

## **ESTUDO COMPARATIVO DE DESEMPENHO TERMOENERGÉTICO ENTRE FACHADA SOLAR FOTOVOLTAICA E FACHADA REVESTIDA COM ALUMÍNIO COMPOSTO MODIFICADO (ACM)**

**Lívia Bender (1); Julye Freitas (2); Carlos Krebs (3); Eduardo Grala da Cunha (4); Isabel Salamoni (5)**

(1) Arquiteta, Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Pelotas, livia\_bender@yahoo.com.br

(2) Arquiteta, Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Pelotas, juramalhof@hotmail.com

(3) Ms., Pesquisador do Departamento de Tecnologia da Construção da Universidade Federal de Pelotas carlos.krebs@ufpel.edu.br

(4) Dr., Professor do Departamento de Tecnologia da Construção da Universidade Federal de Pelotas, eduardo.grala@ufpel.edu.br

(5) Dra., Professora do Departamento de Tecnologia da Construção da Universidade Federal de Pelotas, isalamoni@gmail.com

Universidade Federal de Pelotas, Departamento de Tecnologia da Construção, Laboratório de Conforto e Eficiência Energética, R. Benjamin Constant, 1359 - Centro, Pelotas - RS, 96010-020, Tel.: (53) 3245500

### **RESUMO**

As edificações são grandes consumidoras de energia, seja pela sua construção, quanto pela sua utilização. Sendo assim, passa a ser uma necessidade projetar com maior eficiência energética e buscar fontes alternativas e sustentáveis para que elas possam gerar a sua própria energia. Nos países desenvolvidos já se projetam edificações eficientes e com necessidades de consumo quase nulas. O Brasil ainda está caminhando a passos lentos, seja pelo desconhecimento de estratégias e potencialidades de sistemas inovadores ou pela dificuldade em adaptá-los à grande diversidade climática. O país tem um grande potencial para geração de energias renováveis, principalmente a energia solar fotovoltaica (FV), cujos sistemas podem ser instalados próximos ao ponto de consumo, aliado ao benefício de poderem substituir ou se sobrepor a elementos construtivos preexistentes. Apesar disso, o país e os projetistas não têm explorado essas potencialidades. Baseado neste contexto é objetivo deste trabalho analisar a influência de dois tipos de revestimento em uma fachada de edifício comercial sob o ponto de vista termoenergético. Uma fachada considera um revestimento usual em edifícios comerciais (Alumínio Composto Material – ACM) e o outro considera uma fachada solar fotovoltaica (FSFV), instalação pouco usual para baixas latitudes. Como resultado, o estudo demonstra que a FSFV, mesmo não tendo a inclinação ideal em termos de otimização do sistema, é capaz de gerar energia e apresentar um bom desempenho térmico, além de, apresentarem benefícios econômicos quando comparados à fachada com ACM, denominada de FACM.

Palavras-chave: simulação computacional, energia solar, fachadas solares fotovoltaicas, desempenho térmico, eficiência energética.

### **ABSTRACT**

Buildings are huge consumers of energy due their construction and their use. Therefore, it becomes necessary to design with more energy efficiency and to look for renewable and sustainable sources of energy that allows buildings to generate their own energy. In developed countries efficiency buildings with almost zero energy needs are already planned. Brazil is still walking slowly, either because of the lack of knowledge of the strategies and potentialities of innovative systems or because of the difficulty in adapting them to the great climatic diversity. The country has great potential for renewable energy, especially photovoltaic solar energy (PV), whose systems can be installed near the point of consumption combined with the benefit of to be able to replace or overlap the pre-existing building elements. Despite this, the country and the designers

have not exploited these potentialities. Based on this context it is the aim of this work to analyse the influence of two types of covering on a commercial building façade under the thermoenergetic point of view. One facade considers a usual material on commercial façades (Aluminium Composite Material - ACM) and the other considers a solar photovoltaic façade (SPVF), unusual installation for low latitudes. As a result, the study demonstrates that SPVF, even not being the ideal tilt in terms of system optimisation, is capable of generating energy and showing good thermal performance, besides presenting economic benefits when compared to the façade with ACM, called ACMF.

Keywords: computer simulation, solar energy, photovoltaic façades, Thermal performance, Energy efficiency.

## 1. INTRODUÇÃO

No Brasil, de acordo com o Balanço Energético Nacional (MME, 2016), a produção energética elétrica baseia-se 64% na força das hidrelétricas. Essa dependência, de uma única fonte, já fez o país enfrentar grandes apagões, no início dos anos 2000, em decorrência da falta de investimentos na expansão do sistema, do baixo nível hídrico dos reservatórios das usinas de geração de energia, associada a uma demanda crescente. Isso mostra a vulnerabilidade do sistema energético nacional e torna evidente a necessidade da busca por fontes alternativas de energia para complementar a matriz energética nacional.

A indústria da construção civil provoca grande impacto no meio ambiente em função da elevada quantidade de recursos que consome e dos resíduos que produz (MATEUS, 2004). O setor é responsável globalmente por 40% do consumo anual de energia e por até 30% do consumo de energia relacionado à emissão de gases de efeito estufa e, ainda, o setor também representa 12% no consumo de água doce e de aproximadamente 40% da geração de resíduos sólidos (CBCS, 2013). Além disso, grande parte do crescente consumo energético nacional pode ser atribuída às edificações e suas variáveis arquitetônicas e construtivas, uma vez que existe uma grande diversidade climática no Brasil, que gera necessidades construtivas específicas para cada região. O desconhecimento destas necessidades acaba por ocasionar um crescimento desenfreado de edificações com desempenho termoenergético reduzido, conseqüentemente, gerando um elevado consumo de energia (LAMBERTS et al. 2006). Isso poderia ser evitado através da construção de edificações mais eficientes, porém, os custos finais têm grande impacto nas escolhas, principalmente, de tecnologias e materiais a serem empregados na construção civil.

Dentro desse contexto, o sistema solar fotovoltaico (SFV), que por desconhecimento de muitos, no que diz respeito ao seu potencial, benefícios e viabilidade econômica, acaba por não ser considerado como uma alternativa, tanto para geração de energia, quanto para substituição ou sobreposição de elementos construtivos do sistema de vedação externa das edificações. Ele pode cumprir com a dupla função, de fechamento da edificação e de geração da própria energia consumida, instalado próximo do ponto de consumo, de uma forma limpa e sustentável. O sistema SFV pode ser sobreposto ao sistema de vedação da edificação – BAPV (*Building Applied Photovoltaics*) ou substituir elementos construtivos e/ou revestimentos do envelope da edificação – BIPV (*Building Integrated Photovoltaics*). Isto pode ser observado na Figura 1, nos exemplos comerciais edificados da Torre Garena (arquitetos Joaquín Pallas e Gonzaga Bárcenas, Alcalá de Henares, Espanha, 2005) e do World Join Center (arquiteto Marco Cerri para Studio Urbam, Milano, Itália, 2006).

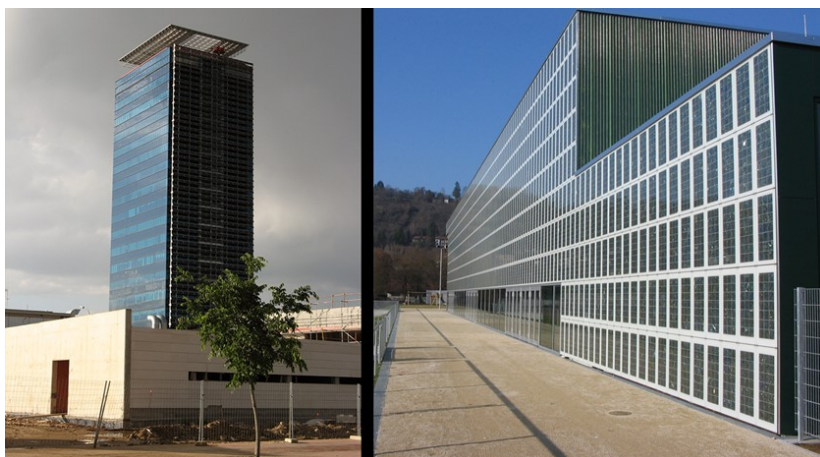


Figura 1 - Torre Garena e Tubingen Sporthalle, ambos os exemplos de BIPV (PEINADO, M., 2016 e APPEL, B. 2016).

Entretanto, apenas uma pequena fração da produção de energia fotovoltaica apresenta-se realmente integrada no ambiente construído. Porém, o apelo pela proteção da paisagem, a concorrência no uso de terras com possibilidade de produção agropecuária, e até mesmo a opinião pública, estão levando os desenvolvedores fotovoltaicos a incrementar o uso no ambiente de construção, tornando-o capaz de produzir eletricidade (PERRET-ABBY, L.E. et al., 2013), e agregar um valor estético. Segundo Cunha (2016), para os edifícios que possuem na sua composição os fechamentos fotovoltaicos, com ênfase para as fachadas, observa-se uma valorização da dimensão estética da tecnologia. O autor afirma que a valorização da dimensão técnica implica numa edificação que prioriza materiais que remetam à tecnologia, como o metal, o vidro, ou enfatiza compositivamente elementos de arquitetura como sistemas de proteção solar, coberturas, vigas, pilares, painéis fotovoltaicos, que podem se estender até superfície de fachada.

Neste contexto, os edifícios de escritórios são uma ótima opção para o uso integrado dos SFV, pois além de apresentarem um elevado consumo de energia elétrica, em função da demanda em iluminação, equipamentos e da climatização artificial, apresentam uma sincronicidade entre geração de energia solar fotovoltaica e consumo. Na sua grande maioria, esses edifícios são verticais, com muitas unidades consumidoras independentes e com pouca área de cobertura, que é o local mais apropriado para a instalação dos SFV em baixas latitudes. Sendo assim, estas coberturas não seriam capazes de abrigar sistemas com grandes potências nominais. Em contrapartida, “as fachadas aparecem como uma oportunidade para geração de eletricidade, através da tecnologia FV integrada na arquitetura (BIPV)” (SANTOS, A. H. C. 2015), de forma a complementar a capacidade instalada, ou de gerar uma energia com um percentual menor de contribuição no suprimento da demanda.

Partindo do princípio de que os revestimentos são considerados um dos itens percentualmente mais caros no orçamento de uma obra, a substituição de um destes elementos por módulos solares FV, já seria uma economia de investimentos, que deve ser computada na análise de custo final (HAAS, 1995). Pois além de cumprirem com a função estética e de vedação, apresentam o benefício de gerarem energia por um período mínimo de 20 anos.

Baseado neste contexto, este estudo apresenta uma análise termoenergética entre duas fachadas, utilizando um mesmo exemplar de edifício comercial, localizado na cidade de Pelotas – RS, na zona bioclimática brasileira 2, uma revestida com ACM e outra com um SFV.

## 2. OBJETIVO

O objetivo principal deste estudo é verificar se um SFV integrado à fachada de um edifício comercial pode substituir funcionalmente um material usual de revestimento, apresentando benefícios finais equivalentes quando associados também à sua energia gerada.

## 3. MÉTODO

O trabalho utiliza a simulação computacional como estratégia de pesquisa. Está dividido em duas etapas principais:

1. Simulação e investigação dos sistemas.
2. Análise termoenergética.

### 3.1. Simulação e investigação dos sistemas

Para esta simulação foi utilizado o programa *EnergyPlus* versão 8.4 (*Department Of Energy – DOE*, 2016). O modelo adotado foi o “representativo de grandes escritórios” desenvolvido por Carlo (2008). Os fatores da escolha por edifícios de escritórios foram: grande disponibilidade de área nas fachadas para geração; consumo elevado de energia por metro quadrado e maior disponibilidade de capital para investimento em geração fotovoltaica, quando comparado com o setor residencial (KIM, D.S.; FERREIRA, C.A. I, 2008). Para a comparação com a FSFV foi escolhido o alumínio composto (ACM) por seu caráter de inovação; por sua grande demanda de aplicação em espaços comerciais, assim como, pelo custo elevado quando comparado a outros revestimentos.

A construção do modelo virtual foi feita no programa *SketchUp* versão *Make* 2015 (TRIMBLE NAVIGATION, 2015), com o *plugin Legacy OpenStudio* versão 8.4 (NREL, 2010-2015). O modelo utilizado apresenta as maiores fachadas orientadas para Norte-Sul e três zonas térmicas (Figura 2) a cada pavimento, onde as zonas com atividade-fim são condicionadas e as centrais não (CARLO, 2008). Este modelo tem dimensões retangulares (27 x 7,80m) e está dividido em duas salas por andar com circulação vertical centralizada (Figura 3). No total, são cinco pavimentos com pé-direito de 2,60m cada.

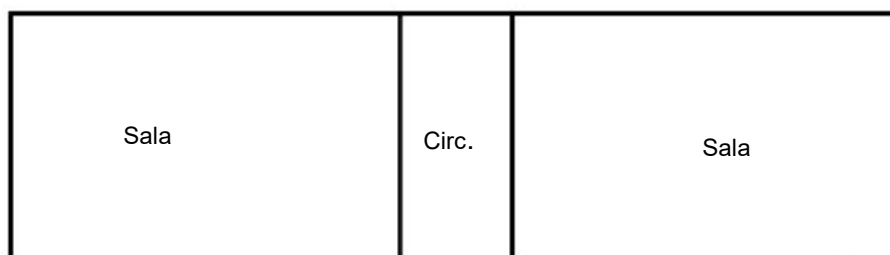


Figura 2 - Distribuição das zonas térmicas no modelo utilizado.

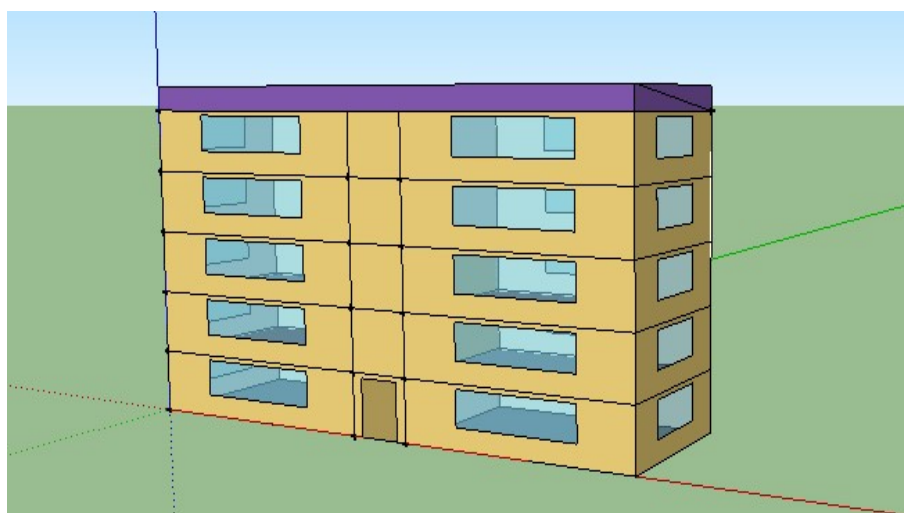


Figura 3 - Modelo utilizado para a simulação.

Os parâmetros adotados para este trabalho são apresentados na Tabela 1, sendo baseados no estudo de Carlo (2008). A taxa de infiltração de ar considerada foi de meia renovação total a cada hora. As temperaturas limites estabelecidas são de 18°C para aquecimento e 24°C para resfriamento. O dimensionamento do sistema de condicionamento de ar considerou o comando *autosize* do programa (CARLO, 2008). Com isso foi definido um dia típico de verão e outro de inverno para o dimensionamento da carga térmica e do sistema de ar condicionado.

O sistema SFV foi configurado no *EnergyPlus* no modo “*Simple*”, que é voltado para fases iniciais de projeto, não necessitando da especificação do arranjo dos módulos, apenas da área de superfície que estes ocupam. O módulo utilizado foi o CS6P – 260P da CanadianSolar.

Tabela 1 – Parâmetros adotados para a simulação no modelo virtual baseados em Carlo (2008) para grandes escritórios.

Parâmetro	Variáveis	Parâmetro	Variáveis
% área de janelas ponderado (PJFp)	25%	Ocupação média	19.57 m <sup>2</sup> /pessoa
Fator solar do vidro (FS)	0.83	Padrões de uso	Ocupação: seg- sex 8h-12h e 14h-18h Iluminação: 8h-22h Equipamentos: 8h-18h
Absortância	Cobertura: 0.84 Parede externa: 0.317 Parede externa PV: 0.65 Parede externa ACM: 0.05	Densidade de carga interna	Iluminação: 6.7 W/m <sup>2</sup> Equipamentos: 9.6 W/m <sup>2</sup>
Emissividade	Cobertura: 0.90 Parede externa: 0.90 Parede externa PV: 0.85 Parede externa ACM: 0.05	Climatização artificial	Tipo Split hi-wall

O contato do piso com o solo é isolado (subsolo) e o entorno urbano não foi considerado devido ao seu aspecto dinâmico e variável. Para este estudo, foram modeladas paredes equivalentes (Figura 4). Este esquema de componentes por camadas obriga a utilizar apenas materiais posicionados transversalmente ao fluxo de calor. Porém, para componentes mais complexos, como blocos ou tijolos, onde existem diferentes camadas paralelas aos fluxos de calor (Figura 4), é necessário desenvolver um componente equivalente à parede original (ORDENES et al, 2003, p. 5). Entretanto, as paredes apresentam a mesma capacidade térmica de 100 kJ/m<sup>2</sup>K de (CARLO, 2008).

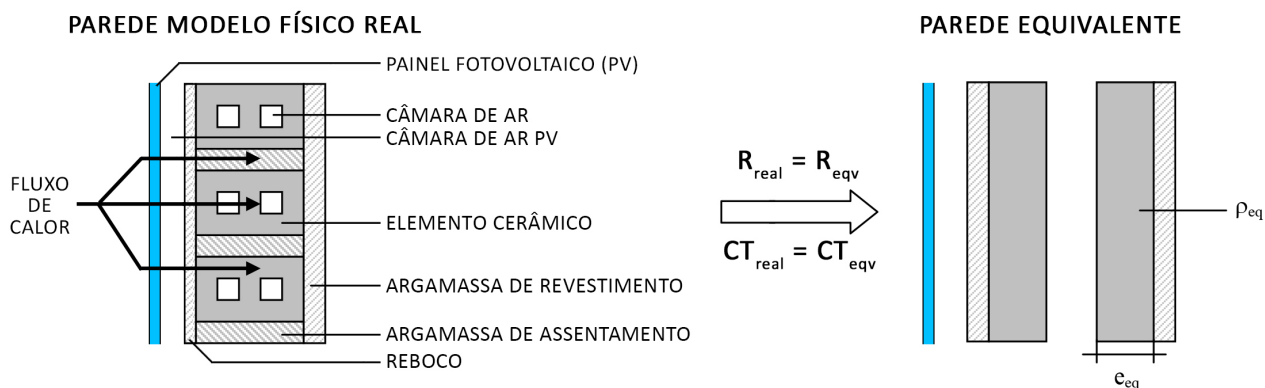


Figura 4 - Parede equivalente (adaptado de Ordenes et al, 2003).

A presença destacada do corpo de vedação dos módulos FV caracteriza-a como uma "fachada ventilada", com a característica de "muito ventilada", de acordo com a NBR 15220 (ABNT, 2008). Isto significa que se tenha um determinado valor total de transmitância térmica para os dados referentes aos componentes da parede externa da fachada Norte no período do ano em que o prédio tende a ganhar calor, e outro para aquele onde ele tende a perder calor na constante busca de equilíbrio com o meio externo. Porém, o emprego do revestimento ACM, por sua vez, não altera a transmitância térmica, já calculada para as paredes externas das demais fachadas, embora apresente outros valores de absorvância e emitância (alumínio versus pintura cor palha sobre argamassa de revestimento), conforme observado na Tabela 2.

Tabela 2 – Propriedades termofísicas dos materiais empregados nos modelos simulados

Situação	Transmitância térmica- U (W/m <sup>2</sup> .K)	Espessura equivalente material não homogêneo (m)	Densidade equivalente material não homogêneo (Kg/m <sup>3</sup> )	Período simulado
FSFV (verão)	1.64	0.0385	1261.44	16out-15mai
FSFV (inverno)	2.03	0.0216	2091.72	16mai-15out
FACM	2.47	0.1500	1914.75	Ano todo
Demais fachadas	2.39	0.1500	1914,75	Ano todo

Assim, a análise das situações de verão e de inverno para a FSFV foi desenvolvida para verificar a influência do controle de abertura e fechamento da entrada de ar na câmara ventilada, formada entre o intervalo do revestimento (módulos) e a vedação, no desempenho térmico da edificação. O que confirmou a melhoria na transmitância térmica do fechamento, tanto no inverno quanto no verão, aumentando sua resistência às trocas de calor.

### 3.1.1. Simulação do consumo energético do edifício e de geração de energia solar FV

Para a simulação do consumo energético foram simuladas as duas possibilidades de revestimento no edifício: FV e ACM. Considerou-se para esta análise apenas a fachada voltada a Norte e foi desconsiderado o eventual sombreamento ocasionado pelo entorno. Como os valores de transmitância térmica na parede externa, orientadas a Norte, distinguem-se conforme as camadas de materiais empregados, para inserção dos respectivos dados no programa *EnergyPlus* foram recalculadas as espessura e densidade equivalentes do tijolo furado (tabela 2). O objetivo dessa nova simulação foi verificar o consumo dos edifícios com ambos os revestimentos.

Conforme exposto anteriormente neste artigo, a disposição dos módulos FV na fachada não parte da situação ideal, que seria posicioná-los a norte com inclinação igual à latitude local (30°). A Figura 5 apresenta os dados obtidos pelo *Radiasol2* (programa para geração de dados horários de radiação solar desenvolvido pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS), através do banco de dados do Atlas Solarimétrico do Brasil, com a diferença do nível de radiação entre a posição ideal (30°) e a proposta (90°), onde se pode confirmar que a fachada, mesmo na orientação ideal (norte), apresenta uma redução no potencial de geração anual do sistema em, aproximadamente, 50%, em função da menor quantidade de radiação que atinge esta superfície.

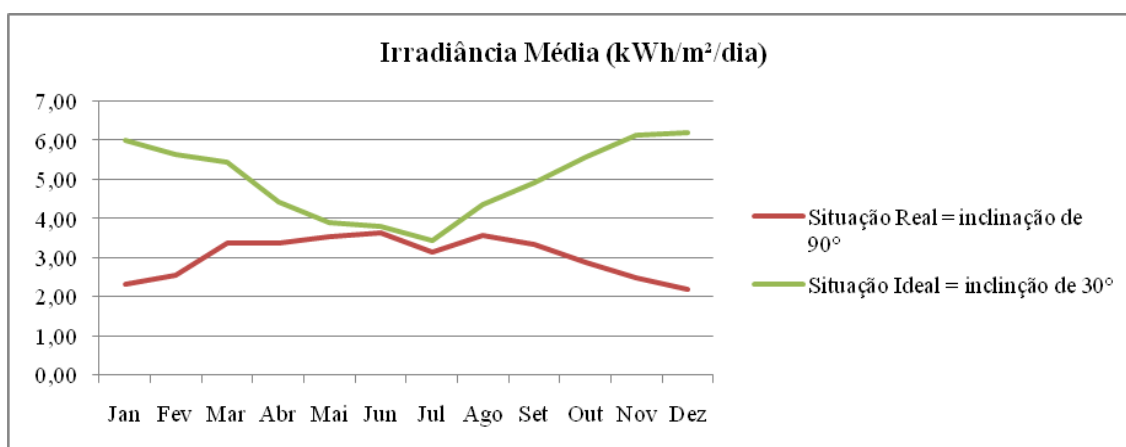


Figura 5 – Irradiância média incidente na situação ideal e na situação real na cidade de Pelotas/RS.

O que se pode observar é que na situação real a irradiância média é mais uniforme, embora mais baixa. Já na situação ideal, têm-se os picos nos meses referentes ao verão, enquanto que, nos meses de maio a julho, onde a altura solar é menor, as duas curvas ficam muito próximas. Neste período, a fachada é mais exposta à radiação solar, porém a quantidade de radiação é significativamente menor, quando comparada ao verão, como, por exemplo, no mês de Janeiro que se tem irradiância de 6 kWh/m²/dia na situação ideal, enquanto que na situação real tem-se 2,32 kWh/m²/dia.

Para esta fachada foi proposta a utilização de 120 módulos e um inversor, com uma potência total de 31,2 kWp.

## 4. ANÁLISE DE RESULTADOS

A partir da simulação, no software *EnergyPlus*, foi possível verificar que o consumo energético anual do modelo FSFV é de 65.531,15 kWh, o qual é atendido parcialmente pelo sistema SFV.

A geração *in loco* possibilita suprir 27.646 kWh/ano, equivalente a 42,19% desse consumo (Figura 6), A energia não suprida pelo sistema SFV (57,81%) é fornecida pela rede pública, contabilizando 37.885,15kWh/ano.



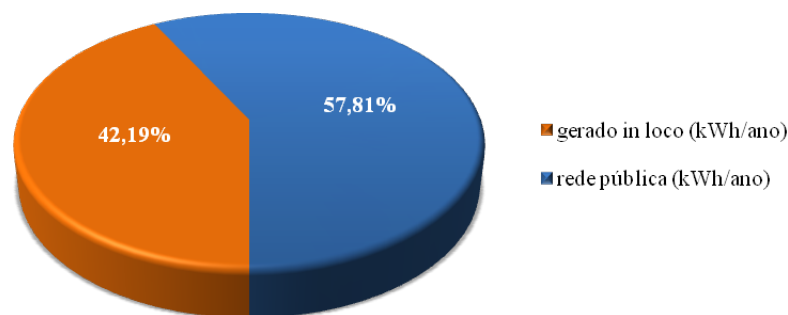


Figura 6 – Percentual de utilização de energia elétrica gerada pelo SSFV e utilizada pela rede pública.

Conforme a Figura 7 é possível observar que a quantidade mensal de energia fornecida pelo sistema proposto varia, de forma lógica, conforme a radiação solar disponível, produzindo entre o mínimo de 1.686,80 kWh/mês (dezembro, no verão), onde a altura solar é maior e o máximo de 2.770,06 kWh/mês (agosto, no inverno), onde a fachada “enxerga mais o sol”.

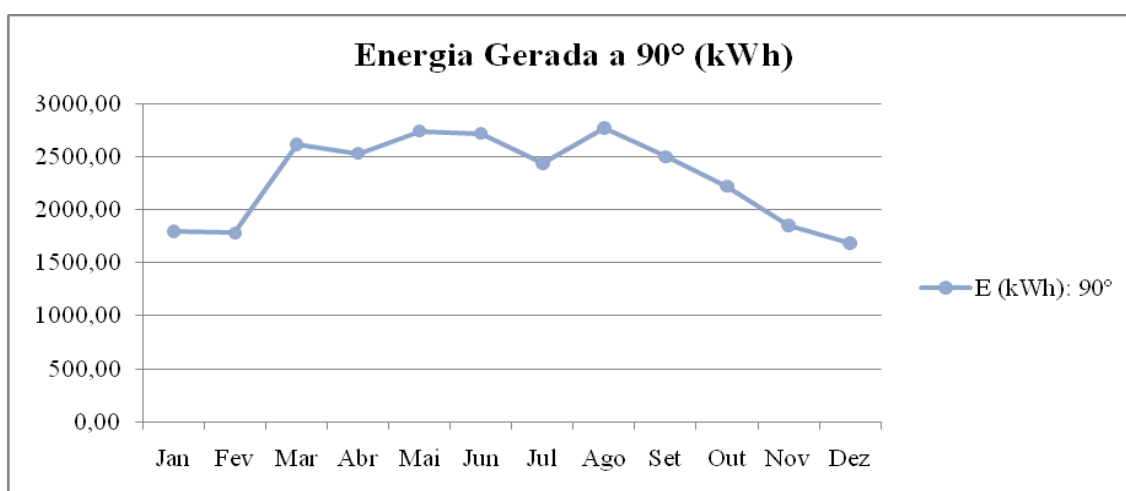


Figura 7 – Energia FV gerada mensalmente pelo sistema proposto.

No caso da simulação com a FACM, o que se pode observar foi que o edifício consome 63.356,95 kWh/ano, enquanto que a versão FSFV (verão por sete meses e inverno por cinco meses) consumiu 65.531,15 kWh/ano, um acréscimo de 3,43%. Entretanto, os resultados mostram que o edifício com módulos FV é capaz de gerar 27.646 kWh/ano da energia consumida (42,19%). Portanto, a FSFV, embora apresentando um desempenho térmico inferior, quando comparada a FACM, gerou uma economia de energia final, uma vez que apresentou o benefício de geração energética.

Alguns estudos, como Brandalise (2015), apontam que edifícios comerciais mais isolados podem apresentar um sobreaquecimento, decorrentes da elevada carga interna e densidade de ocupação. No referido artigo, embora o edifício apresente baixa densidade de carga interna ( $9.6 \text{ W/m}^2$ ) e densidade de ocupação, e por apresentar o seu fechamento sombreado pelo sistema SFV, ainda assim apresentou problemas de sobreaquecimento. O envelope mais isolado (FSFV com  $U$  variando entre  $1,64 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$  e  $2,04 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ ) apresentou um maior consumo energético para a zona bioclimática 02, quando comparado com a FACM (com  $U$  de  $2,47 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ ).

## 5. CONCLUSÕES

A falta de conhecimento das novas tecnologias leva, muitas vezes, o projetista a seguir tendências e restringir possibilidades. A geração de energia FV não é ainda uma tecnologia de domínio público, trazendo consigo dúvidas e conceitos distorcidos. A discussão sobre questões técnicas e financeiras devem ser ampliada e analisada criteriosamente buscando relações de custo-benefício.

Neste artigo buscou-se fazer uma análise do desempenho termoenergético de um sistema de geração de energia FV que foge das condições ideais de implantação, no que diz respeito à otimização do sistema,

comparado com um material de revestimento usual em edificações comerciais, o ACM. Não foram analisadas as questões referentes à paridade econômica entre esses dois fechamentos.

É importante salientar que mesmo que o sistema SFV não tenha sido instalado na orientação e inclinação ideais, ele foi capaz de gerar energia ao edifício. Apesar do sistema não ter gerado o seu máximo de energia, houve uma geração capaz de suprir 42,19% do consumo energético da edificação envolvida por este fechamento. Se o usuário pode optar entre revestir sua edificação com um material que apenas cumpra requisitos estéticos e entre outro, capaz de gerar energia elétrica e, em médio ou curto prazo, agregar benefícios econômicos a custos competitivos, já é uma grande vantagem.

No quesito desempenho térmico houve pouca variação entre os dois fechamentos, mesmo o fechamento FV ter sido considerado como uma fachada ventilada.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- APPEL, B. **Tübingen, sports hall with photovoltaics**. Por Björn Appel [CC BY 2.0] Disponível em: <https://it.wikipedia.org/wiki/File:Tuebingen-sporthalle.jpg>. Acessado em: dezembro de 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 15.220:2008 - Desempenho térmico de edificações**. Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro: ABNT, 2005, corrigida em 2008, 34 p
- \_\_\_\_\_. **NBR 15220-3: Desempenho térmico de edificações** – Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e estratégias de condicionamento térmico passivo para habitações de interesse social. Rio de Janeiro, 2005b.
- BRANDALISE, M. **Análise da Sensibilidade do RTQ-C Quanto à Variação da Densidade de Carga Interna**. Dissertação de Mestrado do Programa de Pós Graduação em Arquitetura e Urbanismo – PROGRAU- UFpel. Pelotas, 2015.
- CARLO, J.C. **Desenvolvimento de Metodologia de Avaliação da Eficiência Energética do Envolvimento de Edificações Não-residenciais**. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2008.
- CBCS – Conselho Brasileiro de Construção Sustentável. **Diretrizes de ação. 2013**. Disponível em: [http://www.cbcs.org.br/\\_5dotSystem/userFiles/Sobre%20CBCS/CBCS\\_Diretrizes%20de%20Acao\\_rev1.pdf](http://www.cbcs.org.br/_5dotSystem/userFiles/Sobre%20CBCS/CBCS_Diretrizes%20de%20Acao_rev1.pdf). 2013. Acesso em: 25 de set. 2016.
- GRALA DA CUNHA, Eduardo. **A dimensão tecnológica no projeto. Os desafios do ensino e da gestão**. Arquitectos, São Paulo, ano 16, n. 188.05, Vitruvius, jan. 2016 Disponível em: <http://www.vitruvius.com.br/revistas/read/arquitectos/16.188/5917>. Acessado em: 16 de junho 2016.
- HAAS, R. **The value of photovoltaic electricity for society**. Solar Energy, v. 54, p. 25-31, 1995.
- LAMBERTS, R., GUIZI, E., RAMOS, G. **Impactos da adequação climática sobre a eficiência energética e o conforto térmico de edifícios de escritórios no Brasil**. LabEEE, Florianópolis, 2006.
- MATEUS, R. **Novas tecnologias construtivas com vista à sustentabilidade da construção**. 2004. 271f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia Civil, Universidade do Minho, Braga, 2004.
- MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Balanco Energético Nacional 2016 – Ano base 2015: Relatório Síntese**. EPE – Empresa de Pesquisa Energética. Rio de Janeiro, 2016.
- NREL – National Renewable Energy Laboratory. **Legacy Open Studio Plug-In, 2010 - 2015**. National Renewable Energy Laboratory for the U.S. Department of Energy, 2014. s/p. Disponível em <https://goo.gl/kg6ynz>.
- ORDENES, M.; PEDRINI, A.; GHISI, E.; LAMBERTS, R. **Metodologia Utilizada na Elaboração da Biblioteca de Materiais e Componentes Construtivos Brasileiros para Simulações no Visualdoe-3.1. Relatório Interno** – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003. Disponível em <http://www.labeee.ufsc.br/node/266>.
- PEINADO, M. Torre Garena. **El edificio en obras es el futuro centro de salud y sede del SUMMA 112**. Alcalá de Henares Comunidad de Madrid. España. Por M.Peinado from Alcalá de Henares, España (000231 - Alcalá de Henares) [CC BY 2.0]. Disponível em: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:000231\\_-\\_Alcal%C3%A1\\_de\\_Henares\\_\(2501685515\).jpg#filelinks](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:000231_-_Alcal%C3%A1_de_Henares_(2501685515).jpg#filelinks). Acessado em: dezembro de 2016.
- PERRET-ABBY, L.-E. et al. **Innovative Solution for Building Integrated Photovoltaics**. International Conference CISBAT 2013 – Cleantech for Smart Cities & Buildings – From Nano to Urban Scale, Lousanne, Switzerland. Proceedings, v.II, p.685-690, 2013.



SANTOS, A. H. C. **Avaliação técnica e financeira da geração fotovoltaica integrada à fachada de edifícios de escritórios corporativos na cidade de São Paulo.** Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Energia do Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2015.

TRIMBLE NAVIGATION. **Freeware SketchUp Make, 2015.** Disponível em <<https://goo.gl/GCcCVI>>.

WESTPHAL, Fernando. **Análise de incertezas e de sensibilidade aplicadas à simulação de desempenho energético de edificações comerciais.** 2007. Tese (Doutorado em Engenharia Civil)- Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.