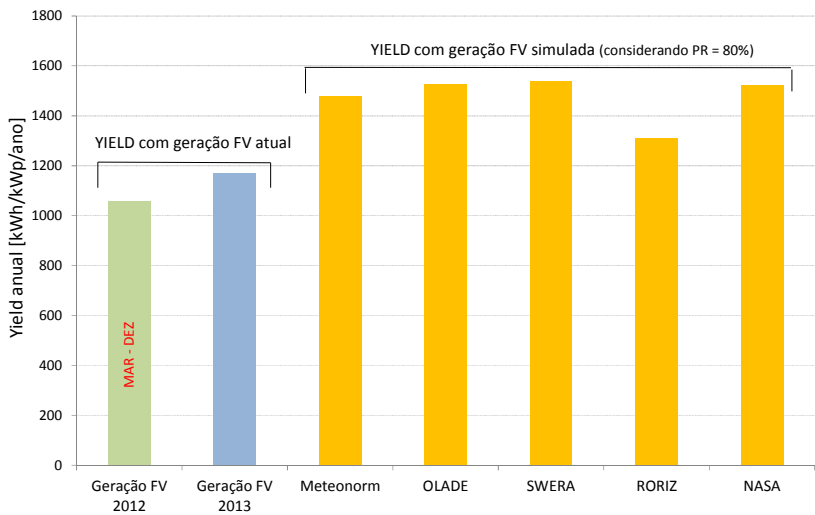


Figura 0.29 – BEL-1: Produtividade FV medida X Produtividade FV simulada através de bancos de dados, utilizando PR = 80%

APÊNDICE B: LISTAGEM DOS SFVCR CATALOGADOS

Atabela a seguir apresenta a listagem dos SFVCR catalogados durante este trabalho de mestrado, contendo informações como: nome do sistema, potência e cidade.

SFVCR	Cidade	Ano	Potência (kWp)
Loja da Honda	Manaus - AM	2010	2
COELBA 01	Salvador - BA	2009	3,12
Pituaçu Solar	Salvador - BA	2011	404,8
Sol Moradas Salitre	Juazeiro - BA	2013	2103
Residência	Lauro de Freitas - BA	2013	2,4
Tartaruga Solar	Mata de São João - BA	2013	11,52
Residência	Salvador - BA	2014	4,4
UFV Engevix	Macaúbas - BA	2013	10
UFV Fonte Nova	Salvador - BA	2014	402,3
Residência	Salvador - BA	2014	3
Residência	Jaguarari - BA	2014	19,6
UFV Pro Tamar	Mata de São João - BA	2014	11,52
UFV Campoeste	Salvador - BA	2014	16,96
UFV Semear	Salvador - BA	2014	10,34
UFV Bamagril	Salvador - BA	2014	15,37
Residência	Camaçari - BA	2014	2,94
UFV Polo	Salvador - BA	2014	4,9
UFV Topvel	Barreiras - BA	2014	14,31
UFV Folha Seca	Juazeiro - BA	2014	9,5
MPX Tauá	Tauá - CE	2011	1000
Residência	Fortaleza - CE	2013	2,5
UFV Metalnox	Fortaleza - CE	2013	11,52
Residência	Fortaleza - CE	2013	2,4
MA Coelce	Juazeiro do Norte - CE	2014	70
MA Fortaleza	Caucaia - CE	2014	70
Edificação da EBR	Fortaleza - CE	2013	13,44
Residência	Maracanaú - CE	2014	1,23
UFV Frontera Comercio	Eusébio - CE	2014	3,12
Residência	Eusébio - CE	2014	3,18
UFV Pousada Brasita	Caucaia - CE	2014	2,88
UFV EIM	Fortaleza - CE	2014	18,7
Residência	Jaguaribe - CE	2013	2,45
Residência	Eusébio - CE	2014	3,12
Residência	Fortaleza - CE	2014	2,5
Residência	Aquiraz - CE	2014	1,7
Residência	Fortaleza - CE	2014	3,92
Residência	Fortaleza - CE	2014	3,5
Residência	Caucaia - CE	2014	2,45
UFV Maternidade	Caucaia - CE	2014	5,88
UFV Arterial Consultoria	Aquiraz - CE	2014	13,67
Residência	Fortaleza - CE	2014	1,22
Residência	Fortaleza - CE	2014	16,91
UFV Pousada REDHOUSE	Trairi - CE	2014	7,35
Residência	Fortaleza - CE	2014	2,94
Residência	Fortaleza - CE	2014	1,5
Residência	Fortaleza - CE	2014	1,92
Residência	Eusébio - CE	2014	5
Residência	Aquiraz - CE	2014	1,96
Residência	Fortaleza - CE	2014	1,22

SFVCR	Cidade	Ano	Potência (kWp)
Edificação Governamental	Brasília - DF	2010	1
Embassy of Italy 01	Brasília - DF	2011	50
Residência	São Sebastião - DF	2014	2,82
Residência	Brasília - DF	2014	4,6
Residência	Brasília - DF	2014	4,4
Residência	Serra - ES	2013	2,0
UFV Secretaria do Estado	Vila Velha - ES	2013	2,4
Residência	Serra - ES	2014	1,61
Residência	Vitória - ES	2014	3,5
Residência	Santa Leopoldina - ES	2014	3,36
MA Cach. Dourada	Cachoeira Dourada - GO	2014	70
Residência	Goiânia - GO	2014	2,16
UFV Sicredi	Goiânia - GO	2014	2,4
Commercial	Açailândia -MA	2014	26,46
Ilha Grande	Humberto de Campos -MA	2013	30,87
EOL/UFV	Cururupu -MA	2013	21,06
Residência	São Luís	2014	2,1
MA Ponte de Pedra	Itiquira - MA	2014	70
Residência	Campo Grande - MS	2013	2,30
Residência	Campo Grande - MS	2013	2,30
Residência	Campo Grande - MS	2013	2,30
Residência	Campo Grande - MS	2013	2,30
Residência	Campo Grande - MS	2013	2,30
UFV Chácara dos Poderes	Campo Grande - MS	2013	11,04
Residência	Campo Grande - MS	2013	2,30
Residência	Corumbá - MS	2013	2,30
Residência	Campo Grande - MS	2013	3,22
UFV Clínica C&K	Campo Grande - MS	2013	2,40
Residência	Campo Grande - MS	2014	1,92
Residência	Campo Grande - MS	2014	0,72
Residência	Campo Grande - MS	2014	2,00
Residência	Campo Grande - MS	2014	4
Residência	Campo Grande - MS	2014	0,72
Residência	Corumbá - MS	2014	2
Residência	Corumbá - MS	2014	3
Residência	Campo Grande - MS	2014	2
Residência	Campo Grande - MS	2014	0,51
Residência	Campo Grande - MS	2014	3,36
Residência	Três Lagoas - MS	2014	1,5
Residência	Campo Grande - MS	2014	2,4
Residência	Corumbá - MS	2014	1,38
Residência	Campo Grande - MS	2014	2
Residência	Campo Grande - MS	2014	2
Residência	Campo Grande - MS	2014	0,98
Residência	Campo Grande - MS	2014	5,28

SFVCR	Cidade	Ano	Potência (kWp)
Lab. de Sementes	Belo Horizonte - MG	2005	3,15
CEFET - MG	Belo Horizonte - MG	2006	3,24
Universidade	Juiz de Fora - MG	2006	31,7
Universidade	Belo Horizonte - MG	2006	2,05
Edificação da EFAP	Sete Lagoas - MG	2006	3
Residência	Brumadinho - MG	2010	3,565
Edificação da PGM	Uberlândia - MG	2013	6,58
UFV EROS	Tiradentes - MG	2013	22,03
UFV Chácara Recanto	Uberlândia - MG	2013	29,6
UFV Colegio Nacional	Uberlândia - MG	2013	2,12
UFV Tecidos Miramontes	Uberlândia - MG	2013	3,29
UFV MARCO	Nova Lima - MG	2013	26,9
Residência	Andradas - MG	2013	3,12
UFV Algar Telecom	Uberlândia - MG	2013	3,29
Edificação da Setelc	Teófilo - MG	2013	9,77
UFV SEAP	Uberlândia - MG	2013	2,12
Condomínio	Pompéu - MG	2014	4,80
Residência	Uberlândia - MG	2014	2,12
Residência	Uberlândia - MG	2013	29,60
UFV Algar	Uberlândia - MG	2013	6,58
Residência	Uberlândia - MG	2013	2,12
Residência	Belo Horizonte - MG	2013	2,88
UFV Etesa	Uberlândia - MG	2013	20,58
Residência	Uberlândia - MG	2013	19,27
Residência	Belo Horizonte - MG	2014	5,39
Residência	Sete Lagoas - MG	2013	2,30
UFV UNIFEMM	Sete Lagoas - MG	2013	5,00
UFV Asilo	Sete Lagoas - MG	2013	9,20
Residência	Belo Horizonte - MG	2014	2,88
UFV Cooxupé	Guaxupé - MG	2013	2,82
Residência	Ipatinga - MG	2013	4,00
Residência	Nova Lima - MG	2013	8,64
UFV Salatiel	Governador Valdares - MG	2013	5,00
UFV Escrita Contabil	Teófilo Otoni - MG	2013	34,00
Residência	Teófilo Otoni - MG	2013	1,52
Residência	Teófilo Otoni - MG	2013	2,85
Residência	Teófilo Otoni - MG	2013	2,85
Residência	Teófilo Otoni - MG	2013	5,00
Residência	Ataleia - MG	2013	2,00
Residência	Teófilo Otoni - MG	2013	1,68
Residência	Teófilo Otoni - MG	2013	4,00
Residência	Teófilo Otoni - MG	2013	2,85
Residência	Pompéu - MG	2014	4,80
Residência	Belo Horizonte - MG	2014	2,94
UFV Green	Contagem - MG	2013	30,00
UFV IPAC	Uberlândia - MG	2013	2,12
Residência	Uberlândia - MG	2013	2,52
UFV Ed. Tuma	Belo Horizonte - MG	2013	10,00
UFV Expresso 500	Belo Horizonte - MG	2013	0,49
UFV Mineirão	Belo Horizonte - MG	2014	1420,00

SFVCR	Cidade	Ano	Potência (kWp)
UFV Arena do Jacaré	Sete Lagoas - MG	2014	50,00
CEMIG P&D ANEEL	MG	2014	3300,00
UFV-CEMIG	Sete Lagoas - MG	2009	16,08
UFV - Inst. Vidotski	Uberlândia - MG	2013	2,12
Residência	Belo Horizonte - MG	2014	0,46
Residência	Belo Horizonte - MG	2013	2,88
Residência	Sete Lagoas - MG	2014	2,30
Residência	Uberlândia - MG	2014	2,12
UFV CMU	Belo Horizonte - MG	2014	9,00
Residência	Governador Valdares - MG	2014	2,50
UFV Torino	Belo Horizonte - MG	2014	9,00
Residência	Uberlândia - MG	2014	2,12
Residência	Nova Lima - MG	2014	2,94
Residência	Belo Horizonte - MG	2014	1,92
Residência	Belo Horizonte - MG	2014	2,94
Residência	Nova Lima - MG	2014	2,37
Residência	Uberlândia - MG	2014	2,90
Residência	Itabirito - MG	2014	1,96
UFV Elecnor	Uberlândia - MG	2014	20,58
Residência	Uberlândia - MG	2014	4,80
Residência	Belo Horizonte - MG	2014	0,97
Residência	Pouso Alegre - MG	2014	3,00
Residência	Belo Horizonte - MG	2014	1,92
UFV Unifemm	Sete Lagoas - MG	2014	5,00
Residência	Pouso Alegre - MG	2014	3,00
Residência	Uberlândia - MG	2014	2,21
Residência	Uberlândia - MG	2014	3,80
Residência	Patos de Minas - MG	2014	4,00
GEDAE-PA	Belém - PA	2007	1,6
Universidade	Belém - PA	2011	2,8
UFV UNICRED	Belém - PA	2013	34,56
Universidade	Cascavel - PR	2011	11,4
Residência	Curitiba - PR	2013	0,46
Residência	Pinhais - PR	2013	2
UFV Elco	Curitiba - PR	2013	8,64
Edificação do Senai	Curitiba - PR	2013	2
UFV Master Solar	Cascavel - PR	2014	1
Residência	Cascavel - PR	2014	3
UFV Master Solar	Cascavel - PR	2014	1
Residência	Cascavel - PR	2014	3
Residência	Ponta Grossa - PR	2014	1,5
Residência	Ponta Grossa - PR	2014	1,5
Residência	Francisco Beltrão - PR	2014	2
UFV escritório verde	Curitiba - PR	2011	2,1
Residência	Curitiba - PR	2014	3
Residência	Foz do Iguaçu - PR	2014	1,5
UFV Renault P1	São José dos Pinhais - PR	2014	19,6

SFVCR	Cidade	Ano	Potência (kWp)
UFV Trunci	Curitiba - PR	2014	8,34
UFV SEP	Maringá - PR	2014	5
Residência	Curitiba - PR	2014	5
Residência	Curitiba - PR	2014	0,92
Residência	Curitiba - PR	2014	2
Residência	Foz do Iguaçu - PR	2014	6
Residência	Londrina - PR	2014	2
Residência	São José dos Pinhais - PR	2014	2
Residência	Maringá - PR	2014	2
UFV ITD	Curitiba - PR	2014	30,3
UFV Botica	São José dos Pinhais - PR	2014	4,8
Residência	Curitiba - PR	2014	3
FAE-UFPE 01	Recife - PE	2005	1,28
FAE-UFPE 02	Recife - PE	2007	1,5
Residência	Recife - PE	2008	2
FAE-UFPE 03	Recife - PE	2010	3,3
Residência	Camaragibe - PE	2013	3,48
UFV Arena PE	São Lourenço da Mata - PE	2013	967
UFV CINDACT	Fernando de Noronha - PE	2013	361,64
Residência	Gravatá	2014	3,8
Residência	Arcoverde	2014	2,35
UFV T&A	Igarassu	2014	19,02
UFV Seplag	Recife	2014	8,28
UFV José Geraldo	Petrolina	2014	36
Residência	Gravatá	2014	2
CEPEL 01	Rio de Janeiro - RJ	2002	16,32
Posto BR	Rio de Janeiro - RJ	2009	1,12
BB-RJ 01	Rio de Janeiro - RJ	2010	5
Gafisa Residencial 1	Rio de Janeiro - RJ	2010	3
Gafisa Residencial 2	Rio de Janeiro - RJ	2010	3
Coca-Cola Headquarters	Rio de Janeiro - RJ	2010	10
Usina UTE N - Fluminense	Macaé - RJ	2011	315
Residência	Rio de Janeiro - RJ	2013	1,6
Residência	Rio de Janeiro - RJ	2013	2
Residência	Rio de Janeiro - RJ	2013	8
Residência	Rio de Janeiro - RJ	2013	12,6
Residência	Rio de Janeiro - RJ	2013	5,06
Residência	Cachoeiras de Macacu - RJ	2013	0,24
MA Búzios	Búzios - RJ	2014	70
UFV Maracanã	Rio de Janeiro - RJ	2010	360
UFV EMPF	Armação de Búzios - RJ	2014	4,8
UFV EMDR	Armação de Búzios - RJ	2014	4,8
UFV EMNV	Armação de Búzios - RJ	2014	4,8
Residência	Resende - RJ	2014	2,08
Residência	Rio de Janeiro - RJ	2014	4
Residência	Rio de Janeiro - RJ	2014	1,6
Residência	Rio de Janeiro - RJ	2014	11,52
Residência	São Pedro da Aldeia - RJ	2014	4,8
Residência	São Pedro da Aldeia - RJ	2014	2,4
Residência	São Gonçalo - RJ	2014	2

SFVCR	Cidade	Ano	Potência (kWp)
Residência	Niterói - RJ	2014	2
Residência	Rio de Janeiro - RJ	2014	2
UFV Cond. Corpus	Rio de Janeiro - RJ	2014	6,72
UFV Centro Comunitario	Rio de Janeiro - RJ	2014	4,6
Residência	Rio de Janeiro - RJ	2014	2,35
Residência	Rio de Janeiro - RJ	2014	3,36
Residência	Armação de Búzios - RJ	2014	3,8
Residência	Rio de Janeiro - RJ	2014	3,12
UFV Secretaria do Estado	Rio de Janeiro - RJ	2014	36
Residência	Rio de Janeiro - RJ	2014	2
Residência	Rio de Janeiro - RJ	2014	2,8
Residência	Magé - RJ	2014	1,5
Residência	Rio das Ostras - RJ	2014	2
Residência	Armação de Búzios - RJ	2014	4,8
Residência	Niterói - RJ	2014	2
UFV Ampla Energia	Niterói - RJ	2014	42,3
Residência	Natal - RN	2013	2,60
Residência	Natal - RN	2013	5,00
UFV Instituto RN	Natal - RN	2013	44,00
UFV BECKER	São José do Mipibu - RN	2014	137,44
Residência	Candelária - RN	2014	7,00
Residência	São José do Mipibú - RN	2014	5,04
UFV IFRN	Passa e Fica Ceará Mirim - RN	2014	88,00
UFV Solar Alto Rodrigues	Alto do Rodrigues - RN	2014	1.100,00
Residência	Parnamirim - RN	2014	3,84
Residência	Natal - RN	2014	7,00
UFV Henasa	Natal - RN	2014	5,00
Residência	Parnamirim - RN	2014	4,10
Residência	Ceará-Mirim - RN	2014	2,00
Edificação da IME	Porto Alegre - RS	2002	3,00
Lab. Energia Solar	Porto Alegre - RS	2004	4,80
Escola Técnica Pelotas	Pelotas - RS	2004	0,85
Edificação Alliance Seguros	Porto Alegre - RS	2011	2,00
Guarita Seta	RS	2013	0,49
Residência	Sapucaia do Sul - RS	2013	2,16
MA Ita	Aratiba - RS	2014	70,00
Residência	Arroio do Meio - RS	2013	1,10
Intercâmbio Eletro Mecânico	Porto Alegre - RS	2005	3,30
UFV FUVANTES	Lajeado - RS	2014	2,30
Residência	Lajeado - RS	2014	0,50
Residência	Lajeado - RS	2013	1
Residência	Lajeado - RS	2014	2
Residência	Lajeado - RS	2014	2,88
Residência	Santa Cruz do Sul - RS	2014	2,16
Residência	São Borja - RS	2014	3,84
Residência	Santa Cruz do Sul - RS	2014	4,80
Residência	Santa Cruz do Sul - RS	2014	0,92
Residência	Lajeado - RS	2014	2,40
Residência	Arroio do Meio - RS	2014	1,68
Residência	Venâncio Aires - RS	2014	2,16
UFV Rest. Terra Gaúcha	Cachoeirinha - RS	2014	4,70

SFVCR	Cidade	Ano	Potência (kWp)
UFV Engenheiro	Bento Gonçalves - RS	2014	5,39
Residência	Santa Cruz do Sul - RS	2014	2,50
Residência	Novo Hamburgo - RS	2014	5,00
Residência	Teutônia - RS	2014	4,00
Residência	Lajeado - RS	2014	3,29
Residência	Santa Cruz do Sul - RS	2014	2,50
Residência	Caxias do Sul - RS	2014	2,94
Residência	Santa Cruz do Sul - RS	2014	1,50
Residência	Santa Cruz do Sul - RS	2014	2,160
UFV Araras-RO	Nova Mamoré - RO	2013	20,480
MA Jirau	Porto Velho - RO	2014	70
Universidade	Florianópolis - SC	1997	2,015
Convivência/UFSC	Florianópolis - SC	2000	1,15
CELESC 01	Florianópolis - SC	2003	1,4
Centro de Eventos/UFSC	Florianópolis - SC	2004	10,88
CELESC 02	Lages - SC	2004	1,4
CELESC 03	Tubarão - SC	2004	1,4
Casa Eficiente	Florianópolis - SC	2006	2,25
Colégio Aplicação/UFSC	Florianópolis - SC	2009	1,99
Aeroporto FLN/UFSC	Florianópolis - SC	2009	2,12
Sistema curvo ELETROSUL	Florianópolis - SC	2009	11,97
Edifício da Digitro	São José - SC	2009	2,6
Showroom Sustentável	Palhoça - SC	2010	6,4
Residência	Florianópolis - SC	2012	1,7
Fluxo Eletrônica Ind.	Chapecó - SC	2013	3
HU/UFSC	Florianópolis - SC	2009	1,99
Condomínio	Florianópolis - SC	2013	6,86
Residência	Concórdia - SC	2013	4,41
Residência	Florianópolis - SC	2013	2,45
Renovigi Engenharia	Chapecó - SC	2013	1,5
Universidade	Florianópolis - SC	2013	6,62
Nord Electric	Chapecó - SC	2013	5
Escola	Florianópolis - SC	2013	22
UFV Tamar SC	Florianópolis - SC	2013	1
Residência	Florianópolis - SC	2014	2,8
Residência	Florianópolis - SC	2013	1,7
MA Capivari	Capivari de Baixo - SC	2014	66,52
Usina 3Mega	Jorge Lacerda - SC	2014	3068
UFV Santa Rita	Rancho Queimado - SC	2013	28,8
Residência	Florianópolis - SC	2013	1,96
Sunset Cacupé	Florianópolis - SC	2014	19,6
Residência	Videira - SC	2013	1,5
UFV Escola Estadual EBRs	Rancho Queimado - SC	2013	6,2
Residência	Florianópolis - SC	2013	6,24
Mega Watt Solar	Florianópolis - SC	2014	1945
UFV Bruver CRC	Criciúma - SC	2014	2,5
UFV Pref. Urussanga	Urussanga - SC	2014	1,41
Residência	Florianópolis - SC	2014	3,06
Residência	Florianópolis - SC	2014	1,96
Residência	Urussanga - SC	2014	1,41

SFVCR	Cidade	Ano	Potência (kWp)
UFV Santa Rita	Rancho Queimado - SC	2014	28,8
UFV Nord Electric	Chapecó - SC	2014	5
UFV Antônio Vieira	Florianópolis - SC	2014	20
Condomínio	Criciúma - SC	2014	2,69
Carport	Florianópolis - SC	2014	13,44
UFV APAE	Morro da Fumaça - SC	2014	9
UFV CERMOFUL	Morro da Fumaça - SC	2014	1,65
Residência	Blumenau - SC	2014	1,7
Projeto Tamar	Florianópolis	2014	2,93
Residência	Videira	2014	4,8
Residência	Chapecó	2014	3
Residência	Caçador	2014	1,25
Residência	Criciúma	2014	2,69
Residência	Videira	2014	4,8
Residência	Urussanga	2014	1,44
UFV Fluxo	Chapecó	2014	3
UFV Celesc	Florianópolis	2014	19,6
UFV SMI	Pinhalzinho	2014	3
Residência	Jaraguá do Sul	2014	1,3
Residência	Itajaí	2014	1,96
Universidade	São Paulo - SP	2001	6,3
Universidade	São Paulo - SP	2003	6
IEE 01	São Paulo - SP	2003	12,6
Universidade	São Paulo - SP	2004	3
Centro médico	São Paulo - SP	2005	0,9
Sede Greenpeace	São Paulo - SP	2007	2,8
Universidade	São Paulo - SP	2007	7,5
Residência	São Paulo - SP	2008	2,09
Solaris	Leme - SP	2008	1,04
Fábrica MotorZ	São Bernardo do Campo - SP	2008	2,45
Fundição Estrela	São Bernardo do Campo - SP	2008	14,69
C&C	São Paulo - SP	2009	2
Loja da Honda	São Paulo - SP	2010	1,2
Du Pont	São Paulo - SP	2010	2
Alliance Seguros	São José do Rio Preto - SP	2010	2
Alliance Seguros	Ribeirão Preto - SP	2010	2
Usina Solar Tanquinho	Campinas - SP	2012	1082
PV Beta Test Site	Barueri - SP	2013	1,7
Aeroporto Campo de Marte	São Paulo - SP	2013	2,12
UFV - Ilha Solteira	Ilha Solteira - SP	2014	99,760
IMT Sistema híbrido part 2	Boituva - SP	2014	0,26
Residência	Bauru - SP	2013	4,08
Cond. Ecovias	São Bernardo do Campo - SP	2014	21,54
Residência	Santana de Parnaíba - SP	2014	4,86
Residência	Ribeirão Preto - SP	2013	22,8
Residência	Campinas - SP	2013	4,08
Residência	Monte Alto - SP	2013	2,35
Prefeitura	Rancharia - SP	2013	2
Residência	Ribeirão Preto - SP	2014	3,06

SFVCR	Cidade	Ano	Potência (kWp)
Residência	Campinas - SP	2014	7,35
Residência	Campinas - SP	2014	5,39
Residência	Itú - SP	2014	5,76
Residência	São José dos Campos - SP	2014	1,5
UFV SPA Hotel e Eventos	Ibiúna - SP	2013	38,64
Residência	Campinas - SP	2014	1,53
UFV Exsa	Indaiatuba - SP	2014	8,82
UFV Ferreira Eng.	Penápolis - SP	2014	1,5
Residência	Franca - SP	2014	12,18
Residência	Indaiatuba - SP	2014	10,3
Residência	São Paulo - SP	2014	3,92
Residência	Penápolis	2014	2
Residência	Araraquara	2014	3
UFV Palladium	Valinhos	2014	5
Residência	Campinas	2014	2,16
Residência	São Paulo	2014	2,6
Residência	Pindamonhagaba	2014	1,44
Residência	São José dos Campos	2014	1,47
Residência	Campinas	2014	8,64
UFV Matsuda	Álvares Machado	2014	25,99
Residência	Vinhedo	2014	3,15
Residência	Piracicaba	2014	4
UFV Posto	Tatuí	2014	4,9
Residência	Campinas	2014	10,08
Residência	Piraju	2014	4
Residência	São João da Boa Vista	2014	2,7
Residência	Araguaína - TO	2014	13
UFV Industec	Palmas - TO	2014	240
Residência	Gurupi	2014	6,96
UFV Araguaia	Palmas	2014	21,75