

Modelagem e avaliação de envoltórias fotovoltaicas: estudo de caso Edifício Arquiteto Carlos Bratke

Modelización y evaluación de envolventes fotovoltaicas: estudio de caso Edifício Arquiteto Carlos Bratke

Sessão Temática: ST04. Ambiente construído, tecnologia e sustentabilidade

LYRA, Giselle G. B.; M.Sc.; Doutoranda do Programa de Pós Graduação em Arquitetura PROARQ/FAU/UFRJ, vinculada ao grupo de pesquisa Energia, Espaço e Sociedade EES/PROARQ/UFRJ; Universidade Federal do Rio de Janeiro.

giselle.lyra@fau.ufrj.br

ROLA, Sylvia M.; D.Sc.; Coordenadora do Laboratório de Conforto Ambiental e Eficiência Energética LCE/FAU/UFRJ e do grupo de pesquisa Energia, Espaço e Sociedade EES/PROARQ/UFRJ. Universidade Federal do Rio de Janeiro.

sylvia.rola@fau.ufrj.br

Resumo

O desenvolvimento de políticas para construções sustentáveis vem sendo apoiado mundialmente, com especial incentivo à produção de edifícios autossuficientes, *Near Zero Energy Buildings* (nZEB), focados em máxima eficiência energética, abastecidos localmente por energias renováveis. Nesse contexto, os fotovoltaicos integrados em edifícios, *Building Integrated Photovoltaics* (BIPV), vem sendo apontados como sistemas energéticos promissores, atuando como componentes da envoltória geradores de energia. Este trabalho avalia o potencial de aplicação do BIPV, visando o objetivo de nZEB, a partir de um estudo de caso proposto para um edifício comercial existente, contemplando quatro fases: caracterização; diagnóstico do potencial de geração solar; projeto de integração fotovoltaica e avaliação de desempenho. Como resultado, o sistema supriu 7,8% da demanda de eletricidade anual do edifício, com retorno do investimento de 11 a 15 anos. O balanço energético nulo não foi atingido, mas foi significativa a contribuição para redução dos custos de eletricidade e aumento da eficiência energética.

Palavras-chave: Fotovoltaicos Integrados em Edifícios; nZEB; BIPV.

Abstract

The development of policies for sustainable buildings has been supported worldwide, with special incentive for the production of Near Zero Energy Buildings (nZEB), focused on

maximum energy efficiency, locally supplied by renewable energy. In this context, Building Integrated Photovoltaics (BIPV) have been highlighted as promising energy systems, acting as energy-generating components of the building envelope. This work evaluates the potential of BIPV application, aiming at the nZEB objective, from a case study proposed for an existing commercial building, contemplating four phases: characterization; diagnosis of the solar generation potential; photovoltaic integration design and performance evaluation. As a result, the system supplied 7.8% of the building's annual electricity demand, with a return on investment of 11 to 15 years. The zero energy balance was not achieved, but the contribution to reducing electricity costs and increasing energy efficiency was significant.

Keywords: Building Integrated Fotovoltaic, nZEB, BIPV.

1. Introdução

O século XXI vem sendo marcado pelos impactos decorrentes das mudanças climáticas associadas ao aquecimento global. Para o enfrentamento desse processo, tornou-se imperiosa a redução de gases causadores do efeito estufa.

A produção de eletricidade a partir de fontes renováveis e a eficiência energética são cruciais nesse caminho. A energia eólica e a energia solar fotovoltaica tornaram-se protagonistas para tal transformação. Ao mesmo tempo, as pesquisas apontam que o ambiente construído constitui um campo estratégico de investigação e inovação com vistas a transição energética (CORTI; BONOMO; FRONTINI, 2020).

Os edifícios respondem por 36% do consumo global de energia, 55% do consumo global de eletricidade e por 42% das emissões diretas e indiretas de CO₂, além de demandar para sua construção e funcionamento, cerca de 50% de todos os materiais extraídos no planeta (IEA, 2018). Em função disso, o diálogo global vem apoiando o desenvolvimento de políticas para edifícios sustentáveis, especialmente aqueles denominados *Near Zero Energy Buildings* (nZEB), ou Edifícios de Energia Zero, concebidos com o conceito de autossuficiência energética e supridos localmente por fontes renováveis de energia, como os *Building Integrated Photovoltaics* (BIPV), caracterizados como elementos fotovoltaicos integrados em edifícios, que agregam a dupla função de componentes da envoltória e geradores de energia.

No Brasil a geração local fotovoltaica lidera o crescimento da Mini e Micro Geração Distribuída, que atualmente já supre mais de 1.000.000 consumidores (ABSOLAR, 2022). Predominam as instalações em edifícios não integradas, definidas como *Building Applied Photovoltaics* (BAPV), sobrepostas à envoltória, somente com a função de geração de energia. Embora o uso do BIPV venha se expandido mundialmente, como alternativa para atingir os objetivos de nZEB, esta solução é pouco difundida no país, sendo desconhecido o seu potencial.

O objetivo desse trabalho é investigar o potencial de contribuição do BIPV para o suprimento energético de nZEB no Brasil, avaliando o desempenho dos sistemas em diferentes soluções

de integração arquitetônica para identificar as melhores condições de aplicabilidade dessa tecnologia no contexto nacional. Para tanto foi proposto um estudo de caso, no sentido de estabelecer estratégias de aplicação do BIPV, em consonância com critérios de melhores práticas de integração arquitetônica, em seus aspectos técnicos, funcionais e estéticos, preservando-se o conceito formal do edifício estudado.

Adotou-se a tipologia comercial, pela predominância de edifícios com volumetria vertical, menos propícios para o uso de fotovoltaicos convencionais de cobertura. A escolha do edifício foi pautada em critérios vinculados a eficiência energética; ao contexto de implantação e a aspectos estéticos.

O primeiro critério determinou a busca por prédios corporativos certificados, que tivessem projetos concebidos a partir de conceitos sustentáveis, onde tenha sido cumprido o objetivo primário de nZEB, vinculado à alta eficiência energética do edifício. O segundo critério, priorizou edifícios situados em ambientes urbanos de maior densidade construída, favorecendo uma discussão objetiva sobre os fatores de limitação do rendimento dos sistemas vinculados ao entorno. O terceiro critério orientou a seleção de edifícios que favorecessem a abordagem dos aspectos estéticos envolvidos na integração arquitetônica do BIPV.

A partir dos critérios adotados, foi definido como objeto de estudo o Edifício Arquiteto Carlos Bratke, construído na cidade de São Paulo em 2015. Além de atender aos condicionantes definidos para o contexto, o prédio figura como o primeiro empreendimento na categoria de edifício comercial a conquistar a certificação *LEED Platinun* no Brasil, tendo recebido o selo PROCEL de Edificações com o nível máximo de eficiência energética. E, em função de sua composição arquitetônica singular, a sua escolha ofereceu também desafios adicionais para o tratamento da envoltória, orientando a investigação no sentido de buscar alternativas de integração que preservassem a identidade do edifício.

Considerando as complexidades projetuais inerentes ao conceito de integração arquitetônica demandados pelos sistemas BIPV, concebeu-se uma metodologia para aplicação no estudo de caso dividida em quatro fases principais, baseadas no cruzamento de referências contidas nos estudos de Quintana (2018) e Freitas et al. (2020).

A primeira fase visou a caracterização do objeto de estudo, levantando-se todas as informações necessárias à realização das simulações. Na segunda fase, foi diagnosticado o potencial de geração fotovoltaica da edificação, definindo as superfícies mais viáveis para implantação dos sistemas. Na terceira fase foi projetado do sistema, simulando-se as possíveis alternativas para definir o layout de melhor desempenho. A quarta e última fase consistiu na avaliação de desempenho, analisando a capacidade de geração frente ao consumo do edifício.

A escolha das ferramentas se deu com base nas referências contidas no estudo da IEA-PVPS (2020), priorizando aquelas com maior funcionalidade para desenvolvimento do projeto. Foram utilizadas 2 ferramentas, de forma complementar: o software *BIMsolar*, de uso livre, e

a ferramenta *Ladybug*, do plugin *Grasshopper*, que integra o software *Rhinoceros*, de uso comercial.

2. Resultados

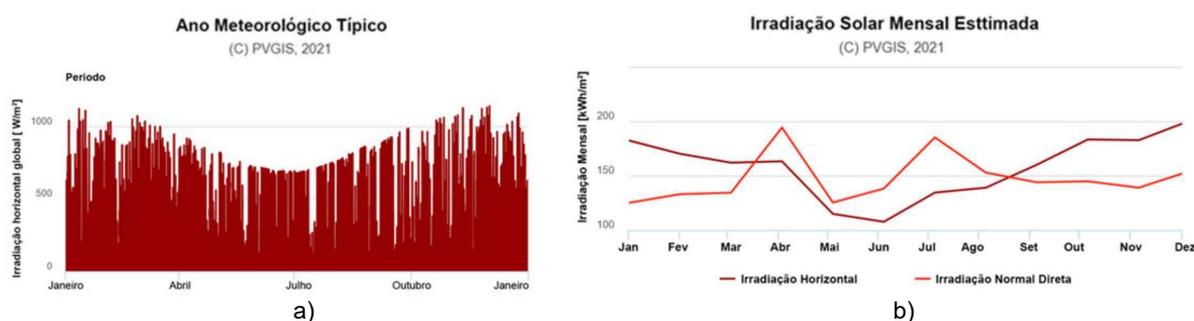
2.1 Caracterização do Objeto de Estudo

O edifício localiza-se na Cidade de São Paulo, latitude 23°62'S e longitude 46°65'O, a 732m do nível do mar. O clima é subtropical úmido, com as quatro estações do ano relativamente bem definidas. A temperatura média anual é de 20 °C.

A região não foge às características predominantes no país. Apresenta alto nível e baixa variabilidade de irradiação solar em comparação com o que se observa em países onde as tecnologias para o aproveitamento do recurso solar encontram-se bem desenvolvidas, como Alemanha, Espanha, Itália, Portugal e França (PEREIRA et al., 2017).

Os gráficos da Figura 1 registram as variações da irradiação horizontal global no ano meteorológico típico e o comportamento da irradiação solar ao longo do ano.

Figura 1: a) Irradiação Horizontal Global no ano metrológico típico, para a Cidade de São Paulo (W/m^2); b) Irradiação Solar Mensal em (kWh/m^2).

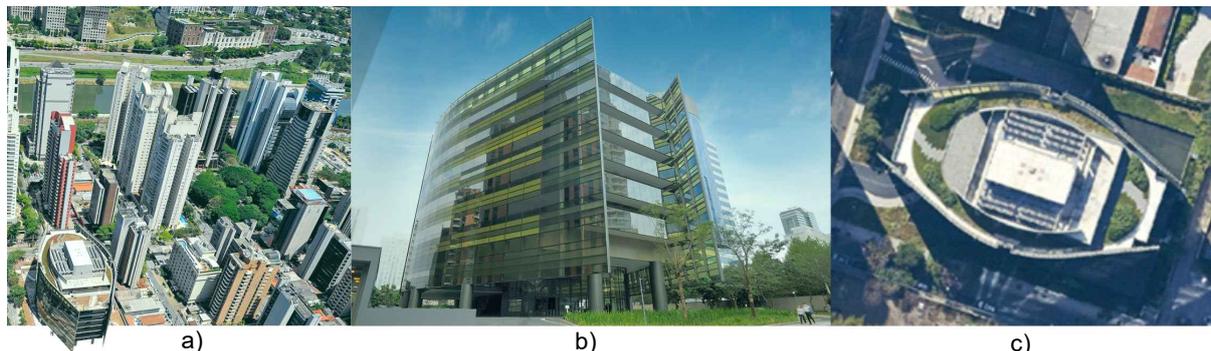


Fonte: PVGIS, 2021. https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/#MR.

O edifício situa-se na Rua Sansão Alves dos Santos 400, localizada no Bairro Cidade Monções, que está inserido na região do chamado Brooklin Novo, localizada na zona oeste do Município de São Paulo. As quadras vizinhas se mostram densamente ocupadas, embora com intensidades de uso muito distintas, onde edifícios de grande altura se mesclam a um casario baixo, com predomínio de casas de dois pavimentos e usos diversos.

Os 27.927 m^2 de área construída distribuem-se por 7 pavimentos. Identificou-se baixo potencial para uso de fotovoltaicos na cobertura. As fachadas apresentaram um maior potencial, compatível com uso de BIPV. As imagens da Figura 2 permitem visualizar as características do entorno, o acesso principal e a cobertura do edifício.

Figura 2: a) Características do entorno; b) Vista principal do edifício; c) Imagem aérea da cobertura.



a) e b) Fonte: <http://edificioarquitetocarlosbratke.com.br>; c) Fonte: Ortofoto 2017 PMSP em <http://geosampa.prefeitura.sp.gov.br>.

Um dos pontos de interesse para escolha do edifício foi a sua arquitetura, marcada por duas grandes lâminas curvas envidraçadas, que se projetam em balanço nas extremidades. O conjunto se apoia sobre um espelho d'água circundado por jardins.

Para cálculo do consumo foram examinados dados de junho de 2018 a fevereiro de 2021. Em função de discrepâncias verificadas no período da pandemia de COVID 19, foi adotado o ano de 2019, como mais representativo do consumo habitual da edificação. O consumo total do edifício no período de um ano atingiu 2.008.015 kWh, que correspondem, considerando a metragem total da edificação, a uma intensidade energética de 72,9 kWh/m² por ano.

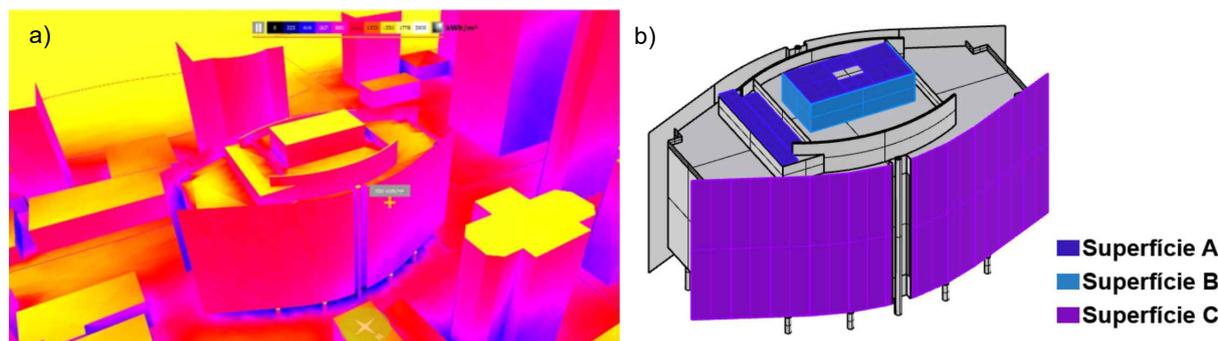
2.2 Diagnóstico do potencial de geração solar

O modelo de simulação foi construído no *Rhinoceros*, garantindo total compatibilidade com o *Ladybug*. O número de pavimentos dos edifícios do entorno foi estabelecido por aproximação a partir de imagens do *Google Earth* e de dados parciais da plataforma online *CAD Mapper*.

A geometria da edificação e do entorno foi exportada em formato *SketchUp* (.SKP), compatível com o *BIMSolar*. Os estudos de irradiação foram realizados em ambas as ferramentas de simulação. O *BIMSolar* ofereceu maior agilidade, pela visualização dinâmica, em tempo real, permitindo a verificação das superfícies por apontamento, na própria janela de simulação.

A partir dos estudos de irradiação e sombreamento, e, consideradas as características de ocupação, foram identificadas as superfícies da envoltória mais viáveis para a geração solar: superfícies horizontais não ocupadas da cobertura (tipo A); faces norte, leste e oeste das superfícies verticais do volume da caixa d'água (tipo B); superfície vertical da cortina de vidro da fachada norte (tipo C). As diferentes superfícies contabilizaram, respectivamente: tipo A, 365,04 m²; tipo B, 279,15 m² e tipo C, 2.512,54 m² disponíveis para a aplicação dos fotovoltaicos. A Figura 3 ilustra o estudo de irradiação desenvolvido no *BIMSolar* e as superfícies identificadas como mais viáveis para geração solar.

Figura 3: a) Estudo interativo de irradiação solar; b) Superfícies mais viáveis para a geração solar.



a) Fonte: *BIMSolar*; b) Fonte: *Rhinoceros*.

2.3 Projeto do sistema fotovoltaico

A partir dos resultados obtidos no diagnóstico, as superfícies foram classificadas, de acordo com as suas características, em 3 possibilidades distintas de integração fotovoltaica, obedecendo os parâmetros definidos por Munari Probst et al. (2012): Superfície A - Cobertura plana; Superfície B - Vedação Opaca e Superfície C - Vedação Semi Transparente.

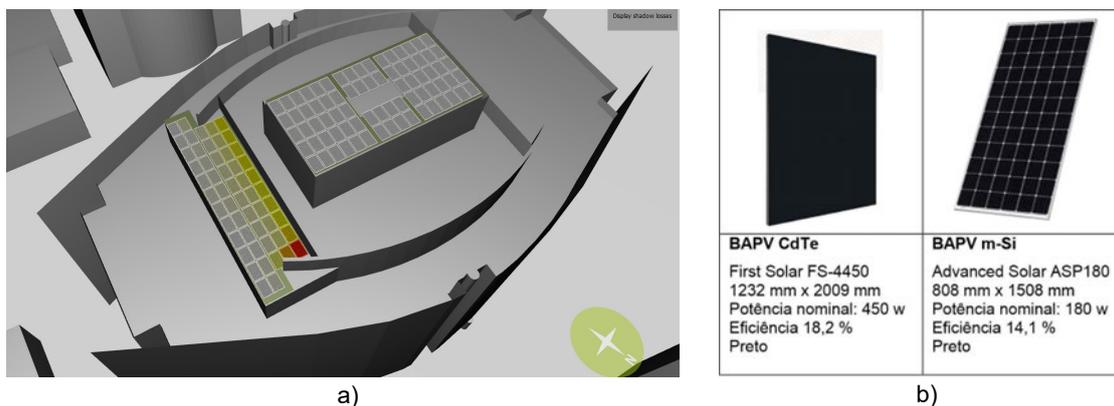
Na cobertura opaca, foi adotado sistema BAPV, com função única de geração de energia. Na vedação opaca foi possível optar por BAPV ou por BIPVs de revestimento. Na vedação semitransparente as opções viáveis foram sistemas BIPV semitransparentes ou transparentes, compondo uma segunda pele na cortina de vidro existente.

Foram selecionados 6 tipos de módulos, que foram inseridos no modelo de simulação, ocupando de forma otimizada as áreas disponíveis para cada um dos subsistemas.

Nesse estágio, o *BIMsolar* ofereceu a possibilidade de configurar o sistema a partir de bibliotecas de blocos de objetos BIM, permitindo edição dos parâmetros de células e módulos e a paginação dos módulos nas superfícies selecionadas, mostrando maior funcionalidade para o projeto. O fluxo de trabalho do *Ladybug* demandaria a modelagem de cada módulo e sua posterior associação ao atributo do código, além de restringir a experimentação ao banco de dados do Sistema, acrescentando diversas etapas ao processo de simulação e limitando sua abrangência. Pelas diferenças encontradas entre as ferramentas, concluiu-se que o *BIMsolar* atenderia melhor ao objetivo do estudo de caso e optou-se pela utilização da plataforma para o prosseguimento de todas as simulações.

No projeto do sistema de Cobertura Plana foram simulados módulos BAPV de silício monocristalino (m-Si) e módulos de telureto de cádmio (CdTe) de alto rendimento, tecnologia de menor impacto e nível de emissões. Os sistemas foram dispostos horizontalmente, com distanciamento indicado pelos fabricantes, respectivamente de 100mm e 50mm. A Figura 4.a ilustra a paginação do Sistema e 4.b as características os módulos simulados.

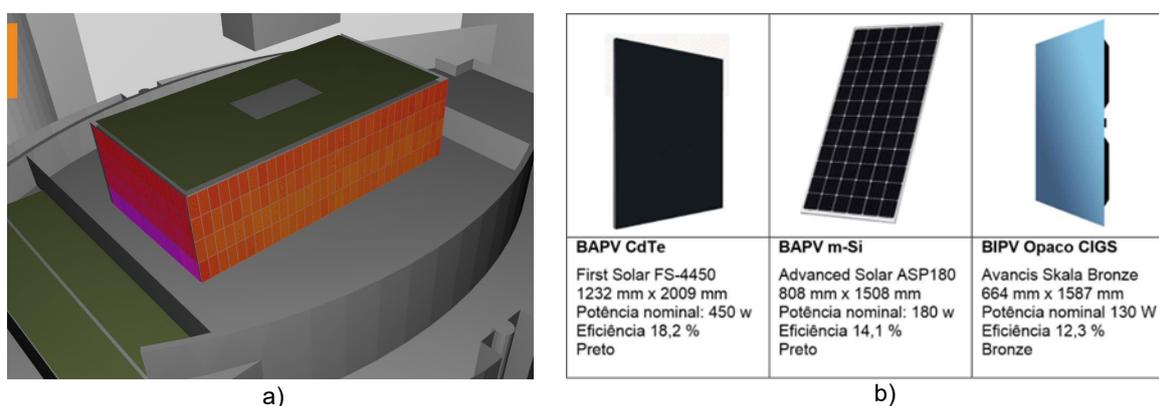
Figura 4: a) Paginação do Subsistema de Cobertura Plana; b) Módulos CdTe e m-Si simulados.



a) Fonte: *BIMSolar*; b) Fonte: Autora.

Para o sistema de Vedação Opaca foram simulados módulos BAPV de m-Si e CdTe e BIPV de Cobre-Índio-Gálio-Selênio (CIGS), na cor bronze, próxima da tonalidade da fachada, constituindo uma dupla camada ventilada, fixada sobre perfis na alvenaria existente. O sistema foi configurado num ângulo de 90°, com paginação vertical, obedecendo um espaçamento 50mm para o CdTe e 100mm para o m-Si e de 20mm para os módulos CIGS. A Figura 5.a ilustra a paginação do Sistema e 5.b as características os módulos simulados.

Figura 5: a) Paginação do Subsistema de Vedação Opaca; b) Módulos CdTe, m-Si e CIGS simulados.



a) Fonte: *BIMSolar*; b) Fonte: Autora.

O sistema de Vedação Semitransparente foi proposto como uma estrutura de vidro duplo, sobreposta aos vidros originais da fachada e com disposição dos módulos respeitando a sua paginação, de 1,50x2,50m nos vãos de iluminação e 0,72x2,50m nos demais vãos. Foram simulados módulos comerciais semitransparentes de seleneto de cobre-índio-gálio (CIGS) e

de silício amorfo (a-Si), e módulos transparentes hipotéticos, baseados nas referências de Traverse (2017) e Pulli et al. (2020).

Figura 6: a) Paginação do Subsistema de Vedação Opaca; b) Módulos CIGS, a-Si e hipotético simulados.



a) Fonte: *BIMSolar*; b) Fonte: Autora.

Após a comparação dos dados da simulação de cada alternativa investigada, e, considerando ainda os objetivos do estudo de caso, foi definida a configuração final do sistema. No Quadro 1 foram sintetizados os dados de desempenho dos módulos simulados para cada tipo de superfície.

Quadro 1: Comparativo de desempenho dos módulos simulados.

Tipo de Superfície	Módulo	Tipo	Tecnologia	Eficiência %	Potência instalada (kWp)	Produção anual (kWh)	Rendimento (kWh/kWp)	Perda sombr. %	Perda temp. %
A	FS-450	BAPV	CdTe	18,2	58,5	86029,5	1470,6	6,5	7,7
	ASP-180	BAPV	mono-Si	14,1	42,5	59825,7	1408,3	6,7	11,3
B	Skala	BIPV	CIGS	12,3	33,2	28126,5	846,1	9,3	11,2
	FS-450	BAPV	CdTe	18,2	47,3	40337,6	853,7	8,9	9,9
	ASP-180	BAPV	mono-Si	14,1	34,6	28925,5	837,0	9,1	11,7
C	Wysips	BIPV	CIGS	5,3	91,1	68.550,6	752,9	16,6	11,6
	Lvision	BIPV	a-Si	2,9	72,9	55773,7	765,0	16,7	10,4
	Teórico	BIPV	genérica	10	236,2	178278,3	754,9	16,7	11,6

Fonte: Autora.

Na configuração final, foram adotados: o BAPV CdTe na cobertura plana; o BIPV opaco CIGS na vedação opaca; e o BIPV semitransparente CIGS, na vedação semitransparente. Os conjuntos fotovoltaicos foram consolidados num único projeto para a simulação final, constituindo 3 subsistemas integrados.

A etapa final do projeto contemplou a inclusão dos componentes complementares de cada subsistema, prevendo os inversores e cabecamentos para a ligação de um total de 1826 módulos.

As superfícies fotovoltaicas somaram uma área total de 2.919,6 m², sendo: 321,8 m² ocupados pelo BAPV de cobertura; 269,8 m² ocupados pelo BIPV opaco e 2.328 m² ocupados pelo BIPV semitransparente.

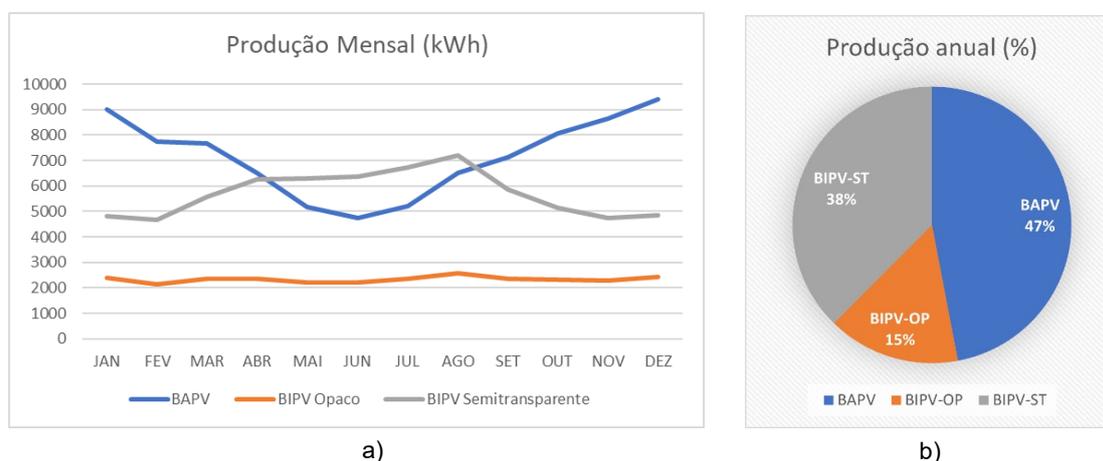
2.4 Avaliação de desempenho

Na etapa final do estudo foi avaliado o desempenho da configuração final do Sistema, frente a demanda de consumo do edifício, e feitas as análises financeiras.

O sistema projetado atingiu uma potência instalada total de 182,8 kWp e um rendimento final de 861,2 kWh/kWp. A produção total anual, deduzidas as perdas, foi de 157.416 kWh, suprimindo 7,8% da demanda energética total do edifício.

O total produzido representa 30% do consumo de ar condicionado no período de um ano. O sistema não integrado foi responsável por 47% da produção anual, sendo os 53% restantes supridos pelos subsistemas BIPV. Os gráficos da Figura 6 expressam o comportamento da produção mensal (6.a) e percentual da produção anual por subsistema (6.b).

Figura 7: a) Produção mensal por subsistema (kWh); b) Percentual da produção anual por subsistema.



a) e b) Fonte: Autora.

Para as análises financeiras, fez-se necessário estipular o custo dos sistemas. Foram utilizadas referências contidas no trabalho de Corti, Bonomo e Frontini (2020), que estima os custos em €/m² de instalações BIPV construídas na Europa, relacionando-os com o custo de

sistemas BAPV e de sistemas construtivos convencionais. Estabeleceu-se um paralelo com valores praticados no Brasil, a partir das referências de Greener (2021).

Foram simulados dois cenários: o primeiro, considerando a substituição da cortina de vidro do edifício; e o segundo, acrescentando apenas o envidraçamento fotovoltaico à estrutura existente. Para a opção 1, o valor médio do sistema completo, seria de aproximadamente de R\$ 6.502,35/kWp. O custo estimado dos sistemas foi de R\$ 1.203.253,96. Na opção 2, o sistema atingiu valor médio de R\$ 4.814,86/kWp, com custo estimado de R\$ 878.063,40.

Foram considerados valores equivalentes para a energia consumida e para a energia injetada na rede, em função do sistema de compensação integral previsto pela legislação nacional em vigor no momento do estudo. Adotaram-se as tarifas de energia da concessionária ENEL SP, de abril/2021, desconsiderando-se o custo adicional por bandeira tarifária.

A análise financeira resultou em um *payback* de 15 anos para a opção 1 e de 11 anos para a opção 2.

3. Conclusões

A etapa de diagnóstico se mostrou de essencial relevância para nortear o projeto dos sistemas. Em que pese tratar-se de uma edificação existente, cujas definições projetuais não foram pautadas na possibilidade de uso de BIPVs, as análises realizadas possibilitaram a compreensão do impacto das diversas variáveis, definindo um outro olhar sobre o edifício, que permitiria, se observado no estágio de concepção do projeto arquitetônico, otimizar expressivamente o aproveitamento solar da envoltória.

Ficou demonstrado que a superfície da cortina de vidro, com maior potencial em termos de espaço, mostrou aproveitamento reduzido em termos de geração, devido à baixa eficiência dos módulos comerciais semitransparentes, e em função da sua disposição vertical. A influência do sombreamento também importou em perdas consideráveis, que reduziram ainda mais o seu desempenho. Contudo, foi possível verificar que, caso tivessem sido adotadas tecnologias emergentes de maior eficiência, o potencial de geração da cortina de vidro poderia ser ampliado sem qualquer interferência na estética no conjunto. A partir disso, a potência do sistema completo poderia ser duplicada, ampliando significativamente a produção de energia.

O sistema BIPV da fachada opaca apresentou rendimento similar ao de soluções BAPV convencionais, constituindo uma solução compatível com a de revestimentos atualmente difundidos, em termos de cor e textura. A solução de fachada ventilada se apresenta como alternativa versátil para edificações existentes, agregando ainda o potencial de contribuir para o comportamento térmico da envoltória.

O sistema de cobertura, baseado em módulos CdTe, mostrou desempenho superior ao dos módulos convencionais de m-Si, comprovando a viabilidade do uso das tecnologias de menor impacto ambiental.

As análises financeiras, apesar das incertezas quanto aos custos do sistema e aplicabilidade dos critérios de compensação, indicaram que a solução adotada traria benefícios concretos para o edifício.

O desempenho energético do sistema foi considerado satisfatório, levando em conta as limitações inerentes às características da envoltória e decorrentes dos critérios de intervenção adotados. A contribuição do BIPV foi de 68% do total da energia gerada, que supririam 5,3% das demandas do edifício.

O edifício não alcançou o objetivo de nZEB, mas foi inequívoca a contribuição dos sistemas para redução dos custos de eletricidade, sendo um caminho possível a ser explorado, em conjunto com outras iniciativas, visando a máxima eficiência energética redução das emissões associadas ao edifício.

O estudo trouxe, em paralelo, percepções relativas ao impacto do fluxo de trabalho de duas plataformas distintas no campo da simulação energética de envoltórias fotovoltaicas, que evidenciou complexidades inerentes ao projeto de integração dos sistemas. O *BIMSolar* foi considerado mais compatível com a metodologia proposta, com a vantagem de integrar-se ao ambiente de trabalho BIM, apropriado ao contexto de multidisciplinaridade da aplicação do BIPV e ao acompanhamento do desempenho dos sistemas ao longo do ciclo de vida do edifício.

Agradecimentos:

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

Referências:

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA SOLAR - ABSOLAR. **Infográfico ABSOLAR**. 2022. Disponível em: <https://www.absolar.org.br/mercado/infografico/>.

CORTI, P.; BONOMO, P.; FRONTINI, F. **Building Integrated Photovoltaics: A practical handbook for solar buildings' stakeholders**. Status Report 2020. SUPSI – Swiss BIPV Competence Centre, 2020. Disponível em: [http:// repository.supsi.ch/12186/](http://repository.supsi.ch/12186/).

FREITAS, J.S.; CRONEMBERGER, J.; SOARES, R.M.; AMORIM, C.N.D. **Modeling and assessing BIPV envelopes using parametric Rhinoceros plugins Grasshopper and Ladybug**. *Renewable Energy*, v.160, p.1468-1479, 2020. DOI: 10.1016/j.renene.2020.05.137.

GREENER. **Estudo Estratégico: Mercado Fotovoltaico de Geração Distribuída 2º Semestre de 2020**. 2021. Disponível em: <https://www.greener.com.br/estudo/estudo-estrategico-mercado-fotovoltaico-de-geracao-distribuida-2-semester-de-2020>.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY PHOTOVOLTAIC POWER SYSTEMS PROGRAMME – IEA-PVPS. **Design and Performance Modelling: Tools and Methods**. 2020. Disponível em: https://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2020/01/IEA-PVPS_15_R09_BIPV_Design_Tools_report.pdf

MUNARI PROBST, M.C.; ROECKER, C.; FRONTINI, F.; FARKAS, K.; MATURI, L.; SCONAMIGLIO, A.; ZANETI, I. **Solar energy and Architecture: integration criteria and guidelines**. IEA SHC Task 41 Report, 2012. Disponível em: <https://www.task41.iea-shc.org/Data/Sites/1/publications/T41DA2-Solar-Energy-Systems-in-Architecture-28March2013.pdf>

PEREIRA, E.; MARTINS, F.; COSTA, R.; GONÇALVES, A.; LIMA, F.; RÜTHER, R.; ABREU, S.; TIEPOLO, G.; PEREIRA, S.; SOUZA, J. **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. 2.ed. São José dos Campos: INPE. 80p., 2017. DOI: 10.34024/978851700089.

PULLI, E.; ROZZI, E.; BELLA, F. **Transparent photovoltaic technologies: Current trends towards upscaling**. Energy Conversion and Management, 219, 112982. 2020. DOI: 10.1016/j.enconman.2020.112982.

QUINTANA, S. **Building integrated photovoltaic (BIPV) modelling for a demo site in Ludvika based on building information modelling (BIM) platform**. Dissertação de Mestrado. Energy Efficient Built Environment. Dalarna University, Suécia, 2018.

TRAVERSE, C.J., PANDEY, R., BARR, M.C.; LUNT, R.R. **Emergence of highly transparent photovoltaics for distributed applications**. Nature Energy, n.2, p. 849–860, 2017. DOI: 10.1038/s41560-017-0016-9.