

Caracterização de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica - SFVCR

Fabianna Stumpf Tonin

Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Energia - PPGSE
Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR
Curitiba, Brasil
fstonin@gmail.com

Jair Urbanetz Junior

Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Energia - PPGSE
Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR
Curitiba, Brasil
urbanetz@utfpr.edu.br

Abstract - In the search for new options for the establishment of the energy matrix of Brazil, the Photovoltaic Systems Grid – Connected are configured as an alternative to urban centers, because they allow the power generation at distributed mode, that is, generate energy at the place where it will be consumed and inject the surplus energy into the network. Faced with the prospect of installing Photovoltaic System Grid - Connected, the objective of this research is to characterize this type of PV system and also, analyze the results in terms of productivity parameters, such as Yield, Performance Ratio and Capacity Factor of two grid-connected systems that are installed in Curitiba.

I. INTRODUÇÃO

O aproveitamento da energia gerada pelo Sol é atualmente, uma das alternativas energéticas mais promissoras para prover o progresso humano, visto que essa energia é inesgotável, tanto como forma de calor como de luz [1].

O Brasil e, mais especificamente o estado do Paraná, possui um potencial fotovoltaico muito amplo a ser explorado, pelo fato da produtividade média prevista para sistemas fotovoltaicos ser significativamente superior àquela obtida em países como Alemanha, Itália e Espanha, que juntos representam 54% da potência instalada em energia fotovoltaica no mundo [2].

Em virtude disso, os Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica (SFVCR) configuram-se como uma alternativa sustentável de produção de energia elétrica para os centros urbanos, pois permitem a geração de energia de modo distribuído, ou seja, no próprio local onde esta será consumida e, permitem também, com que o excedente de energia produzido seja injetado na rede, colaborando assim com o desempenho da rede em que se encontram conectados. Além disso, esses sistemas não necessitam de novas áreas para instalação, pois estes fazem uso de espaços já existentes, como as coberturas das edificações para as quais gerarão energia [3].

Em vista disso, o objetivo desse artigo é analisar os índices de mérito - *Yield*, *Performance Ratio* e Fator de Capacidade de dois SFVCR que foram instalados em Curitiba e ressaltar

as características determinantes para um bom desempenho dos sistemas, em termos de produtividade.

II. SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE ELÉTRICA - SFVCR

Os sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica - SFVCR são caracterizados por estarem efetivamente interligados ao sistema público de fornecimento de energia elétrica. Esses sistemas não possuem elementos para armazenar a energia elétrica, visto que durante os momentos, nos quais não existe geração de energia elétrica vinda do painel fotovoltaico, o sistema utiliza a rede da concessionária como fonte de energia.

As principais vantagens do SFVCR são: elevada produtividade, visto que toda a energia disponibilizada pelos módulos é utilizada e, a ausência do conjunto de baterias que é necessário no sistema isolado.

O SFVCR é constituído basicamente pelo painel fotovoltaico, pelo inversor, o qual disponibiliza energia elétrica em corrente alternada para a instalação e, pelo fato desse equipamento ser conectado em paralelo com a rede elétrica, ele injeta o excedente de energia gerado e, pelo medidor bidirecional, o qual contabiliza a energia injetada na rede da concessionária elétrica [4] [5].

Os principais equipamentos do sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica são: painel solar, inversor e medidor bidirecional. A Fig. 1 mostra esses componentes.



Figura 1. Componentes do SFVCR (12)

O SFVCR é regulamentado pela Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL, bem como os impostos envolvidos e o modo de funcionamento do sistema de compensação energética, similar ao sistema conhecido como *net metering*. De modo simplificado, o sistema de compensação transforma a sobra da produção de energia fotovoltaica em créditos (quilowatts-hora, kWh) a serem abatidos do consumo total. Para tanto, utiliza-se um medidor bidirecional, o qual é responsável por registrar a energia injetada na rede elétrica, e a consumida da concessionária, ambas em kWh. E com isso, a produção de energia excedente transforma-se em créditos para uso posterior do cliente [4]. A Fig. 2 exemplifica o SFVCR.

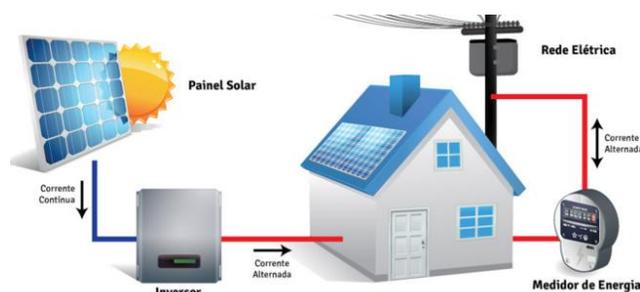


Figura 2. SFVCR (12)

III. TECNOLOGIAS EMPREGADAS NOS SFVCR

Nesse tópico são discutidas as diversas tecnologias empregadas nos painéis solares e nos inversores.

A. Célula Fotovoltaica

A célula fotovoltaica é o menor dispositivo fotovoltaico existente. No intuito de disponibilizar potências mais elevadas, as células são agrupadas, formando os módulos fotovoltaicos. Por sua vez, os módulos agrupados, formam os painéis ou arranjos fotovoltaicos. Os agrupamentos das células ou dos módulos podem ser efetuados por meio de ligações série, paralelo ou mistas, obtendo-se assim, diferentes valores de corrente e tensão. As conexões em série aumentam a tensão disponibilizada, enquanto que as conexões em paralelo aumentam a corrente do conjunto [1].

Dentre os diversos materiais usados para a fabricação das células fotovoltaicas, destacam-se o silício monocristalino (m-Si), o silício policristalino (p-Si) e os filmes finos, como o silício amorfo (a-Si), o silício microcristalino ($\mu\text{c-Si}$), o telureto de cádmio (CdTe), o disseleneto de cobre-índio-gálio (CuInGaSe_2), o disseleneto de cobre-índio (CuInSe_2) e o arseneto de gálio (GaAs). Existem outras tecnologias mais modernas, como as células fotovoltaicas orgânicas, porém sua utilização comercial ainda é limitada [6].

1) Silício monocristalino (m-Si)

As células de silício monocristalino possuem uma estrutura homogênea ao longo de sua extensão. Para a fabricação de uma célula fotovoltaica deste tipo, é necessário que o silício tenha uma pureza com grau de 99,9999%. Devido

a este alto grau de pureza, e ao Processo de Czochralski utilizado na produção da célula, o custo de fabricação é elevado, contudo, essas células possuem elevada eficiência, em torno de 15 a 18%. As células de silício monocristalino são as mais eficientes disponíveis comercialmente, em larga escala [6]. A Fig. 3 mostra um exemplo dessa célula.



Figura 3. Célula de Silício Monocristalino (1)

2) Silício policristalino (p-Si)

O silício policristalino possui um processo de fabricação menos complexo do que o silício monocristalino, pois o policristalino utiliza temperaturas mais baixas do que as empregadas na fabricação do monocristalino. O silício policristalino é formado por um aglomerado de inúmeros cristais, os quais possuem tamanhos e orientações espaciais diferentes. No contorno desses cristais concentram-se os defeitos que tornam o material menos eficiente, em termos de conversão, do que o monocristalino. Os módulos fotovoltaicos policristalinos têm eficiências de conversão ligeiramente inferior às dos monocristalinos, contudo, possuem um menor custo de produção, visto que a perfeição cristalina é menor do que no caso do silício monocristalino e, o processamento é mais simples [6] [7]. A Fig. 4 mostra um exemplo dessa célula.

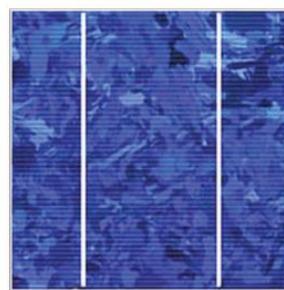


Figura 4. Célula de Silício Policristalino (6)

3) Filmes Finos

Os dispositivos de filmes finos são produzidos pela pulverização de finas camadas de semicondutor (silício ou outros materiais) sobre uma base feita de material rígido ou flexível (plástico, vidro ou metal). Os dispositivos de filmes finos podem ser produzidos em qualquer dimensão, visto que a única restrição é a área da base para a fabricação do módulo. Os módulos fotovoltaicos de filmes finos, como os mostrados na Fig. 5, não necessitam de estruturas metálicas de fixação, pois esses painéis podem ser colados diretamente nas estruturas.

Apesar do baixo custo de fabricação, os dispositivos de filmes finos possuem baixa eficiência e necessitam de uma maior área instalada para produzir a mesma energia que produzem as tecnologias cristalinas, tornando-se assim, mais elevados os custos de instalação.

Uma vantagem dos filmes finos é o seu baixo coeficiente de redução de potência com o aumento da temperatura, o que os torna mais adequados para locais com temperaturas muito elevadas [5] [6].

O termo filme fino é usado para diversas tecnologias, como: silício amorfo (a-Si), silício microcristalino (μ c-Si), telureto de cádmio (CdTe) e o disseleneto de cobre, gálio e índio (CIGS).



Figura 5. Células de filmes finos (6)

a) Silício Amorfo

A fabricação desses módulos usa a técnica de chamada de "empilhamento", na qual várias camadas de células solares de silício amorfo são combinadas e isso faz com que a eficiência dos módulos seja de 5% a 8%, o que é considerado como baixa eficiência [6].

b) Silício Microcristalino

O silício microcristalino apresenta simultaneamente as vantagens do silício cristalino e da tecnologia de fabricação de filmes finos, como a produção em massa, o menor desperdício de material e o reduzido consumo de energia no processo de fabricação. As células microcristalinas são fabricadas em dois processos, um em alta e outro em baixa temperatura. O processo em alta temperatura utiliza a deposição de silício de elevada qualidade a temperaturas situadas entre 900°C e 1.000°C, criando-se assim, estruturas microcristalinas semelhantes à do silício policristalino. Por sua vez, o segundo processo, o qual é realizado em baixas temperaturas, entre 200°C e 500°C são produzidas películas de silício com estruturas microcristalinas de grãos muito finos. As baixas temperaturas permitem a utilização de materiais baratos, sobre os quais a célula é fabricada (vidro, metal ou plástico). Os processos de deposição são similares aos da tecnologia de silício amorfo. As células microcristalinas apresentam eficiências comerciais entre 8 e 9% [1].

c) CdTe e CIGS

As células de telureto de cádmio (CdTe) e disseleneto de cobre, gálio e índio (CIGS) são as mais eficientes dentro da família dos filmes finos. As células CdTe tem a desvantagem da toxicidade do cádmio (Cd) e da escassez do telúrio (Te), um material raro. As células CIGS não empregam materiais tóxicos, entretanto seu custo é elevado e sua inserção no mercado é pequena [6].

4) Comparativo entre as tecnologias de células fotovoltaicas

As diferentes tecnologias de células disponíveis no mercado possuem custos e eficiências diferentes. No mercado brasileiro estão homologadas pelo INMETRO três tipos de tecnologia: silício monocristalino, silício policristalino e filmes finos [4].

Com novas tecnologias na fabricação e no tratamento dos materiais usados na produção dos módulos, a tendência é que a eficiência dos módulos fotovoltaicos aumente no decorrer dos anos. A Tabela I traz uma projeção da eficiência. É importante ressaltar que os custos e a eficiência são fatores relevantes na escolha da tecnologia do painel para um projeto, contudo aspectos como o tipo de estrutura necessária para a fixação do painel, ou o local no qual o mesmo será instalado, também são pertinentes.

Conforme mostrado na Tabela I, percebe-se que as células e os módulos de silício mono e policristalino são os que apresentam as maiores eficiências de conversão.

TABELA I. PROJEÇÃO DA EFICIÊNCIA DAS CÉLULAS FOTOVOLTAICAS PARA OS PRÓXIMOS ANOS (8)

Material da Célula Fotovoltaica	ANOS		
	2010 - 2015	2015 - 2020	2020- 2030
Silício Monocristalino	17 – 20%	23%	25%
Silício Policristalino	14 – 17%	19%	21%
CdTe	12%	14%	15%
CIGS	14%	15%	18%
Silício Amorfo	10%	12%	15%

B. Inversor

O inversor é o equipamento responsável pela conversão da energia de corrente contínua (CC) dos módulos fotovoltaicos (FV) em energia de corrente alternada (CA) a ser disponibilizada para as cargas. O inversor deve ser projetado para dissipar o mínimo de potência, evitando assim, perdas e também, deve produzir uma tensão com baixo teor de harmônicos e em sincronismo com a rede elétrica a ser conectado e na mesma frequência [4].

Para aplicações de potência inferior a 5 kW, recomenda-se o uso de inversores monofásicos. É importante ressaltar que a escolha do inversor interfere diretamente no desempenho, confiabilidade e no custo do sistema fotovoltaico [10].

Os inversores monofásicos fabricados atualmente possuem as seguintes funções:

- Conversão CC – CA
- Ajuste do ponto operacional do inversor MPPT (*Maximum Power Point Tracker*) do gerador fotovoltaico
- Registro de dados operacionais

- Desconexão automática da rede
- Dispositivos de Proteção CA e CC
- Proteção contra Sobrecargas
- Proteção contra Sobretensões
- Proteção contra troca de polaridade
- Anti – ilhamento
- Proteção contra excessiva elevação de temperatura

A eficiência de conversão do inversor depende do método de conversão e filtragem utilizadas para suavizar e eliminar os harmônicos indesejados, que resultam no processo de conversão. Esta eficiência caracteriza perdas da conversão da corrente CC em CA que são ocasionadas pelo transformador - para os inversores que possuem transformadores - pelos comutadores eletrônicos, pelo controlador e pelos dispositivos de registros operacionais. A eficiência de conversão pode ser calculada pela Equação (1) [9]:

$$\eta = \frac{\text{Potência de Saída Efetiva}}{\text{Potência de Entrada Efetiva}} \quad (1)$$

Existem diversas configurações de sistemas monofásicos de processamento de energia fotovoltaica, empregando as mais diversas topologias de conversores estáticos, operando em baixa ou em alta frequência. A Fig. 6 mostra as quatro topologias:

- Único estágio inversor (não isolada) - imagem (a)
- Único estágio inversor (isolada) – imagem (b)
- Múltiplos estágios de conversão (isoladas) – imagem (c)
- Múltiplos estágios de conversão (não – isoladas) – imagem (d)

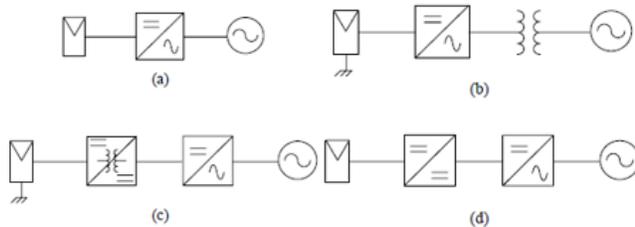


Figura 6. Topologias dos inversores (11)

a) Único estágio inversor (não isolada)

A forma mais simples de condicionar energia a energia fotovoltaica para injetá-la na rede é através da utilização de um inversor que faz diretamente a interface entre o painel fotovoltaico e a rede elétrica. Existem inversores de tensão e inversores de corrente. Essa topologia é caracterizada por ser robusta, simples e de alta eficiência. Porém, apresenta um

baixo fator de potência, injetando na rede uma corrente com elevada distorção harmônica e alto fator de deslocamento que precisa ser compensado com a aplicação de filtros [10].

b) Único estágio inversor (isolada)

Essa topologia apresenta isolamento galvânico entre os painéis fotovoltaicos e a rede elétrica. E, para isso, utiliza-se um transformador de baixa frequência, com núcleo de ferrosilício, na saída do inversor. Além disso, a indutância de dispersão do transformador pode ajudar na filtragem da corrente injetada na rede [10].

c) Múltiplos estágios de conversão (isolados)

Através do uso de conversores CC-CC isolados com transformadores de alta frequência, com núcleo de ferrite, é possível reduzir o peso e o volume dos equipamentos. As desvantagens do uso de conversores CC-CC isolados estão relacionadas às topologias mais complexas e na existência de perdas devido ao chaveamento em alta frequência. Os sistemas fotovoltaicos, geralmente, são compostos por dois ou mais estágios de processamento de energia em cascata [10].

d) Múltiplos estágios de conversão (não isolados)

Com a finalidade de reduzir a complexidade e o custo do sistema de condicionamento de energia, essa topologia não utiliza o isolamento galvânico entre os painéis e a rede elétrica. A desvantagem disso, é a dificuldade no aterramento dos painéis [10].

C. Medidor Bidirecional

É o equipamento responsável por medir a quantidade de energia que está sendo injetada na rede por meio do sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica.

De acordo com a Resolução 482/12 – ANEEL, o medidor bidirecional deve no mínimo diferenciar a energia elétrica ativa consumida da energia elétrica ativa injetada na rede [11].

IV. ESTUDO DE DOIS SFVCR INSTALADOS EM CURITIBA

A Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), campus Curitiba, possui atualmente dois Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica (SFVCR), um com 2,1 kWp em operação desde dezembro de 2011, e outro com 10,2 kWp em operação desde março de 2016.

A. Sistema de 2,1 kWp

O SFVCR de 2,1kWp utiliza um inversor monofásico em 220V de 2kW de potência nominal - PVPOWERED modelo PVP2000, com eficiência de 92% [13].

Além disso, o sistema é composto por 10 módulos fotovoltaicos de tecnologia de silício policristalino, modelo KD210GX-LP, os quais estão ligados em série e foram instalados com inclinação de 15° e desvio azimutal de 22° oeste, em relação ao norte.

A Fig. 7 mostra a vista dos módulos e do inversor desse sistema de 2,1 kWp.



Figura 7. Vista dos módulos e do inversor (Acervo do autor)

B. Sistema de 10,2 kWp

O sistema de 10,2 kWp utiliza um inversor trifásico sem transformador em 380V de alto rendimento, com eficiência de 98% [14].

Por sua vez, o sistema é constituído por 2 conjuntos de 17 módulos fotovoltaicos modelo ELCO-A300P, ligados em série, totalizando assim, 34 módulos de silício policristalino de 300 Wp em cada módulo. Os conjuntos ocupam uma área de aproximadamente 68 m², instalados sobre a cobertura da edificação, nas condições ótimas (orientado para o norte geográfico e com inclinação igual à latitude de Curitiba), como mostra a Fig. 8.



Figura 8. Vista dos módulos e do inversor (Acervo do autor)

C. Desempenho dos Sistemas

A análise do desempenho de ambos os sistemas utiliza os valores de energia gerada para o período de operação de março a julho de 2016 e os valores de irradiação incidentes nos painéis FV. A partir da energia gerada e da irradiação incidente, calculam-se os índices de mérito do SFVCR, que são: *yield* (produtividade); *performance ratio* (taxa de desempenho) e fator de capacidade. A Tabela II revela os valores de geração de energia elétrica (kWh/mês) para os meses de março a julho de 2016. O valor médio gerado pelo sistema de 10,2 kWp durante os 5 primeiros meses foi de 1051,5 kWh, ao passo que o valor médio do sistema de 2,1 kWp foi de 179,2 kWh. Ou seja, a geração do sistema de 10,2 kWp é 5,8 vezes superior ao sistema de 2,1 kWh.

TABELA II. GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA (DADOS DO AUTOR)

MÊS	GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA (kWh/mês)	
	Sistema 2,1 kWp	Sistema 10,2 kWp
Março	213	1100,8
Abril	223	1329,3
Mai	131	802,3
Junho	150	919
Julho	179	1106,2
Média	179,2	1051,52

1) Yield - Produtividade

É a relação entre a energia gerada (kWh) e a potência FV instalada (kWp), normalmente vinculada a um ano de operação - *yield* anual, porém pode ser também considerado o *yield* mensal. A Equação (2) apresenta a grandeza em questão.

$$Y = \frac{\text{Energia Gerada}}{\text{Potência FV}} \left(\frac{\text{kWh}}{\text{kWp}} \right) \quad (2)$$

A Tabela III mostra os valores de produtividade de cada um dos sistemas em questão. A produtividade do mês de abril do sistema de 10,2 kWp foi 1,22 vezes superior à produtividade do sistema de 2,1 kWp. A média de produtividade do sistema de 10,2 kWp desses cinco meses é 1,20 vezes superior ao outro sistema.

TABELA III. PRODUTIVIDADE DOS SISTEMAS (DADOS DO AUTOR)

MÊS	YIELD (kWh/kWp)	
	Sistema 2,1 kWp	Sistema 10,2 kWp
Março	101,43	107,92
Abril	106,19	130,32
Mai	62,38	78,66
Junho	71,43	90,10
Julho	85,24	108,45
Média	85,33	103,09

2) Performance Ratio ou Taxa de Desempenho

Relação entre a produtividade (kWh/kWp) e a quantidade de horas de sol a 1.000W/m² incidentes no painel FV, também normalmente vinculada a um ano de operação, *performance ratio* anual, porém, pode ser também considerada a *performance ratio* mensal. Esta grandeza é expressa em porcentagem.

A Equação (3) apresenta a grandeza em questão, e a Tabela IV apresenta a taxa de desempenho dos sistemas.

$$PR = \frac{\text{Yield}}{\text{Irradiação}/1000} (\%) \quad (3)$$

TABELA IV. TAXA DE DESEMPENHO (DADOS DO AUTOR)

MÊS	PERFORMANCE RATIO (%)	
	Sistema 2,1 kWp	Sistema 10,2 kWp
Março	71,13	75,35
Abril	68,07	80,00
Mai	66,19	80,29
Junho	55,24	63,23
Julho	54,13	62,14
Média	62,95	72,20

A diferença entre a taxa média de desempenho do sistema de 10,2 kWp e do sistema de 2,1 kWp é de 9,25%. Nota-se que a taxa de desempenho do sistema de 10,2 kWp, durante esses meses de operação, sempre foi maior que a taxa do sistema de 2,1 kWp.

3) Fator de Capacidade

Capacidade real de gerar energia em função da energia que ele geraria se operasse em potência nominal durante 24 horas por dia, também expresso em percentual. A Equação (4) apresenta a grandeza em questão, e a Tabela V retrata o Fator de Capacidade para os meses de março a julho. O fator médio de capacidade do sistema de 10,2 kWp é 1,21 vezes superior ao do sistema de 2,1kWp.

$$FC = \frac{\text{Energia Gerada}}{\text{Potência FV} \cdot 24 \cdot \text{dias}} (\%) \quad (4)$$

TABELA V. FATOR DE CAPACIDADE(DADOS DO AUTOR)

MÊS	FATOR DE CAPACIDADE (%)	
	Sistema 2,1 kWp	Sistema 10,2 kWp
Março	13,63	14,51
Abril	14,75	18,10
Mai	8,38	10,57
Junho	9,92	12,51
Julho	11,46	14,58
Média	11,63	14,05

V. CONCLUSÕES

Primeiramente, esses dois sistemas confirmam a aplicabilidade, no ambiente urbano, da geração fotovoltaica distribuída, a qual disponibiliza energia elétrica junto ao ponto de consumo e não necessita de área adicional, pelo fato dos sistemas estarem instalados nos telhados das edificações.

Os índices de méritos apresentados: *Yield*, *Performance Ratio* e Fator de Capacidade revelam que os resultados do sistema de 10,2 kWp são superiores ao do sistema de 2,1 kWp. Nos meses de março a julho observou-se uma produtividade média 1,20 superior, uma taxa média de desempenho de aproximadamente 9,25% superior, e um fator médio de capacidade 1,21 vezes superior ao sistema de 2,1 kWp. Todavia, ambos os sistemas possuem células fotovoltaicas fabricadas a partir do mesmo material: silício policristalino, e apesar disso, os índices de desempenho dos sistemas apresentaram valores bem diferentes. Sendo assim, pode-se afirmar que os fatores que justificam a diferença no que diz respeito à geração de energia elétrica são: o inversor escolhido para cada um dos sistemas e o modo de instalação dos painéis fotovoltaicos.

O sistema de 10,2 kWp utiliza um inversor trifásico sem transformador em 380V de alto rendimento e com eficiência de 98% ao passo que o sistema de 2,1kWp emprega um inversor monofásico com transformador de baixa frequência, e com rendimento de 92%. O inversor sem transformador tem menos perdas do que o inversor com transformador e em virtude disso, o rendimento do inversor sem transformador é superior ao outro – 6% superior, de acordo com os dados disponibilizados pelos fabricantes [13] [14].

Além disso, o painel fotovoltaico do sistema de 10,2 kWp foi instalado nas condições ótimas, ou seja, orientado para o norte geográfico e com inclinação igual à latitude de Curitiba (25°), ao passo que o painel fotovoltaico do outro sistema foi instalado acompanhando a inclinação e orientação do telhado. Ademais, o painel do sistema de 2,1kWp está fixado bem rente ao telhado, fato este que reduz a ventilação do painel e com isso faz com que os módulos aqueçam mais do que o necessário e, conseqüentemente reduz a eficiência dos mesmos.

Por fim, nota-se que a escolha do inversor e o modo de instalação dos painéis fotovoltaicos são fatores determinantes para maximizar o desempenho do sistema fotovoltaico e por isso, devem ser escolhidos cuidadosamente na fase do projeto do sistema.

REFERÊNCIAS

- [1] PINHO, João Tavares. GALDINO, Marco Antonio. Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos. Rio de Janeiro, 2014. 530 p.
- [2] TIEPOLO, Gerson M.; CANGIOLIERI JR, Osiris; URBANETZ JR, Jair; VIANA, Trajano; PEREIRA, Enio B.. Comparação entre o potencial de geração fotovoltaica no estado do Paraná com Alemanha, Itália e Espanha. CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR, 5, 2014, Recife. Anais do 5º Congresso Brasileiro de Energia Solar (V CBENS), Recife, 31 a 3 de abril de 2014.

- [3] REBECHI, Samuel. O potencial da geração solar fotovoltaica conectada ao sistema de distribuição urbano: estudo de caso para um alimentador com pico de carga diurno. Florianópolis, 2008.
- [4] URBANETZ JUNIOR, Jair. Sistemas Fotovoltaicos Conectados a Redes de Distribuição Urbanas: sua influência na qualidade da energia elétrica e análise dos parâmetros que possam afetar a conectividade. 2010. 189 p. Tese de Doutorado em Engenharia Civil – UFSC, Florianópolis – SC, 2010.
- [5] MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Análise da Inserção da Geração Solar na Matriz Elétrica Brasileira. Rio de Janeiro: Empresa de Pesquisas Energéticas, 2012.
- [6] VILLALVA, M.; GRADELLA, M.; GAZOLI, J.; Energia Solar Fotovoltaica Conceitos e Aplicações. São Paulo : Érica, 2012. http://www.osetoreletrico.com.br/web/documentos/fasciculos/Ed81_fasc_energias_renovaveis_cap9.pdf
- [7] RÜTHER, Ricardo. Edifícios Solares Fotovoltaicos: o potencial da geração solar fotovoltaica integrada a edificações urbanas e interligada à rede elétrica pública no Brasil, LABSOLAR, 2004. Florianópolis, 8 p.
- [8] RELATÓRIO TÉCNICO, A carta do Sol – LIMA – Laboratório Interdisciplinar de Meio Ambiente – PPE – Programa de Planejamento Energético – COPPE – UFRJ, Rio de Janeiro, 2014. [http://www.lima.coppe.ufrj.br/includes/projetos](http://www.lima.coppe.ufrj.br/includes/projetos_cartadosol/Relatorio%20Tecnico%20para%20a%20Carta%20do%20Sol.pdf)
- [9] NOTA TÉCNICA DA EPE, Análise de Inserção de Geração Solar na Matriz Solar Elétrica Brasileira – Fonte MB Solar, Rio de Janeiro, Maio.2012 http://www.epe.gov.br/geracao/Documents/Estudos_23/NT_EnergiaSolar_2012.pdf.
- [10] AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Resolução Normativa 482 – ANEEL <http://www.aneel.gov.br/cedoc/bren2012482.pdf>.
- [11] RODIGUES, M. Uma Visão Topológica Sobre Sistemas Fotovoltaicos Monofásicos Conectados à Rede de Energia Elétrica – LABSEL UFJF, Minas Gerais.
- [12] GERASOL. Sistemas Conectados à rede. <http://www.gerasolbr.com.br/energia-solar.html>, 2016.
- [13] PVPOWERED. PVP2000. http://www.pvpowered.com.phtemp.com/inverter_pvp2000.php
- [14] CHINT POWER SYSTEMS. CPS SCA 8/10/12 kW. <http://test8.xin36.com/product.asp?/32.html>