

# IMPACTOS DA GERAÇÃO SOLAR FOTOVOLTAICA NAS DESPESAS COM ENERGIA ELÉTRICA EM CAMPUS UNIVERSITÁRIO

**Gustavo Xavier de Andrade Pinto** – gustavoxap@gmail.com

**Julio Boing Neto** – julioboingneto@gmail.com

**Isadora Pauli Custódio** – isadorapcustodio@gmail.com

**Helena Flávia Napolini** – helenaeel.ufsc.br

**Ricardo Rütther** – ricardo.ruther@ufsc.br

Universidade Federal de Santa Catarina

Campus Universitário Trindade, Caixa Postal 476, Florianópolis-SC, 88040-900

**Resumo.** Este trabalho visa avaliar os impactos da inserção da geração fotovoltaica de 5 MW sobre as despesas com energia elétrica da Unidade Consumidora Cidade Universitária da Universidade Federal de Santa Catarina. Para o ano de 2016, foram simulados os impactos proporcionados pela agregação da energia solar fotovoltaica à unidade consumidora sobre as despesas com energia e com demanda. Neste ano, o sistema fotovoltaico teria gerado aproximadamente 6.193,5 MWh, contribuindo com aproximadamente 40% do consumo total de energia elétrica da unidade consumidora no horário fora da ponta, proporcionando um custo evitado com energia neste posto tarifário de R\$ 2.782.969,48 (39,94 %). Os custos anuais evitados devido aos impactos sobre a demanda seriam de R\$ 80.633,35 (9,27%). Os custos anuais totais evitados (com energia + demanda) seriam de R\$ 2.863.642,84 (27,99%).

**Palavras-chave:** Energia solar fotovoltaica, Aproveitamento da energia solar, Gestão da energia elétrica.

## 1. INTRODUÇÃO

A utilização de fontes renováveis de energia, alternativa promissora para a redução da emissão de CO<sub>2</sub>, e suas aplicações econômicas são apreciadas pela população (Wesletter, 1998), pois melhoram a qualidade de vida e diminuem a poluição ambiental. A economia de energia e o uso proveitoso das diferentes fontes de energia são questões importantes que ainda requerem atenção especial em futuros estudos (Karabulut e Alkan, 2010). Em especial, a tecnologia solar fotovoltaica tem crescido muito nos últimos anos, atingindo uma capacidade mundial total instalada de aproximadamente 177 GW em 2014 (IEA, 2015) e está a caminho de atingir 1 TWh em 2025 (TCEP, 2016). Devido à sua grande área territorial e níveis elevados de irradiação solar com pequena variabilidade anual, o Brasil apresenta um grande potencial para a instalação de sistemas fotovoltaicos conectados à rede (Rütther e Zilles, 2011).

Atualmente a urbanização, a industrialização e a constante busca da melhoria da qualidade de vida resultam em elevadas exigências por edificações mais confortáveis, aumentando diretamente o consumo de energia de um edifício (Nasution *et al.*, 2014). Nas metrópoles mundiais, o consumo de eletricidade devido ao uso de aparelhos condicionadores de ar e refrigeração representa de 33 a 50% de seu valor total, que por sua vez tem aproximadamente 80% da eletricidade gerada pela queima de combustíveis fósseis (IPCC, 2007). Além disso, estudos mostram que edificações, representam a maior parcela do consumo de eletricidade em regiões de climas quentes (Pinto *et al.*, 2016, Kapsomenakis *et al.*, 2013).

A utilização de energias renováveis apresenta ótimas soluções sustentáveis para *campi* universitários (Park e Kwon, 2016). Já existem estudos que avaliaram o papel que uma instituição universitária pode exercer para alcançar futuras metas de geração solar (Alyahya e Irfan, 2016) e outros que explicaram como uma edificação individual pode interagir com o pico de consumo de um *campus*, a fim de facilitar eventuais economias de custo da demanda no horário de pico (Yarbrough *et al.*, 2015).

Com base nisso, o presente trabalho visa avaliar os impactos da inserção da geração fotovoltaica de 5 MW sobre as despesas com energia elétrica da Unidade Consumidora Cidade Universitária da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), localizada na cidade de Florianópolis – SC (27.5949° S, 48.5482° O) no ano de 2016. Para tal, foram feitas análises dos impactos da geração fotovoltaica sobre o consumo de energia e sobre a demanda da unidade consumidora.

## 2. METODOLOGIA

Em 2016, a UFSC contava com 82 Unidades Consumidoras (UC), das quais 23 pertenciam ao subgrupo A4 (alimentação em 13,8 kV) com contratos de fornecimento de energia elétrica, junto à distribuidora local de energia (Centrais Elétricas de Santa Catarina - Celesc), na modalidade tarifária horossazonal verde. Dentre as UCs da UFSC destacaram-se a UC Cidade Universitária, a UC Hospital Universitário e a UC CTC, responsáveis por 55%, 17% e 8%, respectivamente, das despesas totais com energia elétrica. As demais UCs, alimentadas tanto em Média como em Baixa

Tensão, foram responsáveis por aproximadamente 20% das despesas totais com energia elétrica da UFSC. No ano de 2016, a UFSC apresentou consumo energético de aproximadamente 30,1 GWh e despesas relativas à mesma junto à Celesc de aproximadamente R\$ 18,2 milhões. O custo adicional referente a impostos federais recolhidos diretamente para a União (5,85 %) através de guia própria (código de receita 5147) foi de R\$ 1,06 milhões, totalizando despesas com energia elétrica de aproximadamente R\$ 19,19 milhões.

A UC Cidade Universitária, na qual este estudo se concentrou, apresentou, em 2016, um consumo de energia elétrica de aproximadamente 17,1 GWh e despesas com energia elétrica faturadas de aproximadamente R\$ 10,6 milhões.

A partir das faturas de energia elétrica da UC foram levantados os consumos mensais com energia no horário de ponta (P) e fora da ponta (FP) e apresentados seus respectivos custos com energia da UC.

Dados de demanda foram registrados pelo medidor de energia elétrica instalado pela concessionária de energia elétrica local (Celesc). A demanda medida consiste na maior demanda de potência ativa, verificada por medição, integralizada em intervalos de 15 (quinze) minutos durante o período de faturamento.

A agregação da energia solar fotovoltaica, pela concomitância entre geração e consumo na UC Cidade Universitária, se apresenta como uma proposta interessante para reduzir o consumo de energia elétrica (Pinto *et al.*, 2016, Napolini *et al.*, 2016).

Para avaliar os impactos proporcionados pela agregação da geração solar fotovoltaica nas despesas com energia elétrica da UC estudada, foram levantados para o mesmo período, dados referentes ao recurso solar, a geração solar fotovoltaica de 5 MW a ser instalada nas edificações integrantes da UC e da demanda registrada pelo medidor de energia elétrica instalado na entrada de energia.

A Fig. 1a apresenta a abrangência da UC, que representa uma área de aproximadamente 490.000 m<sup>2</sup> da UFSC, composta por 52 departamentos de diversos cursos que compoem 10 centros de ensino. A área edificada da UC é de aproximadamente 109.300 m<sup>2</sup>, o que corresponde a 22,3 % da área total. A Fig. 1b indica as edificações selecionadas para a integração fotovoltaica.

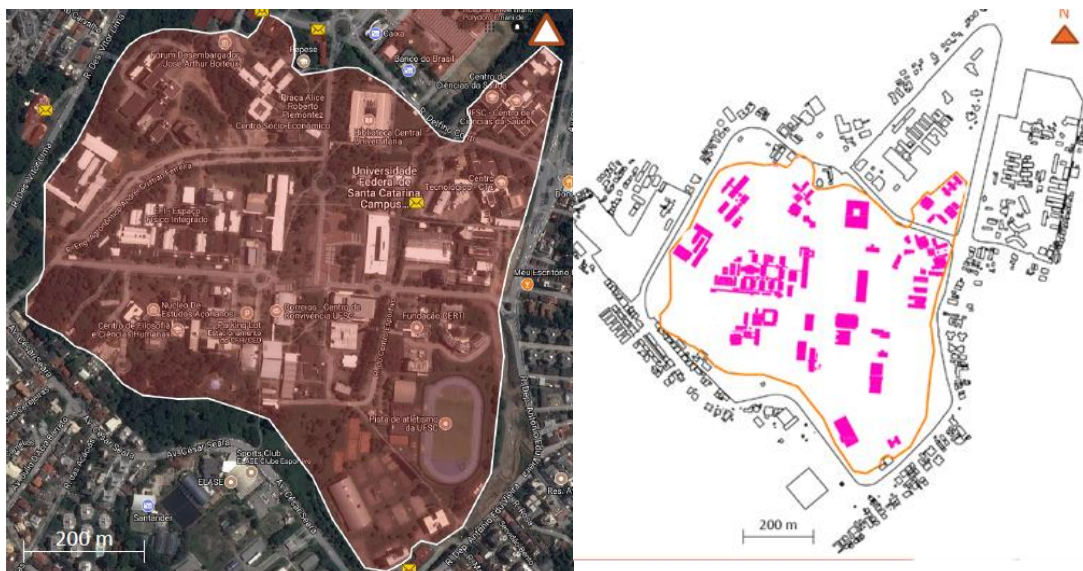


Figura 1 - (a) Abrangência da UC (b) Edificações selecionadas.

A contribuição energética e o desempenho dos sistemas fotovoltaicos conectados à rede integrados às edificações escolhidas foram avaliados através de simulações utilizando o *software* PVSyst ([www.pvsyst.com](http://www.pvsyst.com)) para módulos fotovoltaicos de silício policristalino (p-Si). Os sistemas resultaram em uma potência instalada de 4,99 MW, sendo necessários 18.845 módulos. A Tab. 1 apresenta as principais características do módulo fotovoltaico escolhido.

Tabela 1 - Características do módulo fotovoltaico.

| Tecnologia                    | Potência(W) | V <sub>MPP</sub> (V) | I <sub>MPP</sub> (A) | V <sub>OC</sub> (V) | I <sub>SC</sub> (A) |
|-------------------------------|-------------|----------------------|----------------------|---------------------|---------------------|
| Silício policristalino (p-Si) | 265         | 30,6 V               | 8,66                 | 37,7                | 9,23                |

Onde:

V<sub>MPP</sub> = Tensão de máxima potência;

V<sub>OC</sub> = Tensão de circuito aberto;

I<sub>MPP</sub> = Corrente de máxima potência;

I<sub>SC</sub> = Corrente de curto circuito.

A Fig. 2 apresenta, como exemplo da metodologia utilizada, algumas das edificações utilizadas na análise do potencial solar. As simulações foram realizadas com o posicionamento dos módulos em 27° de inclinação e em diversos

azimutais variados, de acordo com a integração fotovoltaica de cada edificação. A Tab. 2 apresenta as perdas padronizadas que foram levadas em consideração nas simulações dos sistemas FV analisados.

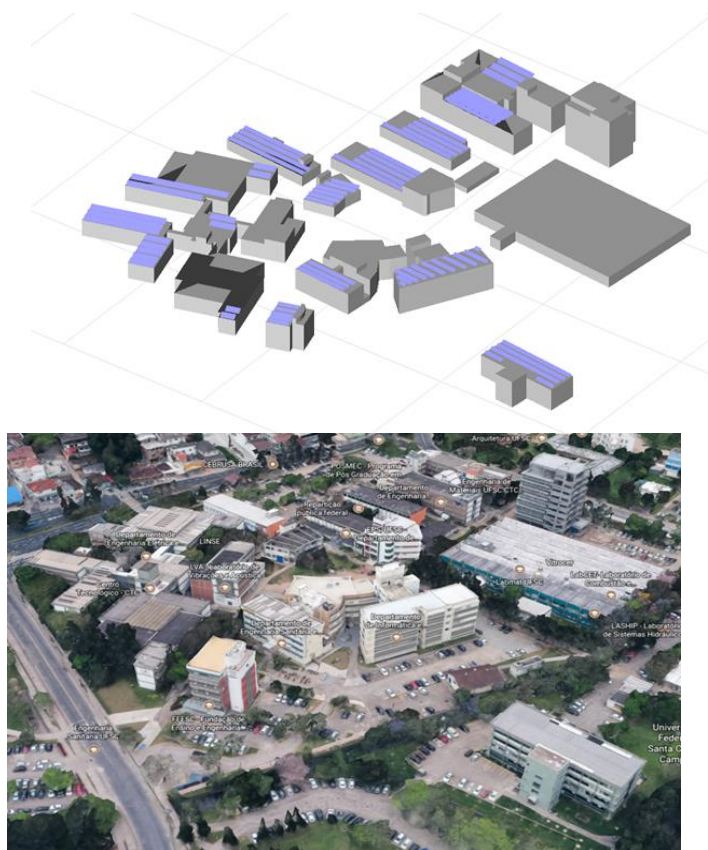


Figura 2 – Exemplo de algumas edificações selecionadas da UC Cidade Universitária.

Tabela 2 – Perdas padronizadas do sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica

| Tecnologia | Perda ôhmica | Perda da eficiência dos módulos | Perda por mismatch | Perda por sujeira | Indisponibilidade do sistema | Perdas LID |
|------------|--------------|---------------------------------|--------------------|-------------------|------------------------------|------------|
| p-Si       | 1,5%         | -0,8%                           | 1,0%               | 3,0%              | 2,0%                         | 1,3%       |

Para avaliar o recurso solar, a metodologia adotada utilizou dados registrados de irradiância no plano horizontal e de temperatura ambiente. Foram utilizados dados medidos, obtidos via *Data Publisher for Earth and Environmental Science* PANGAEA, de irradiância e temperatura ambiente em resolução temporal de 1 minuto da estação solarimétrica nº 3 do BSRN (*Baseline Surface Radiation Network*), localizado em Florianópolis - SC, no prédio da Engenharia Mecânica da UFSC (Colle, 2017).

Dados de irradiação global horizontal e temperatura ambiente calculados para Florianópolis, a partir de dados medidos do BSRN, foram importados para o *software* PVSyst em base horária. Adicionalmente, os valores de temperatura média diária obtidos para o ano de 2016 foram comparados com valores médios diários de temperatura ambiente para Florianópolis da NASA (<http://eosweb.larc.nasa.gov/sse/>) e do INMET (<http://www.inmet.gov.br/>). Os valores de irradiação solar global horizontal média diária no plano horizontal obtidos para o ano de 2016 foram comparados com valores médios diários de irradiação solar global horizontal de bancos de dados oriundos da NASA, NREL (<https://www.data.gov/>) e ATLAS Brasileiro de Energia Solar (Pereira *et al.*, 2017).

Para Florianópolis, a irradiação solar global horizontal, em intervalos de 1 minuto, foi calculada através da Eq. (1).

$$Irr = I \cdot (1/60) \quad (1)$$

Onde:

Irr = Irradiação solar global horizontal, em intervalos de 1 minuto, expressa em Wh/m<sup>2</sup>;

I = Irradiância no plano horizontal, em intervalos de 1 minuto, expressa em W/m<sup>2</sup> (Obtido via BSRN).

A irradiação solar global horizontal, no intervalo de tempo especificado, é caracterizada como a soma das irradiações solares horizontais calculadas a cada intervalo de 1 minuto, integrante do intervalo de tempo especificado. Também, foi calculada a produção efetiva do sistema FV de cada conjunto de edificações, em base mensal e anual, o

desempenho global (*Performance Ratio*) e a produtividade. A Eq. (2) apresenta o desempenho global (PR) do conjunto de edificações escolhidas.

$$PR_i = (E_i^{gerada} \cdot I^{ref}) / (P \cdot Irr_i) \quad (2)$$

Onde:

$PR_i$  = Desempenho global no intervalo de tempo especificado;

$i$  = Intervalo de tempo especificado;

$P$  = Potência instalada na usina expressa em kW;

$E_i^{gerada}$  = Energia gerada pela usina no intervalo de tempo especificado (obtido via *software* PVSyst) expressa em kWh;

$I^{ref}$  = Irradiância de referência (1.000 W/m<sup>2</sup>);

$Irr_i$  = Irradiação solar no intervalo de tempo especificado (obtido via dados BRSN) expressa em kWh/m<sup>2</sup>.

A Eq. (3) apresenta a produtividade (*Yield*) do conjunto de edificações escolhidas.

$$Y_i = E_i^{gerada} / P \quad (3)$$

Onde:

$Y_i$  = Produtividade no intervalo de tempo especificado, expressa em horas;

$i$  = Intervalo de tempo especificado;

$P$  = Potência instalada da usina, expressa em kW;

$E_i^{gerada}$  = Energia gerada pela usina no intervalo de tempo especificado, expressa em kWh (obtido via *software* PVSyst).

Para avaliar os impactos da geração solar fotovoltaica integrada à UC Cidade Universitária sobre as despesas com energia elétrica (energia + demanda) foram calculados os custos evitados devido à compensação da energia fotovoltaica que seria gerada pelo conjunto de sistemas FV (5 MW) e os custos evitados devido à redução dos picos diurnos de demanda. Adicionalmente, foi simulada a nova sugestão de demanda a ser contratada atendendo às prescrições da REN 414/2010 (ANEEL, 2010) e a seguir o critério de mínimo custo anual com demanda.

Neste trabalho, dados de consumo e demanda extraídos das faturas de energia elétrica da UC Cidade Universitária foram explorados e as simulações da demanda a ser contratada visando minimizar as despesas com demanda foram realizadas através do *software* APOENA 1.0 (Boing Neto *et al.*, 2017). Adicionalmente, dados de demanda extraídos do medidor de energia da UC Cidade Universitária foram explorados e as simulações realizadas através do *software* XNsolar 1.0 (Pinto *et al.*, 2017).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Fig. 3 apresenta, para o ano de 2016, a evolução mensal da energia ativa consumida pela UC Cidade Universitária no horário de ponta (P) e fora de ponta (FP).

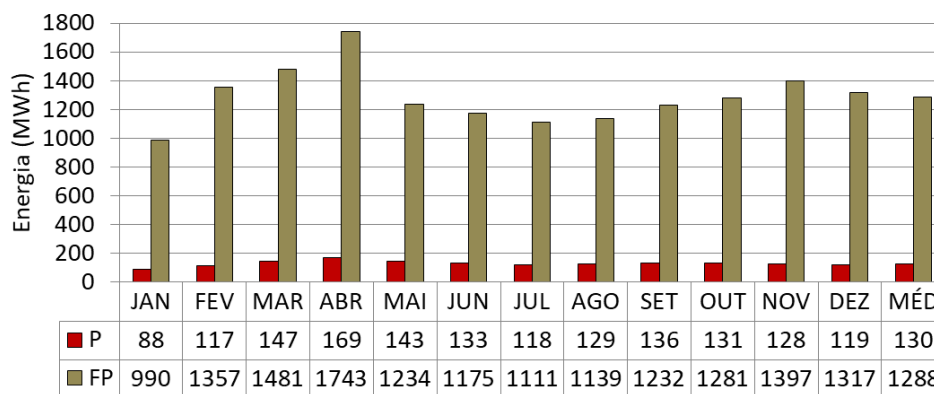


Figura 3 - Evolução mensal da energia ativa.

Nota-se uma predominância do consumo de energia elétrica no horário FP em relação ao horário P. A UC apresentou consumo médio mensal de 1.288 MWh no horário FP e 130 MWh no horário P. O consumo total de energia ativa desta UC no horário P foi de 1.558,39 MWh correspondendo a despesas faturadas de aproximadamente R\$ 2.388.902,24. O consumo total no horário FP foi de 15.455,88 MWh, totalizando despesa anual faturada com energia de R\$ 6.968.658,82. A despesa anual faturada devido à energia ativa da UC foi de R\$ 9.357.561,06. O consumo de energia no horário FP foi de aproximadamente 91 % do consumo total de energia ativa, correspondendo à aproximadamente 74

% da despesa total faturada desta UC. Todas as despesas acima elencadas levam em consideração os impostos incidentes sobre a conta de energia elétrica da UC.

A Fig. 4a apresenta para o ano de 2016 a evolução mensal da demanda medida em intervalos de 15 minutos. A Fig. 4b apresenta a evolução mensal da temperatura ambiente média diária medida no ano de 2016 e as temperaturas médias diárias obtidas através de dados oriundos do INMET e da NASA.

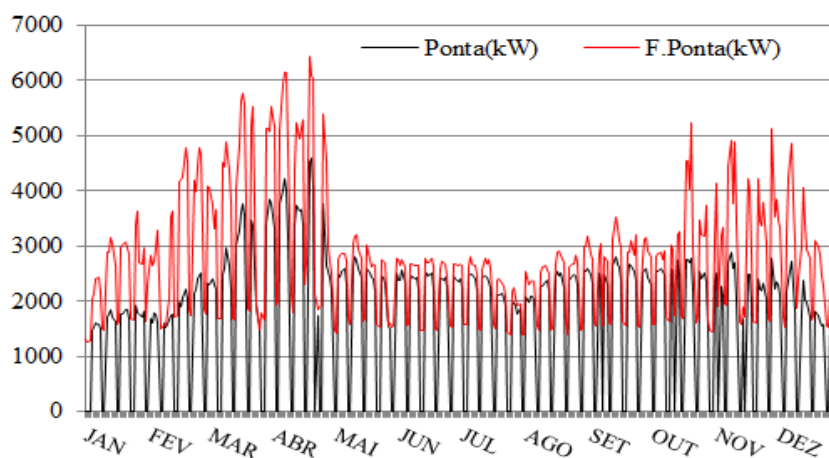


Figura 4 (a) - Demandas máximas medidas.

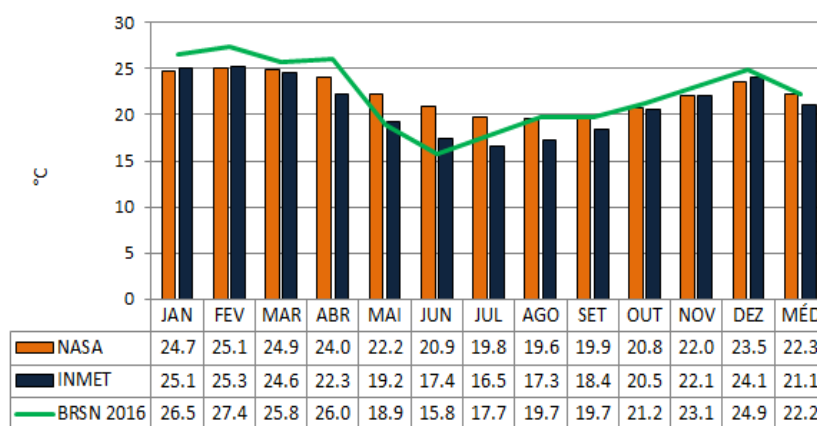


Figura 4 (b) Evolução mensal da temperatura ambiente.

A temperatura média diária medida no ano de 2016 foi de 22,2 °C. As temperaturas médias diárias para Florianópolis oriundas da NASA e do INMET foram respectivamente de 22,3 °C e 21,1 °C. A diferença percentual entre os dados medidos e os dados NASA foi de 0,3% e do INMET de 5%.

Na UC Cidade Universitária o consumo de energia elétrica constitui-se basicamente de condicionamento ambiental e iluminação. Embora com elevada temperatura, o mês de janeiro apresentou baixo valor de demanda máxima nos horários P e FP devido ao recesso escolar. Março, abril e dezembro apresentaram valores elevados de temperatura e demanda máxima FP. Um fator de grande impacto sobre a magnitude da demanda é a temperatura ambiente, visto que sistemas de refrigeração são amplamente utilizados para conforto térmico. Observa-se que, durante o período de baixas demandas (maio a setembro) a temperatura ambiente esteve, em média, abaixo de 20 °C.

A Fig. 5 apresenta para o ano de 2016, a evolução mensal da demanda medida nos horários FP e P e da demanda contratada da UC estudada.



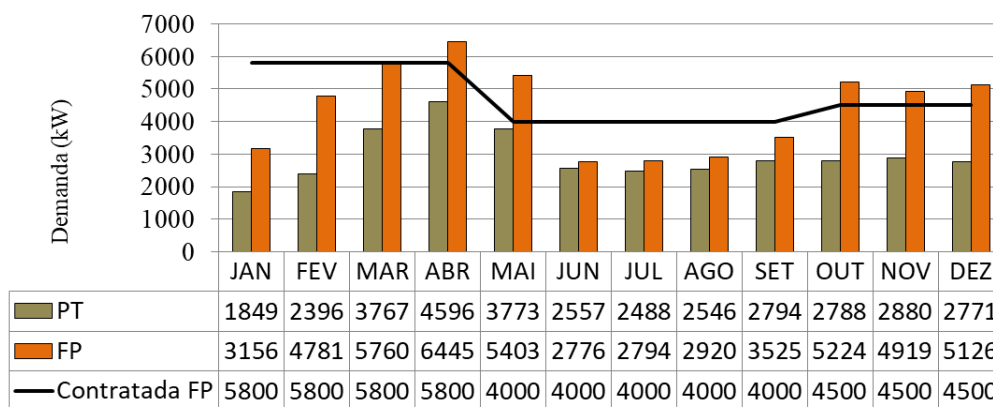


Figura 5 – Evolução mensal da demanda medida e contratada.

Em 2016, a maior demanda medida FP ocorreu em abril, mês de elevada temperatura e plena atividade acadêmica. A demanda contratada pela UFSC para a UC foi realizada em três patamares (4.000, 4.500 e 5.800 kW), sendo contratado o valor de demanda de 4.000 kW de maio a setembro, 4.500 kW de outubro a dezembro e 5.800 kW de janeiro a abril.

A despesa anual da UC com demanda contratada foi de R\$ 769.326,90, o custo de ultrapassagem de demanda foi de R\$ 100.679,53, totalizando R\$ 870.006,43 de custo total com demanda. No período analisado, observou-se ainda que foram lançados nas faturas de energia elétrica outras despesas anuais, tais como energia reativa excedente no valor de R\$3.285,60; adicionais de bandeiras tarifárias no valor de R\$217.868,78 e COSIP no valor de R\$2.272,74. As despesas anuais faturadas para a UC totalizaram aproximadamente 10 milhões de reais. Neste período, a despesa média mensal de energia elétrica com a distribuidora foi de R\$ 833.320,00 (com ICMS) e com impostos federais foi de R\$ 51.766,00 totalizando um custo médio mensal com energia elétrica de R\$885.086,00.

A Tab. 3 apresenta as edificações selecionadas para a instalação do sistema FV com capacidade total de 5MW, e as respectivas características de cada subsistema FV, tais como, quantidades de módulos FV, potência instalada e a geração anual calculadas através das simulações realizadas via PVSyst. Adicionalmente, são apresentados rendimento global (*PR*), produtividade (*Yield*) dos vários subsistemas analisados.

Tabela 3 – Edificações selecionadas e características dos subsistemas fotovoltaicos.

| Edificação | Número de módulos                                       | Potência instalada (kWp) | PR       | YIELD     | Geração (MWh) |         |
|------------|---|--------------------------|----------|-----------|---------------|---------|
|            |   |                          | (%)      | (kWh/kWp) |               |         |
| 1          | Biblioteca Universitária                                | 1.44                     | 381,60   | 74,67     | 1.280         | 488,44  |
| 2          | Prédios – Centro de Desportos                           | 234                      | 62,01    | 73,70     | 1.267         | 78,57   |
| 3          | CDS-Piscina Olímpica                                    | 2.428                    | 643,42   | 76,91     | 1.150         | 739,62  |
| 4          | Reitoria  | 648                      | 171,72   | 74,63     | 1.281         | 219,92  |
| 5          | Centro de Cultura e Eventos                             | 465                      | 123,23   | 75,18     | 1.286         | 158,52  |
| 6          | Centro de Comunicação e Expressão                       | 558                      | 147,87   | 75,04     | 1.290         | 190,71  |
| 7          | Imprensa Universitária                                  | 378                      | 100,17   | 73,66     | 1.263         | 126,49  |
| 8          | Restaurante Universitário                               | 884                      | 234,26   | 77,59     | 1.198         | 280,65  |
| 9          | Centro de Ciências Físicas e Matemáticas                | 1120                     | 296,80   | 74,98     | 1.225         | 363,43  |
| 10         | CDS – Ginásio 1 e 2                                     | 906                      | 240,09   | 78,79     | 1.206         | 289,44  |
| 11         | CDS-Ginásio 3   | 786                      | 208,29   | 76,12     | 1.175         | 244,72  |
| 12         | RU-Secretaria/Almoxarifado                              | 247                      | 65,45    | 75,82     | 1.297         | 84,90   |
| 13         | Centro de Convivência                                   | 304                      | 80,56    | 75,93     | 1.301         | 104,79  |
| 14         | Centro de Filosofia e Ciências Humanas                  | 1.044                    | 276,66   | 74,65     | 1.280         | 354,00  |
| 15         | Centro Socioeconômico                                   | 760                      | 201,40   | 75,27     | 1.294         | 260,53  |
| 16         | Centro Tecnológico                                      | 2.048                    | 542,72   | 73,81     | 1.268         | 688,13  |
| 17         | Colégio de Aplicação                                    | 756                      | 200,34   | 72,17     | 1.240         | 248,49  |
| 18         | Centro de Ciências da Saúde                             | 1.188                    | 314,82   | 73,87     | 1.269         | 399,65  |
| 19         | Centro de Ciências Biológicas / Espaço Físico Integrado | 2.214                    | 586,71   | 72,05     | 1.235         | 724,41  |
| 20         | Fundação CERTI/LEPTEN                                   | 437                      | 115,80   | 74,58     | 1.279         | 148,09  |
| TOTAL      |   | 18.845                   | 4.993,92 | -         | -             | 6.193,5 |

Nota-se que os subsistemas que mais gerariam energia em 2016 seriam o CDS (Ginásios 1, 2 e 3) com aproximadamente 1.352,35 MWh, o conjunto de edificações do Centro de Ciências Biológicas/Espaço Físico Integrado (724,41 MWh) e as edificações do Centro Tecnológico com 688,13 MWh. Anualmente a energia gerada pelo sistema

fotovoltaico de 5MW seria de 6.193,5 MWh. Observa-se ainda, que o rendimento global dos subsistemas varia de 72 % a 78% e a produtividade anual varia entre 1.150 kWh/kW e 1.301 kWh/kW.

A Fig. 6a apresenta a evolução mensal da irradiação solar global horizontal média diária medida no ano de 2016 (BSRN-2016), a evolução mensal da irradiação solar global horizontal média diária oriunda dos bancos de dados NASA, NREL e ATLAS e ainda a fração da componente difusa em relação à componente global (dados medidos em 2016). A Fig. 6b apresenta, também para o ano de 2016, a evolução mensal da energia consumida pela UC Cidade Universitária no horário FP, da geração do sistema fotovoltaico de 5MW no mesmo horário, e do valor percentual da redução de energia proporcionado pela geração solar fotovoltaica.

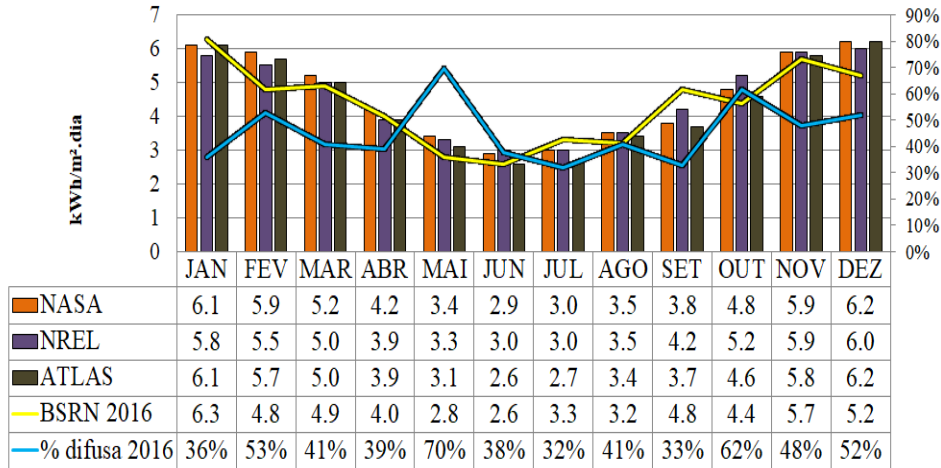


Figura 6 - (a) Irradiação global horizontal média diária e fração difusa.

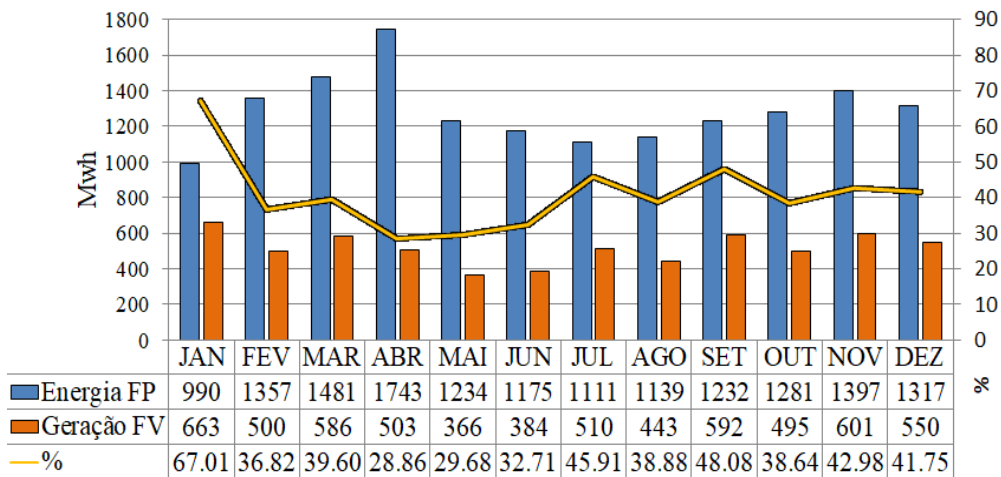


Figura 6 (b) Evolução mensal da energia consumida FP, da geração FV e do percentual de redução.

Em 2016, a irradiação solar global horizontal média diária medida foi de 4,3 kWh/m<sup>2</sup> e os valores obtidos pelo banco de dados da NASA, NREL e do ATLAS foram respectivamente de 4,6 kWh/m<sup>2</sup>, 4,5 kWh/m<sup>2</sup> e 4,4 kWh/m<sup>2</sup>. A diferença percentual entre os dados medidos e os dados da NASA foi de 5,9 %, da NREL foi de 4,7% e do ATLAS foi de 1,9%. Em maio de 2016, foi observada a maior fração da componente difusa em relação à componente global (70%) e em julho foi observada a menor fração difusa (32%). Nos meses de julho e setembro a irradiação difusa teve menor participação devido à menor presença de nuvens e aerossóis.

Verifica-se que, em 2016, o gerador solar fotovoltaico de 5 MW proporcionaria maior redução de consumo de energia elétrica FP nos meses de janeiro (67,01%), julho (45,91%), setembro (48,08%), novembro (42,98%) e dezembro (41,75%). A geração solar fotovoltaica proporcionaria uma redução anual de aproximadamente 40% do consumo total de energia elétrica da UC, no horário FP.

A Fig. 7a apresenta, para o ano de 2016, em intervalos de uma hora, a curva de demanda original da UC e a curva de demanda desta UC com a contribuição da geração fotovoltaica de 5 MW proposta. A Fig. 7b apresenta a curva de carga e a geração fotovoltaica simulada, ambas em base horária, para o dia 18 de abril de 2016, data em que ocorreu o maior valor de demanda do período analisado.

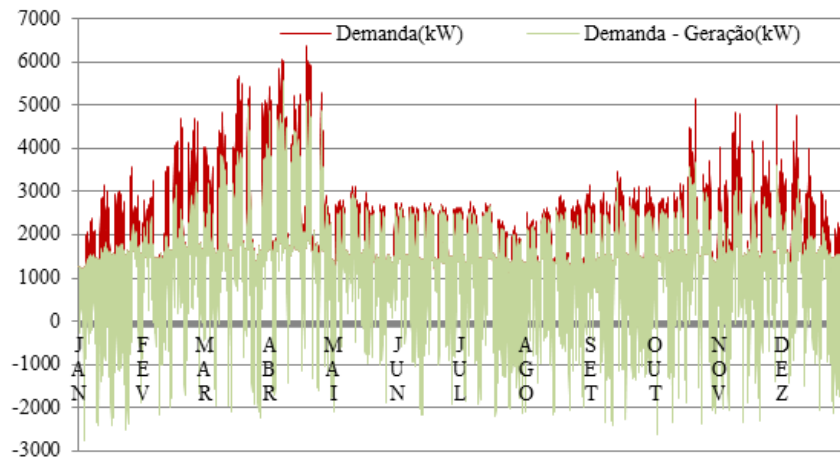


Figura 7 – (a) Evolução mensal da demanda original da UC e demanda da UC com a contribuição da usina FV de 5 MW.

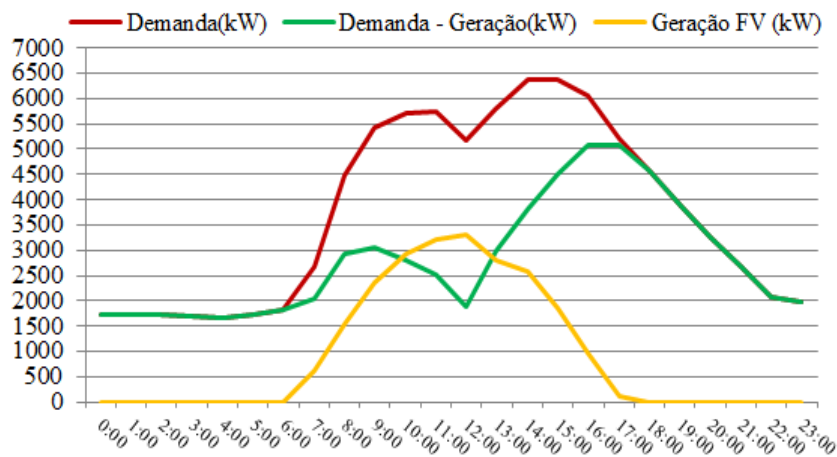


Figura 7 b) Evolução da demanda original da UC e demanda da UC com a contribuição da usina simulada de 5 MW.

Para o dia 18 de abril de 2016, podem-se observar baixos valores de demanda no período compreendido entre 00h00min e 07h00min (aproximadamente 1.700 kW). No período matutino, a curva de demanda apresenta um pico de aproximadamente 5.730 kW às 11h00min e um vale no período compreendido entre 11h00min e 13h00min. No período vespertino, a partir das 13h00min a demanda aumenta continuamente até alcançar seu valor máximo de aproximadamente 6.380 kW às 14h30min. No período noturno, embora ainda com atividades sendo ainda desenvolvidas, os valores de demanda da UC diminuem consideravelmente.

A Tab. 4 apresenta a evolução mensal das despesas faturadas (com impostos) referentes à energia consumida no horário FP e as despesas com energia (considerando os impostos) que seriam evitadas pela agregação da energia solar fotovoltaica de 5 MW à UC Cidade Universitária.

Tabela 4 – Evolução mensal das despesas faturadas com energia elétrica no horário FP e despesas evitadas.

| Mês/R\$  | JAN        | FEV        | MAR        | ABR        | MAI        | JUN        | JUL        | AGO        | SET        | OUT        | NOV        | DEZ        | ANO          |
|----------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|--------------|
| R\$ Fat. | 443.916,30 | 615.107,56 | 670.212,26 | 818.431,89 | 579.377,27 | 540.842,39 | 513.681,81 | 519.595,01 | 531.979,37 | 552.201,38 | 617.951,44 | 565.362,14 | 6.968.658,82 |
| R\$ Evi. | 297.448,58 | 226.490,13 | 265.379,17 | 236.196,25 | 171.969,88 | 176.895,05 | 235.841,44 | 201.996,10 | 255.762,90 | 213.349,32 | 265.626,23 | 236.014,44 | 2.782.969,48 |

A despesa anual faturada com energia FP foi de R\$ 6.968.658,82. Com a inserção da energia solar fotovoltaica do sistema FV de 5 MW na UC o custo anual evitado seria de R\$ 2.782.969,48, aproximadamente 39,94% da despesa anual com energia no horário FP e 29,74% da despesa anual total com energia (P e FP) da UC Cidade Universitária.

A Tab. 5 apresenta, para o ano de 2016, a nova demanda resultante (simulada) e a sugestão de contratação de demanda para a UC atendendo às prescrições da REN 482/2012 (ANEEL, 2012) e posteriormente ao critério de mínimo custo anual com demanda, considerando a inserção da geração solar fotovoltaica.



Tabela 5 – Demanda resultante simulada e sugestão de demanda a contratar

|          | JAN  | FEV  | MAR  | ABR  | MAI  | JUN  | JUL  | AGO  | SET  | OUT  | NOV  | DEZ  |
|----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| SIMULADA | 2232 | 3215 | 4980 | 5568 | 2929 | 2680 | 2659 | 2642 | 3209 | 3677 | 3889 | 3280 |
| SUGERIDA | 5000 | 5000 | 5000 | 5325 | 5000 | 5000 | 5000 | 5000 | 5000 | 5000 | 5000 | 5000 |

Destaca-se a contratação obrigatória de 5.000 kW ao longo do ano, com solicitação de aumento de contratação para 5.325 kW, no mês de abril.

A Tab. 6 apresenta, para o mesmo ano e com inserção da geração solar fotovoltaica, a evolução mensal das despesas com demanda da UC e as despesas que seriam evitadas devido à contratação sugerida.

Tabela 6 – Evolução mensal das despesas com demanda e despesas evitadas.

|          | JAN        | FEV       | MAR       | ABR        | MAI        | JUN         | JUL         | AGO         | SET         | OUT       | NOV       | DEZ       | ANO        |
|----------|------------|-----------|-----------|------------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-----------|-----------|-----------|------------|
| R\$ Fat. | 54.566,09  | 74.419,71 | 74.283,7  | 102.797,34 | 109.057,45 | 52.109,25   | 52.341,28   | 52.064,69   | 52.129,02   | 86.777,09 | 76.834,83 | 82.625,98 | 870.006,43 |
| R\$ Evi. | - 8.882,85 | 10.264,79 | 10.246,03 | 28.811,83  | 42.630,47  | - 13.027,31 | - 13.085,32 | - 13.016,17 | - 13.032,26 | 21.755,64 | 10.104,55 | 17.863,95 | 789.373,07 |

Neste caso, os custos com demanda seriam de R\$ 789.373,08 representando um custo evitado com demanda de R\$ 80.633,35 (9,27%).

Finalmente, a Tab. 7 apresenta, para o ano de 2016 e com inserção da geração solar fotovoltaica a evolução mensal das despesas totais evitadas com energia e com demanda. Observa-se que, em 2016, nestas condições as despesas totais evitadas seriam de R\$2.863.642,84.

Tabela 7 – Evolução mensal das despesas evitadas.

|          | JAN        | FEV        | MAR        | ABR        | MAI        | JUN        | JUL        | AGO        | SET        | OUT        | NOV        | DEZ        | ANO          |
|----------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|--------------|
| R\$ Evi. | 288.605,72 | 236.754,92 | 275.625,20 | 265.008,07 | 214.600,35 | 163.867,74 | 222.756,12 | 188.979,93 | 242.730,64 | 235.104,96 | 275.730,78 | 253.878,39 | 2.863.642,84 |

#### 4. CONCLUSÃO

A metodologia desenvolvida possibilitou avaliar os impactos da agregação da energia solar fotovoltaica nas despesas de energia elétrica da unidade consumidora (UC) Cidade Universitária, localizada no Campus Trindade da Universidade Federal de Santa Catarina.

Em 2016, a unidade consumidora analisada apresentou despesas com energia elétrica no horário fora da ponta de R\$ 6.968.658,82. Suas demandas máximas mensais ocorreram no período vespertino. A demanda máxima (6.380 kW) ocorreu no dia 18 de abril de 2016, às 14h30min.

Se à UC Cidade Universitária fosse agregada a geração fotovoltaica de um sistema FV de 5 MW a despesa anual evitada com energia elétrica seria de R\$ 2.782.969,48, correspondendo a aproximadamente 39,9% de sua despesa com energia no horário FP e 29,7% de sua despesa total com energia elétrica. Os custos anuais evitados com demanda seriam de R\$ 80.633,35 totalizando custos anuais evitados (com energia + demanda) de R\$ 2.863.642,84.

A agregação da energia solar fotovoltaica, pela concomitância entre geração e consumo, se apresenta como uma proposta muito interessante para reduzir o consumo de energia elétrica de UC de Campi Universitários. Entretanto, devido à grande variabilidade temporal do recurso solar, seu impacto sobre a demanda apresenta incertezas. Para garantir a redução da demanda da unidade consumidora e conseqüentemente a redução de seu custo devido à demanda, um sistema de armazenamento de energia poderia ser dimensionado para ser utilizado apenas nos momentos de maior demanda, garantindo neste período, sua redução adequada e desejada.

#### REFERÊNCIAS

- Agência Nacional de Energia Elétrica, ANEEL, 2010. Resolução Normativa Nº 414, de 9 de Setembro de 2010. Disponível em <www.aneel.gov.br>
- Agência Nacional de Energia Elétrica, ANEEL, 2012. Resolução Normativa Nº 482, de 17 de Abril de 2012. Disponível em <www.aneel.gov.br>
- Agência Nacional de Energia Elétrica, ANEEL, 2015. Resolução Homologatória Nº 1.927, de 4 de Agosto de 2015. Disponível em www.aneel.gov.br
- Agência Nacional de Energia Elétrica, ANEEL, 2016. Resolução Homologatória Nº 2.120, de 16 de Agosto de 2016. Disponível em <www.aneel.gov.br>
- Alyahya, S., Irfan, M.A., 2016. Role of Saudi universities in achieving the solar potential 2030 target, Energy Policy, vol. 91, pp. 325-328.
- Boing Neto, J., Grigoletto Neto, D., Osmari, R.H., Hoffmann, M.R., Pinto, G.X.A., Naspolini, H.F., Rütther, R., 2017. Programa APOENA 1.0 - Manual do Usuário, Relatório Interno, UFSC, Florianópolis, p. 47.
- Colle, S., 2017. Basic measurements of radiation at station Florianópolis (2016). Universidade Federal de Santa Catarina, PANGAEA

- IEA, 2015 IEA-Trends 2015 in photovoltaic applications, Executive summary. Report IEA-PVPS T1-27:2015.
- INMET. Banco de dados de irradiação solar e temperatura ambiente para a estação Florianópolis. Disponível em <<http://www.inmet.gov.br/>>. Acesso em: 10/09/15.
- International Energy Agency, Tracking Clean Energy Progress-Energy Technology Perspectives 2016 excerpt as IEA Input to the Clean Energy Ministerial. IEA Publications, May 2016.
- IPCC Fourth Assessment Report, 2007. Intergovernmental panel on climate change.
- Kapsomenakis, J., Kolokotsa, D., Nikolaou, T., Santamouris, M., Zerefos, S.C., 2013. Forty years increase of the air ambient temperature in Greece: The impact on buildings, Energy Conversion and Management, vol. 74, pp. 353-365.
- Karabulut A, Alkan M.,A. 2010. An empirical study investigating the teaching of renewable energy sources which are important in the global financial crisis environment at university level. What others manifest? The world economy in the theoretical turbulence of global financial crisis, pp. 420-427.
- NASA. Surface meteorology and Solar Energy Release Data Set. Disponível em: <<http://eosweb.larc.nasa.gov/sse>>. Acesso em: 03/09/15.
- Naspolini, H.F., Boing Neto, J., Pinto, G.X.A., Rüther, R., 2016, Estimativa da produção energética e de desempenho de um sistema fotovoltaico integrado ao complexo aquático da Universidade Federal de Santa Catarina, VI Congresso Brasileiro de Energia Solar, Belo Horizonte.
- Nasution,H., Sumeru, K., Aziz, A.A., Senawi, M.Y. 2014. Experimental study of air conditioning control system for building energy saving, in: The 6th International Conference on Applied Energy, vol. 61, pp. 63–66.
- NREL. CSR Model data for South America. Disponível em: <<https://www.data.gov>>. Acesso em: 03/09/15.
- Park, E., Kwon, S.J., 2016. Solutions for optimizing renewable power generation systems at Kyung-Hee University's Global Campus, South Korea, Renewable Energy, vol. 58, pp. 439-449.
- Pereira, E.B., Martins, F.R., Gonçalves, A.R., Costa, R.S., Lima, F.J.L., Rüther, R., Abreu, S.L., Tiepolo, G.M., Pereira, S.V., Souza, J.G. 2017. 2ª Edição Atlas Brasileiro de Energia Solar, INPE, São José dos Campos, Brazil. ISBN: 978-85-17-00089-8.
- Pinto, G.X.A., Naspolini, H.F., Rüther, R., 2017, XNsolar, versão 1.0, INPI – Instituto Nacional da Propriedade Industrial, 2017, Nº BR5120160010932.
- Pinto, G.X.A., Naspolini, H.F., Rüther, R., 2016, Impactos sobre a demanda e contribuição energética da geração fotovoltaica conectada à rede elétrica, VI Congresso Brasileiro de Energia Solar, Belo Horizonte.
- PVSyst - Software de dimensionamento fotovoltaico. Modelo 6.63, 2017. Disponível em: <[www.pvsyst.com](http://www.pvsyst.com)>
- Rüther, R., Zilles, R., 2011. Making the case for grid-connected photovoltaics in Brazil, Energy Policy, vol. 39, pp. 1027-1030.
- Wesletter W., 1998. Renewable energy e energy efficient policy and the environment, Renewable Energy, vol.13, pp. 275-276.
- Yarbrough, I., Sun, Q., Reeves, D.C., Hackman, K., Bennett, R., Henshel, D.S., 2015. Visualizing building energy demand for building peak energy analysis, Energy and Buildings, vol. 91, pp. 10-15.

## IMPACTS THAT PHOTOVOLTAIC ENERGY CAN HAVE ON MANAGING ENERGY COSTS IN UNIVERSITIES

**Abstract.** *The objective of this paper is to evaluate the impact that the insertion of 5MW of photovoltaic energy can have on managing energy costs at Universidade Federal de Santa Catarina. For the year 2016, the energy contribution of a 5 MW grid-connected photovoltaic system would have been approximately 6,193.5 MWh, contributing around 40.07% of the total off-peak energy consumption, representing an avoided cost of 39.94% (R\$ 2,782,969.48). The annual costs avoided due to impacts on demand would be R\$ 80,633.35 (9.27%). The total annual costs avoided (energy + demand) would have been R\$ 2,863,642.84 (27.99%).*

**Key Words:** *Photovoltaic Solar Energy, Solar Energy Use, Solar Energy Management.*