XVIII ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO
XIV ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO
AMBIENTE CONSTRUÍDO E USUÁRIO: PERSPECTIVAS LATINO-AMERICANAS

Impacto térmico de envoltórias solares em edifícios de balanço energético nulo – um estudo de caso em clima quente

Impacto térmico de envolventes solares en edificios de balance energético nulo – un estudio de caso en clima cálido

Thermal impact of solar envelopes on zero energy buildings – a case study in warm climate

Eficiência energética / *Eficiencia energética* / *Energy efficiency*

BEZERRA, João Pedro, Graduando, Universidade de Brasília, Brasília – DF, Brasil, 2406joao@gmail.com

SANTOS, Jason, Graduando, Universidade de Brasília, Brasília – DF, Brasil, jason.ddsantoss@gmail.com

BOTELHO, Isabella, Mestranda, Universidade de Brasília, Brasília – DF, Brasil, botelho.isabella@aluno.unb.br

CRONEMBERGER, Joára, Doutora e professora, Universidade de Brasília, Brasília – DF, Brasil, joaracronemberger@unb.br

Resumo

Uma preocupação central quanto à integração fotovoltaica nas envoltórias arquitetônicas está relacionada ao aquecimento dos módulos que, ao receberem radiação solar, podem atingir temperaturas elevadas e transmitir calor aos ambientes internos, afetando sua eficiência energética e o conforto térmico. Tendo como objetivo investigar a influência térmica da integração fotovoltaica em edificações, utilizou-se como estudo de caso o edifício LabZero – UnB, localizado em Brasília (Zona Bioclimática 4). O método adotado incluiu revisão da literatura sobre o impacto térmico dos sistemas fotovoltaicos em edifícios BIPV e uma investigação de produtos disponíveis no mercado brasileiro. Elaboraram-se alternativas de integração fotovoltaica, avaliadas por meio de simulações termo energéticas usando o programa DesignBuilder. Os resultados indicam que soluções de integração fotovoltaica com função de sombreamento podem contribuir positivamente para a redução dos ganhos de calor por irradiação direta nas envoltórias, impactando significativamente as demandas de energia para climatização e podendo orientar projetos de integração fotovoltaica.

Palavras-chave: BIPV. Impacto térmico. Envoltórias arquitetônicas. NZEB.

Resumen

Una preocupación central sobre la integración fotovoltaica en envolventes arquitectónicas está relacionada con el calentamiento de los módulos que, al recibir radiación solar, pueden alcanzar temperaturas elevadas y transmitir calor a los ambientes internos, afectando su eficiencia energética y el confort térmico. Con el objetivo de investigar la influencia térmica de la integración fotovoltaica en edificaciones, se utilizó como estudio de caso el edificio BIPV LabZero – UnB, ubicado en Brasilia (Zona Bioclimática 4). El método adoptado incluye una revisión de la literatura sobre impactos térmicos de los sistemas fotovoltaicos en edificios BIPV y una investigación de productos del mercado brasileño. Se elaboraron alternativas de integración fotovoltaica, evaluadas mediante simulaciones termoenergéticas usando el programa DesignBuilder. Los resultados indican que soluciones de integración fotovoltaica con función de sombreado pueden contribuir positivamente a la reducción de ganancia de calor por irradiación directa en los envolventes, impactando significativamente las demandas energéticas para climatización y pudiendo guiar futuros proyectos de integración fotovoltaica.

Palabras clave: BIPV. Impacto térmico. Envolventes arquitetónicas. NZEB.

Abstract

A central concern regarding photovoltaic integration in architectural envelopes is related to the heating of the modules, which, when receiving solar radiation, can reach high temperatures and transfer heat to indoor environments, affecting their energy efficiency and thermal comfort. To investigate the thermal influence of photovoltaic integration in buildings, the LabZero – UnB building, a state-of-the-art example of BIPV, located in Brasília (Bioclimatic Zone 4), was used as a case study. The study includes a literature review on the thermal impact of photovoltaic systems in BIPV buildings and an investigation of products available in the Brazilian market. Photovoltaic integration alternatives were developed and evaluated through thermo-energy simulations using DesignBuilder. The results indicate that photovoltaic integration solutions with a shading function can positively contribute to reducing heat gains from direct irradiation on the envelope, significantly impacting energy demands for air conditioning and potentially guiding future photovoltaic integration projects.

Keywords: BIPV. Thermal impact. Architectural envelopes. NZEB.

1 INTRODUÇÃO

O caráter inesgotável e limpo da geração de energia a partir do sol é um grande atrativo para as novas construções devido ao seu baixo custo a longo prazo, tornando a presença desta tecnologia cada vez mais comum no meio urbano. À medida que os sistemas fotovoltaicos se tornam mais difundidos, cresce também o interesse na elaboração de projetos que integrem esses módulos como elementos da envoltória, contribuindo para produzir construções energeticamente autossuficientes e viabilizar a meta de edifícios de balanço energético nulo.

Entretanto, o uso dos sistemas fotovoltaicos integrados na arquitetura (BIPV) envolvem diversos desafios: projetuais, funcionais, estéticos, entre outros. Assim, cada nova construção que incorpora essa tecnologia, oportuniza novos aprendizados a partir das decisões tomadas em projeto bem como observações feitas sobre edifícios construídos.

Uma das problemáticas acerca da integração de sistemas fotovoltaicos na arquitetura é o aquecimento dos módulos. Ao receberem radiação solar ao longo de todo um dia, atingem temperaturas elevadas, diminuindo a eficiência do sistema e impactando diretamente nas envoltórias nas quais estão inseridos. O calor absorvido pode ser transmitido para o interior da edificação, afetando o balanço térmico do edifício e influenciando tanto no conforto térmico quanto na eficiência energética da edificação.

A fim de investigar com mais detalhe a influência térmica dos módulos fotovoltaicos na edificação, este trabalho propõe distintas possibilidades de integração desses sistemas, utilizando como estudo de caso um novo edifício em construção da Universidade de Brasília, o LabZero. Desta maneira, busca-se identificar quais são as melhores formas de integração fotovoltaica em edifícios inseridos em um contexto climático brasileiro e em especial brasiliense, a partir de uma perspectiva exclusivamente relacionada a seu impacto no balanço térmico da edificação.

Para a condução deste estudo, primeiramente foi feita uma extensa revisão de literatura sobre a influência térmica de sistemas fotovoltaicos na edificação. Além disso, foram investigados os produtos fotovoltaicos disponíveis no mercado brasileiro para subsidiar a elaboração de novas propostas de integração dos sistemas solares. Para se obter conclusões mais concretas quanto a influência térmica dos módulos solares, foram realizadas simulações termo energéticas para cada uma das diferentes propostas por meio do software Design Builder.

A partir das simulações executadas, foi possível observar como as diferentes metodologias de integração fotovoltaica afetaram o desempenho termo energético do LabZero, fornecendo soluções não só para este estudo de caso, mas também para orientar futuros projetos que considerem a integração fotovoltaica na envoltória.

Esse trabalho insere-se na pesquisa em andamento no Laboratório de Conforto Ambiental e Eficiência Energética do Programa de Pós-Graduação da Faculdade de Arquitetura de Brasília (LACAM- PPG – FAU UnB) intitulado “Envoltórias solares para edifícios de balanço energético nulo - desafios e perspectivas na climatologia brasileira”.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 REVISÃO DE LITERATURA

Um dos maiores desafios da adequada integração fotovoltaica na edificação são as elevadas temperaturas que os módulos podem atingir. Além da consequente redução no desempenho de produção de energia (Rüther, 2004), outro problema gerado pelas altas temperaturas do sistema é a transmissão do calor para o interior dos ambientes da edificação afetando o conforto dos ocupantes (Zhao *et al.*, 2022).

A literatura aponta diferentes maneiras de mitigar a transmissão de calor para dentro das edificações. Uma das soluções propostas é a implementação de uma placa de madeira na parte posterior dos módulos fotovoltaicos, além de um sistema de forro de teto, ajudando a diminuir a temperatura interna do ambiente em até 2°C, aproximadamente (Akata, 2022). De maneira similar, a adição de uma camada com isolamento térmico e material refletivo, também na parte traseira dos módulos, demonstrou uma melhora de 8% nos índices anuais de conforto térmico (Zhao *et al.*, 2022).

Outros estudos indicam a constante necessidade de ventilação dos módulos fotovoltaicos. Em estudo realizado na Maurícia, edificações com fachadas duplas ventiladas foram simuladas e apresentaram uma redução significativa na transmitância térmica se comparadas a uma solução de fachada não ventilada (Jhumka *et al.*, 2023). Na Austrália, em regiões de climas quentes e frios, é indicada a ventilação de fachadas duplas no verão, enquanto regiões do país em que o verão é úmido e o inverno quente, é sugerido que as fachadas duplas tenham ventilação natural ao longo de todo o ano (Yang *et al.*, 2023). Dentre algumas das técnicas

usadas por diferentes pesquisadores para reduzir as temperaturas de operação de esquadrias fotovoltaicas, pode-se destacar a ventilação, o vácuo e o sombreamento (Yu *et al.*, 2021).

Quando se trata da concepção projetual BIPV, a literatura ressalta a necessidade de estabelecer parâmetros de integração fotovoltaica na arquitetura que levem em consideração as condições climáticas e particularidades do lugar. No caso de sistemas BIPV utilizados para sombreamento, recomenda-se um projeto específico para cada região, considerando ângulos de inclinação, espaçamento entre módulos e dimensões da proteção solar (Corti *et al*., 2023). Segundo Abdullalih *et al.* (2021), cada país deve formular referências projetuais para a integração de sistemas BIPVs.

Com base nas informações coletadas a partir da revisão de produções acadêmicas, buscou-se compreender quais são as estratégias de integração fotovoltaica mais adequadas para edificações, considerando a realidade climática do Brasil, com ênfase especial na região de Brasília. As diretrizes extraídas da revisão foram aplicadas como variações do estudo de caso LabZero/UnB, a fim de avaliar a sua influência no balanço energético da edificação.

2.2 ESTUDO DE CASO – O LABZERO UNB EM BRASÍLIA

O LabZero UnB é resultado de uma chamada nacional da Eletrobras que buscava destinar recursos para a construção de edifícios altamente eficientes energeticamente e com balanço energético quase nulo (NZEB). O projeto tem como objetivo investigar a viabilidade desse tipo de construção no Brasil, a partir de uma perspectiva técnico-econômica (Amorim *et al*., 2012).

Atualmente em construção, o LabZero UnB é um edifício modular destinado a laboratórios, com aproximadamente 200m², concebido para demonstrar o estado da arte na integração de sistemas fotovoltaicos às envoltórias arquitetônicas. Essa nova construção será o primeiro edifício público em Brasília que atinge os parâmetros de NZEB. (Góes *et al*., 2021).

Portanto, o LabZero UnB representa um estudo de caso ideal para a análise da influência da integração de sistemas fotovoltaicos em uma edificação, considerando as características climáticas brasileiras, em particular, da região de Brasília.

Figura 1: LabZero/UnB



Fonte: LACAM/UnB (2020)

3 MÉTODO

O método utilizado foi organizado em 3 fases distintas. Inicialmente procedeu-se a uma revisão bibliográfica sobre o tema de estudo; posteriormente, buscou-se identificar produtos fotovoltaicos disponíveis no mercado nacional, que pudessem ser utilizados como componentes BIPV. A partir dessa análise e nos resultados da revisão bibliográfica, idealizaram-se diferentes alternativas de integração BIPV que favorecessem potencialmente o balanço térmico, para o contexto climático local. Por fim, procedeu-se à modelagem digital das alternativas concebidas e às simulações termo energéticas para avaliar o seu desempenho.

3.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A plataforma SCOPUS foi selecionada como banco de dados para a investigação de produções acadêmicas relacionadas às temáticas da integração fotovoltaica na arquitetura bem como a influência térmica do sistema na edificação, considerando o clima, em especial, os climas quentes e tropicais.

Durante as pesquisas realizadas na plataforma, foram identificados 17 artigos publicados em diferentes periódicos científicos, além de 68 palavras-chave diretamente ou indiretamente

relacionadas ao escopo do estudo. Dentre esses 17 artigos encontrados, 10 foram selecionados para uma leitura integral, considerando sua relevância e profundidade no tratamento da influência térmica em edificações BIPV, em diferentes contextos climáticos. Essas publicações foram utilizadas como fundamentação para a elaboração do presente trabalho.

As buscas na plataforma foram conduzidas com os critérios *AND* e *OR*, aplicados ao título do artigo, resumo e palavras-chave relacionadas com os temas centrais do estudo, como *Building Integrated Photovoltaics* (BIPV), *Photovoltaics* (PV), *thermal Comfort* (conforto térmico), edifício de balanço energético nulo (ZEB e NZEB), *tropical climate* (clima tropical), *warm climate* (clima quente), *Latin America* (América Latina), *South America* (América do sul) e *review* (revisão).

Além disso, os resultados encontrados na plataforma foram filtrados por área de conhecimento e ordenados de acordo com a quantidade de citações, como um critério adicional para identificar pesquisas de maior relevância. Outro critério foi a busca por artigos publicados nos últimos cinco anos, garantindo que as referências utilizadas refletissem os mais recentes avanços do tema de integração fotovoltaica em contextos climáticos quentes e sua influência térmica nas edificações.

3.2 IDENTIFICAÇÃO DE PRODUTOS DISPONÍVEIS NO MERCADO NACIONAL

Para o desenvolvimento de um projeto arquitetônico que integre sistemas fotovoltaicos e que seja devidamente adaptado às condições climáticas brasileiras, é essencial, em primeiro lugar, avaliar e mapear os diferentes módulos de captação de energia solar disponíveis no mercado nacional. Desta maneira, tornando a integração fotovoltaica uma solução realista e aplicável em larga escala.

Neste estudo, foi realizado um levantamento de produtos que envolve tanto fabricantes internacionais de destaque, que possuem forte presença no Brasil, quanto empresas nacionais com grande relevância no setor. Deste modo, foram selecionadas três das principais fabricantes globais, bem como duas empresas brasileiras reconhecidas no mercado. Com base nessa seleção, diversos módulos convencionais de cada uma dessas empresas foram identificados (Figura 2). No total, 40 produtos entre as cinco diferentes fabricantes foram analisados.

Figura 2: Fabricantes e produtos identificados

FABRICANTE	QUANT. DE MODELOS	TECNOLOGIA	INTERVALO DE COMPRIMENTO (MM)	INTERVALO DE ALTURA (MM)	INTERVALO DE EFICIÊNCIA (%)	INTERVALO DE POTÊNCIA NOMINAL (Wp)
FABRICANTE INTERNACIONAL 01	11 modelos	9 Monocristalinos; 3 TOPCon Cells	1722 - 2384	1048 - 1303	21,10% - 22,40%	435 - 695
FABRICANTE INTERNACIONAL 02	13 modelos	13 Monocristalinos	1903 - 2278	1002 - 1134	20,13% - 22,65%	405 - 585
FABRICANTE INTERNACIONAL 03	7 modelos	7 Monocristalinos	2015 - 2465	996 - 1134	20,40% - 22,50%	410 - 615
FABRICANTE NACIONAL 01	5 modelos	5 Monocristalinos	2278 - 2384	1134 - 1303	21,30% - 22,50%	550 - 700
FABRICANTE NACIONAL 02	4 modelos	4 Monocristalinos	1956 - 2384	992 - 1303	17,00% - 22,50%	330 - 700
TOTAL:	**40 modelos,**	**sendo: 37 Monocristalinos e 3 TOPCon Cells**				

	COMPRIMENTO (MM)	ALTURA (MM)	EFICIÊNCIA (%)	POTÊNCIA NOMINAL (Wp)
MÉDIA DE TODOS OS MODELOS:	**2204**	**1140**	**21%**	**540**

Fonte: Autores (2024)

3.3 IDENTIFICAÇÃO DE PRODUTOS DISPONÍVEIS NO MERCADO NACIONAL

A partir da pesquisa de produtos disponíveis no mercado, foram idealizadas diferentes propostas de integração fotovoltaica no edifício LabZero, além da solução atualmente adotada. Todas as alternativas foram comparadas com um modelo de referência, no qual não há integração de sistemas fotovoltaicos (Figura 3).

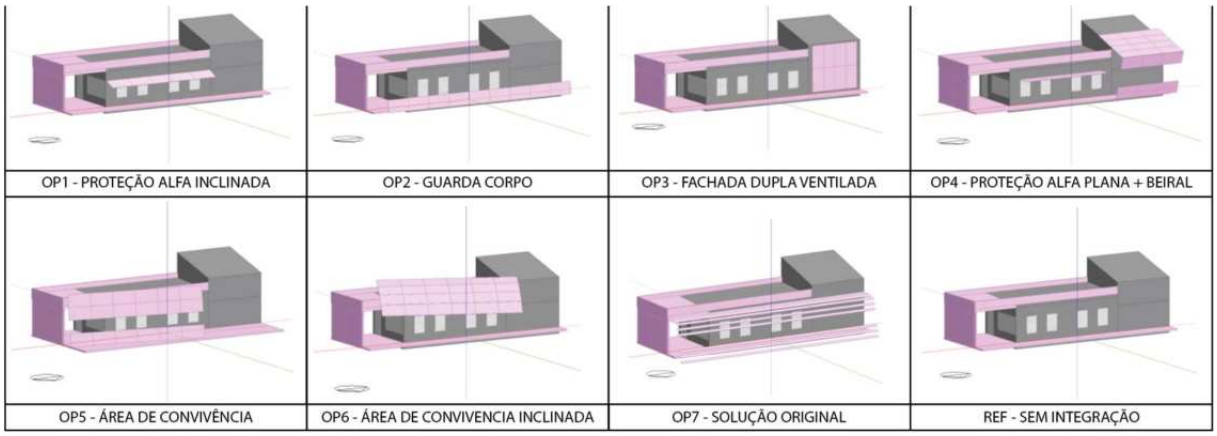
As distintas concepções de integração dos sistemas solares no edifício buscam responder diferentes demandas arquitetônicas da construção, sejam elas funcionais ou estéticas. Para a elaboração das soluções, foi selecionado como módulo de integração das propostas um modelo da empresa Fabricante Nacional 01, de tecnologia de silício monocristalino, medidas de 2384mm x 1303mm (comprimento x largura) e eficiência de 21,10%.

As propostas de integração fotovoltaicas elaboradas neste estudo exploram diferentes metodologias de integração ao edifício LabZero. Foram concebidas sete alternativas de integração, além de um modelo de referência para comparação (REF), conforme descrito a seguir:

- OP1: integração de módulos fotovoltaicos inclinados acima das janelas;
- OP2: integração de fotovoltaico como guarda corpo;

- OP3: integração de fotovoltaico a 15cm da fachada;
- OP4: integração de fotovoltaico acima das janelas e sem inclinação, além de continuação de telhado e pequeno guarda corpo;
- OP5: integração como área de convivência deslocada em relação ao plano da fachada com guarda corpo e fotovoltaicos elevados;
- OP6: integração como área de convivência com fotovoltaicos elevados e com inclinação progressiva;
- OP7: integração como brises horizontais;
- REF: modelo sem integração para simulação que não considera a integração de módulos fotovoltaicos.

Figura 3: Propostas de integração elaboradas



Fonte: Autores (2024)

O detalhamento das propostas acima indicadas são objetos da pesquisa mencionada, e podem ser encontradas no artigo “Desafios arquitetônicos nas envoltórias solares em edificações de balanço energético nulo – O caso do LabZero - UnB” (Santos, 2024)

3.4 Modelagem digital e simulações computacionais

Uma vez idealizadas as propostas de integração fotovoltaica para o LabZero, as soluções foram modeladas digitalmente utilizando o software DesignBuilder (versão 7.3.0.038).

Com a modelagem concluída, foram realizadas simulações computacionais para cada uma das alternativas de integração fotovoltaicas no mesmo software, levando em conta distintas condições da edificação e considerando os diferentes aspectos a serem analisados.

As simulações foram conduzidas utilizando as condições climáticas de Brasília, durante o período de todo um ano e considerando os prováveis horários de funcionamento da edificação, buscando avaliar o desempenho do LabZero em um contexto mais abrangente e realista.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para a obtenção dos resultados, foram coletados e analisados os dados provenientes das simulações realizadas no DesignBuilder, baseadas nas oito propostas de integração fotovoltaica desenvolvidas para este estudo de caso do LabZero. As simulações forneceram informações detalhadas sobre diversos aspectos do desempenho térmico e energético da edificação em cada uma das alternativas avaliadas.

A fim de melhor compreender e analisar os diferentes resultados, os dados foram organizados em tabelas e planilhas. Em seguida, os dados foram traduzidos em gráficos comparativos, permitindo uma visualização mais clara e objetiva das diferenças de desempenho entre cada uma das oito propostas nos diferentes aspectos simulados, com o objetivo de melhor identificar padrões e tendencias entre as diferentes propostas.

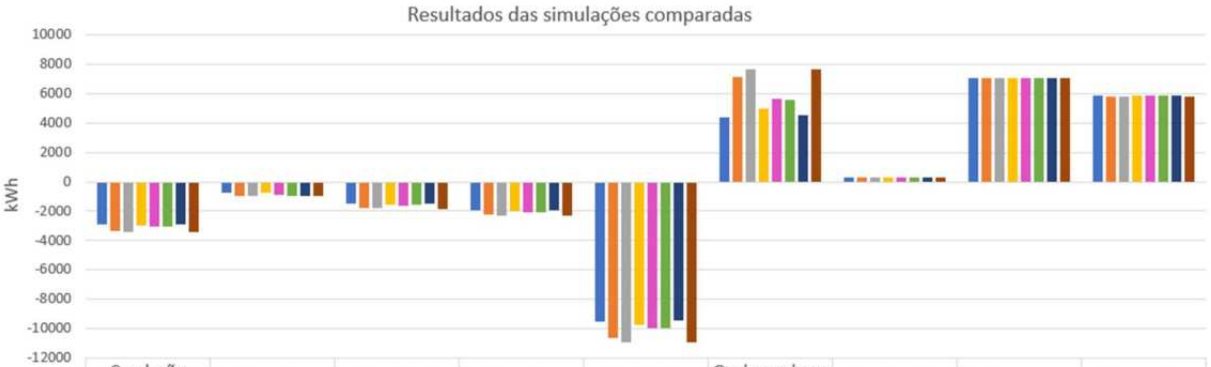
4.1 GANHOS TÉRMICOS ATRAVÉS DAS ENVOLTÓRIAS

A análise dos resultados revela que determinados aspectos simulados se mantiveram relativamente estáveis entre os diferentes modelos de integração fotovoltaica, enquanto outros apresentaram variações mais significativas (Figura 4).

Dentre os aspectos com resultados com menor variação, destaca-se a iluminação geral, cujos resultados foram próximos em todas as simulações devido à dimerização da iluminação interna, bem como aberturas localizadas nas fachadas norte e sul. Desta maneira, mesmo nas soluções que provocam sombreamento no ambiente interno, os ganhos de calor provenientes do sistema de iluminação é pouco afetado, tanto quantitativamente quanto qualitativamente.

Ressalta-se que os ganhos de calor para equipamentos e ocupação foram constantes, uma vez que sua configuração é idêntica em todos os modelos simulados.

Figura 4: Resultados para ganhos térmicos através das envoltórias



	Condução pelos vidros (kWh)	Paredes externas (kWh)	Teto (int) (kWh)	Pisos (int) (kWh)	Ventilação externa (kWh)	Ganhos solares pelas janelas (kWh)	Iluminação Geral (kWh)	Equipamentos (kWh)	Ocupação (kWh)
OP1	-2856,78	-741,98	-1499,58	-1927,15	-9521,11	4400,54	279,46	7096,46	5865,52
OP2	-3317,73	-966,64	-1753,29	-2228,21	-10645,28	7116,69	268,39	7096,17	5826,76
OP3	-3404,58	-957,84	-1812,91	-2282,24	-10878,12	7670,7	268	7096,17	5820,09
OP4	-2994,11	-771,21	-1541,39	-1987,64	-9728,86	4952,04	276,63	7096,17	5857,8
OP5	-3046,68	-906,97	-1619,34	-2071,24	-9966,82	5625,72	271,92	7096,17	5847,56
OP6	-3051,17	-947,71	-1591,73	-2061,24	-9920,88	5575,92	270,88	7096,17	5849,73
OP7	-2897,46	-971,2	-1477,47	-1915,99	-9419,15	4542,62	271,08	7096,17	5868,47
REF	-3382,91	-970,5	-1818,77	-2288,88	-10908,77	7672,85	267,99	7096,17	5818,43

Fonte: Autores (2024)

A condução de calor pelos vidros apresentou maior variação, devido as diferentes estratégias de integração fotovoltaicas adotadas. As soluções com sombreamentos das janelas (OP1, OP4 e OP7) tem uma leve redução da capacidade de perder calor, em comparação com as demais opções.

As alternativas OP1 e OP4 se destacam pela redução da condução de calor pelas paredes externas, demonstrando uma redução da capacidade de dissipação térmica quando comparadas às demais propostas. A opção OP7, apesar de proporcionar sombreamento, não indica redução significativa na dissipação de calor pelas paredes e, em comparação ao modelo sem integração (REF), indica um leve aumento na perda de calor pelas paredes externas.

As perdas de calor pelo teto e pelo piso seguem padrões similares aos observados anteriormente. As soluções de integração em que são propostas proteções solares (OP1, OP4 e OP7) também implicam em uma diminuição da capacidade de se perder calor pelo teto bem como pelo piso.

As soluções de guarda corpo e de fachada dupla ventilada (OP2 e OP3) apresentaram melhor dissipação de calor por meio da ventilação externa. Já as opções com proteção solar tiveram um desempenho inferior na perda de calor por ventilação.

Ao avaliar os ganhos de calor pela janela, verificou-se que as soluções de proteção solar apresentam um desempenho superior em relação àquelas sem a proteção. As soluções com sombreamento ideal (OP1, OP7 e em menor nível, OP4) se destacam, reforçando a importância do projeto de proteções solares fotovoltaicas, visto que a solução com menores ganhos solares (OP1) apresentou uma redução de calor de 42,65% em relação ao modelo de referência, no qual não havia integração de qualquer sistema solar fotovoltaico.

5 CONCLUSÕES

Estudos sobre o impacto térmico de sistemas fotovoltaicos em edificações ainda são limitados e apresentam soluções diversas para mitigar o calor gerado pelos módulos fotovoltaicos. Não há consenso sobre o assunto devido às diferentes condições climáticas das diferentes regiões estudadas. A literatura destaca três soluções principais para a mitigação do calor: ventilação dos sistemas solares, uso de materiais intermediários entre os módulos e a edificação, e a consideração do clima local para a elaboração de projetos de integração fotovoltaica.

Para garantir a viabilidade técnica e econômica das propostas desenvolvidas para o LabZero UnB apresentadas nesse estudo, foram usados módulos fotovoltaicos disponíveis no mercado brasileiro e simulações computacionais para aproximar os resultados das condições reais. No entanto, reconhece-se as limitações dos softwares e a importância de comparar resultados com testes empíricos realizados em edificações em funcionamento.

As simulações computacionais mostram que soluções fotovoltaicas com função de sombreamento reduziram o ganho de calor por irradiação direta. Entre essas, a solução com brises de sombreamento teve o melhor desempenho, com uma redução de até 43% nos ganhos de calor, sugerindo uma possível diminuição na demanda de energia para climatização

Os resultados demonstraram como as diferentes soluções de integração fotovoltaica afetam o desempenho térmico do LabZero, fornecendo subsídios para a análise deste edifício específico e para orientar futuros projetos BIPV inseridos em climas semelhantes.

6 REFERÊNCIAS

ABDULLAHI, M. M. et al. A review of building integrated photovoltaic: case study of tropical climate regions. **International Journal of Power Electronics and Drive Systems (IJPEDS)**, v. 12, n. 1, p. 476-488, 2021.

AKATA, A. M. E. A. The effect of roof integrated photovoltaic (RIPV) on building indoor air in African tropical climate. **Journal of Renewable Energy and Environment (JREE)**, v. 9, 2022.

AMORIM, C. N. D. et al. Da pesquisa ao projeto: edifício de balanço energético nulo - o caso do LabZero|UnB. Anais *do* **XVI Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído** [livro eletrônico]: XII Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído: cidades e extremos, sua relação com o ambiente construído. Palmas: [s. n.], 2021.

CORTI, P.; BONOMO, P.; FRONTINI, F. Paper review of external integrated systems as photovoltaic shading devices. **Energies**, v. 16, p. 5542, 2023.

GÓES, T. M. et al. LabZero|UnB: simulação para o desempenho de edifício de balanço energético nulo em Brasília. Anais do XVI **Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído** [livro eletrônico]: XII Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído: cidades e extremos, sua relação com o ambiente construído. Palmas, 2021.

JHUMKA, H. et al. Assessing heat transfer characteristics of building envelope deployed BIPV and resultant building energy consumption in a tropical climate. **Energy & Buildings**, 2023.

RÜTHER, R. **Edifícios solares fotovoltaicos**. Florianópolis: LABSOLAR/UFSC, 2004.

SANTOS, J. D. Envoltórias solares para edifícios de balanço energético nulo – Desafios arquitetônicos na climatologia brasileira. In: **30° CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UNB E 21° CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DO DF**, 2024, Brasília. *Anais*. Brasília: [s. n.], 2024.

YANG, S. et al. Optimising design parameters of a building-integrated photovoltaic double-skin facade in different climate zones in Australia. **Buildings**, v. 13, p. 1096, 2023.

YU, G. et al. A review on developments and researches of building integrated photovoltaic (BIPV) windows and shading blinds. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 149, p. 111355, 2021.

ZHAO, O. et al. Investigation of indoor environment and thermal comfort of building installed with bifacial PV modules. **Sustainable Cities and Society**, v. 76, p. 103463, 2022.