

A CONTRIBUIÇÃO ENERGÉTICA E A REDUÇÃO DOS PICOS DE DEMANDA DOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE DA UTFPR EM CURITIBA

Juliana D'Angela Mariano – julianadangela@gmail.com

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil

Jair Urbanetz Junior – urbanetz@utfpr.edu.br

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Programas de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Sistemas de Energia

4.3 Aspectos técnicos de sistemas de sistemas fotovoltaicos instalados

Resumo. As "transições de sustentabilidade" viabilizam e diversificam a mudança na matriz elétrica mundial através da aplicação de novos sistemas de energia renovável, que apresentam emissões reduzidas, como por exemplo, energia solar fotovoltaica (FV). Além disso, essa fonte de energia está cada vez mais presente na matriz energética mundial, seja pela aplicação de usinas FV de grande porte ou usinas geradoras de mini e microgeração incorporada às edificações, atuando como geração distribuída inserida no meio urbano. Neste sentido, este trabalho tem por objetivo contribuir com redução da demanda, com a eficiência energética, por meio da utilização da geração FV na UTFPR – câmpus Curitiba. A metodologia consiste na análise dos parâmetros de irradiação local coletados por meio do portal do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), do Atlas Brasileiro de Energia Solar para aplicação do software Radiasol. Por sua vez, efetuou-se o estudo do perfil de cargas da instituição, a fim de identificar os momentos de maiores consumo e demanda por energia elétrica. A análise das coberturas possibilitou o levantamento de áreas disponíveis e análise de sombreamento, e através dos dados gerados pelos Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede (SFVCR) presentes nas sedes Centro e Neoville foram elaborados cenários, objetivando a contribuição energética do câmpus. Por fim, foram calculados os níveis de penetrações energéticos, bem como o fator efetivo de capacidade de carga, quantificando o aumento da capacidade da rede elétrica atribuída à geração FV. Os resultados obtidos mostram que a instituição apresenta um vasto potencial para a geração FV, sendo que a instituição poderia alocar um sistema com potência instalada total de 2,65 MW, e gerar um total anual de energia elétrica de 3,59 GWh. Com relação ao nível de penetração energético total calculado, obteve-se 450,16%, o que significa a ocorrência de injeção do excedente de energia elétrica fotogerada na rede.

Palavras-chave: Potencial Fotovoltaico, Contribuição Energética, Geração de Energia.

1. INTRODUÇÃO

No setor energético, as transições de sustentabilidade vêm ocorrendo desde o século anterior, quando a preocupação em alcançar o desenvolvimento sustentável se fez presente. Essas transições de energia exigem um longo período para sua aplicação, e se referem a uma mudança de larga escala para uma combinação de diferentes fontes energéticas primárias. Desse modo, o processo de transição envolve também diversos sistemas de fornecimento de eletricidade que compõem a matriz energética como um todo (Maurin, 2016).

Devido à complexidade desses sistemas de energia, seus critérios de escolha nem sempre ofereceram dimensões tão abrangentes. É possível recordar, ao longo da história, que essa escolha era pautada em apenas dois critérios cruciais: a disponibilidade técnica e viabilidade econômica. Somente nas últimas décadas que o critério ambiental tem sido levado em conta, e esse novo fator já desempenha um papel fundamental quando se trata de avaliar e comparar diferentes fontes de energia e tecnologias para o sistema elétrico do país (Barros *et al.*, 2015).

Inserido nos critérios ambientais, está a preocupação com as reduções nas emissões dos Gases de Efeito Estufa (GEE's), que particularmente pressiona o ritmo lento das transições de sustentabilidade. Moreira *et al.*, (2015) afirmam que no Brasil, a preocupação com a transição a partir da aplicação de diversas alternativas renováveis é enfatizada para diversificação da matriz. Entretanto, a sua implementação enfrenta dificuldades devido à falta de consenso desencadeada por várias questões, geralmente relacionadas à sustentabilidade, retardando a aprovação de licenças e construção de novos projetos.

Neste sentido, superar desafios de sustentabilidade e alcançar a transição de energia, por meio do desenvolvimento de recursos renováveis e reduzir as emissões dos GEE's na geração de energia elétrica, é tarefa no âmbito mundial. As energias renováveis viabilizam a transição de sustentabilidade na geração de energia elétrica, e devem estar cada vez mais presentes na matriz energética mundial. Hossain *et al.*, (2016) destacam a existência de diversas fontes alternativas de energias renováveis disponíveis no mundo, como a hidroeletricidade, eólica, solar, biomassa, geotérmica e energia provenientes dos oceanos sendo que a maioria delas apresentam sua fonte primária gratuita e abundante na superfície ou no interior da terra.

Dentre as fontes renováveis citadas, a energia solar FV apresenta destaque peculiar, pois é a mais abundante, inesgotável e limpa de todas as formas de energia renovável. A potência emitida pelo Sol que é interceptada pela Terra é cerca de $1,8 \times 10^{11}$ MW, o que é muitas vezes maior do que a taxa atual da demanda energética mundial (Parida *et al.*, 2011). Logo, a energia solar FV é uma das formas mais elegantes de gerar potência elétrica (Rüther, 2004).

Portanto, a possibilidade de geração de energia elétrica empregando módulos FV pode contribuir de forma significativa com a redução de emissões e conservação do meio ambiente. Além da aplicação em usinas geradoras de energia elétrica, os módulos FV podem ser instalados em edifícios, edificações residenciais, regiões isoladas, indústrias e comércios, possibilitando a integração da geração ao ponto de consumo (Urbanetz Jr, 2010).

Diversas instituições de ensino e pesquisa, bem como as universidades, estão constantemente envolvidas na resposta às novas exigências da sociedade e organizações interessadas. Sob tal perspectiva, é possível supor que estas instituições estão engajadas a dar continuidade à transformação e adaptação de suas estruturas, funções e governança de acordo com as mudanças sociais, ambientais e desafios econômicos deste século (Beynaghi *et al.*, 2016).

Neste sentido, seguindo a proposta de ações para o desenvolvimento sustentável, diversas estratégias foram adotadas pela UTFPR com a construção do Escritório Verde (EV) no ano de 2011, em um dos blocos da sede Centro da UTFPR - Câmpus Curitiba, que concentra a maior parte dos alunos atualmente. Essa edificação é modelo em sustentabilidade, e dentre as diversas estratégias, o EV apresenta um SFVCR operando desde sua inauguração até a presente data de forma ininterrupta tendo acompanhamento contínuo (Casagrande *et al.*, 2012). O SFVCR do EV na sede Centro da UTFPR (Fig. 1a) tem uma potência instalada de 2,1 kWp (10 módulos KYOCERA de tecnologia de silício policristalino, modelo KD210GX-LP ligados em série) e um inversor monofásico em 220V de 2 kW de potência nominal (PVPOWERED modelo PVP2000). O sistema entrou em operação em 14 de dezembro de 2011. A área ocupada na cobertura da edificação para esse painel é de apenas 15 m² e está instalado junto ao telhado com 15° de ângulo de inclinação e 22° de desvio azimutal para o oeste (Urbanetz Jr *et al.*, 2014) (Urbanetz Jr *et al.*, 2015).

Em 29 de fevereiro de 2016, entrou em operação o segundo SFVCR (Fig. 1b) instalado na sede Neville da UTFPR - Câmpus Curitiba, que está em fase gradativa de ocupação. O sistema FV foi cedido pela empresa Elco Engenharia e apresenta potência instalada total de 10,2 kWp, sendo constituído de 2 conjuntos de 17 módulos FV ligados em série, modelo: ELCO-A300P, totalizando 34 módulos de silício policristalino de 300 Wp em cada módulo. A área ocupada na cobertura da edificação para esse painel é de aproximadamente 68 m² e está instalado acima do telhado com estrutura metálica seguindo as condições ótimas de operação, 25° de ângulo de inclinação e com desvio azimutal igual a 0°. Quanto ao inversor empregado no sistema é da marca Chint Power, padrão trifásico e sem transformador em 380 V de alto rendimento, modelo: CPS SCA 10KTL-DO e potência nominal de saída de 10 kW (Urbanetz Jr *et al.*, 2016).



Figura 1 – Vista dos Painéis do EV e do Inversor - Sede Centro (a) e do SFVCR e do Inversor – Sede Neville (b)
Fonte: Urbanetz Jr *et al.* (2014), Mariano *et al.* (2016) (Urbanetz Jr *et al.*, 2016).

O objetivo desse estudo é realizar uma análise de ampliação desses sistemas apresentados, a fim de se verificar e quantificar os níveis de redução de picos de demanda e contribuição energética, e como isso espera-se obter uma geração superior à demanda consumida, podendo reduzir consumo nas outras sedes. Consequentemente, a partir dos dados de produção e desempenho desses sistemas, é possível projetar cenários e prever o comportamento e funcionamento quanto a ampliação do SFVCR's presentes nas sedes Centro e Neville da UTFPR – Câmpus Curitiba.

2. METODOLOGIA

O estudo da viabilidade da ampliação dos SFVCR's existentes, contemplou diversas etapas descritas a seguir. Neste sentido, a primeira etapa refere-se ao levantamento do recurso solar, que foi feito através do Atlas Brasileiro de Energia Solar (Pereira *et al.*, 2006), o qual apresenta valores de irradiação solar para o plano horizontal para a longitude e latitude do local, já que o ano analisado para este estudo foi 2016 é trata-se de dados obtidos na dissertação de Mariano (2017).

No entanto, como o SFVCR da sede Centro se encontra instalado seguindo a inclinação do telhado e diferente das condições ótimas de operação, conforme mostrado na Fig. 1, é necessário realizar a correção da irradiação solar incidente no plano do módulo. Para isso geralmente podem ser utilizados programas específicos, que estimam a irradiação solar mensal e anual, como por exemplo, o Radasol (UFRGS, 2016), desenvolvido pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Este programa é 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 (Fig. 2), inclinação e orientação dos módulos, assim possibilitando o cálculo da energia mensal e anual (UFRGS, 2016).



Figura 2 - Radasol com Valores de Irradiação no Plano Horizontal da Sede Centro da UTFPR (Mariano (2017)).

Em seguida, obteve o critério de escolha dos dias típicos para análise de consumo e demanda, adotando-se os dias típicos de irradiação, através de dados meteorológicos do INMET (INMET, 2016) no ano de 2016 e que coincidiram com os dias letivos na universidade. Cabe ressaltar que esta análise contemplou a análise de todos os dias do ano, com coleta de dados a cada hora para o ano de 2016, em que foram selecionados os meses de março (mês mais próximo do verão e dentro do calendário letivo) e o mês de junho (mês mais próximo do inverno e dentro do calendário letivo), conforme Fig. 3.

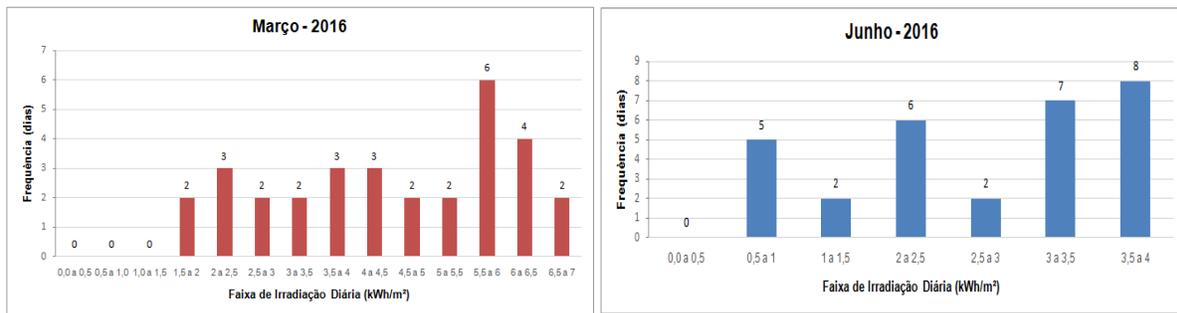


Figura 3 - Histograma para o mês de março/2016 (a) e junho/2016 (Mariano (2017)) (b).

Com a aplicação dos histogramas mostrados na Figura 4, identificou-se a faixa de valor de irradiação que apresentou maior predominância, ou seja, frequência de dias que os valores ocorreram. Após essa análise, partiu-se para a busca dos dias típicos desses meses que melhor refletisse essa faixa de irradiação média descartando finais de semana e feriados (Mariano (2017)).

Assim, foi realizado a análise das áreas de cobertura, ou seja, telhados e locais disponíveis para alocação dos módulos fotovoltaicos na sede Centro e Neville realizada mediante a avaliação das plantas baixas disponibilizadas pelo Departamento de Projetos (DEPRO) da UTFPR campus Curitiba e levantamento *in loco*, visando também evitar o comprometimento estético da edificação, e ao mesmo tempo determinar o potencial fotovoltaico do campus.

Além disso, em posse das plantas baixas, estas foram inseridas no arquivo do *Sketch Up*, que além das áreas dos blocos da sede Centro e Neville, obtiveram-se suas respectivas alturas *in loco*, para a elaboração das plantas em 3D no software *Sketch Up*. Com isso, puderam-se simular horários em que o sol pode interferir no sombreamento tanto dos blocos quanto das edificações adjacentes presentes no local.

Com isso, foi possível realizar o dimensionamento do SFVCR, que pode ser iniciado a partir da área disponível e da área dos módulos fotovoltaicos, conforme Eq. (1) (Pinho e Galdino, 2014).

$$N_{mód} = \frac{Área_{disp}}{Área_{mód}} \quad (1)$$

Onde: $N_{mód}$: número de módulos; $Área_{disp}$: área disponível; $Área_{mód}$: área de módulos adicionada à área de espaçamento evitando sombreamento entre as fileiras.

A partir da potência do módulo e sua quantidade é possível calcular o valor da potência de pico instalada do painel ou arranjo, conforme Eq. (2) (Pinho e Galdino, 2014).

$$PFV = P_{mód} \times N_{mód} \quad (2)$$

Onde: P_{FV} : potência fotovoltaica de pico instalada (Wp); $P_{mód}$: potência dos módulos; $N_{mód}$: número de módulos.

Obtidos os valores de irradiação diários médios mensais no plano do painel fotovoltaico, estima-se a geração diária média de energia elétrica através da Eq. (3) (Pinho e Galdino, 2014).

$$E = \frac{P_{FV} \times H_{TOT} \times PR}{G} \quad (3)$$

Onde: E: energia elétrica diária média (Wh/dia); P_{FV} : potência fotovoltaica de pico instalada (Wp); H_{TOT} : irradiação solar diária média mensal para a localidade em questão (Wh/m².dia); PR: Taxa de Desempenho ou *Performance Ratio*, tipicamente entre 70 e 80% (75% para esta análise); G: irradiância nas Condições Padrão de Teste (1.000 W/m²).

A partir dos valores mensais de energia elétrica produzida pelos SFVCR's calculados na Eq. (3), é possível analisar a contribuição dos geradores fotovoltaicos propostos, em relação a energia produzida e sobrepondo a curva de potência fotogerada com a curva de demanda, possibilitando identificar a possível contribuição na redução do pico de demanda (Mariano (2017).

Para a coleta de dados referentes ao consumo e demanda de energia, ou seja, memórias de massa dos medidores de energia elétrica da UTFPR – Câmpus Curitiba, utilizou-se a plataforma denominada CAS Hemera (Telemedição, 2016).

Em termos de redução do consumo energético, um parâmetro para análise dos resultados será o Nível de Penetração Energético (NPE), calculado conforme a Eq. (4).

$$NPE = \frac{E_{FV}}{E_{SE}} \times 100 \quad (4)$$

Onde: E_{FV} : Energia gerada pelo sistema fotovoltaico, ao longo de um dia ou ano (MWh); E_{SE} : Energia consumida pela Unidade Consumidora (UC) em estudo, ao longo de um dia ou ano (MWh).

Para o cálculo da energia gerada pelo sistema fotovoltaico, ao longo de um dia (MWh), utiliza-se a Eq. (5).

$$E_{FV} = P_{FV} \times H_{TOT} \times 365 \times PR \quad (5)$$

Onde: E_{FV} : Energia gerada pelo sistema fotovoltaico, ao longo do ano, GWh; P_{FV} : Potência fotovoltaica de pico, (MWp); H_{TOT} : irradiação solar diária média anual para a cidade de Curitiba (Wh/m².dia); PR: *Performance Ratio* ou taxa de desempenho do sistema, considerada igual a 0,75.

O parâmetro aplicado para análise da redução de demanda é análise do Fator Efetivo de Capacidade de Carga (FECC), que consiste em subtrair do pico da curva de demanda deste dia o pico da curva equivalente à demanda do alimentador em questão quando são inseridos os SFVCR, e logo após dividir este valor pela capacidade nominal instalada do SFVCR, como é apresentado na Eq. (6) (Rebecchi, 2008).

$$FECC = \frac{P_{DMAX} - P_{DMAXFV}}{P_{FV}} \times 100 \quad (6)$$

Onde: FECC: Fator Efetivo de Capacidade de Carga, %; P_{DMAX} : Potência demandada máxima no dia sem a contribuição fotovoltaica; P_{DMAXFV} : Potência demandada máxima no dia com a contribuição fotovoltaica; P_{FV} : Potência fotovoltaica de pico (MWp).

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Como premissa inicial, obteve-se os valores de irradiação para o plano inclinado, respeitando o alinhamento predial na sede Centro que apresenta um desvio azimutal de 22° para o oeste. Quanto ao ângulo de inclinação dos módulos fotovoltaicos, foram simulados valores entre 20° à 30°, onde o ângulo de 23° resultou o melhor valor de irradiação anual. Na Tab. 1 são mostrados estes valores, obtidos no programa Radasol.

No caso da sede Neville, optou-se pela análise considerando a instalação do SFVCR nas condições ideais de operação, ou seja, a inclinação dos módulos fotovoltaicos a 25° e orientação para o norte geográfico de 0°, devido a sede Neville apresentar extenso espaço para aplicação destes sistemas. Na Tab. 1 são mostrados estes valores, obtido no Atlas Brasileiro de Energia Solar.

Tabela 1 - Dados de Irradiação no Plano Inclinado

Irradiação Plano Inclinado (Radasol) para a Sede Centro – kWh/m ² .dia														
ÂNG.	DES.	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	ANUAL
23°	22°(O)	5,53	5,46	5,27	4,51	3,74	3,67	3,88	4,82	4,56	5,10	5,84	5,72	4,84
Irradiação Plano Inclinado (Atlas) para a Sede Neville – kWh/m ² .dia														
ÂNG.	DES.	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	ANUAL
25°	49°	5,14	5,33	5,58	4,92	4,48	4,48	4,26	5,31	4,93	5,00	5,48	5,17	4,98

Na Tab. 2 são apresentados os dias típicos selecionados com seus respectivos valores de irradiação, provenientes da análise dos histogramas apresentados na Fig. 3. Como resultado da metodologia proposta, obteve-se os dias 17/03/2016 para o dia típico de irradiação máxima e o dia 15/06/2016 o dia típico de irradiação mínima. Conforme descrito na secção anterior, estes dias deveriam representar o valor médio dentro da faixa de irradiação do mês analisado com maior frequência descartando finais de semana e feriados.

Tabela 2 - Dias Típicos Selecionados

Data	Irradiação	Irradiação Diária (kWh/m ² .dia)
17/03/2016	Típica	5,75
15/06/2016	Típica	3,83

A partir das plantas baixas em AutoCad disponibilizadas pelo DEPRO, aplicou-se o *software Sketch Up* para esta análise onde foram simulados os horários com disponibilidade de irradiação solar, no período do verão, equinócio e inverno e optou-se pelos seguintes horários: 6:00, 9:00, 11:00, 13:00, 15:00 e as 18:00 horas respectivamente. Assim, obtiveram-se 3 medições para o turno da manhã e 3 para o turno da tarde. Na Fig. 4 são mostradas essas simulações para a sede Centro e Neville (Mariano, 2017).

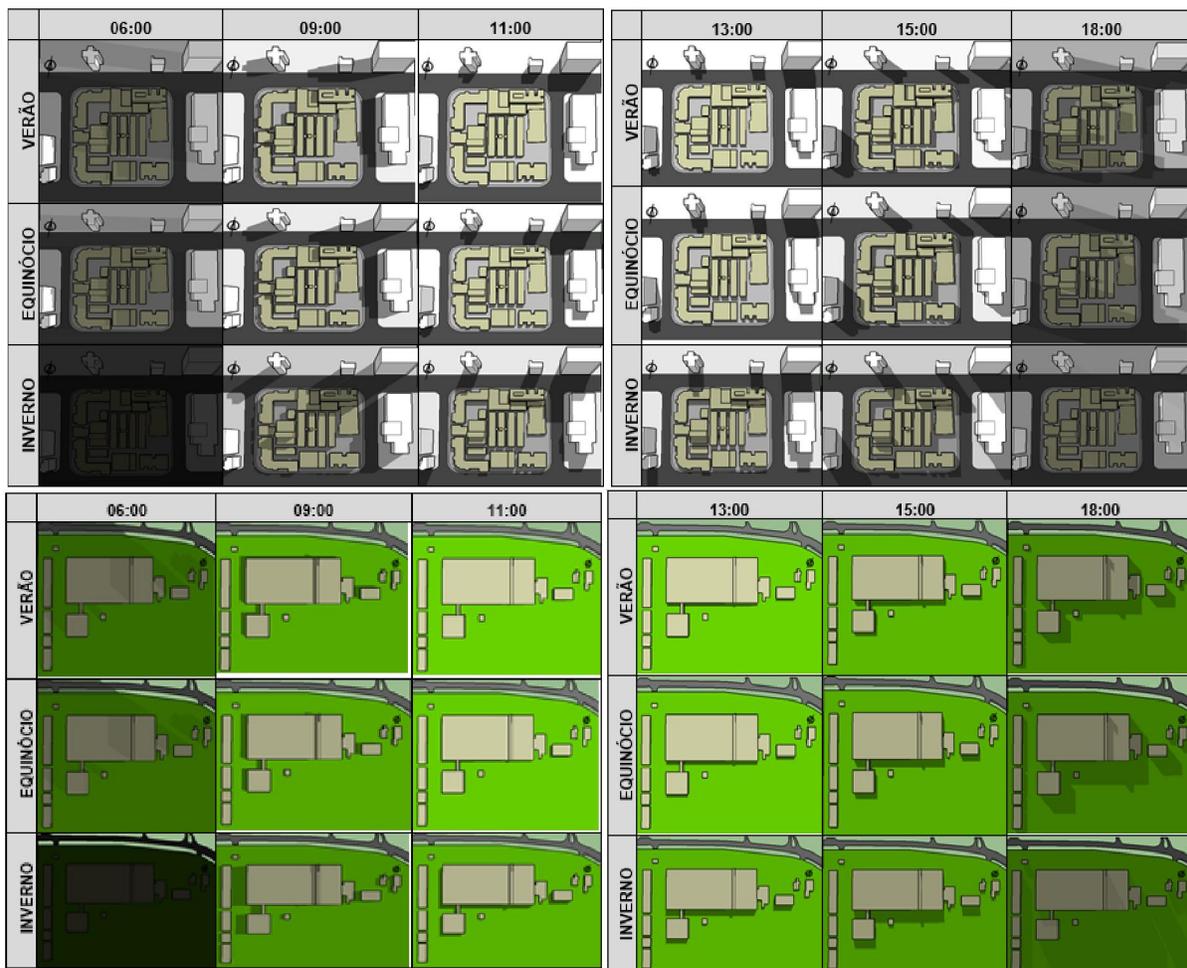


Figura 4 - Análise de Sombreamento da Sede Centro (a) e da Sede Neville (b)

A partir da análise de sombreamento realizada na sede Centro, identificaram-se os blocos mais adequados para a aplicação de módulos fotovoltaicos sendo: A, B, C, D, L, T e Q, conforme indicados na Fig. 5a, pois estes apresentam suas coberturas com pouca inclinação e sem sombreamento por edificações adjacentes ou vegetações. Assim, a área total dos blocos escolhidos para implantação do SFVCR é de aproximadamente de 6.500 m², conforme Fig. 5a.

Na Fig. 5b são mostrados os blocos mais adequados para a aplicação de módulos fotovoltaicos sendo: 1A, 2, 3, 4A e 4B, 5, 7, 8, 9 e 10 selecionados após a análise de sombreamento, excluindo áreas atingidas por sombras de edificações e vegetações. Assim, a área total dos blocos escolhidos para implantação do SFVCR é de aproximadamente de 21.000 m².



Figura 5 - Áreas de Coberturas Selecionadas da Sede Centro (a) e da Sede Neville (b)

Para o dimensionamento do SFVCR's propostos, optou-se pelo módulo fotovoltaico da Hareon Solar, com potência 330 Wp, cujas especificações são as mesmas da atualização do módulo utilizado no SFVCR no Neville, o qual apresenta uma área de 1,94m². Entretanto, é necessário acrescentar a área de espaçamento, ou seja, a distância entre módulos, a fim de evitar o sombreamento entre as fileiras (1,65m²), chegando-se a uma área total requerida por módulo de 3,45 m², (área do módulo + espaçamento). Dessa forma aplicou-se a Eq. (1), obtendo-se o número de módulos igual a 1.957 para a Sede Centro e de 6.086 para a Sede Neville.

$$N_{\text{mód}} = \frac{6.500 \text{ m}^2}{3,32 \text{ m}^2} = 1.957 \qquad N_{\text{mód}} = \frac{21.000 \text{ m}^2}{3,45 \text{ m}^2} = 6.086$$

Com a quantidade de módulos é possível calcular a potência do gerador fotovoltaico aplicando-se a Eq. (2), obtendo-se uma potência instalada de 645,81 kWp para a Sede Centro e de 2.008,38 kWp para a Sede Neville.

$$P_{FV} = 330 \times 1.967 = 645,81 \text{ kWp} \qquad P_{FV} = 330 \times 6.086 = 2.008,38 \text{ kWp}$$

Logo, com os valores da potência instalada, irradiação média anual obtida no Radiasol e no Atlas para o plano inclinado e Performance Ratio de 0,75 é possível estimar, através da Eq. (3), os valores de geração média de energia elétrica mensal e anual descritos em MWh na Tabela 3.

$$E = \frac{645,81 \times 4,84 \times 0,75}{1} = 2.344,29 \text{ kWh / dia} \qquad E = \frac{2.008,38 \times 4,98 \times 0,75}{1} = 7.501,30 \text{ kWh / dia}$$

Tabela 3 - Geração Média de Energia Mensal e Anual

Geração de Energia Elétrica (MWh)													
Mês	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	ANUAL
Centro	83,03	74,05	79,13	65,53	56,16	53,33	58,26	72,37	66,26	76,58	84,86	85,89	855,67
Neville	240,01	224,80	260,56	222,33	209,19	202,44	198,92	247,95	222,78	233,47	247,63	241,41	2.737,97

A análise proposta possibilitou a determinação do potencial para geração fotovoltaica da sede Centro e Neville da UTFPR, resultando em um sistema aproximadamente 307,5 e 196,9 vezes, respectivamente, maiores que os SFVCR's existentes. Com base nesse resultado, é proposto um cenário de ampliação do sistema existente na sede, extrapolando os valores de potência obtidos nos dias elencados para a análise.

Na Tab. 4 são mostrados os dados de consumo destas sedes, bem como o total de energia fotogerada considerando a potência instantânea dos inversores dos SFVCR's (aumentado em 307,5 e 196,5) instalados nestas sedes e os respectivos percentuais de redução energéticos para os dias elencados para a análise, onde o mês de março apresentou maior potencial de redução de energia em geral, devido à maior disponibilidade de irradiação solar.

Tabela 4 - Consumo, Energia Fotogerada e Percentual de Redução

Sede	Data	Consumo Diário Total (kWh)	Total de Energia Fotogerada (kWh)	Percentual de Redução (%)
Centro	17/03/2016	41.328	2.387	5,8%
	15/06/2016	36.676	2.085	5,7%
Neville	17/03/2016	2.012	9.698	482,0%
	15/06/2016	2.001	9.160	457,8%

De acordo com os dados de calculados para os dias elencados presentes na Tab. 4, nota-se que o percentual de redução de energia elétrica para a sede Centro é reduzido e equivalente. Ressalta-se que esses resultados são justificados pelo motivo desta sede apresentar o maior consumo devido a maior concentração de alunos conforme descrito na seção 1. Por outro lado, os resultados calculados para a sede Neville, mostram uma redução de consumo de energia elétrica muito elevada, devido a esta sede ter um baixo consumo e uma vasta área disponível para ampliação do SFVCR existente.

Na Fig. 6 são mostradas as curvas de demanda da sede Centro da UTFPR para os dias selecionados, obtida na plataforma CAS Hemera. Conforme os gráficos gerados pela plataforma CAS Hemera, a demanda fornecida pela COPEL, medida na da sede Centro apresentou valor de pico de demanda por energia elétrica às 16:00 horas, registrado valor de 2.846 kW no dia 17/03/2016. Já para um dia de irradiação típica de junho, o horário de maior demanda ocorreu também às 16:00 horas registrando uma potência de 2.340 kW no dia 15/06/2016.

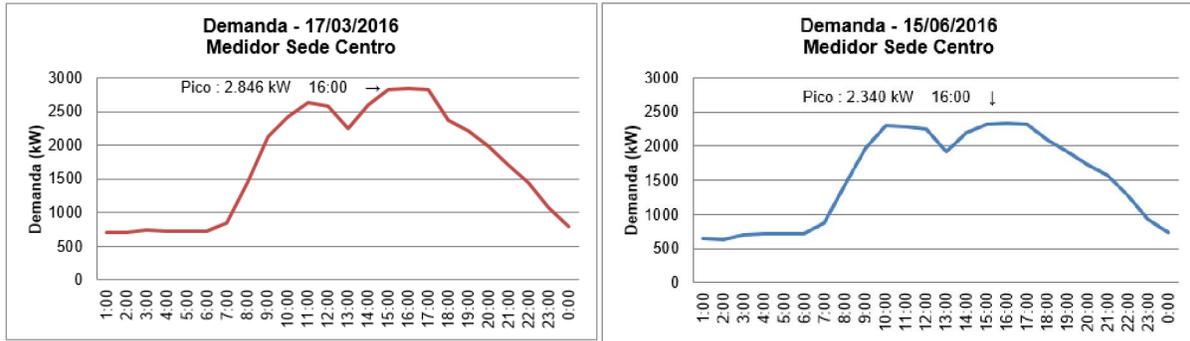


Figura 6 - Curvas de Demanda dos Dias Típicos na Sede Centro

Na Fig. 7 são mostradas as curvas de demanda da sede Neville da UTFPR, que apresentou valor de pico de demanda por energia elétrica às 06:00 horas, registrado valor de 145 kW no dia 17/03/2016. Já para um dia de irradiação típica de junho, o horário de maior demanda ocorreu às 08:00 horas registrando uma potência de 118 kW no dia 15/06/2016.

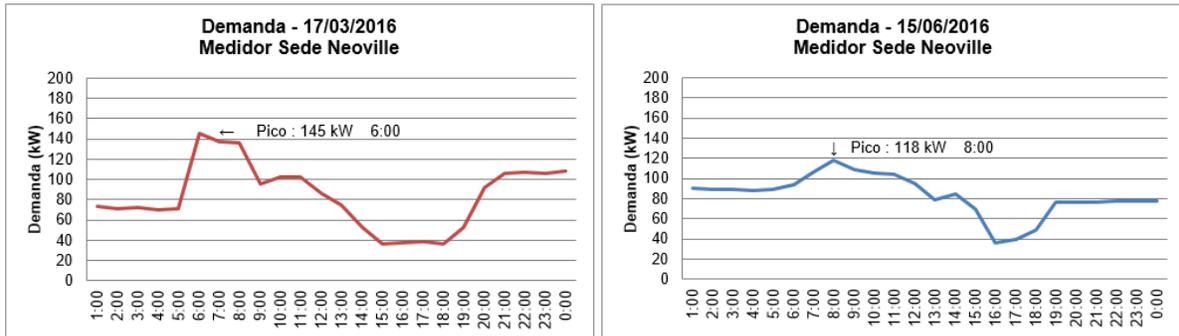


Figura 7 - Curvas de Demanda dos Dias Típicos na Sede Neville

Na Fig. 8 é apresentado o comportamento da demanda que seria observada na sede Centro no dia 17/03/2016 e 15/06/2016 considerando a existência do SFVCR de 645,81 kWp proposto.

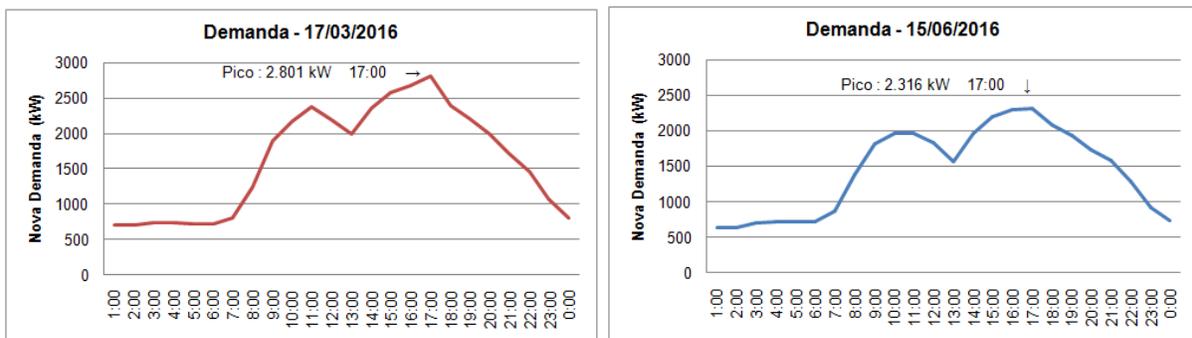


Figura 8 - Nova Curva de Demanda Dias Típicos na Sede Centro

Obteve-se a sobreposição das curvas de demanda fornecida com a potência calculada, resultando em uma considerável alteração no comportamento da demanda ao longo do dia. Neste sentido, é observado também a possibilidade de ocorrência de deslocamento do pico de demanda de energia na rede elétrica local no período das 17:00 respectivamente.

Na Fig. 9 é apresentado o comportamento da demanda que seria observada na sede Neville no dia 17/03/2016 e 15/06/2016 considerando a existência do FVCR de 2.008,38 kWp proposto.

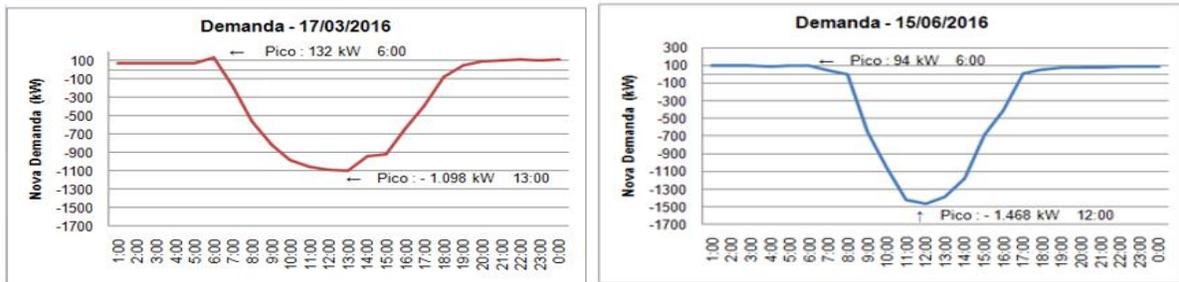


Figura 9 - Nova Curva de Demanda Dias Típicos na Sede Neville

A energia total consumida na sede Centro no ano de 2016 foi de 6.442,28 MWh e a energia gerada por um SFVCR de 645,81 kWp, seria de 855,67 MWh. Enquanto que a energia total consumida na sede Neville no ano de 2016 foi de 626,70 MWh e a energia gerada por um SFVCR de 2.008,38 kWp, seria de 2.737,97 MWh. Aplicando-se parâmetros de análise através do cálculo do Nível de Penetração Energético (NPE), Eq. (4).

$$NPE = \frac{855,67}{6.442,28} \times 100 = 13,28\% \quad NPE = \frac{2.737,97}{626,70} \times 100 = 436,88\%$$

Logo, a partir da aplicação desta equação obteve-se um NPE de 13,28% para a sede Centro e 436,88% de redução de energia elétrica para a sede Neville com a implantação de um SFVCR de 645,81 kWp e 2.008,38 kWp respectivamente.

Para análise dos dias escolhidos no que se refere à redução dos picos de demanda, utilizou-se a Eq. (6) e seus resultados são apresentados na Tab. 5.

Tabela 5 - Cálculo do FECC Para a Sede Centro e Neville

Fator Efetivo de Capacidade de Carga (645,81 kWp)				
Sede	Dia	Demanda	Nova Demanda	FECC (%)
Centro	17/03/2016	2.846	2.802	6,8
	15/06/2016	2.340	2.316	3,7
Neville	17/03/2016	145	132	0,7
	15/06/2016	118	94	1,2

De acordo com os dados apresentados na Tab. 5, nota-se que a redução máxima dos picos de demanda na sede Centro ocorre no dia 17/03/2016, resultando em um FECC de 6,8%. Entretanto no dia 15/06/2016, essa redução ocorre, mas em menor proporção com apenas 3,7%. Para a Sede Neville, nota-se que a redução máxima dos picos de demanda ocorre no dia 15/06/2016, resultando em um FECC de 1,2%. Entretanto no dia 17/03/2016, devido ao pico de demanda ter ocorrido no horário em que não há contribuição energética do SFVCR proposto, a redução é reduzida.

4. CONCLUSÕES

O presente estudo contribui com as transições de sustentabilidade, mediante a aplicação de novos sistemas de energia, através da identificação do potencial de geração fotovoltaica no câmpus. Os aspectos de contribuição energética e redução nos picos de demanda foram analisados, sob cenários de proposta de ampliação dos SFVCR existentes nas Sedes Centro e Neville.

Por meio da metodologia proposta, identificou-se que a Sede Centro comporta um SFVCR com potência instalada de 645,81 kWp, o que representa uma potência aproximadamente 307,5 vezes maior que o SFVCR de 2,1 kWp existente nesta sede. Com relação ao NPE, obteve-se um nível de 13,28% de redução de energia com implantação do SFVCR proposto, e a partir da escolha dos dias típicos identificou-se o FECC variando de 3,7% a 6,8% na redução de pico de demanda, dependendo da condição de irradiação solar disponível para o dia selecionado.

Cabe ressaltar que o cenário proposto utilizou o perfil de potência disponibilizada pelo SFVCR de 2,1 kWp existente na sede centro da UTFPR, e em operação desde dezembro de 2011. Como a proposta dessa pesquisa adotou metodologias que permitem maior ganho na geração FV, mediante análises de sombreamento e aplicação de tecnologias mais eficientes de conversão, como por exemplo, aplicação de inversores de alto rendimento e módulos FV com maior eficiência, certamente a curva de geração FV apresentaria maior intervalo de aproveitamento solar. Logo o SFVCR de 645,81 kWp proposto efetivamente provocará alteração no perfil da curva de demanda da universidade conforme demonstrado nos dias analisados.

A sede Neville por sua vez, comporta um SFVCR com potência instalada de 2.008,38 kWp, resultando em um sistema aproximadamente 196,9 vezes maior que o SFVCR instalado recentemente de 10,2 kWp. Apesar de o NPE calculado ter sido de 436,88%, os índices de FECC variaram 0,7% a 1,2% devido a ocorrência dos picos de demanda serem encontrados, na maioria dos dias analisados, em horários em que não há contribuição do gerador FV. Devido a demanda desta sede ser baixa e a área disponível para os SFVCR ser muito extensa, haveria injeção do excedente de energia fotogerada mesmo nos dias de baixa disponibilidade de irradiação solar. Conforme resultados obtidos mediante aplicação das equações do FECC, pôde-se concluir que devido a esse índice muitas vezes atingir 0%, não haverá neste caso redução do pico de demanda.

Portanto, os resultados obtidos através dessa pesquisa mostram que a UTFPR - Câmpus Curitiba apresenta um vasto potencial para a geração de energia FV, sendo que a instituição poderia alocar um SFVCR com potência instalada total de 2,65 MW, caracterizando uma usina FV de minigeração distribuída conectada à rede de distribuição. Quanto ao total de energia gerada pelos SFVCR propostos, estes produziram 3,59 GWh de energia ao ano, sendo o NPE total calculado de 450,16%, o que significa a ocorrência de injeção do excedente de energia fotogerada no sistema elétrico, podendo ser exportado para as outras sedes, conforme sistema de compensação da ANEEL, inclusive para as sedes de outras cidades.

Logo, pode-se concluir que a aplicação de estratégias que utilizem a geração fotovoltaica apresenta-se como uma solução sustentável, pois a implantação dos SFVCR confirmam as hipóteses levantadas de aumento na oferta de energia no sistema elétrico, promoção da redução de emissões de GEE's na matriz elétrica de Curitiba e, adicionado a possibilidade de alteração do perfil de demanda a partir da aplicação de estratégias de eficiência energética, tornando sua operação mais efetiva.

Agradecimentos

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro.

REFERÊNCIAS

- Barros, J. J. C., Coira, M. L., López, M. P. C., Gochi, A. C., 2015. Assessing the global sustainability of different electricity generation systems. *Energy*. n. 89, p. 473-489.
- Beynaghi, A., Trencher, G., Mozartzadeh, F., Mozafari, M., Maknoon, R., Filho, W. L., 2016. Future sustainability scenarios for universities: moving beyond the United Nations Decade of Education for Sustainable Development. *Journal of Cleaner Production*. n. 112, p. 3464-3478.
- Hossain, M.S., Madlool, N.A., Rahim, N.A., Selvaraj, J., Pandey, A.K., Khan, A. F., 2016. Role of smart grid in renewable energy: An overview. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. n. 60, p. 1168-1184.
- INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. Disponível em <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=home/page&page=sobre_inmet>. Acesso em 5 ago. 2016.
- Mariano, J. D., Campos, H. M., Tonin, F. S., Urbanetz Jr, J., Casagrande Jr, E. F., 2016. Performance of photovoltaic systems: Green office's case study approach. *International Journal of Energy and Environment*, v. 7, n. 2, p 123-135.
- Mariano, J. D., 2017. Análise do Potencial da Geração de Energia Fotovoltaica para Redução dos Picos de Demanda e Contribuição Energética nas Edificações da UTFPR em Curitiba. Dissertação de Mestrado, PPGEC, UTFPR, Curitiba.
- Maurin, F. D., 2016. Power capacity: A key element in sustainability assessment. *Ecological Indicators*. n. 66, p. 467-480.
- Moreira, J. M.L., Cesaretti, M. A., Carajilescov, P., Maiorino, J. R., 2015. Sustainability deterioration of electricity generation in Brazil. *Energy Policy*. n. 87, p. 334-346.
- Parida, B., Iniyar, S., Goic, R., 2011. A review of solar photovoltaic Technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, n. 15, p. 1625-1636.
- Pereira, E. B., Martins, F. R., Abreu, S. L., Rütther, R., 2006. Atlas Brasileiro de Energia Solar, INPE.
- Rebechi, S. H., 2008. O potencial da geração solar fotovoltaica conectada ao sistema de distribuição urbano: estudo de caso para um alimentador com pico de carga diurno. 2008. 100 p. Dissertação de Mestrado, PPGEC, Florianópolis.
- Rütther, R., 2004. Edifícios Solares Fotovoltaicos: o potencial da geração solar fotovoltaica integrada a edificações urbanas e interligada a rede elétrica pública no Brasil. Florianópolis: Editora UFSC.
- Pinho, J. T., Galdino, M. A., 2014. Grupo de Trabalho de Energia Solar (GTES). CEPEL - GTES. Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos. Rio de Janeiro, 529 p.
- Telemedicação. Sistema de Telemedicação de Energia. Disponível em <<http://telemedicao.copel.com/hemera/hemera.jsp>>. Acesso em 5 mai. 2016.
- UFRGS. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Programa RADIASOL. Laboratório de Energia Solar. Disponível em <<http://www.solar.ufrgs.br/#softwares>>. Acesso em 10 mai. 2016.
- 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. Tese de Doutorado, PPGEC, UFSC, Florianópolis.
- Urbanetz Jr, J., Chinvelski, T., Simão, C. A., Makishi, L. M., 2014. Primeiro sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica homologado pela COPEL, V CBENS – V Congresso Brasileiro De Energia Solar, Recife.

- Urbanetz Jr, J., Mariano, J. D., Campos, H. M., Tonin, F., Casagrande, E. F., Tiepolo, G. M., 2015. Acompanhamento e análise de três anos de operação do sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica da UTFPR, XXXIII Congresso Internacional Sodebras, Salvador.
- Urbanetz Jr, J., Tiepolo, G. M., Casagrande, E. F., Tonin, F. S., Mariano, J. D., 2016. Geração Distribuída Fotovoltaica: O Caso dos Sistemas Fotovoltaicos da UTFPR em Curitiba, X CBPE – X Congresso Brasileiro de Planejamento Energético, Gramado.

THE ENERGY CONTRIBUTION AND THE PEAK DEMAND REDUCTION OF THE UTFPR'S GRID-CONNECTED PHOTOVOLTAIC SYSTEMS IN CURITIBA

Abstract. *The "sustainability transitions" make feasible and diversify the change in the world's electricity matrix through the application of new renewable energy systems, which offer reduced emissions, such as photovoltaic solar energy. In addition, this energy source is increasingly present in the world energy matrix, either by the application of large-scale PV plants or mini-generating plants and microgeneration built into the buildings, working as a distributed generation system, inserted in the urban environment. This work aims to contribute to a reduction of demand, with energy efficiency, through the use of PV generation in the UTFPR - Curitiba campus. The methodology consists on the analysis of the local irradiation parameters collected through the National Institute of Meteorology (INMET) portal, the Brazilian Atlas of Solar Energy and Radasol software application. The study of the load profile of the institution was carried out, in order to identify the moments of greater consumption and demand for electric energy. The analysis of the roofs made possible the survey of available areas, and shading analysis, and through the data generated by the grid connected photovoltaic systems presented downtown and at Neoville, scenarios were elaborated, aiming the energy contribution of the campus. Finally, the energy penetration levels were calculated, as well as the effective factor of load capacity, quantifying the increase of the grid capacity attributed to the PV generation. The results show that the institution has a vast potential for PV generation, and the institution could allocate a system with a total installed power of 2.65 MW and generate a total annual electric energy of 3.59 GWh. Regarding to the total energy penetration level calculated, it was obtained 450.16%, which means the injection of surplus electric energy photogenerated in the network.*

Key words: *Photovoltaic Potential, Energy Contribution, Power Generation.*