

ACOMPANHAMENTO DE DESEMPENHO E CONTRIBUIÇÃO DA CAPACIDADE INSTALADA DE SFVCR EM CURITIBA FRENTE AO PANORAMA NACIONAL

CAMILA O. SILVEIRA¹, ÉDWIN A. TONOLO¹, LARISSA B. KRASHAK², JAIR URBANETZ JR^{1,2}

¹Programa de Pós Graduação em Sistemas de Energia – PPGSE

²Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil – PPGEC

Laboratório de Energia Solar – LABENS

Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR

Av. Sete de Setembro, 3165 – Bairro Rebouças – Curitiba, PR

E-mails: camila.osilveira@hotmail.com, edwintonolo@gmail.com,
larissabarbosakrashak@gmail.com, urbanetz@utfpr.edu.br

Abstract— Photovoltaic systems are becoming more widespread worldwide. Initially designed to be used as small distributed generation plants, it can already be found as large power plants, characterizing as a centralized generation. In order to obtain the best performance and the best possible results in terms of electric power generation, some studies must be performed at the location where the installation is going to be carried out and must be considered the irradiation levels, temperature, latitude and the correct way of installation. Two grid-connected photovoltaic systems, both from Federal Technological University of Paraná, in Curitiba, were studied in order to follow their respective performances through their figures of merit, based on each operational history. The two systems have different characteristics, such as installation mode, operating time, installed power and power generation. The results present comparisons regarding the performance and functionality of the systems in the distributed generation scenario.

Keywords— Photovoltaic Systems, Distributed Generation, Installed Capacity, Figures of Merit, Solar Energy.

Resumo— Os sistemas fotovoltaicos estão cada vez mais difundidos mundialmente. Inicialmente pensada para ser utilizada como pequenas centrais de geração distribuída, já podem ser encontradas como grandes usinas, atuando como geração centralizada. Para que se possa obter a melhor performance e os melhores resultados possíveis em termos de geração de energia elétrica, alguns estudos precisam ser realizados no local onde se pretende fazer a instalação e devem considerar os níveis de irradiação, temperatura, latitude e forma correta de instalação. Dois sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica, ambos pertencentes à Universidade Tecnológica Federal do Paraná, em Curitiba, foram analisados a fim de acompanhar seus respectivos desempenhos através de índices de mérito, com base no histórico de funcionamento de cada um deles. Os dois sistemas possuem características distintas, como modo de instalação, tempo de operação, potência instalada e geração de energia. Os resultados apresentam comparações relativas ao desempenho e funcionalidade dos sistemas no cenário da geração distribuída.

Palavras-chave— Sistemas Fotovoltaicos, Geração Distribuída, Capacidade Instalada, Índices de Mérito, Energia Solar.

1 Introdução

O Sol é a fonte de energia com maior potencial para suprir a crescente demanda de energia elétrica no mundo. Além de ser inesgotável e limpo, seu aproveitamento colabora com a redução dos efeitos causados pelas mudanças climáticas, processo acelerado pela utilização pela queima de combustíveis fósseis, como carvão e petróleo (Energia Heliotérmica, 2018).

Nesse contexto, surgiram os Sistemas Fotovoltaicos (SFV), o conjunto de elementos necessários para converter diretamente energia solar em energia elétrica, uma alternativa sustentável para produção de eletricidade. Um SFV é composto pelo painel fotovoltaico e pelos dispositivos de controle, supervisão, armazenamento e condicionamento da energia elétrica gerada, incluído também toda parte de cabeamento, estrutura de suporte e a fundação, quando necessária (Lamberts *et al.*, 2010).

Os SFV são classificados em duas categorias: Sistemas Fotovoltaicos Isolados (SFVI) e Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica (SFVCR). Nos dois casos, o sistema pode operar com apenas uma fonte energética ou mais de uma fonte, denominado sistema híbrido (Pinho e Galdino, 2014).

Os SFVI são instalados geralmente em locais que não possuem acesso à rede elétrica e necessitam de um elemento armazenador de energia elétrica (Urbanetz Jr, 2010). Já nos SFVCR, a rede elétrica da concessionária é vista como elemento armazenador de energia, pois toda a energia gerada é inserida em paralelo com a energia da rede e o sistema é composto basicamente pelo painel FV e um inversor. O sistema apresenta diversas vantagens, sendo as principais: elevada produtividade, pois toda energia gerada é utilizada, e ausência de baterias, pois possuem baixa vida útil se comparada aos módulos FV e aos inversores (Urbanetz Jr, 2010). Até 2014, os SFVCR correspondiam a mais de 95% do total de sistemas fotovoltaicos instalados no mundo (EPE, 2014). Em 2016, essa porcentagem subiu para mais de 98% (REN21, 2017).

2 Panorama da Capacidade Instalada

Na geração fotovoltaica, entende-se por microgeração os sistemas que apresentam potência instalada menor ou igual a 75 kWp e, para minigeração, potências superiores a 75 kWp e menores ou iguais a 5 MWp (ANEEL, 2015). A unidade consumidora com microgeração ou minigeração distribuída pode se

beneficiar através do sistema de compensação, no qual a energia ativa gerada pode ser cedida para a distribuidora local e posteriormente compensada com o consumo de energia elétrica ativa pelo mesmo proprietário da unidade consumidora onde os créditos foram gerados (ANEEL, 2012).

No Brasil, a Resolução Normativa nº 482 de 17 de abril de 2012 da ANEEL estabelece condições gerais para o acesso de minigeração e microgeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, denominado sistema de compensação de energia elétrica. Na resolução, a ANEEL autoriza a compensação de energia nos sistemas fotovoltaicos (ANEEL, 2012). Algumas alterações na Resolução Normativa nº 482 provenientes da Resolução Normativa nº 687 entraram em vigor em 1º de março de 2016, tornando mais amplo o sistema de compensação de energia no Brasil. Entre as novas possibilidades, estão: empreendimentos com múltiplas unidades consumidoras, geração compartilhada e o autoconsumo remoto (ANEEL, 2015).

Com base no Registro das Unidades Consumidoras com Geração Distribuída disponibilizado pela ANEEL (ANEEL, 2018a), foi feito o levantamento da potência instalada de unidades consumidoras com micro ou minigeração distribuída no Brasil e em Curitiba. Após a publicação da Resolução Normativa nº 482/2012, é notável a evolução do potencial instalado conforme apresentado na Figura 1, cerca de 306,91 MWp no Brasil até junho de 2018.

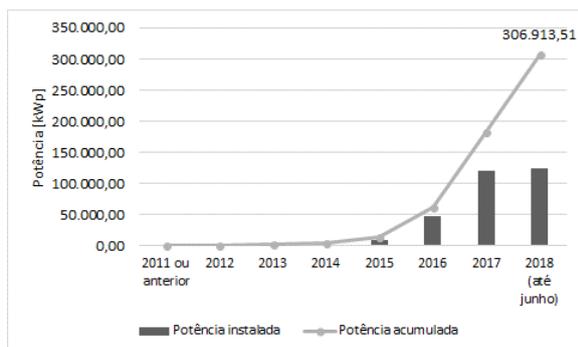


Figura 1. Potência instalada de microgeração e minigeração distribuída por SFVCR no Brasil.

Segundo Tiepolo *et al.* (2017), a cidade de Curitiba apresenta bons índices de irradiação solar, favorecendo a instalação de sistemas fotovoltaicos. A média anual da irradiação global horizontal anual na cidade é 4,19 kWh/m².dia e a média anual da irradiação no plano inclinado igual a latitude é 4,41 kWh/m².dia. A Figura 2 apresenta as potências instaladas dos SFVCR que estão em operação desde 2011 e o respectivo potencial acumulado até junho de 2018 na cidade.

Ao verificar a potência instalada no decorrer dos anos de 2013 até 2017, percebe-se que a energia solar fotovoltaica está em crescente expansão na cidade e que o potencial acumulado até junho de 2018 era de aproximadamente 1,85 MWp.

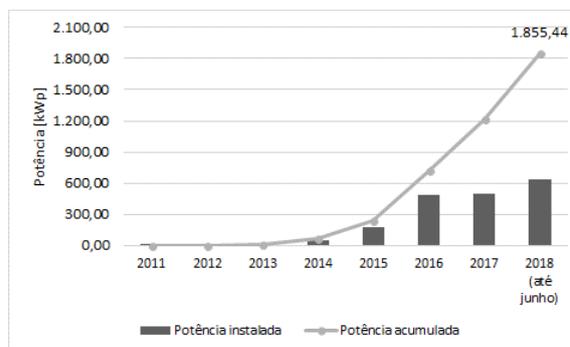


Figura 2. Potência instalada de microgeração e minigeração distribuída por SFVCR em Curitiba.

Paralelamente ao cenário de micro e minigeração distribuída, existem outras usinas que não estão cadastradas nesses sistemas e, portanto, não são beneficiadas com o sistema de compensação. Criado pela ANEEL, o Banco de Informações de Geração (BIG) reúne informações sobre as usinas regularizadas em operação, em construção e em construção não iniciada, tanto hidrelétricas como termelétricas, eólicas, fotovoltaicas nucleares e outras fontes alternativas sobre o parque gerador brasileiro (ANEEL, 2017).

De acordo com a Figura 3, a capacidade de geração por central geradora fotovoltaica até o primeiro semestre de 2018 era de 1,3 GWp no país, além da representatividade de 306,91 MWp oriunda das unidades consumidoras com microgeração e minigeração distribuída.

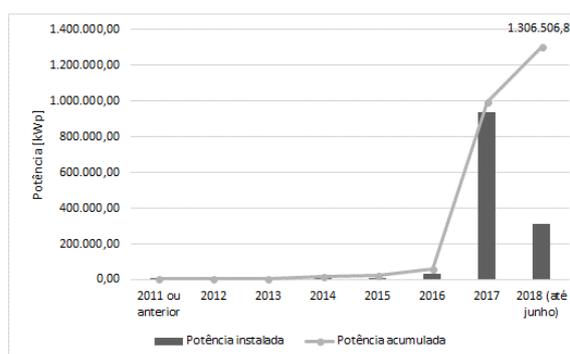


Figura 3. Capacidade de geração por central geradora fotovoltaica no Brasil.

Está prevista para os próximos anos uma adição de 1,7 GWp na capacidade de geração por central geradora solar fotovoltaica do Brasil, proveniente dos 29 empreendimentos em construção e mais 32 em construção não iniciada (ANEEL, 2018b), conforme detalhado na Tabela 1.

Tabela 1 – Previsão da capacidade de geração por central geradora solar fotovoltaica no Brasil.

	Quantidade	Potência outorgada
Empreendimentos em operação	2.233	1.306.510 kWp
Empreendimentos em construção	29	826.316 kWp
Empreendimentos em construção não iniciada	32	877.195 kWp

Os empreendimentos em construção e em construção não iniciada representam 8,34% e 10,15%, respectivamente, da potência que será instalada no país quando comparada a outras fontes (ANEEL, 2018b). Esse cenário torna-se atrativo para o consumidor que deseja investir na geração solar fotovoltaica, uma vez que a projeção para os próximos anos tende a aumentar.

Diante do cenário favorável para instalação dos sistemas fotovoltaicos e a necessidade de ser amplamente explorado, este artigo apresenta um acompanhamento da geração fotovoltaica em dois SFVCR na cidade de Curitiba. Ambos os sistemas pertencem à Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), um deles localizado no Escritório Verde e o outro localizado na Sede Neoville. Foram analisados os dados de geração de energia elétrica e os índices de mérito de cada sistema desde o início de suas operações.

3 Caracterização dos Sistemas

3.1 Escritório Verde

O Escritório Verde (EV), ilustrado na Figura 4, foi inaugurado em dezembro de 2011 e é uma edificação sustentável que possui inúmeras estratégias de sustentabilidade, entre elas a geração fotovoltaica que busca suprir a demanda energética da edificação em conjunto com o sistema elétrico da concessionária. Está localizado na Avenida Silva Jardim, nº 807, bairro Rebouças, Curitiba. O Sistema EV tem uma potência instalada de 2,1 kWp (10 módulos KYOCERA de tecnologia de silício policristalino, modelo KD210GX-LP ligados em série) e ocupa uma área de 15m² na cobertura do edifício. O sistema foi instalado seguindo a orientação do telhado, com 15° de inclinação e 22° de desvio azimutal a oeste em relação ao norte. Possui um inversor monofásico em 220 V de 2 kW de potência nominal (PVPOWERED modelo PVP2000), o qual entrou em operação em 14 de dezembro de 2011 (Urbanetz Jr *et al.*, 2016).



Figura 4. Escritório Verde localizado no Câmpus Curitiba Sede Centro da UTFPR.

Instalado em 2011, o SFVCR do EV é anterior à Resolução Normativa nº 482 e foi o primeiro a ser implantado no estado do Paraná. O EV também possui um SFVI. A Figura 5 ilustra os dois sistemas, o SFVI na posição superior e o SFVCR na posição inferior.



Figura 5. Sistemas Fotovoltaicos do Escritório Verde da UTFPR.

3.2 Neoville

O Sistema Fotovoltaico Neoville, ilustrado na Figura 6, foi o segundo SFVCR instalado na universidade e foi inaugurado em 29 de fevereiro de 2016. Está localizado na Sede Neoville, localizada na Rua Pedro Gusso, nº 2491, bairro Novo Mundo, Curitiba. Possui potência instalada total de 10,2 kWp e 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. O inversor é trifásico sem transformador (Chint Power, modelo CPS SCA 10KTL-DO), em 380 V de alto rendimento, com potência nominal de 10 kW. O sistema está instalado na cobertura da edificação e ocupa uma área de aproximadamente 68m² (excluindo a área de circulação entre os painéis). Os painéis foram instalados com as condições ótimas, sendo a inclinação igual a 25° (mesma latitude da cidade de Curitiba) e orientados para o norte geográfico com desvio azimutal de 0° (Urbanetz Jr *et al.*, 2016).



Figura 6. Sistema Fotovoltaico da Sede Neoville da UTFPR.

4 Análise de Desempenho

Para realizar a análise de desempenho, o primeiro passo é a aquisição de dados de irradiação disponível no local. Esses dados podem ser coletados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2018), por meio de sua plataforma disponibilizada gratuitamente em seu portal. O piranômetro é um instrumento de medição utilizado na rede solarimétrica do INMET capaz de fornecer medidas de irradiância em diferentes localidades do território brasileiro por meio de estações automáticas. Entretanto, os resultados podem apresentar graus de incerteza, visto que os processos de interpolação e extrapolação se comportam de forma esparsa e heterogênea entre as estações (Macêdo, 2006). Os dados apresentados na Figura 7 foram coletados da Estação Automática de Curitiba - A807 e tratados no *software Excel*.

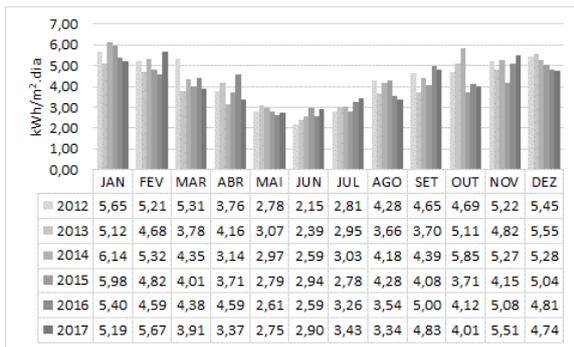


Figura 7. Irradiação diária média mensal no plano horizontal.

Os dois sistemas fotovoltaicos estudados apresentam modos de instalação diferentes, com ângulos de inclinação e desvio azimutal distintos. Com relação ao plano analisado, os dados disponibilizados pelo INMET estão com base no plano horizontal, desta forma, foi utilizado o *software* RADIASOL para o cálculo de irradiação no plano inclinado.

Este *software* foi desenvolvido e disponibilizado pelo Laboratório de Energia Solar da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, sendo capaz de simular o comportamento real do gerador fotovoltaico, no que se refere à disponibilidade de irradiação solar ao longo do ano mediante parâmetros de entrada, como coordenadas geográficas, irradiação local, inclinação e orientação dos módulos quando a inclinação do painel é diferente do ângulo da latitude local. Na Figura 8 é apresentado a interface do *software*, com os dados que o usuário deve inserir (Mariano, 2017).



Figura 8. Tela inicial do *software* RADIASOL.

Após a aplicação do *software*, os resultados são os dados de irradiação no plano dos painéis fotovoltaicos, como é apresentado nas Figuras 9 e 10.

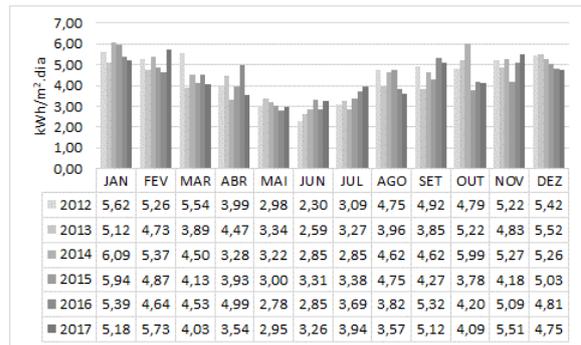


Figura 9. Irradiação diária média mensal no plano do EV.

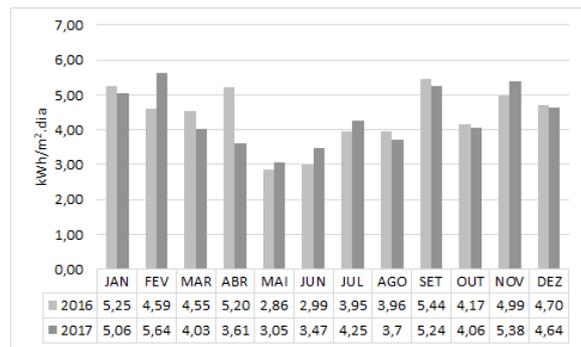


Figura 10. Irradiação diária média mensal no plano do Neville.

Outro dado necessário para a análise de desempenho dos sistemas fotovoltaicos, são os dados de geração de energia elétrica, os quais são acessíveis através da memória de massa dos inversores. Nas Figuras 11 e 12 estão ilustrados os dados de geração dos dois sistemas estudados.

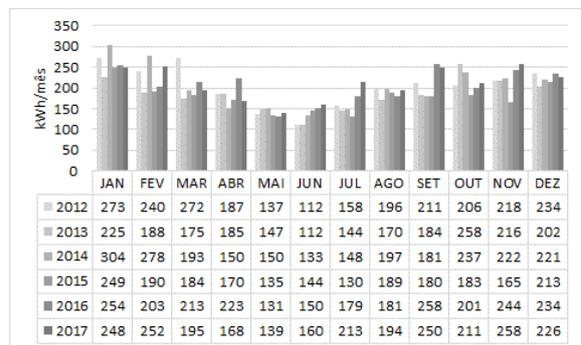


Figura 11. Geração de energia elétrica mensal do EV.

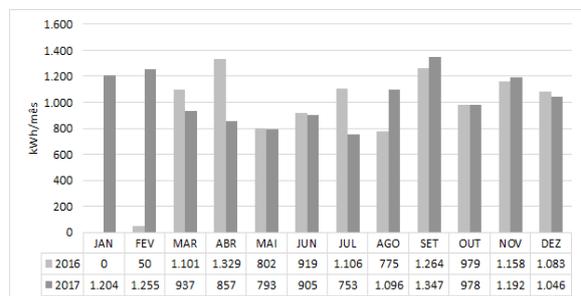


Figura 12. Geração de energia elétrica mensal do Neville.

4.1 Índices de Mérito

Em virtude dos SFVCR serem sistemas descentralizados de geração de energia, é necessário que a comparação entre eles seja independente do comportamento das condições ambientais onde encontram-se instalados. Os índices de mérito permitem tal comparação por meio dos parâmetros característicos de cada sistema (Matín, 1998).

O Fator de Capacidade (FC) é um indicador comum usado para estudo do desempenho dos sistemas fotovoltaicos conectados à rede e pode ser calculado através da Equação 1. É definido como a saída máxima do sistema fotovoltaico para a saída máxima em condições ideais, ou seja, a sua capacidade real de gerar energia em função da energia que ele poderia gerar caso operasse em potência nominal durante 24 horas por dia (Khalid *et al.*, 2016). O fator de utilização de capacidade não leva em conta a irradiação necessária para gerar energia elétrica nem os níveis de irradiação em um determinado período.

$$FC = \frac{\text{Energia Gerada}}{\text{Potência FV} * 24 * \text{dias}} (\%) \quad (1)$$

O índice de Produtividade do Sistema Fotovoltaico, ou *Final Yield* (YF), é definido como a razão entre a energia final produzida (kWh) do sistema e a do seu valor de potência nominal DC (kWp) (Khalid *et al.*, 2016). A Equação 2 mostra como esse índice deve ser calculado.

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

O Rendimento Global ou *Performance Ratio* (PR) apresentado na Equação 3 representa a energia real gerada pelo sistema fotovoltaico em relação à sua energia esperada com referência à sua classificação nominal. Em outras palavras, consiste no montante de energia que está realmente disponível para a rede menos a energia perdida devido a vários fatores ambientais ou perdas nos equipamentos que compõem o sistema (Khalid *et al.*, 2016). Quanto maior o PR do sistema, melhor é o seu desempenho. O rendimento global pode ser calculado através da Equação 3.

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

5 Resultados e Discussões

Os índices de mérito foram calculados com base nos valores de irradiação diária média, geração de energia e potência instalada dos sistemas fotovoltaicos instalados no Escritório Verde e na Sede Neville. Os resultados refletem o desempenho desde o início de operação dos respectivos sistemas, ou seja, foi possível fazer um acompanhamento com base no histórico de dados.

As Tabelas 2, 3 e 4 apresentam os resultados dos índices de mérito para o SVFCR instalado no Escritório Verde referente à média dos seis anos de operação: de 2012 até 2017.

As Tabelas 5, 6 e 7 apresentam os resultados dos índices de mérito para o SVFCR instalado na Sede Neville referente à média dos dois anos de operação: 2016 e 2017.

Tabela 2. Fator de Capacidade do SVFCR instalado no Escritório Verde.

FATOR DE CAPACIDADE [%] - EV													
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	MÉDIA
2012	17,47%	16,42%	17,41%	12,37%	8,77%	7,41%	10,11%	12,54%	13,96%	13,18%	14,42%	14,98%	13,25%
2013	14,40%	13,32%	11,20%	12,24%	9,41%	7,41%	9,22%	10,88%	12,17%	16,51%	14,29%	12,93%	12,00%
2014	19,46%	19,70%	12,35%	9,92%	9,60%	8,80%	9,47%	12,61%	11,97%	15,17%	14,68%	14,14%	13,16%
2015	15,94%	13,46%	11,78%	11,24%	8,64%	9,52%	8,32%	12,10%	11,90%	11,71%	10,91%	13,63%	11,60%
2016	16,26%	13,89%	13,63%	14,75%	8,38%	9,92%	11,46%	11,58%	17,06%	12,86%	16,14%	14,98%	13,41%
2017	15,87%	17,86%	12,48%	111,11%	8,90%	10,58%	13,63%	12,42%	16,53%	13,50%	7,06%	14,46%	13,70%

Tabela 3. Produtividade do SVFCR instalado no Escritório Verde.

PRODUTIVIDADE [kWh/kWp] - EV													
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	ANUAL
2012	130,00	114,29	129,52	89,05	65,24	53,33	75,24	93,33	100,48	98,10	103,81	111,43	1.163,81
2013	107,14	89,52	83,33	88,10	70,00	53,33	68,57	80,95	87,62	122,86	102,86	96,19	1.050,48
2014	144,76	132,38	91,90	71,43	71,43	63,33	70,48	93,81	86,19	112,86	105,71	105,24	1.149,52
2015	118,57	90,48	87,62	80,95	64,29	68,57	61,90	90,00	85,71	87,14	78,57	101,43	1.015,24
2016	120,95	96,67	101,43	106,19	62,38	71,43	85,24	86,19	122,86	95,71	116,19	111,43	1.176,67
2017	118,10	120,00	92,86	80,00	66,19	76,19	101,43	92,38	119,05	100,48	122,86	107,62	1.197,14

Tabela 4. Rendimento Global do SVFCR instalado no Escritório Verde.

RENDIMENTO GLOBAL [%] - EV													
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	MÉDIA
2012	74,59%	74,89%	75,46%	74,32%	70,52%	77,29%	78,62%	63,40%	68,11%	66,13%	66,24%	66,33%	71,33%
2013	67,54%	67,58%	69,12%	65,74%	67,57%	68,53%	67,64%	65,88%	75,84%	75,92%	70,93%	56,26%	68,21%
2014	76,74%	87,99%	65,94%	72,52%	71,62%	74,13%	79,77%	65,47%	62,20%	60,78%	66,83%	64,55%	70,71%
2015	64,41%	66,35%	68,39%	68,59%	69,22%	69,01%	59,08%	61,13%	66,91%	74,43%	62,66%	65,05%	66,27%
2016	72,39%	71,84%	72,23%	70,94%	72,38%	83,54%	74,52%	72,78%	76,98%	73,51%	76,09%	74,73%	74,33%
2017	73,54%	74,79%	74,33%	75,33%	72,38%	77,90%	83,04%	83,47%	77,50%	79,25%	74,32%	73,09%	76,58%

Tabela 5. Fator de Capacidade do SVFCR instalado no Neville.

FATOR DE CAPACIDADE [%] - NEOVILLE													
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	MÉDIA
2016	0,00%	0,71%	14,51%	18,10%	10,57%	12,51%	14,58%	10,22%	17,21%	12,90%	15,77%	14,27%	14,06%
2017	15,86%	18,31%	12,35%	11,67%	10,45%	12,33%	9,92%	14,44%	18,34%	12,89%	16,23%	13,78%	13,88%

Tabela 6. Produtividade do SVFCR instalado no Neville.

PRODUTIVIDADE [kWh/kWp] - NEOVILLE													
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	ANUAL
2016	0,00	4,93	107,92	130,32	78,66	90,10	108,45	76,03	123,88	96,00	113,57	106,15	1.237,29
2017	118,02	123,01	91,87	84,00	77,73	88,75	73,83	107,45	132,06	95,88	116,86	102,55	1.212,02

Tabela 7. Rendimento Global do SVFCR instalado no Neville.

RENDIMENTO GLOBAL [%] - NEOVILLE													
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	MÉDIA
2016	0,00%	3,70%	76,51%	83,54%	88,72%	100,44%	88,57%	61,93%	75,91%	74,26%	75,86%	72,85%	79,86%
2017	75,24%	77,89%	73,54%	77,56%	82,22%	85,25%	56,04%	93,68%	84,01%	76,18%	72,41%	71,29%	77,11%

Para o cálculo dos índices de mérito do SFVCR da Sede Neville foi necessário adotar algumas considerações. Para determinar o fator de capacidade e o rendimento global, os meses de janeiro e fevereiro de 2016 não foram contabilizados na média anual, uma vez que o sistema entrou em operação no dia 29 de fevereiro do mesmo ano. Por esse mesmo motivo, a produtividade de 2016 foi calculada através da média dos valores de março a dezembro seguido de uma extrapolação para os 12 meses do ano.

Em uma análise da Tabela 4, pode-se perceber que os rendimentos globais variam de 56,26% até 87,99%, ao passo que na Tabela 7, o rendimento global superou o valor de 100%. Evidencia-se uma limitação do método para ambos os casos, uma vez que o ponto de medição da irradiação difere em alguns quilômetros do ponto da geração do SFVCR. Portanto, na análise mensal, há uma variação dos rendimentos globais, oscilando com valores mais elevados ou mais reduzidos. Na análise anual, há uma tendência de uma convergência para um valor mais adequado. Além disso, pode-se justificar tal limitação devido a presença de nuvens no local onde está instalado o piranômetro do INMET em Curitiba, reduzindo momentaneamente a capacidade de medição da irradiação solar por este instrumento.

Em termos comparativos, as Figuras 13, 14 e 15 apresentam as médias dos índices de mérito dos dois sistemas desde o respectivo início de operação.

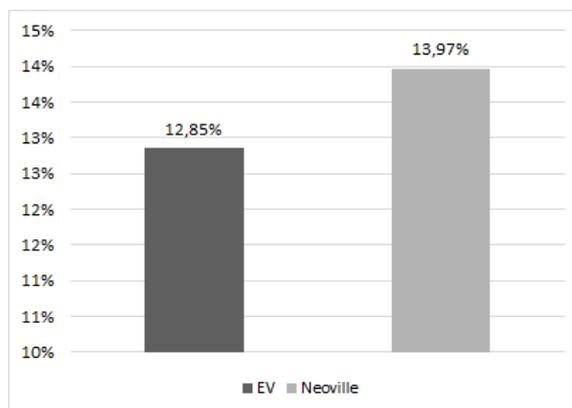


Figura 13. Comparação do Fator de Capacidade.

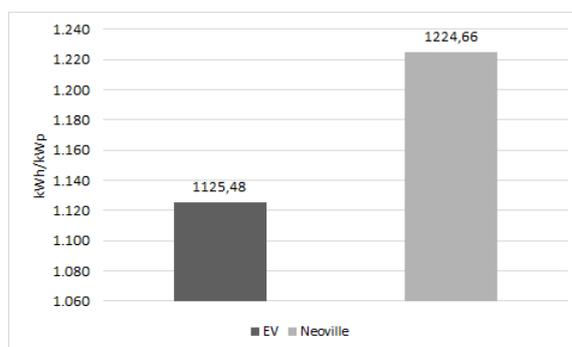


Figura 14. Comparação da Produtividade.

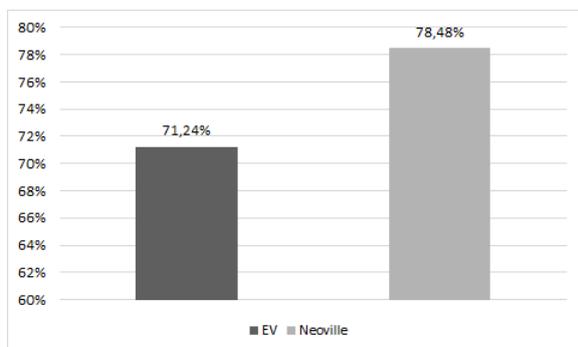


Figura 15. Comparação do Rendimento Global.

Na comparação de desempenho, observa-se que os três índices apresentam diferenças que podem ser justificadas pelo tempo de operação de cada sistema, orientação dos painéis fotovoltaicos, potência instalada, acúmulo de sujeira, sombreamento, tecnologia dos inversores, área alocada para a instalação dos painéis, entre outros fatores.

O fator de capacidade esperado no Brasil compreende as porcentagens entre 13% e 18%, variando de acordo com a disponibilidade do recurso solar, da tecnologia empregada no sistema fotovoltaico e no dimensionamento adotado (Benedito, 2009). O fator de capacidade esperado para a região sul do país é de 14,2% (Quaglia, 2010) e em Curitiba, 12,1% (Nakabayashi, 2014). Essa diferença ocorre devido à própria natureza do recurso solar, o qual sofre variações climáticas significativas ao longo do dia, como a presença de nebulosidade, fazendo com que um SFVCR seja capaz de operar em sua potência nominal durante poucas horas (Almeida, 2012). Os resultados do EV e Neville apontam fatores de capacidade de 12,85% e 13,97%, respectivamente, e podem ser considerados adequados dentro desta perspectiva.

A produtividade torna-se expressiva à medida que é feita a manutenção dos sistemas, como a troca de inversores em um período estimado a cada dez anos, ou de acordo com a necessidade operacional do sistema fotovoltaico, além da limpeza periódica dos painéis. O custo com a compra da energia elétrica da concessionária para suprir a demanda restante de consumo dos câmpus será reduzido devido aos bons índices de produtividade apresentados nos dois sistemas: 1125,48 kWh/kWp para o EV e 1224,66 kWh/kWp para o Neville.

O rendimento global de 75% é considerado ideal para efeito de projeto ao maximizar a performance da planta com o intuito de reduzir as perdas (Tiepolo *et al.*, 2014). As médias dos rendimentos globais no ano de 2017 para os dois sistemas foram bem próximas, com uma diferença inferior a 1%. Entretanto, o SFVCR do Neville deveria apresentar uma média superior, visto que a tecnologia empregada nesse sistema é superior à do EV. Analisando os resultados mensais do ano em questão, percebe-se que em julho houve uma queda significativa da PR do Neville, fruto de um desligamento acidental ocorrido durante o período de férias. Tal fato contribuiu para que a média anual de 2017 apresentasse um rendimento global

regular quando comparada ao ano de 2016. Entretanto, os resultados de 71,24% para o EV e de 78,48% para o Neville estão adequados na análise referente ao período em que os sistemas se encontram em operação. Para uma análise mais profunda, é fundamental um período mais longo de aquisição de dados para aumentar a confiabilidade e relevância dos resultados.

6 Conclusão

A crescente evolução da capacidade instalada por central geradora fotovoltaica no Brasil indica que os SFVCR podem ser amplamente instalados em edificações como opção para produzir eletricidade. No cenário de microgeração e minigeração, o sistema de compensação de energia elétrica garante vantagens ao proprietário da unidade consumidora desde que a Resolução Normativa nº 482 entrou em vigor.

Diante do crescimento da energia fotovoltaica gerada a partir de sistemas fotovoltaicos na cidade de Curitiba, o acompanhamento dos sistemas implantados no Escritório Verde e na Sede Neville da UTFPR torna-se relevante à medida que os dados coletados são atualizados a fim de aumentar a confiabilidade do estudo e manter um histórico desde o início do seu respectivo funcionamento.

Na análise dos índices de mérito, pode-se perceber que o índice de irradiação no local de instalação, as inclinações dos módulos, bem como suas orientações azimutais têm interferência no recurso solar disponível para os sistemas, ou seja, o plano do painel e a orientação geográfica onde o SFVCR está localizado refletem na sua produtividade final. Estas justificativas podem ser observadas na comparação de desempenho entre os dois SFVCR analisados, em que o Neville apresenta condições ótimas de instalação, como melhor orientação ao norte geográfico e inclinação dos painéis fotovoltaicos equivalente à da latitude do local.

Referências Bibliográficas

- Almeida, M. P (2012). Qualificação de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede. São Paulo, 2012. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo.
- ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica (2012). Resolução Normativa nº 482. [Online] Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/arquivos/PDF/Resolu%C3%A7%C3%A3o%20Normativa%20482,%20de%202012%20-%20bip-junho-2012.pdf> [Acesso em: 30 de março de 2018].
- ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica (2015). Resolução Normativa nº 687 [Online]. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf> [Acesso em: 30 de março de 2018].
- ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica (2017). BIG – Banco de Informações de Geração

- [Online]. Disponível em: http://www.aneel.gov.br/informacoes-tecnicas/-/asset_publisher/CegkWaVJWF5E/content/big-banco-de-informacoes-de-geracao/655808?inheritRedirect=false [Acesso em 11 de julho de 2018].
- ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica (2018a). Unidades Consumidoras com Geração Distribuída [Online]. Disponível em: goo.gl/Rme0Kk [Acesso em: 11 de julho de 2018].
- ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica (2018b). Capacidade de Geração do Brasil. BIG – Banco de Informações de Geração [Online]. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidade-brasil/capacidadebrasil.cfm> [Acesso em 11 de julho de 2018].
- Benedito, R. S (2009). Caracterização da Geração Distribuída de Eletricidade por meio de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede, no Brasil, sob os Aspectos Técnico, Econômico e Regulatório. São Paulo, 2009. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo.
- Energia Heliotérmica (2018). O Sol: Fonte de energia. [Online]. Disponível em: <http://energiaheliotermica.gov.br/pt-br/energia-heliotermica/o-sol-fonte-de-energia> [Acesso em: 10 de abril de 2018].
- EPE – Empresa de Pesquisa Energética (2014). Inserção da Geração Fotovoltaica Distribuída no Brasil – Condicionantes e Impactos. Rio de Janeiro, 2014.
- INMET – Instituto Nacional de Meteorologia (2018). Estação Meteorológica de Observação de Superfície Automática [Online]. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/estacoesAutomaticas> [Acesso em: 30 março de 2018].
- Khalid, A. M.; Mitra, I.; Warmuth, W.; Schacht, V (2016). Performance ratio – Crucial parameter for grid connected PV plants. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 65. pp. 1139–158.
- Lamberts, R.; Ghisi, E.; Pereira, C. D.; Batista, J. O (2010). Casa eficiente: consumo e geração de energia, Vol. 2, Florianópolis, 2010. Universidade Federal de Santa Catarina.
- Macêdo, W. N (2006). Análise do Fator de Dimensionamento do Inversor Aplicado a Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede. São Paulo, 2006. Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo.
- Mariano, J. D’A (2017). Análise do Potencial da Geração de Energia Fotovoltaica para Redução dos Picos de Demanda e Contribuição Energética nas Edificações da UTFPR em Curitiba. Curitiba, 2017. Dissertação (Mestrado) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná.
- Matín, E. C (1998). Edifícios Fotovoltaicos Conectados a la Red Eléctrica: Caracterización y Análisis. Madrid, 1998. Tese (Doutorado) - Universidad Politécnica de Madrid.
- Nakabayashi, R. K (2014). Microgeração Fotovoltaica no Brasil: Condições Atuais e Perspectivas Futuras. São Paulo, 2014. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo.
- Pinho, J. T.; Galdino, M. A (2014). Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos. Rio de Janeiro, 2014. Grupo de Trabalho de Energia Solar – GTES. CEPTEL – CRESES.
- Quaglia, R. B (2010). Incentivo à Geração Distribuída com Sistemas Fotovoltaicos: cenários para o setor elétrico brasileiro. Santo André, 2010. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do ABC.
- REN21 (2017). Renewables 2017 Global Status Report [Online]. Paris: REN21 Secretariat. Disponível em: http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2017/06/17-8399_GSR_2017_Full_Report_0621_Opt.pdf [Acesso em: 10 de abril de 2018].
- Tiepolo, G. M., Canciglieri Jr, O., Urbanetz Jr, J., Viana, T., Pereira, E. B (2014). Comparação entre o Potencial de Geração Fotovoltaica no Estado do Paraná com Alemanha, Itália e Espanha. Recife, 2014. CBENS – Congresso Brasileiro de Energia Solar.
- Tiepolo, G. M.; Pereira, E. B.; Urbanetz Jr, J.; Pereira, S. V.; Gonçalves, A. R.; Lima, F. J. L.; Costa, R. S., Alves, A. R (2017). Atlas de Energia Solar do Estado do Paraná. 1a Edição. Curitiba.
- Urbanetz Jr, J (2010). Sistemas Fotovoltaicos Conectados a Redes de Distribuição Urbanas: Sua influência na qualidade da energia elétrica e análise dos parâmetros que possam afetar a conectividade. Florianópolis, 2010. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Santa Catarina.
- Urbanetz Jr, J., Tiepolo G. M., Casagrande Jr, E. F., Tonin F. S., Mariano, J. D (2016). Geração Distribuída Fotovoltaica: O Caso dos Sistemas Fotovoltaicos da UTFPR em Curitiba. Gramado, 2016. In: X CBPE - Congresso Brasileiro de Planejamento Energético.