

INVESTIGAÇÃO DAS CURVAS DE DEMANDA ELÉTRICA EM SETOR COMERCIAL E RESIDENCIAL DEVIDO À IMPLEMENTAÇÃO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE

Paulo Roberto Sampaio Santos – prss3849@gmail.com

José Henrique Martins Neto - henrique@des.cefetmg.br

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Departamento de Engenharia Mecânica

Resumo. *Sistemas fotovoltaicos conectados à rede SFVCR desempenham um papel importante na integração das edificações à rede elétrica, principalmente em países ensolarados como o Brasil. Além de gerar energia adicional, esses sistemas podem promover economia de custos tarifários e reduzir a curva de carga demandada principalmente nos horários de pico, promovendo o uso racional dos espaços urbanos existentes. Este artigo investiga o potencial do uso de sistemas SFVCR para redução da demanda de carga elétrica nos horários de pico de dois setores urbanos da cidade de Belo Horizonte/MG: um residencial caracterizado por edificações horizontais e outro comercial, caracterizado por edificações verticais em região de alta densidade de construções. A metodologia consistiu da análise de dados disponibilizados pela concessionária CEMIG dos aparelhos de medição de carga demandada em algumas subestações. Posteriormente, foram calculadas as energias geradas por sistemas SFVCR de diferentes tecnologias e analisado suas contribuições quanto à geração de energia extra. Os resultados mostraram que os sistemas SFVCR utilizados no setor comercial contribuem para a redução da curva de demanda na concessionária. No setor residencial os sistemas SFVCR mostraram ser autossuficientes gerando energia excedente à energia demandada durante o período diurno, embora não tenham apresentado atenuação da demanda no horário de ponta. A utilização dos sistemas SFVCR nos dois setores poderá auxiliar a rede como uma fonte geradora de energia, que reduz a sobrecarga da rede em alimentadores específicos e como pequenas usinas objetivando flexibilizar e diversificar a matriz energética e auxiliando-a nas situações de sobrecarga dos alimentadores de subestações adjacentes. A aplicação deste último caso pode ser importante para regiões que necessitam de energia complementar e que não possuem área disponível para instalação de módulos solares.*

Palavras-chave: *Energia Solar, Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica, Pico de Carga de Demanda.*

1. INTRODUÇÃO

As necessidades de energia elétrica, advindas da sociedade moderna, e os altos custos provenientes do não suprimento adequado dessa energia, colocam as concessionárias diante da opção de aumentar a oferta mediante a construção de novas fontes de geração e obras de transmissão e de distribuição correspondentes. Por outro lado, os autores avaliam as restrições de ordem financeiras, ambientais e sociais, pois as grandes obras de geração e transmissão, necessárias, face à crescente demanda e às imposições da economia de escala, resultam na utilização de grandes extensões territoriais para gerar e transmitir energia elétrica. Dados fornecidos pelo (MME, 2015), indicam que o consumo de energia não está ligado apenas ao crescimento econômico. O aumento da população e a maior inserção de camadas pobres da população ou novas áreas geoeconômicas na chamada economia de mercado, induzem crescimento da demanda energética no país, mesmo nos atuais anos de pequeno desenvolvimento econômico. O sistema elétrico brasileiro é bastante diversificado e extremamente interligado e possui um dos maiores e mais complexos parques geradores do mundo, no mês de janeiro de 2015, a capacidade própria instalada total de geração de energia elétrica do Brasil atingiu 134008 MW. Em comparação com o mesmo mês em 2014, houve expansão de 3277 MW de geração de fontes hidráulicas, de 1429 MW de fontes térmicas e de 2729 MW de geração eólica. A contribuição fotovoltaica, pela geração distribuída oferece inúmeras vantagens para o setor elétrico, uma vez que a disposição da unidade de geração próxima da carga permite maior diversificação das tecnologias empregadas com um método de produção de energia sustentável e amigável ao meio ambiente, trazendo benefícios tanto ambientais quanto energéticos, uma vez que o material ativo na maioria dos painéis é o silício, o segundo elemento mais abundante na superfície da Terra. O total de radiação solar incidente na Terra é cerca de $1,5 \times 10^{18}$ kWh, isto corresponde a cerca de 10000 vezes a demanda mundial em todo ano de 2007, (IEA, 2008), sendo que a conversão direta da radiação solar em eletricidade apresenta um número significativo de vantagens. Além de utilizar uma fonte renovável e abundante de energia, o sistema é silencioso, estático e sem nenhuma depleção de materiais, que converte diretamente a energia do Sol em energia elétrica, e vem sendo, cada vez mais, utilizada por países industrializados. A integração dos módulos fotovoltaicos

com a edificação apresenta vantagens de custos que torna este conceito atrativo, tanto para regiões urbanizadas, quanto para regiões menos densamente populosas. O sistema pode ser implementado nas edificações, ao longo de estradas ou em áreas terrestres, com a possibilidade de combinar produção de energia com outra função da edificação. O primeiro degrau fundamental em qualquer aplicação do sistema fotovoltaico interligado à rede elétrica e integrado à edificação é maximizar a eficiência energética através da carga ou demanda das edificações.

2. CARACTERÍSTICAS PARAMÉTRICAS E OPERACIONAIS DOS EQUIPAMENTOS DO SFVCR [3]

2.1 Gerador fotovoltaico

O comportamento de cada célula fotovoltaica pode ser modelado como se fosse um diodo, através de um circuito equivalente que envolve uma fonte de corrente simulando a corrente foto-gerada I_{ph} , dois resistores para simular as resistências em série e paralela e um diodo para simular a junção p-n, conforme mostra a Eq. (1).

$$I = (I_{ph} - I_o) \cdot \left\{ e^{\left[\frac{q \cdot (V + I \cdot R_s)}{m \cdot k \cdot T_r} \right]} - 1 \right\} - \left[\frac{(V + I \cdot R_s)}{R_p} \right] \quad (1)$$

Onde: I é a corrente líquida entregue à carga na condição de referência; I_{ph} é a corrente foto-gerada pela condição de incidência solar PV; I_o é a corrente de saturação reversa do diodo; q é a carga do elétron ($-1,60 \times 10^{-19}$ C); V é a tensão nos terminais da célula, m é o fator de qualidade da junção do semicondutor (p-n); k é a constante de Boltzmann ($1,38 \times 10^{-23}$ J/ K); T_r é a temperatura de referência na junção da célula, R_s é a resistência série da célula, R_p é a resistência paralela da célula.

A curva característica $I \times V$ da célula pode ser determinada conhecendo-se o valor dos cinco parâmetros (R_s , R_p , I_o , I_{ph} e m). O gerador fotovoltaico funciona como uma espécie de fonte de corrente para o SFVCR, sendo o elemento responsável pela captação da luz proveniente do sol e a conversão desta energia em energia elétrica, que será distribuída para o sistema através do fluxo da corrente elétrica que é emitida em direção ao inversor. A potência de saída de qualquer dispositivo fotovoltaico é igual ao produto da sua corrente pela sua tensão, sendo que cada módulo possui um valor máximo de potência referenciado como $Watt_{pico}$, correspondentes aos valores de tensão e corrente máximos que são os valores que produzem o maior rendimento elétrico do módulo fotovoltaico. Uma expressão final que modela o comportamento de um painel fotovoltaico em função das condições de operação a que ele é exposto com os parâmetros I_{ph} e I_o é apresentada na Eq. (2).

$$I = \left\{ \left[I_{sc} + \alpha \cdot (T - T_r) \cdot \left(\frac{P_{sol}}{1000} \right) \right] - \left[\frac{I_{ph} - \left(\frac{V_{oc}}{R_p} \right)}{e^{\left[\frac{q \cdot V_{oc}}{m \cdot k \cdot T_r} \right]} - 1} \cdot \left(\frac{T}{T_r} \right)^3 \cdot e^{\left[\left(\frac{q \cdot E_g}{m \cdot k} \right) \cdot \left(\frac{1}{T_r} - \frac{1}{T} \right) \right]} \right] - \left[\frac{(V + I \cdot R_s)}{R_p} \right] \right\} \quad (2)$$

Onde: I_{sc} é a corrente de curto circuito na condição de referência; α é o coeficiente de variação da corrente de curto circuito com a temperatura; T é a temperatura ambiente; P_{sol} é a radiação solar incidente no plano de abertura do módulo solar e vale 1000 W/ m^2 , para condições padronizadas de teste; E_g é a energia da banda proibida na junção da célula sendo igual a $1,1$ eV.

2.2 Principais diferenças entre o Sistema SFVCR e de um Sistema Isolado SI

De acordo com o Manual de Engenharia para Sistemas PV (CEPEL e CRESESB, 2014) em *Sistemas SFVCR não há necessidade de armazenamento de energia elétrica; Os sistemas operam obrigatoriamente em AC, na mesma frequência da rede local; quando não há tensão na rede o sistema fica inoperante mesmo com a irradiação solar*

presente; Os Inversores incorporam dispositivos seguidores de potência máxima (SPPM); A Rede local deve ser capaz de receber a energia elétrica gerada; A qualidade da energia da rede pode comprometer a transferência de energia do sistema; O gerador FV pode ser integrado à estrutura de edificações, implicando a análise da resistência mecânica e carga máxima admissível, entre outros fatores; Em sistemas instalados em ambiente urbano é mais provável a existência de perdas por sombreamento, inclusive sombreamento parcial, e interferência de superfícies reflexivas próximas; Questões estéticas podem ser determinantes nos projetos, contribuindo para a escolha do tipo de módulo e tecnologia das células, bem como do posicionamento do painel.[4]

2.3 Inversor DC/ AC

A principal função de um inversor de corrente consiste em estabelecer a ligação entre o gerador fotovoltaico e a rede elétrica ou a carga AC. Neste contexto, a sua principal tarefa consiste em converter o sinal de corrente contínua DC do gerador fotovoltaico num sinal elétrico de corrente alternada AC e fazer o ajuste de frequência e do nível de tensão na rede a que ficará ligado, a conversão num sinal de corrente alternada padrão envolve perdas relativamente pequenas. O rendimento do conjunto MPP + inversor é Eq. (3).

$$N_{NEL} = \frac{P_{AC}}{P_{DC}} \quad (3)$$

3. CÁLCULO DA GERAÇÃO DE POTÊNCIA FV A PARTIR DA RADIAÇÃO SOLAR

Para calcular a quantidade de radiação incidente em uma superfície inclinada, foi utilizado o programa RADIASOL, desenvolvido pelo Laboratório de Energia Solar da Universidade Federal do Rio Grande do Sul e disponível no site www.ufrgs.br. Os valores de radiação obtidos através do programa, são valores médios mensais dados em kWh/ m²/ dia, calculados a partir do banco de dados de radiação solar e disponibilizado pelo LABSOLAR (Laboratório de energia solar da Universidade Federal de Santa Catarina).

A potência instalada no sistema foi obtida em função da área de cobertura disponível e da eficiência do painel Eq. (4).

$$N_{EL} = \frac{P_{AC}}{(V_{max} \cdot I_{max})_{DC}} \leftrightarrow P_{DC} = A_{DISPONIVEL} \cdot \frac{E_{FF}}{100} \quad (4)$$

Onde:

P_{AC} =Potência de saída AC (kWpico);

P_{DC} =Potência de entrada DC (kW-pico);

E_{FF} =Eficiência do painel (em%);

$A_{DISPONIVEL}$ =Área da célula (m²).

A quantidade de energia fotovoltaica gerada pelo sistema foi obtida em função da potência instalada, da eficiência do sistema inversor e da irradiação incidente no plano do painel. Eq. (5)

$$E = N_{NEL} \cdot P_{DC} \cdot G_{POA} \quad (5)$$

Onde:

N_{EL} =corresponde à eficiência do sistema inversor, com valor tipicamente 90%;

E =Consumo médio diário durante o ano (kWh/dia);

G_{poa} =Ganho por radiação incidente no plano do painel: média mensal do total diário (kWh/m²/dia).

4. OBJETIVOS E FINALIDADES DO MÉTODO APLICADO

A presente pesquisa tem por objetivo verificar o potencial de geração de energia solar fotovoltaica em duas áreas urbanas da cidade de Belo Horizonte, estado de Minas Gerais. A análise considera que toda a área útil das

coberturas das edificações dos setores estudados seja coberta por módulos fotovoltaicos. O estudo, objetivamente faz uma análise de rendimento dos cinco modelos de módulos fotovoltaicos, comercialmente disponíveis, que melhor se integram às edificações e às condições características de cada região, verificando os prós e contras de cada uma das cinco tecnologias. A escolha dos modelos foi feita de forma a suprir as necessidades do consumidor quanto à energia gerada, integração à edificação, resistência às condições climáticas da região, área de cobertura disponível, bem como as dimensões e eficiência tecnológica do módulo utilizado.

A cidade de Belo Horizonte foi selecionada por ser uma cidade de porte diversificado, ter boa insolação na maior parte do ano e criar intensas atividades urbanas, características de metrópoles de elevado consumo de energia elétrica. As edificações desta cidade apresentam características interessantes, tais como, grandes áreas úteis nas suas coberturas nos dois setores urbanos estudados, bastante favoráveis para instalação de painéis solares fotovoltaicos para esta finalidade. Para este trabalho foram selecionadas duas áreas urbanas, correspondentes aos setores comercial e residencial, sendo analisadas cinco tecnologias de módulos fotovoltaicos de fácil disponibilidade comercial. As tecnologias foram mono-silício (m-Si); amorfo-silício (a-Si); poli-silício (p-Si); telureto de Cádmio (CdTe) e disulfeto de cobre-índio (CIS), que apresentam diferentes eficiências conforme mostrado na Tab.1.

Tabela 1: Valores das eficiências das tecnologias utilizadas no estudo de caso das duas regiões de Belo Horizonte considerando a temperatura ambiente padrão 25°C (STC) e a temperatura média de operação de 45°C.[5]

EFICIÊNCIA DA TECNOLOGIA FOTOVOLTAICA					
Dados do Fabricante	m-Si	a-Si	p-Si	CdTe	CIS
EFF _{STC} [%]	13,50	6,30	11,60	6,90	8,20
TCO _{EFF} [%/°C]	-0,40 ²	0,00 ³	-0,40 ⁴	-0,20 ⁴	-0,45 ⁴
NOCT ¹ [°C]	45	45	45	45	45
EFF _{NOCT} [%]	12,42	6,30	10,67	6,62	7,46

- (1) NOCT (Temperatura nominal de operação da célula), considera a eficiência dos módulos como função da temperatura do ambiente e da velocidade do vento, assumindo uma temperatura da célula de 45°C, que corresponde a uma temperatura ambiente de 20°C. (Kurtz, S.A et al, 2000).
- (2) Valores de eficiências (TCO_{EFF}) segundo Nann e Emmerly (1992).
- (3) Valor de eficiência (TCO_{EFF}) segundo Rüther et al. (2004).
- (4) Valor de Eficiência (TCO_{EFF}) segundo Sanyo (2004).

4.1 Setores da cidade de Belo Horizonte

Conforme selecionado, os dois setores da cidade de Belo Horizonte foram: setor central, formado basicamente por edificações com função comercial e com características construtivas bastante verticais, denominado região do Hipercentro e outro formado basicamente por edificações residenciais com características construtivas horizontais, denominado bairro Floresta. Os dois setores observados apresentam taxa de ocupação de solo bastante elevada, fazendo com que estas duas regiões se tornassem altamente densas e, portanto, com grandes percentuais de sombreamento na cobertura das edificações. Para cada setor estudado foram identificados os alimentadores de carga nas Subestações Elétricas que abastecem as áreas correspondentes, verificados seus consumos energéticos anuais, calculadas as áreas totais de cobertura para a implementação do sistema solar fotovoltaico, observados os respectivos picos de demanda.

4.2 Subestações distribuidoras de carga correspondentes ao Hipercentro e Bairro Floresta

Para essas duas regiões observou-se que existe mais de um alimentador, sendo o setor Hipercentro abastecido pelos alimentadores BHBP-04, BHBP-10, BHBP-13, BHBP-18, BHCN-01 e BHCN-02, e o setor Floresta abastecido pelos alimentadores BHBP-09, BHBP-13, BHCN-02, BHCN-05, BHCN-46, BHHR-05, BHHR-12, BHSE-16, BHSE-19, BHSE-20. Os valores médios mensais medidos durante o período de um ano do consumo energético de cada alimentador, a média mensal total anual (i.e., a soma dos valores de cada alimentador) e o consumo total anual médio

(i.e., o valor da média mensal total anual multiplicada por 12 meses) e cada região é apresentada na Tab. 2 para os setores Hipercentro e Floresta.

Tabela 2 - Valores da média anual mensal de consumo energético em cada alimentador de setor de Belo Horizonte. [6]

BAIRRO HIPERCENTRO		BAIRRO FLORESTA	
ALIMENTADOR	CONSUMO (kWh/mês)	ALIMENTADOR	CONSUMO (kWh/mês)
BHBP-04	1804737	BHBP-09	59901
BHBP-10	1488421	BHBP-13	370124
BHBP-13	316825	BHCN-02	127
BHBP-18	12564	BHCN-05	282196
BHCN-01	4825243	BHCN-46	506681
BHCN-02	2129001	BHHR-05	187447
INDEFINIDO	22295	BHHR-12	707630
Média Mensal	10599086	BHSE-16	6461
Total Anual	127189032	BHSE-19	470263
		BHSE-20	838922
		Média Mensal	3429752
		Total Anual	41157024

Tabela 3: Valores percentuais de suprimento do consumo energético do setor Hipercentro, utilizando as cinco tecnologias fotovoltaicas disponíveis, considerando toda a área de cobertura do estudo de caso. [6]

ESTUDO DE CASO EM BELO HORIZONTE	PERCENTUAL DE SUPRIMENTO DO CONSUMO NO SETOR HIPERCENTRO				
	m-Si	a-Si	p-Si	CdTe	CIS
1º horário de demanda: 9h às 18h	74,02	40,89	62,94	37,88	42,54
2º demanda de máximo pico às 15h	77,84	42,90	66,19	39,84	44,74
% de variação entre os casos	5,10				

O sistema FV interligado na rede do setor Hipercentro em nenhum dos casos e com nenhuma das cinco tecnologias FV analisadas conseguiria suprir todo o consumo energético correspondente, mas por se tratar de uma área com pico diurno, qualquer energia injetada na rede deste setor iria contribuir significativamente com a concessionária para redução do pico de demanda. A Fig. 4 mostra os eventos de geração fotovoltaica, demanda de energia e geração FV menos demanda energética no setor Hipercentro. A curva superior corresponde à curva de demanda, a inferior corresponde à geração solar fotovoltaica e a intermediária corresponde à demanda menos a geração FV.

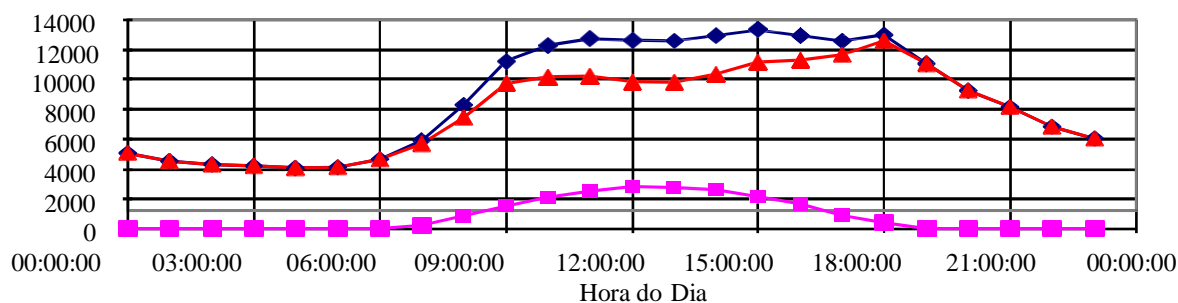


Figura 4: Curvas de demanda, geração solar e demanda menos geração, no setor Hipercentro, considerando como

potência instalada 20% da demanda máxima histórica do setor (dia 12/10/2015). [6]

Observou-se que a energia fotovoltaica gerada pelo sistema, se injetada em todos os alimentadores do setor, iria deslocar o pico de demanda das 16 horas para as 18 horas. Como neste horário a incidência solar é bastante pequena e a demanda ainda é alta, houve uma redução pouco intensa do pico, se comparado com o das 16 horas. Apesar de o efeito parecer pouco significativo, é importante salientar que haveria um benefício ao sistema de transmissão e distribuição que se soma ao valor da energia foto-gerada propriamente. A quantificação destes benefícios deve ser vista com interesse pelas concessionárias no futuro. Para o cálculo de geração FV do setor Floresta, foram obtidos valores percentuais de suprimento de consumo bem maiores do que os do setor Hipercentro, devido a este possuir uma área de cobertura maior e um consumo energético menor. A Tab. 5 apresenta estes valores percentuais de suprimento do consumo energético do setor Floresta, considerando que em toda a área de cobertura deste, sejam instalados painéis fotovoltaicos utilizando as cinco tecnologias fotovoltaicas disponíveis, considerando este estudo de caso.

Tabela 5: Valores percentuais de suprimento do consumo energético do setor Floresta. [6]

ESTUDO DE CASO EM BELO HORIZONTE	PERCENTUAL DE SUPRIMENTO DO CONSUMO NO SETOR FLORESTA				
	m-Si	a-Si	p-Si	CdTe	CIS
1º horário de demanda: 9h às 18h	294,36	162,24	250,32	150,66	169,20
2º demanda de máximo pico às 15h	309,55	170,62	263,24	158,43	177,93
% de variação entre os casos	5,10				

O setor Floresta mostrou existir uma grande área de cobertura disponível para a implementação de um sistema FV, de forma a suprir as respectivas necessidades energéticas. Em todos os casos estudados e com a utilização das cinco tecnologias analisadas o sistema conseguiria tornar-se autossuficiente, em termos de quantidade de energia. A Fig. 6 mostra os níveis de geração fotovoltaica, a demanda de energia e a geração FV menos a demanda energética do setor Floresta. A curva superior corresponde à curva de demanda, a inferior corresponde à geração solar fotovoltaica e a intermediária corresponde à demanda menos a geração FV.

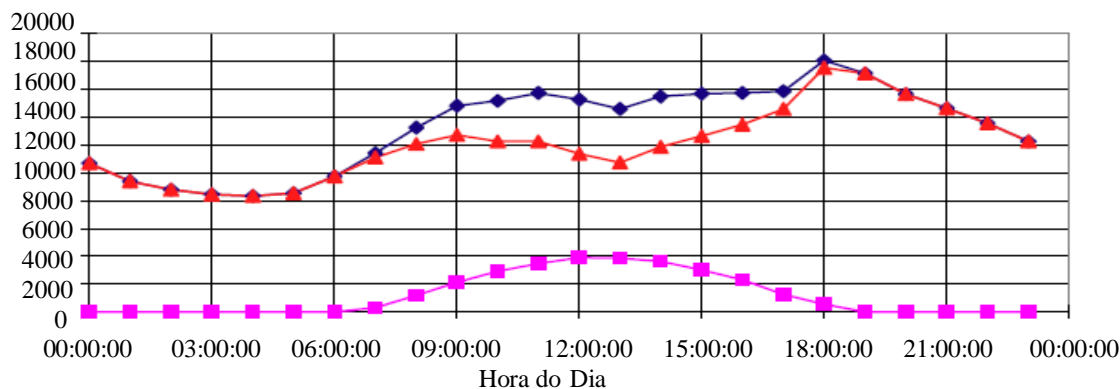


Figura 6: Curvas de demanda, geração solar e demanda menos geração, no setor Floresta, considerando a potência instalada 20% da demanda máxima histórica do setor, dia 12/10/2015. [6]

Como o setor Floresta possui pico noturno, a geração fotovoltaica interligada na rede para esta área não iria trazer benefícios à concessionária em termos de redução da curva de pico, e sim em termos de energia gerada. Como foi observado na Tab. 5, o setor conseguiria gerar mais energia do que seu consumo. Desta forma, o sistema poderia auxiliar, no setor residencial na redução da sobrecarga da rede em alguma área adjacente que não possui área de cobertura disponível para o sistema. Assim, o sistema poderia funcionar como uma mini usina geradora de energia que atuaria em paralelo com as centrais convencionais e auxiliaria na redução da sobrecarga da rede em outro alimentador.

Tabela 7 - Evolução diária de 10 a 14 de outubro dos carregamentos das principais subestações elétricas de Belo Horizonte. [6].

SUBESTAÇÃO	EVOLUÇÃO DE CARREGAMENTO PERCENTUAL DOS TRANSFORMADORES [%]				
	OUT/10	OUT/11	OUT/12	OUT/13	OUT/14
<i>BH Barro Preto</i>	64.30	66.65	69.62	70.29	73.80
<i>BH Centro Subterraneo</i>	61.24	64.44	68.79	63.00	61.92
<i>BH Centro</i>	47.22	39.51	48.78	46.11	45.30
<i>BH Gutierrez</i>	58.60	60.53	67.41	67.19	66.93
<i>BH Horto</i>	55.95	56.88	56.03	59.98	61.95
<i>BH Maracanã</i>	60.21	62.39	62.75	67.82	63.47
<i>BH Pampulha</i>	69.00	67.90	78.68	68.36	71.68
<i>BH Santa Efigênia</i>	67.21	68.41	75.97	75.28	73.88
<i>BH Sion</i>	77.00	80.00	82.53	75.63	90.73

5. CONCLUSÃO

Conclui-se com o presente estudo que a geração por sistema solar fotovoltaico quando integrados a edificações urbanas e conectada à rede elétrica pública promove benefícios à concessionária, dos pontos de vistas energético e financeiro. Pelo fato do sistema FV poder ser instalado próximo ao ponto de consumo, as perdas por Transmissão e Distribuição decorrentes de geração centralizada convencional são eliminadas, promovendo aumento da eficiência energética da concessionária. Observa-se também que: a instalação elétrica predial passa a ser a interface do gerador fotovoltaico com a rede elétrica convencional. Geradores solares instalados em edificações geram energia à jusante do relógio medidor, portanto dispensam a compra de energia a custo de consumidor, enquanto que plantas geradoras centralizadas geram energia a montante do sistema de Transmissão e Distribuição T & D, com valor equivalente aos custos no barramento praticados pelas concessionárias elétricas. Nos dois setores observados, (i.e., comercial e residencial) o sistema fotovoltaico mostrou-se excelente equipamento coadjuvante para redução do pico de carga da demanda exigida. Para o setor comercial, embora o sistema FV não seja autossuficiente, em termos de geração de energia mostrou trazer benefício para o sistema de T & D, quanto à diminuição de sobrecarga da rede concessionária. Os setores residenciais mostraram possuir uma grande área de cobertura disponível para a implementação de sistemas FV, sendo que todas tecnologias FV investigadas mostraram autossuficiência em termos de quantidade de energia e ainda poderia ser exportado excedente para outras áreas urbanas. Desta forma, estes setores poderiam funcionar como mini usinas geradoras, que estariam auxiliando na sobrecarga da rede em algum setor adjacente que não possua área de cobertura disponível para a implementação do sistema. O setor comercial investigado mostrou área de cobertura reduzida para a implementação de sistemas FV autossuficientes. Entretanto, este setor possui pico de demanda diurno que é coincidente com o pico da geração solar. Desta forma, qualquer energia injetada nas áreas comerciais poderiam trazer benefícios à concessionária, pois estaria contribuindo para redução da curva de carga. Este estudo comprova que instalações solares fotovoltaicas integradas a prédios comerciais e residenciais interligadas à rede elétrica pública, podem contribuir para a redução de picos e atenuação da curva de carga das concessionárias. A geração solar fotovoltaica alcança valores altos em períodos de calor intenso quando existe alta disponibilidade de radiação solar coincidindo com a maior demanda energética das edificações comerciais devido à grande demanda dos sistemas de condicionamento de ar. Por fim, nota-se que, mesmo com um pequeno aumento da participação das fontes renováveis no total de energia demandada, as perspectivas para a inserção dos sistemas SFVCR, como agregador de energia elétrica e coadjuvante da Geração Distribuída, são otimistas, demonstrando, assim, possibilidades de expansão da nossa matriz energética.

Agradecimentos

Agradeço ao engenheiro da CEMIG, Alessandro Oliveira Lima (alima@cemig.com.br), pelo fornecimento das planilhas de dados com registros de carregamento dos alimentadores das subestações do sistema elétrico dos setores Hipercentro e Floresta.

REFERÊNCIAS

MME – Ministério de Minas e Energia – Balanço Energético Nacional, Sinopse 2015, disponível em: https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2015.pdf

International Energy Agency (IEA) – disponível em www.iea.org, 2008

Figueiredo, Flávio Medeiros. CEFET-MG. Uso de Painéis Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica em um cenário de “Net Metering”, Parâmetros de um Módulo Fotovoltaico, 2013.

Manual de Engenharia para Sistemas PV, Grupo de Trabalho de Energia Solar - GTES, CEPEL, CRESESB, DTE, disponível em: http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual_de_Engenharia_FV_2014.pdf

Ruther, R. Edifícios Solares Fotovoltaicos: O Potencial da Geração Solar Fotovoltaica Integrada a Edificações Urbanas e Interligada à Rede Elétrica Pública no Brasil, Editora UFSC/LABSOLAR, Florianópolis, 2004.

CEMIG – Companhia Energética de Minas Gerais, Curvas de Demanda, Geração Solar e Demanda menos Geração, nos setores Hipercentro e Floresta, Evolução Diária das principais Subestações Elétricas no Sistema de Distribuição, Conexão em Baixa Tensão, ND 5.0, Diretoria de Distribuição e Comercialização, Belo Horizonte, Brasil, 2015.

INVESTIGATION OF DEMAND CURVES IN ELECTRICITY SECTOR COMMERCIAL AND RESIDENTIAL DUE TO IMPLEMENTATION PHOTOVOLTAIC SYSTEMS CONNECTED TO THE GRID

Abstract. Photovoltaic systems connected to the network SFCR play an important role in the integration of the buildings to the grid, especially in sunny countries such as Brazil. In addition to generating additional power, such systems may promote savings rate costs and reduce respondent load curve especially at peak times, promoting the rational use of existing urban spaces. This paper investigates the potential use of SFVCR systems to reduce electrical load demand at peak times of two urban sectors of the city of Belo Horizonte/ MG: a residential characterized by horizontal buildings and other commercial, characterized by vertical buildings in region high density construction. The methodology consisted of analyzing data provided by CEMIG concessionaire of respondent load measuring devices in some substations. They then calculated the energies generated by SFVCR systems of different technologies and analyzed their contributions as the extra power generation. The results showed that the SFVCR systems used in the commercial sector contribute to reducing the demand curve at the dealership. In the residential sector the SFVCR systems have proven to be self-sufficient generating excess power to the energy required during the daytime, although demand easing have not submitted at peak hours. The use of SFVCR systems in both sectors may help the network as a source of energy, which reduces network overhead in specific feeders and as small plants aiming flexible and diversify the energy mix and helping it in situations of overload of feeders adjacent in the substations. The application of the latter can be important to regions that need additional power and have no area available for installation of solar modules.

Keywords: Solar Energy, Photovoltaic Systems Connected to the Grid, Demand Load Peak.