



## **ONIBUS ELÉTRICO ABASTECIDO POR EDIFICAÇÃO SOLAR FOTOVOLTAICA**

**Andrigo Filippo Antonioli (1); Alexandre Albuquerque Montenegro (2); Ricardo Rütther (3)**

(1) Eng. Civil, Doutorando em Engenharia Civil, [andrigofilippo@gmail.com](mailto:andrigofilippo@gmail.com)

(2) Eng. Mecânico, Doutorando em Engenharia Civil, [alexandre.a.montenegro@gmail.com](mailto:alexandre.a.montenegro@gmail.com)

(3) PhD, Professor do Departamento de Engenharia Civil, [ricardo.ruther@ufsc.br](mailto:ricardo.ruther@ufsc.br)

Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Civil, Centro de Pesquisa e Capacitação em Energia Solar Fotovoltaica, Av. Luiz Boiteux Piazza, 1302, Lotes 114/115  
Florianópolis- SC, 88056-000, Tel.: (48) 3721-4598

### **RESUMO**

Este artigo faz uma análise energética do Centro de Pesquisa e Capacitação em Energia Solar da Universidade Federal de Santa Catarina (Lab. Fotovoltaica-UFSC), no Sapiens Parque, em Florianópolis-SC, levando em consideração as recargas de um ônibus 100% elétrico (e-Bus) utilizado para transporte de usuários dos prédios entre o campus central da UFSC e o Sapiens Parque. Nesse estudo foi analisada a fatura de energia das edificações (Bloco A e Bloco B) e a geração dos sistemas fotovoltaicos conectados a rede – SFVCR existentes no Centro de pesquisa, também foi calculado o consumo energético do e-Bus, o qual está conectado às edificações, considerado cinco viagens por dia entre o campus central da UFSC (Trindade) até o Sapiens Parque. Com os dados de consumo e geração, foi possível avaliar os SFVCR – integrados às coberturas dessas edificações e em solo –, o consumo próprio dessas edificações e de seus usuários, e o consumo do e-Bus em suas cinco recargas diárias.

Palavras-chave: ônibus elétrico, fotovoltaica, BIPV, BAPV, SFVCR, geração distribuída.

### **ABSTRACT**

This article makes an energy analysis of the Solar Energy Research and Training Center of the Federal University of Santa Catarina (Lab. Fotovoltaica-UFSC), at Sapiens Parque, Florianópolis-SC, taking into account the recharges of a full electric bus (e-Bus) used to transport users of the buildings between the central campus of UFSC and Sapiens Parque. In this study the energy bill of the buildings (Block A and Block B) and the generation of grid-connected photovoltaic systems (SFVCR) in the Research Center were also analyzed, the energy consumption of the e-Bus was also calculated, which is connected to the buildings, considered five trips per day between the central campus of UFSC (Trindade) and Sapiens Parque. With the data of consumption and generation, it was possible to evaluate the SFVCR - integrated to the coverings of these buildings and in soil -, the own consumption of these buildings and of their users, and the consumption of the e-Bus in its five daily refills.

Keywords: electric bus, photovoltaic, BIPV, BAPV, distributed generation.

## 1. INTRODUÇÃO

Dentro da área da construção civil, as edificações consomem energia elétrica desde a etapa de execução da obra. Em 2015, segundo EPE (2016), as edificações comerciais, residenciais e públicas foram responsáveis por 43% (265,4 TWh) do consumo total de energia elétrica do país (615,9 TWh), sendo que o setor residencial consumiu 21,3% (131,31 TWh) e o comercial 14,8% (91,4 TWh) deste total. Vale ressaltar que 15,1% são referentes a perdas do sistema (EPE, 2016).

Toda edificação tem seus usuários, seja para moradia, trabalho, lazer, entre outros usos. Diariamente surge a necessidade de mobilidade urbana dentro das pequenas ou grandes cidades, sendo que a maior parte dos fluxos se refere a deslocamentos de pessoas entre sua moradia e o trabalho. Por esse motivo, faz muito sentido pensar em veículos elétricos que possam usar como postos de recarga edifícios residenciais, comerciais ou públicos. Além disso, a preocupação com emissão de gases de efeito estufa (GEE) vem aumentando, e o uso de fontes renováveis de energia torna-se cada vez mais necessária. Uma das alternativas seria o uso da energia solar através da integração de módulos fotovoltaicos ao envelope construtivo de edificações, nas quais tais áreas de outra forma não seriam utilizadas para gerar energia elétrica, mas somente para proteção de agentes externos.

No Brasil, a geração solar fotovoltaica integrada a edificações possui um alto potencial devido aos elevados índices de irradiação solar ao longo de todo o território nacional (4,25 kWh/m<sup>2</sup> a 6,30 kWh/m<sup>2</sup>) (PEREIRA, 2006). Somado a isso, é uma geração distribuída consumida diretamente pela edificação de uma forma inteligente e sem a necessidade de uma linha de transmissão ou conexão em subestação (RUTHER, R; ZILLES, R, 2011; ANEEL, 2016; ANEEL, 2017).

Quando a integração fotovoltaica é possível e a potência instalada gerar anualmente a mesma quantidade de energia que o edifício consumir, pode-se entender que a edificação é um ZEB (*Zero Energy Building*) ou edificação de energia zero. Caso o balanço anual entre o consumo de energia elétrica e a geração fotovoltaica do sistema integrado estiver negativa, ou seja, gerando mais do que o consumo, a edificação passa a ser um *Energy Plus Building* (edificação de energia positiva). As edificações do Centro de Pesquisa e Capacitação em Energia Solar da Universidade Federal de Santa Catarina (Lab. Fotovoltaica-UFSC) caracterizam-se como *Energy Plus Building* (DÁVI *et al.* 2016).

Este artigo apresenta a análise energética do Lab. Fotovoltaica-UFSC, considerando (i) a geração dos sistemas fotovoltaicos conectados à rede (SFVCR) – integrados às coberturas dessas edificações e em solo –, (ii) o consumo próprio dessas edificações e de seus usuários, e (iii) o consumo de um ônibus 100% elétrico (e-Bus) em suas cinco recargas diárias.

A seguir estão apresentadas as características das edificações do Lab. Fotovoltaica-UFSC (com seus SFVCR) e do e-Bus.

### 1.1. Edificações do Lab. Fotovoltaica-UFSC e seus SFVCR

O Lab. Fotovoltaica-UFSC é constituído por dois blocos: A e B, com 450,57 m<sup>2</sup> e 174,84 m<sup>2</sup> respectivamente. O Bloco A é uma edificação com: anfiteatro, salas de aula, sala de professores, sala de alunos e sala de reuniões. O Bloco B é uma edificação com: oficina, laboratório de ensino, laboratório de prototipagem, terraço para testes de módulos fotovoltaicos, e mezanino com sala para alunos de iniciação científica e pós-graduação.

As coberturas de ambos os blocos possuem integração de módulos fotovoltaicos (sistemas BAPV<sup>1</sup>), sendo 66,15 kWp no bloco A e 13,50 kWp no bloco B (mas, desses 13,50 kWp, somente 12,35 kWp estão conectados à rede, devido ao uso de 1,15 kWp da integração fotovoltaica para fins de bombeamento de água).

Além da integração nas edificações, o terreno possui um estacionamento solar do tipo BIPV<sup>2</sup> com 13,44 kWp, um conjunto de estruturas de solo com 10 kWp e um eletroposto de recarga para o ônibus elétrico, na cobertura do qual foi instalado um BAPV de 2,44 kWp.

O eletroposto de recarga do e-Bus foi desenhado pensando numa proposta de parada de ônibus, que ao mesmo tempo atendesse à necessidade de abrigar um trafo de 100 kVA e um carregador com 75 kW de

---

<sup>1</sup> BAPV - *Building Applied Fotovoltaic*: SFVCR integrado a uma edificação já existente. Os módulos fotovoltaicos podem ter orientação e inclinação diferentes da edificação, não substitui o material de vedação e normalmente são utilizados em retrofit e coberturas.

<sup>2</sup> BIPV – *Building Integrated Fotovoltaic*: SFVCR já previsto desde a fase de projetos da edificação. Os módulos fotovoltaicos são usados como elemento construtivo e podem substituir o material de vedação. São inseridos em coberturas, fachadas, brises e pérgolas.

potência (Takaoka/Mitsubyschi) do tipo “carga lenta” (1h30 para fazer cada recarga). Os passageiros não têm acesso aos equipamentos elétricos e apenas usam o espaço de espera do ônibus (banco). Somente o motorista tem acesso ao carregador do e-Bus. O trafo de média tensão tem acesso restrito a integrantes autorizados da equipe do Lab. Fotovoltaica-UFSC. A técnica construtiva adotada foi um sistema autoportante e 100% reciclável, composto por painéis de microconcreto armado com preenchimento em EPS, formando uma espécie de sanduíche (concreto armado + EPS + concreto armado). Na cobertura foi previsto já na fase de projeto a integração de 25 módulos fotovoltaicos de telureto de cádmio (CdTe), orientados a 36,24° leste e com inclinação de 3°.

Na Figura 1 estão apresentados, através de uma maquete eletrônica, os SFVCR's do Lab. Fotovoltaica-UFSC, o posicionamento do eletroposto de recarga e do e-Bus.



Figura 1- SFVCR's do Centro de Pesquisa e Capacitação em Energia Solar da UFSC e o ônibus 100% elétrico.

## 1.2. Ônibus elétrico (e-Bus)

O e-Bus da UFSC traz um conceito de deslocamento produtivo, ou seja, o tempo de deslocamento (30 min) entre o campus central (Trindade) até o Lab. Fotovoltaica-UFSC (Sapiens Parque) – 26 km – pode ser usado como tempo de trabalho, pois os passageiros podem utilizar uma rede Wi-fi móvel, ar-condicionado, tomadas USB para cada assento e duas mesas de reunião com tomadas 220 V para notebooks.

O veículo tem um modelo de carroceria já conhecido no mercado (Torino Low Entry, da Marcopolo) com capacidade para 37 passageiros sentados e rampa de acesso para portadores de necessidades especiais. O chassi é o 0500U elétrico da Mercedes-Benz e o motor elétrico é um WEG Trifásico 250L com 200/400 kW de potência. O projeto de integração elétrica foi desenvolvido pela Eletra e possui um conjunto de baterias de íons lítio (8 packs), totalizando 128 kWh de capacidade.

## 2. OBJETIVOS

O objetivo deste artigo é apresentar uma estimativa de geração dos SFVCR do Lab. Fotovoltaica-UFSC e comparar com o consumo dessas edificações somado ao consumo referente a cinco viagens diárias de um ônibus 100% elétrico (e-Bus), que utiliza as instalações como ponto de recarga.

## 3. MÉTODO

Para o atendimento do objetivo geral, foram seguidos os seguintes passos:

1. Estimativa da geração média mensal dos SFVCR do Lab. Fotovoltaica-UFSC;
2. Levantamento do consumo mensal de energia elétrica das edificações do Lab. Fotovoltaica-UFSC;
3. Levantamento do consumo mensal do e-Bus em suas recargas;
4. Comparação mensal e anual entre a geração fotovoltaica e o consumo do Lab. Fotovoltaica-UFSC;

### 3.1. Estimativa da geração mensal dos SFVCR do Lab. Fotovoltaica-UFSC

Não estão ainda disponíveis dados de geração fotovoltaica de um ano completo pelos SFVCR do Lab. Fotovoltaica-UFSC, pois ocorreu bastante demora para que a concessionária local (CELESC)

disponibilizasse a rede em média tensão ao Sapiens Parque. Além disso, para análise de balanço energético de edificações com SFVCR, é recomendável a utilização de valores médios mensais de geração fotovoltaica de sistemas que operam há mais de dez anos (para incorporar a variabilidade de irradiação mensal ao longo dos anos).

A geração mensal dos SFVCR do Lab. Fotovoltaica-UFSC foi então estimada e seguiu três etapas:

1. Levantamento da potência dos SFVCR do Lab. Fotovoltaica-UFSC;
2. Estimativa da produtividade média mensal dos SFVCR do Lab. Fotovoltaica-UFSC com base em dados de SFVCR efetivamente em operação em Florianópolis-SC há mais de dez anos, e
3. Estimativa da geração mensal dos SFVCR do Lab. Fotovoltaica-UFSC.

A geração estimada dos SFVCR instalados no Lab. Fotovoltaica-UFSC foi calculada pela Equação 1.

$$\text{Ger\_SFVCR}_{\text{FV-UFSC}} = P_{\text{SFVCR}_{\text{FV-UFSC}}} \times \text{Prod\_SFVCR}_{\text{Fpolis}} \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

$\text{Ger\_SFVCR}_{\text{FV-UFSC}}$  [kWh/mês] é a geração mensal estimada dos SFVCR instalados no Lab. Fotovoltaica-UFSC;

$P_{\text{SFVCR}_{\text{FV-UFSC}}}$  [kWp] é a potência dos SFVCR do Lab. Fotovoltaica-UFSC;

$\text{Prod\_SFVCR}_{\text{Fpolis}}$  [kWh/kWp/mês] é produtividade média mensal de SFVCR efetivamente em operação em Florianópolis-SC há mais de dez anos.

### **3.2. Levantamento do consumo mensal de energia elétrica das edificações do Lab. Fotovoltaica-UFSC**

Para o consumo mensal e anual de energia elétrica das edificações do Lab. Fotovoltaica-UFSC, foram considerados os totais de consumo para o período de março de 2016 a fevereiro 2017.

Para edificações com SFVCR, dependendo da forma de conexão à rede, parte do consumo pode estar sendo atendido simultaneamente à geração fotovoltaica, sem que essa parte do consumo seja contabilizada. Caso isso ocorra, a parcela de consumo atendida simultaneamente deve ser considerada no levantamento do consumo total da edificação.

No caso do Lab. Fotovoltaica-UFSC, toda a geração fotovoltaica dos SFVCR é injetada em média tensão na rede antes dessa energia ser consumida pelas edificações. Ou seja, o total de kWh indicado no “consumo total faturado”, nas faturas mensais da CELESC (concessionária de energia local) corresponde efetivamente ao consumo total das edificações, e assim foi considerado.

No período considerado, o e-Bus fez somente poucas recargas, pois estava em fase de testes.

### **3.3. Levantamento do consumo mensal do e-Bus em suas recargas**

Em 06/03/2017, o e-Bus começou a operar com cinco viagens diárias de 52 km (Sapiens>UFSC>Sapiens). Foram monitorados os valores de consumo de energia a cada recarga, e foi calculado o valor médio de consumo por recarga.

Foi então verificado quantos dias úteis havia em cada mês, ao longo do ano de 2016, e calculado o consumo mensal do e-Bus através da Equação 2.

$$\text{Consumo\_mês}_{\text{e-Bus}} = \text{Consumo\_recarga}_{\text{e-Bus}} \times \text{Viagens\_dia} \times \text{Dias\_úteis\_mês} \quad \text{Equação 2}$$

Onde:

$\text{Consumo\_mês}_{\text{e-Bus}}$  é o consumo mensal do e-Bus;

$\text{Consumo\_recarga}_{\text{e-Bus}}$  é o consumo médio por recarga, a cada retorno de viagem Sapiens>UFSC>Sapiens (52 km);

$\text{Viagens\_dia}$  é o total de viagens a cada dia útil (valor fixo: 5), e

$\text{Dias\_úteis\_mês}$  é o total de dias úteis a cada mês, conforme o calendário de 2016 para Florianópolis-SC.

### **3.4. Comparação mensal e anual entre a geração FV e o consumo do Lab. Fotovoltaica-UFSC**

Com os dados obtidos nos três subitens anteriores, foram então feitas as comparações, para verificar quanto da geração dos SFVCR do Lab. Fotovoltaica-UFSC é utilizada pelo consumo das edificações e pelo consumo da recarga do ônibus elétrico.

#### 4. RESULTADOS

Seguindo o método proposto, foram realizados os cálculos e os resultados estão apresentados em forma de tabelas. Na Tabela 1 são indicadas as potências dos SFVCR do Lab. Fotovoltaica-UFSC, que foram utilizados como base para os estudos. Na Tabela 2 estão apresentados os valores de geração fotovoltaica, o consumo do Lab. Fotovoltaica-UFSC e o consumo do e-Bus.

Tabela 1 - Potência dos SFVCR do Lab. Fotovoltaica-UFSC.

Localização dos módulos FV do SFVCR	Potência (kWp)
Cobertura Bloco A	66,15
Cobertura Bloco B	12,35
Cobertura estacionamento	13,44
Cobertura eletroposto	2,44
Sistemas de solo	10,00
<b>Total</b>	<b>104,38</b>

Tabela 2 - Geração fotovoltaica e o consumo do Lab. Fotovoltaica-UFSC + consumo e-Bus.

Mês	Produtividade mensal (kWh/kWp/mês)	Geração FV (kWh/mês)	Consumo e-Bus (kWh/mês)	Consumo edificações (kWh/mês)	Consumo e-Bus + edificações (kWh/mês)
Jan	103	10.722	5.835	1.380	7.215
Fev	93	9.682	6.127	1.260	7.387
Mar	104	10.882	6.419	2.083	8.502
Abr	91	9.521	5.835	1.712	7.547
Mai	88	9.201	6.419	2.381	8.800
Jun	80	8.321	6.419	1.385	7.804
Jul	74	7.761	6.127	1.200	7.327
Ago	90	9.361	6.710	1.870	8.580
Set	85	8.881	6.127	1.533	7.660
Out	93	9.682	5.835	904	6.739
Nov	100	10.402	5.835	909	6.744
Dez	100	10.402	6.419	1.299	7.718
<b>TOTAL ANUAL</b>	<b>1.100</b>	<b>114.818</b>	<b>74.105</b>	<b>17.916</b>	<b>92.021</b>
<b>MÉDIA</b>	<b>92</b>	<b>9.568</b>	<b>6.175</b>	<b>1.493</b>	<b>7.668</b>

Observando a Tabela 2 é possível verificar que o consumo do Lab. Fotovoltaica-UFSC registrado nas faturas do período analisado, somado ao consumo estimado das recargas do e-Bus (caso estivesse operando no mesmo período), resulta num consumo de energia elétrica anual de 92.021 kWh, sendo que, nessa simulação, o consumo das edificações representaria 19,5% (17.916 kWh/ano) desse consumo total e as recargas do ônibus representariam 80,5% (74.105 kWh/ano) desse consumo total.

A Tabela 3 apresenta a relação entre o consumo das edificações do Lab. Fotovoltaica - UFSC e do e-Bus e geração dos SFVCR mencionados neste estudo. Nessa simulação, o consumo total correspondeu a 80% da energia gerada; ou seja, os SFVCR do laboratório geram anualmente 25% de energia a mais do que a consumida pela soma das edificações e o e-Bus.

Tabela 3 - Relação entre consumo e geração das edificações do Lab. Fotovoltaica - UFSC e do e-Bus.

Mês	[Consumo e-Bus] / [Geração SFVCR] (%)	[Consumo edificações] / [Geração SFVCR] (%)	[Consumo (e-Bus + edificações)] / [Geração SFVCR] (%)
Jan	54%	13%	67%
Fev	63%	13%	76%
Mar	59%	19%	78%
Abr	61%	18%	79%
Mai	70%	26%	96%
Jun	77%	17%	94%
Jul	79%	15%	94%
Ago	72%	20%	92%
Set	69%	17%	86%
Out	60%	9%	70%
Nov	56%	9%	65%
Dez	62%	12%	74%
<b>TOTAL ANUAL</b>	<b>65%</b>	<b>16%</b>	<b>80%</b>

## 5. CONCLUSÕES

Através das análises desse artigo, foi possível validar os dados de consumo das edificações do Lab. Fotovoltaica-UFSC, através do histórico do primeiro ano de operação do centro de pesquisa. Com o acréscimo do consumo diário de quatro viagens do e-Bus, a relação entre consumo e geração ficou em 80%, ou seja, os SFVCR do laboratório geram anualmente 25% de energia a mais do que a consumida pela soma das edificações e o e-Bus.

Na análise de consumo de todas as instalações do Lab. Fotovoltaica-UFSC, incluindo o e-Bus, a demanda de energia elétrica é de 92.021 kWh/ano, sendo que as edificações representam 19,5% (17.916 kWh/ano) e o ônibus 80,5% (74.105 kWh/ano) desse total. Portanto, com esse resultado, pode-se concluir que com a evolução da tecnologia e a chegada de veículos elétricos no Brasil, a demanda por energia elétrica irá aumentar significativamente em centros urbanos.

Conforme os resultados da, o carro elétrico estudado apresenta um consumo superior de 24,2% em relação ao consumido pelas edificações que o abastecem. Esse exemplo serve de alerta e mostra claramente que em breve o país terá uma nova demanda energética dentro das cidades, as quais são formadas por inúmeras edificações que evidentemente poderiam ser usadas para integração de SFVCR.

O artigo mostra o começo da integração entre veículos elétricos e edificações dentro de centros urbanos no Brasil. Edifícios e redes inteligentes já são uma realidade existente em outros países e possuem um grande potencial a ser explorado. A disponibilidade do recurso solar brasileiro permite um bom desempenho de sistemas fotovoltaicos e a integração dessa tecnologia a edificações pode ser pensada desde a etapa de projetos, podendo realizar análises como a desse artigo para prever a conexão de veículos elétricos nas construções ou planejamento de centros urbanos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANEEL - Caderno Temático Micro e Minigeração Distribuída - 2ª edição, 2016. Acesso em: <<https://goo.gl/Kn4yMC>>
- ANEEL - Ofício Circular nº 0010/2017 - Esclarecimentos sobre a REN 482/2012, 2017. Acesso em: <<https://goo.gl/C5eNCM>>
- DÁVI, GIOVANI ALMEIDA ; CAAMAÑO-MARTÍN, ESTEFANÍA ; Rütther, Ricardo ; SOLANO, JUAN . Energy performance evaluation of a net plus-energy residential building with grid-connected photovoltaic system in Brazil. Energy and Buildings, v. 120, p. 19-29, 2016.
- EPE. Anuário estatístico de energia elétrica 2016 – ano base 2015. Rio de Janeiro: EPE, 2016. Disponível em: <[www.epe.gov.br/AnuarioEstatistico/EnergiaElétrica](http://www.epe.gov.br/AnuarioEstatistico/EnergiaElétrica)>
- MMA - Ministério do Meio Ambiente, Inventário nacional de emissões atmosféricas por veículos automotores rodoviários, 2011. Disponível em: <[www.mma.gov.br/estruturas/163/\\_publicacao/163\\_publicacao27072011055200.pdf](http://www.mma.gov.br/estruturas/163/_publicacao/163_publicacao27072011055200.pdf)>
- PEREIRA, E. B. et al. Atlas Brasileiro de Energia Solar. [S.l.], 2006. Disponível em: <[www.ccst.inpe.br/wp-content/themes/ccst-2.0/pdf/atlas\\_solar-reduced.pdf](http://www.ccst.inpe.br/wp-content/themes/ccst-2.0/pdf/atlas_solar-reduced.pdf)>
- PMF - Prefeitura Municipal de Florianópolis, Edital de concessão de serviços públicos de transporte coletivo urbano de passageiros do município, Anexo II, Florianópolis, 2013.
- RUTHER, R; ZILLES, R. . Making the case for grid-connected photovoltaics in Brazil. Energy Policy, v. 39, p. 1027-1030, 2011.

## **AGRADECIMENTOS**

Os autores agradecem o apoio financeiro recebido do Ministério de Ciência, Tecnologia, Inovação e Comunicação (MCTIC) e do Projeto P&D firmado entre a UFSC e as empresas Marcopolo, Mercedes-Benz, WEG e Elera. Os autores agradecem a todos os integrantes da equipe Fotovoltaica UFSC que participaram indiretamente para a elaboração deste estudo, principalmente no fornecimento de dados de consumo e geração do centro de pesquisa e características elétricas do e-Bus.