CONGRESSO NACIONAL DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO
ISSN 1984-9354
&
INOVARSE
XIII CONGRESSO NACIONAL DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO
& IV INOVARSE – RESPONSABILIDADE SOCIAL APLICADA
28 e 29 de setembro de 2017

ANÁLISE COMPARATIVA DOS INDICES DE MÉRITO DE DUAS INSTALAÇÕES FOTOVOLTAICAS: CASOS UTFPR NEOVILLE X LAR JUNSHIN

Área Temática: 3. GESTÃO AMBIENTAL & SUSTENTABILIDADE

FABRICIO FONTOURA DOS SANTOS
fabriciofontoura@yahoo.com.br

Günther Kaltmaier Junior
gunther.kaltmaier@gmail.com

Jair Urbanetz Junior
urbanetz@utfpr.edu.br

Juliana D'Angela Mariano
julianadangela@gmail.com

Este artigo descreve as principais características do Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede (SFVCR) instalado na mais nova sede da UTFPR (Sede Neoville) e também do sistema instalado na Casa de Repouso Lar Santa Mãe Junshin, quanto às suas características de instalação e de equipamentos, seu princípio de funcionamento, suas configurações e respectivos componentes elementares, histórico de funcionamento e principalmente, estabelecendo um comparativo entre suas capacidades de produção energética e índices de mérito, através de suas avaliações de desempenho. Seu principal objetivo é verificar se estes sistemas apresentam índices de mérito satisfatórios e compatíveis com as instalações de referência.

Palavras-chave: Sistemas Fotovoltaicos, UTFPR Neoville, Lar Junshin, Índices de Mérito

1. Introdução

A atual conjuntura econômica do Brasil e o desejo por atingir novos patamares em termos de desenvolvimento sustentável, tornam cada vez mais importantes o desenvolvimento de tecnologias e a divulgação das soluções atuais para utilização de fontes renováveis e menos poluentes de energia (MACHADO e CORREA, 2015).

A UTFPR, preocupada com estas questões, desenvolveu com base em sólidos conhecimentos adquiridos, a instalação de SFV no Escritório Verde da UTFPR[1]. A instituição pública em parceria com a ELCO Engenharia investiu novamente na tecnologia de sistemas fotovoltaicos conectados à rede, agora na tentativa de realizar uma instalação em condições ótimas de operação, ou seja, com a intenção de obter os melhores resultados possíveis atendendo a todas as especificações e às limitações, em maximização dos resultados do processo de geração de energia.

Por outro lado, a Casa de Repouso LAR JUNSHIN, realizou a instalação de um sistema fotovoltaico conectado à rede (SFVCR), também com equipamentos semelhantes aos instalados na UTFPR, também doados pela empresa ELCO Engenharia, porém em função das características arquitetônicas da edificação não foi possível realizar esta instalação sem que houvesse uma pequena diferença na inclinação dos painéis.

Este artigo possui o objetivo de comparar os resultados obtidos entre estas duas instalações, utilizando o sistema NEOVILLE como referência em uma análise de dados obtidos desde o mês de abril de 2016 até o mês de abril de 2017.

2. Revisão Bibliográfica

2.1. Sistemas Fotovoltaicos

Basicamente um sistema fotovoltaico para geração de energia elétrica é um conjunto integrado de equipamentos, painéis fotovoltaicos e outros componentes, projetados para converter a energia solar em eletricidade.

O princípio físico de funcionamento dos painéis fotovoltaicos é denominado efeito fotovoltaico (foto=luz; volt=eletricidade). Estes painéis fotovoltaicos são construídos com

[1]O Escritório Verde é um órgão da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR que tem a aprovação do Gabinete da Diretoria do *Campus* Curitiba para desenvolver a política de sustentabilidade do *campus*, unindo pesquisadores, professores, estudantes e pessoal administrativo. Neste caso, a meta é implantar uma série de programas para se reduzir o impacto ambiental das atividades acadêmicas e também servir de referência a outras instituições de ensino e empresas. Dentre elas destacam-se os Sistemas Fotovoltaicos: Conectado à Rede e Isolado instalados no Escritório Verde. (ESCRITORIO VERDE ON LINE, 2016)

determinados materiais modificados quimicamente, que quando expostos à luz produzem eletricidade (JOVIC, 2016).

Por ser um sistema de geração de energia que depende basicamente da luz do sol, o sistema fotovoltaico deve ser sempre um sistema complementar da energia elétrica fornecida pela rede da concessionária. Quando a intensidade da luz solar é máxima, o sistema fotovoltaico pode gerar uma quantidade de energia elétrica que é maior que o consumo das cargas a ele conectadas e, portanto, pode fornecer este excedente de energia elétrica para a rede da concessionária. Por outro lado, quando há falta ou pouca incidência de sol, o sistema pode recuperar da rede da concessionária aquela energia excedente anteriormente fornecida e que agora é necessária à alimentação de suas cargas, num sistema de compensação de energia (JOVIC, 2016).

A diretoria da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) aprovou em 24/11/2015, aprimoramentos na Resolução Normativa nº 482/2012 que criou o Sistema de Compensação de Energia Elétrica, permitindo que o consumidor instale pequenos geradores (tais como painéis solares fotovoltaicos e micro turbinas eólicas, entre outros) em sua unidade consumidora e troque energia com a distribuidora local com objetivo de reduzir o valor da sua fatura de energia elétrica (ANEEL, 2015)

Segundo MARIANO (2017), é uma fonte de energia renovável, abundante, silenciosa, limpa, inextinguível e que não interfere diretamente no meio ambiente.

2.1.1. Tipos de sistemas fotovoltaicos

Existem duas categorias principais de sistemas fotovoltaicos: Sistemas Isolados (SFVI) ou Sistemas Conectados à Rede Elétrica (SFVCR). De acordo com Pinho e Galdino (2014) ambos os casos podem operar apenas como fonte fotovoltaica ou combinada com outras fontes de energia, quando são chamados de híbridos. A escolha da configuração a ser utilizada depende principalmente da disponibilidade de recursos energéticos, da aplicação em questão e das restrições do projeto.

2.1.2. Sistema Fotovoltaico Isolado (SFVI)

Estes sistemas também conhecidos como autônomos, são comumente utilizados em áreas sem acesso à rede elétrica como fazendas, ilhas e comunidades isoladas. Uma das principais vantagens é a substituição dos geradores movidos a combustíveis fósseis, fornecendo energia de forma mais silenciosa e menos poluente, entretanto a principal

desvantagem é o alto custo de manutenção dos componentes (MACHADO e CORREA, 2015).

O esquema de montagem desse sistema é apresentado na Figura 1, indicando o caminho percorrido pela corrente elétrica do painel até a carga.

Segundo MACHADO e CORREA (2015) existem sistemas fotovoltaicos isolados com vários tipos de armazenamento como, por exemplo, de energia potencial gravitacional, ou até mesmo sem armazenamento, usados em situações bastante restritas, quando o momento de geração coincide com o de consumo. Porém na maioria dos casos, esse armazenamento é feito através de baterias, suprindo a demanda de períodos em que a geração é baixa ou inexistente além de evitar o desperdício da energia gerada em períodos de baixo consumo. Para que não ocorram sobrecargas ou descargas excessivas na bateria, é necessário instalar um controlador de carga entre ela e o painel fotovoltaico, ajudando também a prolongar a vida útil do equipamento.

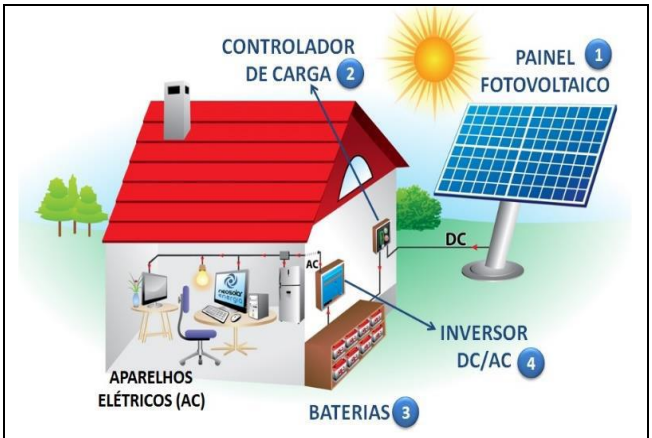


Figura 1 - Sistema Fotovoltaico Isolado.
Fonte: NEOSOLAR, 2016.

A partir dessa configuração é possível alimentar cargas CC de maneira direta, pois ao contrário dos painéis, a tensão de saída da bateria é constante. Contudo, esses sistemas também são capazes de alimentar cargas CA, exigindo apenas a introdução de um inversor ao sistema, responsável por converter a tensão contínua em tensão alternada (MACHADO e CORREA, 2015).

2.1.3. Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede Elétrica (SFVCR)

Os SFCRs são constituídos basicamente por: painel FV e inversor. Não são utilizados elementos para armazenar a energia elétrica. Basicamente, a rede elétrica da concessionária é vista como o elemento armazenador, pois toda a energia gerada é colocada em paralelo com a energia da rede. As principais vantagens desse tipo de sistema são: a elevada produtividade (toda a energia disponibilizada pelos módulos é utilizada) e a ausência do conjunto de baterias (um elo frágil no SFI devido à baixa vida útil em relação a dos módulos FV e dos inversores). (URBANETZ JR, 2010).

Os Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica têm grande aplicação no ambiente urbano como geradores de energia elétrica junto ao ponto de consumo. São

facilmente integrados à edificação, não necessitando de área adicional, visto que são normalmente instalados sobre a cobertura da edificação. Possuem elevada confiabilidade e operam de forma limpa e silenciosa (URBANETZ JR e CASAGRANDE JR, 2012).

A configuração mais aplicada é conhecida como Sistema Aplicado à Edificação na qual os painéis são aplicados sobre a edificação e não compõem o envoltório da construção. Cujo esquema de montagem é apresentado na Figura 2.

Nesta configuração a geração está próxima ao ponto de consumo, eliminando gastos e perdas com linhas de transmissão. A potência instalada nesses casos costuma ser mais baixa (kW), pois visa basicamente a alimentação das cargas existentes na residência ou na indústria onde o sistema fotovoltaico está instalado (RÜTHER, 2004).

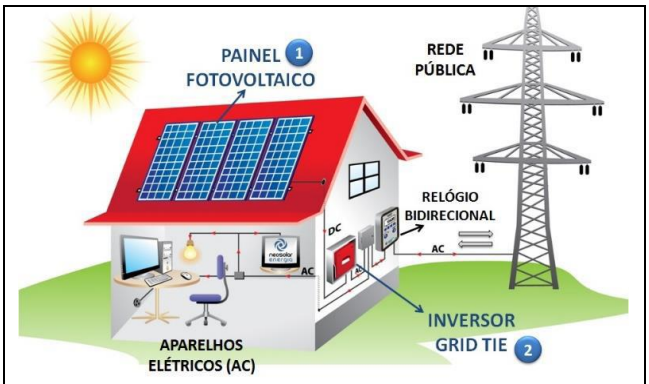


Figura 2 - Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede.
Fonte: NEOSOLAR, 2016.

Segundo MACHADO e CORREA (2015) os principais componentes desse tipo de sistema são:

- Painel fotovoltaico: é responsável por converter a energia solar em energia elétrica através do efeito fotovoltaico.
- Inversor: converte a energia CC em CA para a alimentação das cargas e é responsável pelo sincronismo do sistema com a rede elétrica. Além disso, possui outra função de extrema importância, pois independente da configuração ou da potência instalada, o inversor deve se desligar automaticamente na ausência da rede elétrica, evitando o fenômeno conhecido como "ilhamento"[2].
- Medidor bidirecional: responsável por medir a energia consumida da rede elétrica pública nos momentos de baixa geração, bem como a energia injetada nela durante os momentos em que a geração do sistema fotovoltaico excede o consumo da instalação à qual pertence. Isso é necessário para que o micro ou o mini gerador possa participar do Sistema de Compensação de Energia, no qual o excedente injetado na rede é convertido em créditos de energia (kWh) para o consumidor, que poderá utilizá-los para abater o consumo nas faturas dos próximos meses. Este crédito de energia tem uma validade de 60 meses.

[2]Essa medida é necessária para que, sob hipótese alguma, a energia gerada pelos painéis seja injetada na rede enquanto essa estiver desconectada do sistema de geração central, garantindo assim a segurança de seus operadores.

3. Índices de Mérito

Os índices de mérito são calculados individualmente para cada sistema através dos valores de energia gerada, potência instalada e irradiação incidente. São necessários para que se possa equalizar e comparar o desempenho de um SFVCR com outro sistema de características distintas ou que esteja instalado em outra localidade (MACHADO e CORREA, 2015). Ainda segundo Tonin (2016), a análise do desempenho entre sistemas deve utilizar os valores de energia gerada para o período de avaliação 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.

3.1. Produtividade ou YIELD

É a relação da energia gerada (kWh) também expressa pela integral da potência entregue ao sistema em um dado tempo medido por (kW) e a potência instalada (kWp) de cada painel fotovoltaico do sistema. Esse índice está vinculado a um intervalo de tempo e quando calculado para um ano é obtido através da Equação 1 (MACHADO e CORREA, 2015).

$$Y_F == \frac{\int_0^{8760} P(t)dt}{P_N} = \frac{Energia}{Potência\ instalada}(kWh/kWp) \tag{1}$$

O YF é a energia produzida no sistema no que diz respeito ao seu tamanho, conseqüentemente ele é uma maneira de comparar energia produzida pelos sistemas fotovoltaicos de tamanhos diferentes(MACHADO; CORREA, 2015).

3.2. Taxa de Desempenho ou Performance Ratio

É a relação entre a produtividade (kWh/kWp) e a quantidade de horas de sol a 1.000W/m² incidentes no painel FV, normalmente vinculada a um ano de operação. Esta grandeza é expressa em porcentagem e pode ser obtida pela Equação 2 (URBANETZ; ET al., 2014).

$$P_R = \frac{Y_F}{H(t)/Gref} = \frac{Yield}{Irradiação/1000}(\%) \tag{2}$$

De outra forma pode-se também dizer que este valor representa o desempenho descontando as perdas existentes no sistema tais como: perdas nos inversores, nas conexões, e principalmente perdas devido à elevação da temperatura nos painéis devido à temperatura ambiente, entre outras perdas(TIEPOLO, 2015).

3.3. Fator de Capacidade

É o índice em percentagem que representa a capacidade de gerar energia sobre a energia nominal em um intervalo de tempo, normalmente um ano em horas. É o responsável pela comparação das diferentes fontes de energia e suas gerações. Nota-se que há uma relação entre o fator de capacidade e a produtividade, e esta relação (Equação 3) é direta, ou seja, obtendo o valor da produtividade obtém-se o valor do fator de capacidade (MACHADO; CORREA, 2015).

$$C_F = \frac{\int_0^T P(t)dt}{P_N x T} = \frac{Y_F(h)}{8.760\ h} = \frac{Energia}{Potência\ x\ Tempo}\ (\%) \tag{3}$$

No Brasil os SFVCR's possuem C_F entre 13% e 18% variando de acordo com a disponibilidade do recurso solar, da tecnologia e forma de dimensionamento adotado (BENEDITO, 2009).

4. OS SISTEMAS DA UTFPR NEOVILLE X LAR JUNSHIN

4.1. Descritivo/Histórico NEOVILLE:

O SFVCR da sede NEOVILLE foi cedido e instalado pela Empresa ELCO Engenharia, e entrou em operação no dia 29/02/2016.

Trata-se de um sistema composto por 34 painéis solares de silício policristalino, (um conjunto de 17 painéis em série, conectados a um Buscador do Ponto de Máxima Potência, e outro conjunto de 17 painéis em série, conectados a um segundo Buscador do Ponto de Máxima Potência, ambos no mesmo inversor), com capacidade total de 10,2 kWp instalados sobre o telhado existente do barracão principal do Campus, conforme ilustrado na Figura 3a.

Os painéis foram estrategicamente posicionados, com a devida orientação voltada para o norte e fixados através de uma estrutura metálica com uma inclinação específica de 250 (figura 3b). Os dois conjuntos (strings) de 17 painéis estão suficientemente espaçados um do outro (Figura 3c) de modo a evitar que possa ocorrer sombreamento provocado por um painel sobre o outro. Todas estas características de posicionamento visam maximizar o tempo e a área de exposição dos painéis aos raios solares, de modo a se obter as melhores condições de produção de energia pelo sistema.

Os painéis estão interligados a um inversor de 10kW (Figura 4a), sem transformador, com interface homem máquina (IHM) mostrada na Figura 4b, no qual são apresentados todos os parâmetros monitorados pelo inversor. Esta ligação é realizada através de cabos e conectores adequados, cada conjunto em uma entrada específica com buscador de máxima potência (Figura4c) de modo a garantir que um eventual problema em um dos strings não

venha a interferir na produtividade do outro, e a saída do inversor (Figura 4d) é ligada diretamente ao Painel de Distribuição mais próximo (Figura 5a).

Figura 3: a) Arranjo físico dos Painéis do SFVCR, b) Estrutura de Fixação e c) Espaçamento entre os painéis
Fonte: Os Autores (2017)

Figura 4: a) Inversor, b) IHM do Inversor, c) Entradas do Inversor e d) Saída do Inversor
Fonte: Os Autores (2017)

Também é conectado ao inversor um Data Logger (Figura 5b), o qual é responsável por reunir, armazenar e transmitir os valores obtidos dos parâmetros físicos e elétricos (tensão e corrente em três fases) em um intervalo de tempo (Figura 5c), fornecidos pelo inversor através de um módulo de comunicação serial (Figura 4d) e finalmente transmitidos por Wi-Fi para um banco de dados (Figuras 6 e 7 a seguir) para posteriores avaliações.

Figura 5: a) Distribuidor Geral, b) Data Logger e c) Parâmetros do Inversor
Fonte: Os Autores (2017)

A Agência Nacional de Energia Elétrica classifica esse sistema conforme o tamanho da instalação em micro geração, ou seja, para potências de até 75kW, (MACHADO; CORREA, 2015)

4.2. Descritivo/Histórico LAR JUNSHIN:

O SFVCR do LAR JUNSHIN foi cedido e instalado pela Empresa ELCO Engenharia, e entrou em operação no dia 29/10/2015. Assim como no caso do sistema NEOVILLE, trata-se de um sistema composto por 34 painéis solares de silício policristalino, (um conjunto de 17 painéis em série, conectados a um Buscador do Ponto de Máxima Potência, e outro conjunto de 17 painéis em série, conectados a um segundo Buscador do Ponto de Máxima Potência,

ambos no mesmo inversor). Os painéis foram instalados sobre o telhado existente da edificação principal do complexo, com capacidade total instalada de 10,2 kWp conforme ilustrado na Figura 8a.

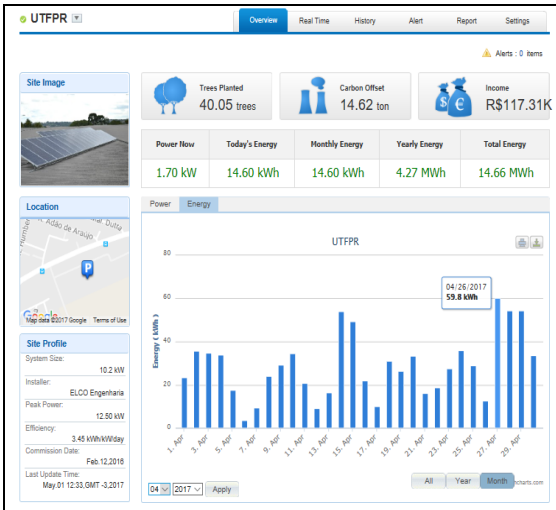


Figura 6: Energia Produzida em abril/2017, Sistema NEOVILLE (Monitor. Chintpower - Software da Web para armazenamento e análise dos parâmetros do inversor).
Fonte: MONITOR. CHINTPOWER UTFPR(2017)

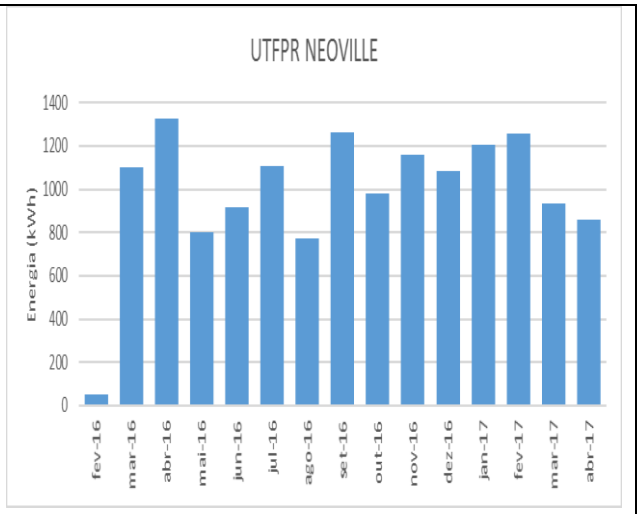


Figura 7: Energia Produzida ao longo de 2016 e 2017Sistema NEOVILLE (Monitor. Chintpower - Software da Web para armazenamento e análise dos parâmetros do inversor).
Fonte: Adap. de MONITOR. CHINTPOWER UTFPR(2017)

Desta vez, Os painéis foram estrategicamente posicionados, com a devida orientação voltada para o norte e fixados através de uma estrutura metálica com uma inclinação específica de 19° acompanhando a inclinação do telhado (Figura8b). Todos os painéis dos dois conjuntos (strings) de 17 painéis estão colocados no mesmo plano de modo a evitar que possa ocorrer sombreamento provocado por um painel sobre o outro. Todas estas características de posicionamento visam maximizar o tempo e a área de exposição dos painéis aos raios solares, de modo a se obter as melhores condições de produção de energia pelo sistema naquele local, contudo segundo relatos dos usuários, em alguns momentos do dia ocorre sombreamento parcial do sistema devido à existência de alguns pinheiros nas proximidades da instalação (Figura8c).

Figura 8: a) Arranjo físico dos Painéis do SFVCR, b) Estrutura de Fixação, c) Sombreamento Parcial
Fonte: Os Autores (2017)

Os painéis do LAR JUNSHIN, assim como no caso do NEOVILLE, também estão interligados a um inversor de 10kW (Figura9a), de mesmo modelo e através dos mesmos

tipos de conexão no qual se pode verificar através de sua IHM os valores instantâneos de produção conforme apresentado na Figura9b.

Figura 9: a) Inversor, b) IHM do Inversor, c) Entradas e Saída do Inversor
Fonte: Os Autores (2017)

A interligação do sistema é realizada através de cabos e conectores adequados, cada conjunto em uma entrada específica com buscador de máxima potência (Figura9c) de modo a garantir que um eventual problema em um dos strings não venha a interferir na produtividade do outro.

Figura 10: Visão geral da instalação do inversor
Fonte: Os Autores (2017)

Na Figura10 é possível se ter um panorama geral das conexões do inversor, onde é possível perceber que o inversor é interligado a um Data Logger (acima do inversor), e que sua saída está ligada diretamente a um transformador trifásico de 12,5 kVA – 380-220/127V, o qual se conecta diretamente ao quadro de distribuição geral da instalação.

Também podemos classificar esse sistema conforme o tamanho da instalação em micro geração, ou seja, com potência inferior a 75kW, (MACHADO; CORREA, 2015)

A pesar do sistema do LAR JUNSHIN ter entrado em operação no dia 29/10/2015 somente a partir do dia 25/05/2016 o sistema passou a ter seus dados devidamente registrados, pois no período anterior o sistema estava sem data logger. Como o equipamento cedido pela ELCO Engenharia foi reaproveitado de outra instalação os dados armazenados no site da ChintPower não correspondem, em sua totalidade, à realidade produtiva do sistema. Sendo assim, neste estudo, somente serão considerados, para efeito de cálculos, os dados obtidos a partir de 25 de maio de 2016 conforme ilustrados nas Figuras 11 e 12.

Figura 11: Energia Produzida em abril/2017, Sistema LAR JUNSHIN (Monitor. Chintpower - Software da Web para armazenamento e análise dos parâmetros do inversor).
Fonte: MONITOR. CHINTPOWER LAR JUNSHIN (2017)

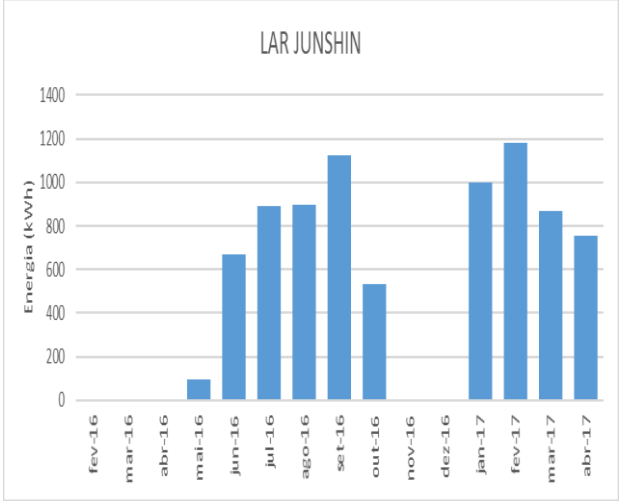


Figura 12: Energia Produzida ao longo de 2016 e 2017 Sistema LAR JUNSHIN*[3] (Monitor Chintpower - Software da Web para armazenamento e análise dos parâmetros do inversor).
Fonte: Adaptado de MONITOR CHINTPOWER LAR JUNSHIN (2017)

5. Características dos Equipamentos:

Os equipamentos utilizados tanto no sistema NEOVILLE quanto no LAR JUNSHIN foram importados e distribuídos pela ELCO Engenharia.

Os painéis Fotovoltaicos utilizados são do tipo policristalino, Modelo: ELCO-A300P com as características elétricas e mecânicas apresentadas na Figura 13.

CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS

Condições Padrões de Teste (*STC)	
Máxima potência	300W
Tensão de máxima potência	35,74V
Corrente de máxima potência	8,4A
Tensão de circuito aberto	45,16V
Corrente de curto-circuito	9,27A

*STC: Espectro de massa de ar 1.5, Irradiação de 1000W/m², Temperatura de célula 25°C

Temperatura Nominal de Operação da Célula (*NOCT)	
Máxima potência	209,5W
Tensão de máxima potência	32,63V
Corrente de máxima potência	6,42A
Tensão de circuito aberto	41,44V
Corrente de curto-circuito	7,17A

*NOCT: Espectro de massa de ar 1.5, Irradiação de 800W/m², Temperatura ambiente 20°C, Velocidade do vento 1m/s

CARACTERÍSTICAS MECÂNICAS

Célula (mm)	152,4x152,4 Policristalino
Dimensões (C x L x A)	1956x994x50 mm
Peso	23,5 kg
Bitola do cabo de conexão	4 mm²
Num. de células e conexões	72(6x12)
Num. de diodos	6

Coeficiente de Temperatura (Pm)	-0,451%/°C
Coeficiente de Temperatura (Voc)	-0,332%/°C
Coeficiente de Temperatura (Isc)	+0,087%/°C
Temperatura Nominal de Operação da Célula	46± 2°C
Tolerância de saída	0~5W

QUALIFICAÇÃO

Eficiência do módulo	15,4%
Tensão Máxima do Sistema	1000Vcc
Fusível Máximo em Série	15A
Carga Máxima	5400Pa

GARANTIA

Queda de 3%/ano da potência nominal de saída no 1º ano
Queda de 0,7%/ano da potência nominal de saída do 2º ao 25º ano
Livre de defeitos no material e manutenção por 10 anos

Figura 13: Características elétricas e mecânicas do painel fotovoltaico
Fonte: ELCO Engenharia (2016)

[3]* Devido ao fato do sistema JUNSHIN ter iniciado seus registros no dia 24/05/2016 não foram analisados os valores dos meses anteriores. E devido a um problema de comunicação não foram armazenados os dados entre os dias 17/10/2016 e 04/01/2017

O inversor utilizado em ambos os sistemas é o inversor de 10 kWp sem transformador Modelo: CPS SCA10KTL-DO da CHINT POWER com as características elétricas e mecânicas mostradas na Figura 14:

CARACTERÍSTICAS MECÂNICAS	
Dimensão [LxAxP]	500x680x216 mm
Peso	43 Kg
SISTEMA	
Topologia	Sem transformador
Máxima eficiência	98,6%***/98,3%
Eficiência Européia	98,2%***/97,9%
Stand-by / Consumo noturno	<20W / <0,3W
ENTRADA CC	
Potência nominal	10,3kW
Potência máxima para cada MPPT	6kW
Potência máxima	-
Tensão máxima	1000Vcc
Faixa da tensão de operação	250-950Vcc
Start-up Tensão / Potência	320V / 150W
Tensão nominal	600V
Número de rastreadores MPP	2
Faixa de tensão MPPT	430-800Vcc*/320-800Vcc
Corrente máxima	17A/MPPT
Corrente máxima por string	17A
Numéro de entradas CC	2x2
Tipo de desconexão CC	Interruptor incorporado
Configuração do arranjo PV	Flutuante

SAÍDA CA	
Potência nominal	10 kW
Potência máxima	10 kW
Tensão nominal	400Vca
Faixa de tensão de saída	320-460Vca*
Tipo de conexão com a rede	3ϕ/N/PE
Corrente máxima	15,2A
Frequência nominal	60Hz
Faixa de frequência de saída	47-53Hz/57-63Hz**
Fator de potência	>0,99 (±0,9 ajustável)
Corrente THD	<3%
Tipo de desconexão CA	-
AMBIENTE	
Grau de proteção	IP65
Resfriamento	Ventiladores de velocidade variável
Faixa de temperatura de operação	-25 °C até +60 °C
Humidade de operação	0-95%, sem condensação
Altitude de operação	4000m

Figura 14: Características elétricas e mecânicas do inversor
Fonte: ELCO Engenharia (2016)

6. Índices de Mérito UTFPR NEOVILLE X LAR JUNSHIN

6.1. Parâmetros de Cálculo:

Através do software Google Earth, foram verificadas as coordenadas dos locais de instalação dos dois sistemas apresentadas na Tabela 1e ilustradas na Figura 15. Também foi possível medir a distância entre as coordenadas dos dois sistemas, a qual resultou em aproximadamente 13km. A distância entre o Neoville e a estação do INMET é de aproximadamente 11km enquanto que a distância entre o Lar Junshin e a estação do INMET é de aproximadamente 8,5km:

Tabela 1 – Coordenadas geográficas

Sistema	Parâmetro	Valor
NEOVILLE	Latitude	25°30'16,55"S
	Longitude	49°19'5,75"W
LAR JUNSHIN	Latitude	25°23'24,2"S
	Longitude	49°17'0,6"W
ESTAÇÃO INMET	Latitude	25°26'55,3"S
	Longitude	49°13'50,2"W

Figura 15: Localização dos Sistemas Neoville, Junshin e Estação INMET
Fonte: Adaptado do Google Earth (2017)

Para se obter os valores de radiação incidentes no plano do painel fotovoltaico dos sistemas foi utilizado o software RADIASOL versão 2.1. Para que o software calcule a irradiação no plano do painel são necessários alguns parâmetros de entrada: a irradiação média diária mensal no plano horizontal e os ângulos de inclinação do painel e o desvio azimutal do norte geográfico. A tabela 2 apresenta os ângulos e a tabela 3 apresenta os índices de irradiação dos sistemas.

Tabela 2 - Ângulo de inclinação do painel e ângulo do desvio azimutal do norte geográfico

Sistema	Parâmetro	Valor
NEOVILLE	Ângulo do desvio azimutal do Norte	0º
	Ângulo de inclinação do painel	25º
LAR JUNSHIN	Ângulo do desvio azimutal do Norte	0º
	Ângulo de inclinação do painel	19º

Devido ao fato de as distâncias entre os sistemas fotovoltaicos e a estação de referência serem relativamente próximas, para ambos os casos, sistema NEOVILLE e sistema JUNSHIN, foram utilizados os valores de irradiação diária média no plano horizontal para os meses que serão considerados na análise, ou seja, os meses de abril de 2016 até abril de 2017, obtidos do site do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia), referentes à irradiação média diária para cada um desses meses em kWh/m².dia.

Também se pode notar, na tabela 3, que os valores de irradiação mínima e máxima no período analisado foram de 2,83 kWh/m².dia e de 6,47 kWh/m².dia para os meses de maio de 2016 e fevereiro de 2017 respectivamente.

Tabela 3 - Irradiação diária média no plano horizontal (kWh/m².dia)

Sistema	2016									2017			
	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr
NEOVILLE	4,72	2,83	3,65	4,11	4,02	5,92	4,35	6,16	6,11	5,31	6,47	4,70	4,18
LAR JUNSHIN	(*3)	2,83	3,65	4,11	4,02	5,92	4,35	(*3)	(*3)	5,31	6,47	4,70	4,18

A partir desses dados foram criadas duas novas estações no Radiasol, denominadas NEOVILLE 2016e NEOVILLE 2017(Figuras 16a e 16b) e outras duas chamadasJUNSHIN2016 e JUNSHIN2017(Figuras 17a e 17b).

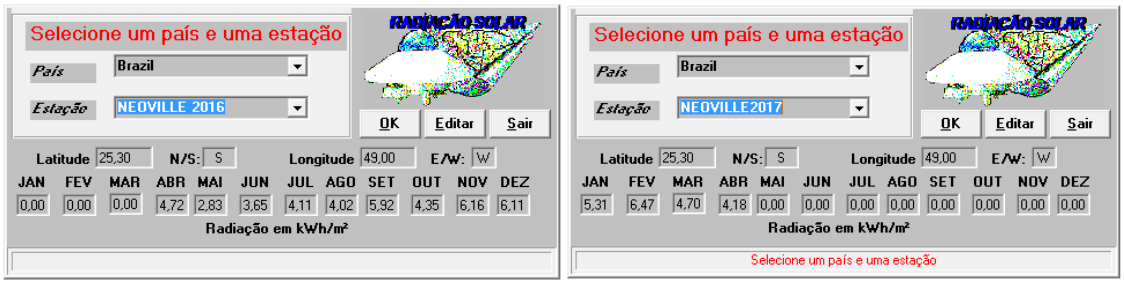
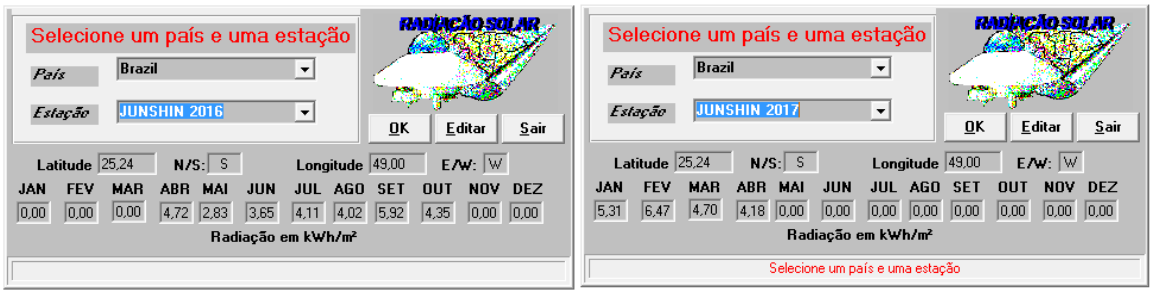


Figura 16: a) NEOVILLE 2016, b) NEOVILLE 2017 - Estações criadas no Programa Radiasol
Fonte: Os Autores (2017)



Figu

ra 17: a) JUNSHIN 2016, b) JUNSHIN 2017 - Estações criadas no Programa Radiasol
Fonte: Os Autores (2017)

As Figuras 18a e 18b mostram a interface do software e um gráfico de barras demonstrando os valores de irradiação diária média no plano dos painéis em relação aos meses do ano de 2016, de acordo com os dados inseridos para cada sistema. A tabela 4 expõe os valores calculados pelo programa para irradiação no plano do painel no período de análise.

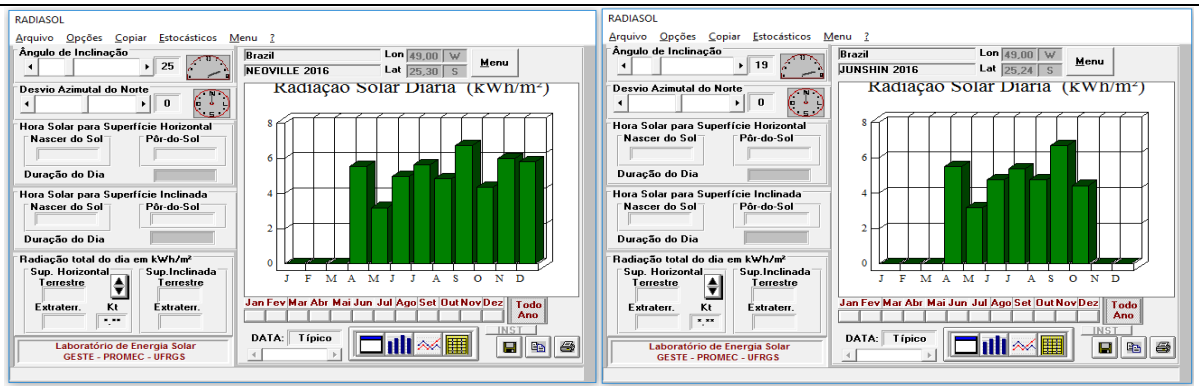


Figura 18: a) NEOVILLE 2016, b) JUNSHIN 2016 - Interface do Programa Radiasol
Fonte: Os Autores (2017)

Tabela 4 - Irradiação diária média no plano do painel (kWh/m² dia)

Sistema	2016									2017			
	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr
NEOVILLE	5,55	3,19	4,97	5,61	4,81	6,73	4,34	5,96	5,81	5,12	6,44	4,91	4,76
LAR JUNSHIN	(*[3])	3,17	4,76	5,36	4,74	6,68	4,41	(*[3])	(*[3])	5,25	5,59	4,96	4,74

De acordo com a Tabela 4, a partir do software RADIASOL obteve-se os valores de irradiação no plano do painel mínimos e máximos para o SFVCR do Neoville sendo de 3,19 kWh/m².dia no mês de maio de 2016, e de 6,73 kWh/m².dia para o mês de setembro de 2016 respectivamente. Para o SFVCR do Lar Junshin estes valores foram de 3,17 kWh/m².dia no mês de maio de 2016, e de 6,68 kWh/m².dia para o mês de setembro de 2017 respectivamente.

A Tabela 5 expõe os valores de energia gerada mensalmente obtidos na página do site de cada sistema conforme ilustrado nas Figuras 7 e 12 anteriormente apresentadas.

Tabela 5 - Energia total gerada por mês (kWh)

Sistema	2016									2017			
	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr
NEOV.	1332,1	755,2	944,9	1117,4	778,5	1234,5	1008,5	1132,3	1098,3	1187,8	1253,9	932,6	863,4
LAR JUNSHIN	(*[3])	106,5	684,9	900,8	853,4	1146,6	508,7	(*[3])	(*[3])	1026,2	1173,9	863,1	765,7

6.2. Cálculo do Yield ou Produtividade

A Tabela 6 demonstra os resultados obtidos para o índice de produtividade mensal do SFVCR.

Tabela 6 - Yield ou produtividade mensal (kWh/kW)

Sistema	2016									2017			
	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr
NEOV.	130,6	74,0	92,6	109,5	76,3	121,0	98,9	111,0	107,7	116,5	122,9	91,4	84,6
LAR JUNSHIN	(*[3])	10,4[(*4)]	67,1	88,3	83,7	112,4	49,9[(*4)]	(*[3])	(*[3])	100,6[(*4)]	115,1	84,6	75,1

6.3. Performance Ratio ou Taxa de Desempenho

A Tabela 7 demonstra os resultados obtidos para a taxa de desempenho mensal do SFVCR.

[4]* Pelo mesmo motivo a produção mensal em maio foi correspondente a apenas 8 dias. Em outubro devido a falhas de comunicação a produção mensal foi correspondente a apenas 17 dias em janeiro.

Tabela 7 - Taxa de desempenho mensal (%)

Sistema	2016									2017			
	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr
NEOV.	78,4	74,9	62,1	65,1	69,0(*5)	62,0(*5)	73,5	62,1	59,8	73,4	68,2	60,1	59,3
LAR JUNSHIN	(*3)	41,2(*4)	47,0	53,1	63,0(*5)	56,1	66,5(*4)	(*3)	(*3)	66,1(*4)	73,5	55,0	52,8

6.4. Fator de Capacidade

A Tabela 8 demonstra os resultados obtidos para o fator de capacidade mensal.

Tabela 8 - Fator de capacidade mensal (%)

Sistema	2016									2017			
	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr
NEOV.	18,1	10,0	12,9	15,2	13,8(*5)	17,4(*5)	13,3	15,4	14,5	15,7	18,3	12,3	11,8
LAR JUNSHIN	(*3)	16,3(*4)	9,3	11,9	12,5(*5)	15,6	12,2(*4)	(*3)	(*3)	14,5(*4)	17,1	11,4	10,4

6.5. Análise de Produção Energética:

Com os valores mencionados nas tabelas 3 e 4 podemos perceber que o ângulo de inclinação do painel de 25º para o sistema NEOVILLE melhora a captação da irradiação ao longo dos meses analisados, em média, 10,95%. Já para o sistema do LAR JUNSHIN podemos perceber que o ângulo de inclinação do painel de 19º melhora a captação da irradiação ao longo dos meses analisados, em média, 10,93%. Contudo, também é possível perceber que no sistema NEOVILLE, entre outubro e fevereiro houve um decréscimo de incidência de irradiação, médio de 2,48%, nestes meses, nos módulos inclinados se comparado com a incidência de irradiação no plano horizontal.

Considerando que uma residência com 3 moradores de médio padrão gaste em média 10kWh/dia, podemos chegar a uma correlação da produção energética dos sistemas NEOVILLE e LAR JUNSHIN com a demanda de casas padrão e com o número de dias de consumo correspondente em cada mês, como mostrado na Tabela9:

[5]* Nestes meses houveram dias com produtividade zero ou cujos dados não foram registrados e por isso foram abatidos do cálculo do PR.

Tabela 9: Correlação da produção energética com o consumo de casas padrão para os sistema NEOVILLE e LAR JUNSHIN

Meses	Energia gasta residência kWh/mês	Energia gerada NEOVILLE kWh/mês	Número casas NEOVILLE supriria	Energia gerada JUNSHIN kWh/mês	Número casas JUNSHIN supriria	Diferença %JUNSHIN X NEOVILLE
Abr/16	300,00	1332,10	4,44	(*3)	-	-
Mai/16	310,00	755,20	2,44	106,50(*4)	0,34	14,1
Jun/16	300,00	944,90	3,15	684,90	2,28	72,5
Jul/16	310,00	1117,40	3,60	900,80	2,91	80,6
Ago/16	310,00	778,50(*5)	2,51	853,40(*5)	2,75	109,6
Set/16	300,00	1234,50(*5)	4,12	1146,60	3,82	92,9
Out/16	310,00	1008,50	3,25	508,70(*4)	1,64	50,4
Nov/16	300,00	1132,30	3,77	(*3)	-	-
Dez/16	310,00	1098,30	3,54	(*3)	-	-
Jan/17	310,00	1187,80	3,83	1026,20(*4)	3,31	86,4
Fev/17	280,00	1253,90	4,48	1173,90	4,19	93,6
Mar/17	310,00	932,60	3,01	863,10	2,78	92,5
Abr/17	300,00	863,40	2,88	765,70	2,55	88,7
Total	3950,00	13639,40	45,02	8029,80	26,59	-

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os índices de mérito do SFVCR da UTFPR Neoville apresentaram valores adequados, e, semelhantes aos índices obtidos em outros sistemas conectados à rede em localidades próximas, como por exemplo, no caso do SFVCR do Escritório Verde da UTFPR. A média da produtividade (YELD) para os meses de abril de 2016 a abril de 2017 foi de 102,86 kWh/kWp, a taxa de desempenho (PR) média foi de 66,75% e o fator de capacidade (F_C) médio 14,50%. Para efeito de comparação, os valores médios desses mesmos índices, obtidos em 2012 para o EV da UTFPR, segundo Urbanetz e Casagrande, foram respectivamente: 95,3 kWh/kWp, 66,4% e 12,94%.

Quanto ao sistema do LAR JUNSHIN pode-se observar que a média da produtividade (YELD)para os meses de maio de 2016 a abril de 2017 foi de 78,72 kWh/kWp, a taxa de desempenho (PR)média foi de 57,44% e o fator de capacidade (F_C) médio 13,12%%. Contudo para que estes valores não fossem comprometidos, devido ao fato de que no mês de maio foram considerados apenas 8 dias, no mês de outubro apenas 17 dias e que no mês de janeiro de 2017 foram considerados apenas 29 dias de produção energética. E, portanto, desconsiderando-se estes três meses obteve-se 89,47 kWh/kWp de produtividade (YELD), a taxa de desempenho (PR)média foi de 57,24% e o fator de capacidade (F_C) médio 12,60%.

8. CONCLUSÕES

Através deste estudo foi possível perceber que apesar dos sistemas possuírem os mesmos tipos de equipamentos, com as mesmas características técnicas e considerando apenas os meses com base de dados na mesma condição entre os sistemas, conforme indicado em azul na tabela 9, que o Sistema NEOVILE produziu 11,5%mais energia que o sistema LAR JUNSHIN. Portanto, pode-se concluir que uma pequena diferença na inclinação do painel (nesse caso de apenas 6°) pode ser um dos fatores que impactam significativamente no desempenho do SFVCR.

Ainda assim, os índices obtidos em ambos os sistemas, comprovam que os SFVCR's operam de forma satisfatória. Contudo, esta análise poderá ser ainda mais precisa quando os SFVCR em questão tiverem maior tempo de operação e conseqüentemente uma maior base de dados válidos.

Cabe ressaltar que uma das características do SFVCR do Neoville é utilizar um inversor trifásico sem transformador em 380V, de alto rendimento e com eficiência de 98%. Tal tipo de inversor sem transformador tem menos perdas do que o inversor com transformador e em virtude disso, o rendimento do inversor sem transformador é superior aos inversores com transformador. Além do mais esses inversores são mais leves, mais compactos e usam componentes com mais tecnologia que os inversores com transformador. Essa é a principal tendência do mercado de energia fotovoltaica no que diz respeito aos inversores, ou seja, utilizar inversores sem transformador com o objetivo de aumentar a eficiência do sistema.

Por fim, o acompanhamento e análise do primeiro ano de operação do SFVCR da Neoville e do Lar Junshin em Curitiba confirma o fato de o sistema do Lar Junshin ser um sistema de alta confiabilidade (opera de forma ininterrupta desde sua instalação), no qual a geração de energia elétrica está em conformidade com os valores esperados, opera de forma limpa e silenciosa e não necessita de área adicional, visto que o painel fotovoltaico foi instalado sobre o telhado da edificação. Estas características fazem da geração fotovoltaica, a forma mais promissora de geração distribuída para o ambiente urbano.

REFERÊNCIAS

ANEEL: Agência Nacional de Energia Elétrica. Amplia Possibilidades Para Micro e Minigeração Distribuída, Brasília, 2015. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/noticias/Output_Noticias.cfm?Identidade=8955&id_area=90> Acesso em 14 mai. 2017.

BENEDITO, R. S., **Caracterização da Geração Distribuída de Eletricidade por Meio de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede, no Brasil, sob os Aspectos Técnico, Econômico e Regulatório**. Dissertação de Mestrado, USP, São Paulo, 2009.

ESCRITÓRIO VERDE ON LINE Disponível em: <http://www.escritorioverdeonline.com.br/o-que-e-o-escritorio-verde/> Acesso em 31 de maio de 2016.

JOVIC ENGENHARIA Disponível em: <http://joviceng.com.br/blog/category/energia-fotovoltaica/> Acesso em 31 de maio de 2016.

MACHADO, Karla Suzane Van-Dall; CORREA, Nicoli. **Análise do Desempenho de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede elétrica em Curitiba.** 61 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Elétrica), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2015.

MARIANO, Juliana D'Angela. **Análise do Potencial da Geração de Energia Fotovoltaica Para Redução dos Picos de Demanda e Contribuição Energética nas Edificações da UTFPR em Curitiba.** 194 p. Dissertação de Mestrado (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2017.

MONITOR CHINTPOWER UTFPR Disponível em: <http://monitor.chintpower.com/Terminal/TerminalMain.aspx?come=Public&pid=153> Acesso em 01 de maio de 2017.

MONITOR.CHINTPOWER LAR JUNSHIN Disponível em: <http://monitor.chintpower.com/Terminal/TerminalMain.aspx?come=Public&pid=99>Acesso em 01 de maio de 2017.

NEOSOLAR. Disponível em: <http:// http://www.neosolar.com.br/aprenda/saiba-mais/sistemas-de-energia-solar-fotovoltaica-e-seus-componentes > Acesso em 24 de abril de 2016.

PINHO, João T.; GALDINO, Marco A. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos.** CRESESB. 2014.

RÜTHER, R. **Edifícios Solares Fotovoltaicos: o potencial da geração solar fotovoltaica integrada a edificações urbanas e interligada à rede elétrica pública no Brasil**. 1. ed. Florianópolis: Editora UFSC - LABSOLAR, v. Único, 2004.

TIEPOLO, Gerson Máximo. Título: **Estudo do potencial de geração de energia elétrica através de sistemas fotovoltaicos conectados à rede no estado do Paraná.** Defesa: 17 de março de 2015. Total de folhas: 230 páginas. Tese Doutorado – Pontifícia Universidade Católica do Paraná. Rua Imaculada Conceição,1155 – Prado Velho.

TONIN, F. S., URBANETZ JR, J. **"Caracterização de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica – SFVCR"**. INDUSCON 2016, Curitiba;

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.** - Florianópolis, SC, 2010.

URBANETZ JR, J., CASAGRANDE JR, E. F., **"Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede Elétrica do Escritório Verde da UTFPR",** VIII Congresso Brasileiro de Planejamento energético (VIII CBPE), Curitiba, agosto de 2012.

URBANETZ JUNIOR, Jair; CASAGRANDE JUNIOR, Eloy; TIEPOLO, Gerson M. **Acompanhamento do desempenho do sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica do escritório verde da UTFPR**. IX Congresso Brasileiro de Planejamento Energético. 2014