



ENTAC 2024

XX ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO
Maceió, Brasil, 9 a 11 de outubro de 2024



Simulação automatizada da incidência de radiação solar para o aproveitamento de coberturas de habitações de interesse social

Automated simulation of the incidence of solar radiation for the use of social housing roofs

Pedro Oscar Pizzetti Mariano

Universidade Federal de Santa Catarina — UFSC | Florianópolis | Brasil |
pedro.pm@hotmail.com

Renata Mansuelo Alves Domingos

Universidade Federal de Santa Catarina — UFSC | Florianópolis | Brasil |
mansuelo.alves@gmail.com

Gabriela Pinho Mallmann

Universidade Federal de Santa Catarina — UFSC | Florianópolis | Brasil |
gabrielapinhomallmann@gmail.com

Carlos Eduardo Verzola Vaz

Universidade Federal de Santa Catarina — UFSC | Florianópolis | Brasil |
cevv00@gmail.com

Resumo

Este artigo tem como objetivo desenvolver e apresenta um modelo automatizado para medir a radiação anual na cobertura de habitações de interesse social (HIS), visando orientar os projetistas na instalação de coletores solares e painéis fotovoltaicos. Diante de um cenário de déficit habitacional no Brasil e projetos, muitas vezes, com baixo desempenho, a pesquisa visa destacar a importância de considerar as condições climáticas locais e de reduzir o consumo de energia elétrica nas HIS. Essa abordagem automatizada visa facilitar a seleção de tipologias habitacionais e a orientação da cumeeira do telhado, contribuindo para auxiliar os envolvidos no projeto na tomada de decisão. Para isso, desenvolveu-se o modelo computacional, por meio de programas de modelagem paramétrica e simulação, que automatizadamente, possibilita simular e armazenar dados quantitativos e visuais da radiação incidente na cobertura. Como resultado, o modelo analisou dez exemplos de HIS em diferentes áreas bioclimáticas, para verificar as diferentes potencialidades para cada localização.

Palavras-chave: Simulação. Parametrização. Habitação de interesse social — HIS. Cobertura. Desempenho.



Como citar:

MARIANO, P. O. P. et. al. Simulação automatizada da incidência de radiação solar para o aproveitamento de coberturas de habitações de interesse social. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 20., 2024, Maceió. **Anais...** Maceió: ANTAC, 2024.

Abstract

This paper aims to develop and present an automated model to measure annual radiation on the roof of social housing (SHS), aiming to guide designers in the installation of solar collectors and photovoltaic panels. Given the housing shortage scenario in Brazil and projects that often have poor performance, the research aims to highlight the importance of considering local climate conditions and reducing electricity consumption in SHS. This automated approach aims to facilitate the selection of housing typologies and the orientation of the roof ridge, helping to assist those involved in the project in decision-making. To this end, the computational model was developed using parametric modeling and simulation programs, which automatically enable the simulation and storage of quantitative and visual data on radiation incidents on the roof. As a result, the model analyzed ten examples of social houses in different bioclimatic areas, to verify the different potentialities for each location.

Keywords: Simulation. Parameterization. Social interest housing. Roof. Performance.

INTRODUÇÃO

Este estudo tem como objetivo apresentar o desenvolvimento e avaliação de um modelo automatizado para a medição anual da radiação incidente na cobertura de habitações de interesse social (HIS) de um pavimento. A pesquisa visa que o modelo avalie coberturas com duas águas, considerando o seu entorno urbano e clima, de modo que os seus resultados auxiliem os projetistas na tomada de decisão na escolha e definição da melhor orientação para a instalação de aquecedores de água e de painéis fotovoltaicos. Este artigo é parte de uma pesquisa maior, cujo objetivo é desenvolver automatizadas habitações de interesse social — HIS. Dessa forma, um processo de medição da radiação na cobertura pode se revelar um fator relevante para auxiliar os projetistas na escolha das habitações.

Tendo em vista que o Brasil apresenta um déficit habitacional que supera o número de 6 milhões de residências [1], programas governamentais buscam mitigar problemas relacionados a implementação de moradias no Brasil, um exemplo disso é a consolidação de programas habitacionais, como o Programa Minha Casa Minha Vida — PMCMV [2]. Entretanto, mesmo com a ampliação das ações do programa, este apresenta deficiências relacionadas à contextualização da implementação das HIS, que acaba, muitas vezes, por não considerar aspectos ambientais no desenvolvimento dos seus projetos. Em alguns casos, essa falta de adequação acaba por negligenciar características climáticas, sendo bastante diversificados, tendo em vista o tamanho geográfico do Brasil. Ocasionalmente resultados de moradias com um mau desempenho direcionados à qualidade ambiental da edificação, como temperatura, umidade e consumo energético [2; 3].

A desconsideração dessas diferentes características está ligada ao limite das faixas de financiamento que o programa possui. Esta característica acaba impedindo que as construtoras e incorporadoras consigam alcançar uma margem de lucro significativa, optando, assim, pela diminuição do investimento no desenvolvimento do projeto e conseqüentemente a suas particularidades locais [4; 5]. Dessa forma, a HIS, que apresenta qualidade, acaba sendo a que consegue analisar e trabalhar com as características ambientais de uma determinada região [6]. Essa correlação, quando bem estabelecida, possibilita um aproveitamento melhor do clima, tornando os

ambientes internos mais confortáveis de forma natural, de modo que a habitação trabalhe como um filtro, amenizando condições severas de calor, frio e vento [6].

A pouca relevância da consideração do clima local pode afetar, especialmente, o desempenho termoenergéticos das HIS [7]. Sendo assim, é crucial que futuros empreendimentos estejam mais adequados às condições climáticas locais, para melhorar os diferentes índices de desempenho das habitações [8]. Assim, considerar diferentes desempenhos para o projeto de HIS pode ser relevante para melhorar a qualidade final das habitações sociais. Assim, considerar diferentes desempenhos no projeto de HIS pode ser de grande importância para aprimorar a qualidade final das habitações sociais [9]. Dessa forma, esse artigo, visa potencializar um critério relacionado ao uso do telhado como fonte de geração de energia elétrica e aquecimento da água, de modo a preencher uma lacuna na obtenção do balanceamento de diferentes critérios de modo a se obter casas mais eficientes. Dessa forma, este artigo tem como objetivo aumentar um critério que diz respeito ao uso do telhado como fonte de energia elétrica e aquecimento da água, para suprir uma lacuna na obtenção de um equilíbrio entre diferentes critérios para se ter casas mais eficientes.

Dentro desse espectro de melhorias a serem tomadas na concepção dos projetos das HIS, é preciso aprofundar nas especialidades referentes ao consumo e a manutenção da energia elétrica pelas HIS. O consumo residencial no Brasil é superior ao de setores como o comercial, agropecuário, público e de transporte, com uma percentagem de 26,6%, ficando apenas atrás do consumo do industrial com 37,7% [10]. A diminuição desse consumo pode ser obtida por meio de táticas passivas durante o desenvolvimento do projeto arquitetônico, tais como o uso adequado da luz natural, sombreamento de aberturas, gestão da radiação incidente sobre a habitação e o uso de equipamentos para suprir a demanda de energia [11]. Os dispositivos que permitem a manutenção do consumo de energia incluem os coletores solares térmicos para o tratamento da temperatura da água, bem como os painéis fotovoltaicos para gerar energia elétrica [11].

O critério que este artigo visa potencializar é a utilização do telhado como uma fonte de energia para o aquecimento da água, de modo que tal iniciativa consiga fazer uma redução do consumo energético da moradia — melhorar a sua eficiência energética. A conversão da radiação em energia para o aquecimento da água proporciona ganhos econômicos para a população de baixa renda e benefícios ambientais para a sociedade [12]. Os gastos com o aquecimento da água acabam por acrescentar um custo econômico anual significativo nas populações menos desfavorecidas [13], sendo que o uso de chuveiros elétricos pode responder ao consumo de 28% da eletricidade em residências no Brasil [14]. Sendo assim, o aquecimento solar da água, critério do Selo Casa Azul da Caixa, pode diminuir o consumo de energia dos chuveiros elétricos [15]. Prática que possibilita que HIS alcancem o selo nível A, conforme a RTQ-R [15; 16].

A medição da radiação na cobertura também apresenta potencialidade se relacionada a obtenção de energia elétrica. Embora a possibilidade de instalar painéis fotovoltaicos em residências de baixa renda ainda não seja atrativa, o progresso do setor produtivo

e o aumento da demanda por fontes de energia renováveis demonstram a viabilidade e o interesse nessa fonte energética [17]. A energia elétrica gerada pelo Sol é uma fonte de energia inesgotável, renovável e abundante [18]. Não obstante, possa parecer uma fonte de energia cara, nos últimos anos o Brasil apresentou um cenário mais favorável e competitivo para sua implementação, o que resultou em uma redução significativa de custos e uma procura maior visto a importância crescente conferida pelos usuários.[19].

Considerando a importância de reduzir o consumo energético do ponto de vista sustentável e econômico [15], este estudo apresenta um modelo para simular e armazenar dados da radiação incidente na cobertura de HIS. Dessa forma, é possível utilizar essas informações na seleção de tipologias habitacionais e na orientação da cumeeira do telhado, considerando a região na qual o projeto está inserido, visando reduzir custos e consumo de energia elétrica, seja pelo aquecimento de água ou pela instalação de painéis fotovoltaicos.

A construção do modelo que simula e armazena os resultados é desenvolvida no programa de modelagem tridimensional Rhinoceros 3D [20] com o seu componente de modelagem paramétrica Grasshopper e outros plugins. Por meio desses programas, o processo parte de uma modelagem em BIM e de uma versão geométrica simplificada da habitação. A partir desta modelagem, elaborou-se uma programação para a seleção da cobertura, simplificação e simulação para a identificação da média de radiação incidente sobre a cobertura. O processo de simulação utiliza o plug-in LadybugTools [21], os dados gerados, quantitativos e visuais são enviados e organizados numa tabela do Excel. Todos esses processos, como a modelagem, simulação e salvamento das informações, são feitos automatizadamente, tendo novamente o envolvimento dos projetistas ao final de todo o processo, em que é possível analisar qual a melhor opção arquitetônica para o uso do telhado como fonte de energia ou aquecimento da água.

DESENVOLVIMENTO DO MODELO

A presente pesquisa apresenta as estratégias para verificar a incidência de radiação na cobertura, para a implementação de futuras estratégias econômicas e ambientais, conforme a tipologia, o entorno e o arquivo climático. O desenvolvimento do modelo proposto foi elaborado no programa Rhinoceros 3D 7 - com licenciamento na versão educacional para laboratório — o seu componente Grasshopper e para as simulações o plugin Ladybug — programa de licença livre.

A tipologia escolhida para o desenvolvimento do modelo foi a de uma residência unifamiliar, por ser uma das formas de habitar mais comuns no Brasil, especialmente nas regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste [22].

Para iniciar o modelo, são selecionadas as geometrias para simulação, escolhendo-se o tipo de elemento arquitetônico do telhado para a análise principal. Diferentemente de outros elementos simplificados da HIS — paredes, esquadrias e estrutura-, a cobertura ainda necessita de ajustes, substituindo as suas propriedades BIM por uma geometria simplificada em superfície. A forma resultante tem a sua face verificada

para, antes de iniciar a simulação, ter a certeza de que a sua face está direcionada para cima. Dessa forma, ao longo da concepção da programação, não serão evitados problemas futuros ao simular. Esta ação é relevante, uma vez que o processo visa que a interferência humana só ocorra ao final de uma determinada quantidade de simulações feitas, para que os exemplos criados não sejam invalidados por apresentarem problemas.

O modelo também avalia a radiação incidente nas fachadas da residência e do terreno. Esta análise não tem uma relação direta com o tema em questão, mas permite que o projetista analise a relação das fachadas e pátio com a vizinhança. E que, a partir disso, identifique os volumes mais e menos afetados pela radiação e a conexão entre essa incidência e outras simulações que podem ser realizadas no modelo completo. Essa avaliação pode ajudar os arquitetos a entender como o entorno afeta a cobertura e o projeto. A análise do entorno para simulação de uma tipologia unifamiliar é crucial, uma vez que apresenta resultados significativos e compreende as dinâmicas das HIS já construídas, o que possibilita elaborar estratégias de projeto para as futuras edificações [15].

Dessa forma, para a criação desse entorno para as simulações, a edificação avaliada pelo modelo é replicada em três direções, para as laterais (direita e esquerda) e fundos, para recriar uma situação encontrada em empreendimentos do programa Minha Casa Minha Vida [24]. O afastamento pode ser ajustado parametricamente, mas, para este estudo, foi posicionado a 12,5 m do ponto central do modelo analisado. Em relação ao tamanho do lote, estabeleceu-se 125,00 m² (12,5 m × 10,0 m), que equivale ao tamanho mínimo para um lote no Brasil [26].

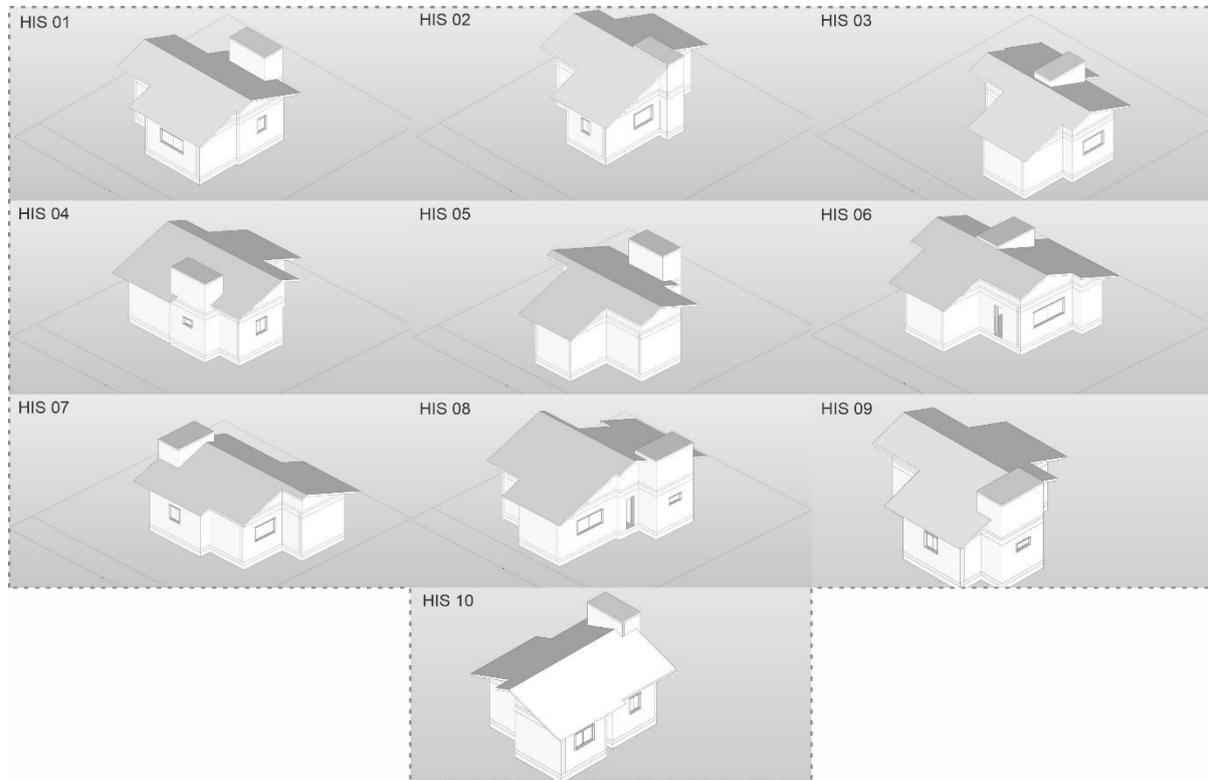
Com as geometrias prontas para a simulação e parâmetros ajustados, esses são conectados ao componente do Ladybug “*LB Incident Radiations*” que é o responsável pela simulação. Este recurso é empregado para calcular a radiação incidente na geometria, utilizando uma matriz do céu desenvolvida por outro componente chamado “*Cumulative Componente Sky Matrix*”. O *LB Incident Radiations*, que realiza a simulação, também utiliza a irradiância refletida no solo por meio de um hemisfério terrestre genérico, semelhante ao hemisfério da cúpula do céu [23]. Isso quer dizer que incluir a geometria que representa a superfície do solo é relevante por impedir a reflexão grosseira do solo. Desse modo, o uso das geometrias do solo, que serão avaliadas, também pode contribuir para uma resposta mais coerente da radiação.

Tendo os parâmetros adequados, as simulações serão realizadas. Para isso, oito HIS são selecionadas, vindas de outro modelo, e a partir delas são executadas as simulações de radiação e os resultados são enviados para um arquivo de Excel, por meio do componente TToolBox [27], que organiza as informações com a numeração, área e resultados. Este processo, utilizando as mesmas residências, é repetido e simulado novamente para cada uma das HIS nas diferentes regiões bioclimáticas do Brasil.

O uso da envoltória e da análise de diferentes climas se torna importante nessa avaliação, pois a tipologia das HIS apresenta impactos condicionados às demais características da envoltória. Assim, determinar o impacto de diversas combinações

em diferentes climas é importante tanto para se compreender as dinâmicas das HIS já construídas quanto para propor estratégias de projeto às futuras edificações [28]. A figura 1 mostra as 10 HIS que foram simuladas nas oito zonas bioclimáticas distintas do Brasil.

Figura 1: As 10 tipologias de HIS desenvolvidas para as simulações de radiação.



Fonte: os autores.

As tipologias serão simuladas em diferentes localidades para avaliar se o modelo tem resultados díspares para diferentes zonas bioclimáticas. Assim, analisa-se o modelo para determinar se é possível identificar variações nas moradias nas oito zonas bioclimáticas, segundo a NBR 15220 [29]. As cidades, zonas e arquivos climáticos são apresentados no quadro 1.

Quadro 1: Zona bioclimática, segundo a NBR 15220 — parte 3, cidade e arquivos climáticos utilizados para as simulações.

Zona	Local	Arquivo Climático
Zona 1 ZB1	Curitiba	https://climate.onebuilding.org/WMO_Region_3_South_America/BRA_Brazil/PR_Parana/BRA_PR_Curitiba-Pena.Intl.AP.838400_TMYx.zip
Zona 2 ZB2	Santa Maria	https://climate.onebuilding.org/WMO_Region_3_South_America/BRA_Brazil/RS_Rio_Grande_do_Sul/BRA_RS_Santa.Maria.AB.869770_TMYx.zip
Zona 3 ZB3	Porto Alegre	https://climate.onebuilding.org/WMO_Region_3_South_America/BRA_Brazil/RS_Rio_Grande_do_Sul/BRA_RS_Porto.Alegre.869880_TMYx.zip
Zona 4 ZB4	Brasília	https://climate.onebuilding.org/WMO_Region_3_South_America/BRA_Brazil/DF_Distrito_Federal/BRA_DF_Brasilia.867150_TMYx.zip
Zona 5 ZB5	Vitória da Conquista	https://climate.onebuilding.org/WMO_Region_3_South_America/BRA_Brazil/B_A_Bahia/BRA_BA_Vitoria.da.Conquista-Figueiredo.AP.833440_TMYx.zip
Zona 6 ZB6	Goiânia	https://climate.onebuilding.org/WMO_Region_3_South_America/BRA_Brazil/G_O_Goias/BRA_GO_Goiania-Santa.Genoveva.AP.834240_TMYx.zip
Zona 7 ZB7	Cuiabá	https://climate.onebuilding.org/WMO_Region_3_South_America/BRA_Brazil/M_T_Mato_Grosso/BRA_MT_Cuiaba-Rondon.Intl.AP.833620_TMYx.zip
Zona 8 ZB8	Belém	https://climate.onebuilding.org/WMO_Region_3_South_America/BRA_Brazil/PA_Para/BRA_PA_Tucuruui.AP.823610_TMYx.zip

Fonte: os autores.

RESULTADOS

Após selecionar as tipologias e ajustar os parâmetros, o modelo foi rodado de forma autônoma, permitindo selecionar a tipologia, simular as radiações incidentes, selecionar o resultado da radiação incidente sobre a fachada, salvar o resultado em Excel, trocar o arquivo climático, realizar uma nova simulação e prosseguir com a sequência de ações até finalizar os oito arquivos climáticos. Ao concluir a primeira HIS, essa sequência de passos é repetida para as outras 9 residências. Os dados são transferidos para o Excel e organizados em colunas por área Bioclimática e cidade correspondentes, com os resultados da radiação média medida sobre a cobertura. Em todas as simulações, o Norte não sofreu alterações em nenhum momento, permanecendo sempre voltado para o limite posterior do terreno. A tabela 1 apresenta os resultados transferidos pelo modelo para a tabela no Excel.

Tabela 1: Resultados das medições de radiação anual na cobertura (kWh), identificando a sua Zona bioclimática, cidade e arquivos climáticos utilizados para as simulações.

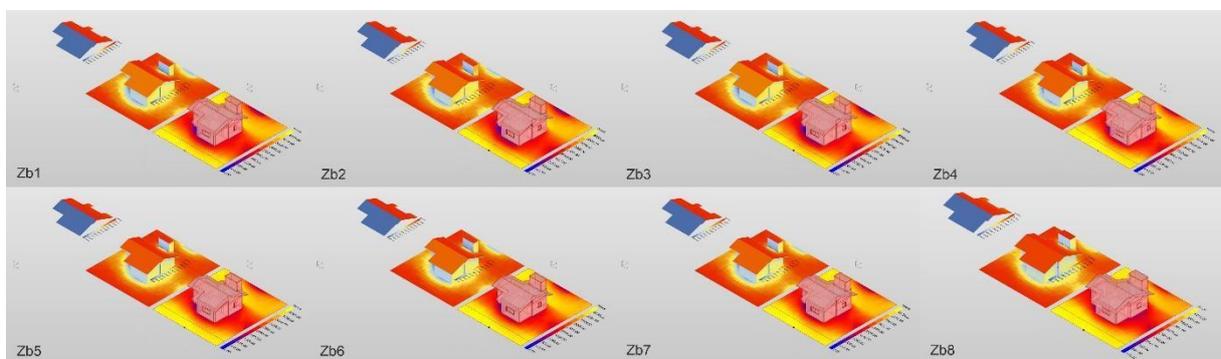
Zona Bioclimática e Cidade	HIS 1	HIS 2	HIS 3	HIS 4	HIS 5	HIS 6	HIS 7	HIS 8	HIS 9	HIS 10
ZB 1 Curitiba	1415	1406	1435	1400	1436	1430	1415	1402	1415	1420
ZB 2 Santa Maria	1597	1571	1600	1565	1601	1595	1580	1567	1580	1585
ZB3 Porto Alegre	1591	1581	1616	1574	1617	1610	1592	1576	1592	1598
ZB4 Brasília	1831	1823	1851	1818	1852	1846	1832	1820	1832	1837
ZB5 Vitória da Conquista	1741	1735	1756	1730	1757	1752	1741	1732	1740	1745
ZB6 Goiânia	1840	1831	1861	1826	1862	1856	1841	1828	1841	1846
ZB7 Cuiabá	1791	1783	1810	1778	1811	1805	1791	1779	1791	1796
ZB8 Belém	1703	1699	1711	1696	1711	1708	1702	1698	1700	1705

Fonte: os autores.

Além do registro dos dados, cada uma das simulações salvou duas imagens de alta resolução em JPG. Cada imagem apresenta um mapa de cores falsas do terreno, com um mapa de radiação das fachadas e radiação incidente na cobertura, separados da

edificação, e uma legenda de cores individual, permitindo uma análise independente. As imagens apresentadas são compostas por duas figuras isométricas, cada uma direcionada para uma orientação da isometria, sendo uma focada na fachada e na vista lateral direita, enquanto a outra foca na vista posterior e na lateral esquerda. Dentre as três visualizações da radiação, o dado que é coletado e transmitido para as tabelas é a média em relação à cobertura. No entanto, a visualização da incidência da radiação no lote e fechamentos verticais pode contribuir para a compreensão do uso dos espaços internos e do comportamento da HIS com os lotes vizinhos. Uma amostra da coleta dessas informações pode ser visualizada na figura 2, que apresenta uma sequência de resultados para comparação das diferentes incidências de radiação de uma HIS em 8 áreas bioclimáticas diferentes.

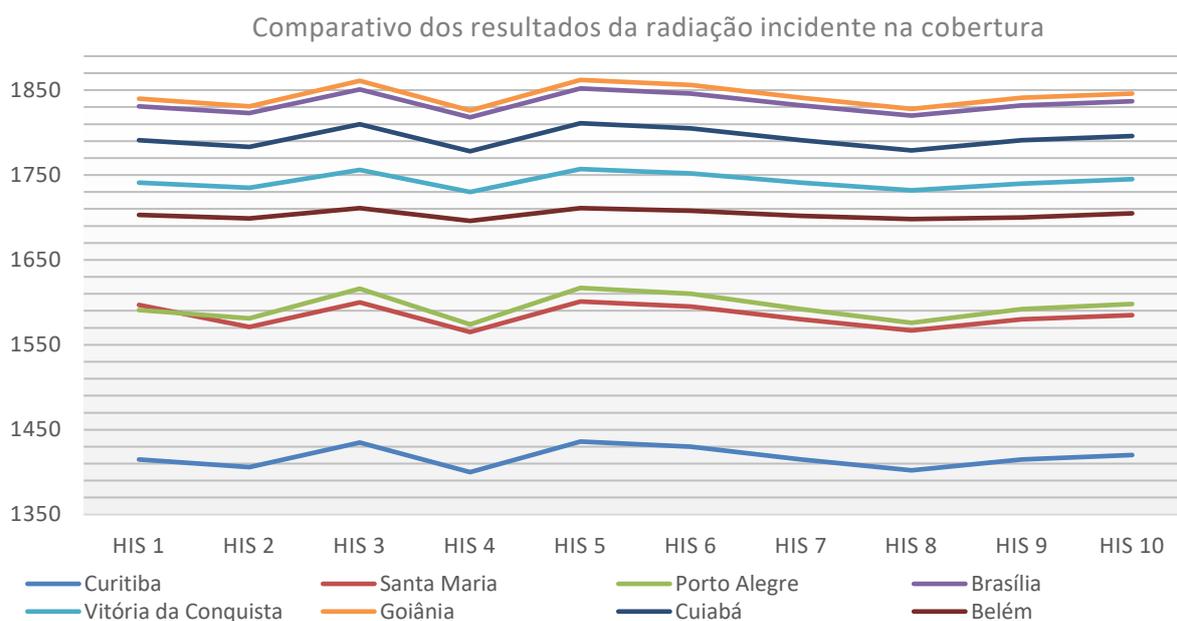
Figura 2: A primeira HIS (1) gerada pelo modelo e o resultado da radiação anual incidente para a mesma residência em 8 zonas bioclimáticas brasileiras.



Fonte: os autores.

Com base nos dados quantitativos organizados no Excel, elaborou-se um gráfico para verificar as informações geradas. Por meio desta visualização, é possível avaliar os diferentes níveis de radiação em cada área bioclimática. É importante ressaltar que, como os modelos de HIS foram criados de maneira automatizada, houve poucas alterações na configuração da cumeeira do telhado. Os resultados seguiram uma tendência, variando segundo o tamanho da superfície de análise da cobertura. A figura 3 mostra um comparativo dos dados coletados, comparando a média da incidência de radiação anual na cobertura nas diferentes áreas bioclimáticas.

Figura 3: Gráfico comparativo dos resultados das HIS em diferentes cidades e zonas bioclimáticas.



Fonte: os autores.

CONCLUSÕES

A elaboração da pesquisa permitiu a construção de duas conclusões. Uma delas diz respeito ao objetivo geral do artigo, que é criar e avaliar um modelo automatizado para a medição anual da radiação incidente na cobertura de HIS, bem como as possíveis vantagens que o uso de um modelo com ações automatizadas pode trazer para o processo de simulação no processo de projeto, e outra sobre a aplicação do modelo nos processos tradicionais de projeto.

Em primeiro lugar, o desenvolvimento do modelo mostrou resultados positivos, uma vez que permite, de forma simplificada, o armazenamento dos dados e a troca dos parâmetros relacionados à zona bioclimática na qual a simulação deve ocorrer. A continuidade de um processo automatizado faz com que possíveis erros de modelagem, que poderiam surgir na transformação de um modelo em BIM para geométricas simplificadas, sejam evitados. A transmissão dos dados também é um bom resultado, ao evitar erros humanos na anotação dos dados. Em suma, a utilização de um processo que economize as funções humanas em questões de designação de parâmetros ou modelagem, além de economizar tempo no processo de produção, pode diminuir a probabilidade de erros, evitando, assim, resultados que não estejam em acordo a realidade a qual se referem, devido a erros de simulação. O uso de processos automatizados oferece outra vantagem, a de que o projetista pode se concentrar e gastar mais tempo nas avaliações de desempenho, ao invés de se concentrar nos processos simples da modelagem e simulação.

A segunda conclusão levanta questionamentos a respeito de como as boas decisões de projeto, baseadas em simulações ou em processos computacionais que avaliam o desempenho, podem beneficiar significativamente a concepção de HIS. Como

discutido na seção introdutória, as habitações destinadas à população de baixa renda apresentam um desempenho fraco, pelo padrão de repetição, baixo investimento financeiro, pouca margem de lucro ou materialização. No entanto, a utilização da computação para o desenvolvimento das HIS, como apresentado neste artigo, demonstra que as simulações, quando feitas durante e depois da resolução de projeto, podem auxiliar na tomada de decisão dos projetistas. Além de potencializando ou direcionando o uso da cobertura como uma área para o uso de estratégias bioclimáticas, para aumentar a eficiência energética da HIS, seja pela diminuição do consumo energético — pelo aquecimento da água — ou pela obtenção de energia através da captação de energia solar.

As simulações em diferentes áreas bioclimáticas, apresentadas de forma rápida e estruturada, mostram também que o investimento em boas soluções de projeto, aperfeiçoadas com o uso da computação, pode aumentar os resultados de HIS, tornando as habitações mais eficientes e, dependendo das decisões tomadas pelos projetistas, a partir dos resultados, mais confortável. O modelo tornou a análise de climas regionais mais rápida e precisa e auxilia no consumo de energia, seja para o aquecimento da água ou para a geração de energia.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Universidade Federal de Santa Catarina -UFSC e ao Grupo de Modelagem Avançada da UFSC pelo espaço concedido para o desenvolvimento da pesquisa. Além disso, agradecem à CAPES, FAPESC e à CASAN pelo apoio financeiro que possibilitou à aquisição das ferramentas e materiais necessários à pesquisa.

REFERÊNCIAS

- [1] FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO. DEFICIT HABITACIONAL NO BRASIL – 2016–2019. Belo Horizonte: Fundação João Pinheiro, 2021.
- [2] BERLEZE, A., SILVOSO, M. Avaliação da satisfação do usuário do PMCMV sob o enfoque do conforto ambiental. In: **ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO**, 17., 2018, Foz do Iguaçu. Anais. Porto Alegre: ANTAC, 2018.
- [3] LIMA, Marcos Vinícius de; SILVA, Thaísa Leal da RIBEIRO, Lauro André. Balanço Energético Nulo em Habitação de Interesse Social: Estudo de Caso no Sul do Brasil. In: **ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO**, 18., 2020, Porto Alegre. Anais. Porto Alegre: ANTAC, 2020.
- [4] LEITZKE, R. K.; CUNHA, E. G.; MACIEL, T. S.; DEMBINSKI, F. M. D.; PRESTES, I. B. Algoritmo para análise evolutiva multiobjetivo em simulações termoenergéticas. **Gestão e Tecnologia de Projetos**, São Carlos, v.16, n.1, p.24-42, jan.2021.
<http://dx.doi.org/10.116/gtp.v16i1.164048>
- [5] CARVALHO, M. T. M.; SPOSTO, R. M. Metodologia para avaliação da sustentabilidade de habitações de interesse social com foco no projeto. **Ambiente Construído**, v. 12, n. 1, p. 207–225, Mar. 2012. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1678-86212012000100014>. Disponível em. Acesso em: 15 jun. 2019.
- [6] CORREIA, L. A.; ROMERO, ROMERO, M. A. B. Conforto Ambiental e suas relações subjetivas: análise ambiental integrada na Habitação de Interesse Social. In: 1º **Simpósio**

- Brasileiro De Qualidade Do Projeto No Ambiente Construído**, Rio de Janeiro, 2011. Anais. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura da UFRJ, PROARQ, 2011. p. 265–276.
- [7] MORAIS, J. M. S. C.; LABAKI, L. C. CFD como ferramenta para simular ventilação natural interna por ação dos ventos: estudos de caso em tipologias verticais do “Programa Minha Casa, Minha Vida”. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 17, n. 1, p. 223-244, jan./mar. 2017.
- [8] MORAGA, G. L. Avaliação do Ciclo de Vida e simulação termoenergética em unidade habitacional unifamiliar do Programa Minha Casa Minha Vida. Porto Alegre, 2017. 161 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2017.
- [9] BRE, F. et al. building design optimisation using sensitivity analysis and genetic algorithm. *Energy and Buildings*, v. 133, p. 853–866, 2016.
- [10] BEN 2019 — **BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL**. DISPONÍVEL EM: <<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2023>> Acesso em 15 de abril de 2024.
- [11] VOSS, K. and MUSALL, E. Net Zero Energy Buildings: International projects of carbon neutrality in buildings. Editora Green Books: Munique, 2013.
- [12] COELHO, Fabrícia Lelis Naime de Almeida. O incentivo à moradia ambientalmente correta: o uso da energia renovável. *Revista de Direito Econômico e Socioambiental*, [S.L.], v. 5, n. 1, p. 180, 1 jan. 2014. Pontifícia Universidade Católica do Paraná - PUCPR. <http://dx.doi.org/10.7213/rev.dir.econ.socioambienta.05.001.ao09>.
- [13] MOGAWER, T.; SOUZA, T. M. de. Sistema solar de aquecimento de água para residências populares. 2014. Disponível em. Acesso em: 28 set. 2014.
- [14] VIALLI, A. Casa popular estimula indústria solar no Brasil. 2012. Disponível em. Acesso em: 22 out. 2014.
- [15] GIGLIO, T.; SANTOS, V.; LAMBERTS, R. Analyzing the impact of small solar water heating systems on peak demand and on emissions in the Brazilian context. **Renewable Energy**, v. 133, p. 1404-1413, 2019.
- [16] BARZAN NETO, A. Análise da eficiência energética de uma edificação residencial através da nova proposta brasileira de etiquetagem de edificações. Florianópolis, 2018. 64 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) — Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2018.
- [17] DALFOVO, Wylmor Constantino Tives et al. A Viabilidade Econômica da implantação de Energia Solar Fotovoltaica para a redução dos custos com energia elétrica das famílias com diferentes níveis de renda: uma análise para a região norte de mato grosso. **Sociedade, Contabilidade e Gestão**, [S.L.], v. 14, n. 3, p. 118-143, 12 ago. 2019. Universidade Federal do Rio de Janeiro. http://dx.doi.org/10.21446/scg_ufrj.v0i0.23111.
- [18] KEMERICH, P. DA C. et al. Paradigmas da energia solar no Brasil e no mundo. *Electronic Journal of Management, Education and Environmental Technology (REGET)*, v. 20, n. 1, p. 241–247, 2016.
- [19] MEDEIROS, L. A. DE; VILLALVA, M. G.; SIQUEIRA, T. G. DE. Technical and economic feasibility analysis for solar photovoltaic generation plants. In: **Simposio Brasileiro De Sistemas Eletricos (SBSE)**, 7.; 2018, Niteroi, Anais... Niteroi: IEEE, 2018.
- [20] MCNEEL. Rhinoceros. Disponível em: <https://www.rhino3d.com/download/>. Acesso em: 07 abr. 2024.
- [21] ROUDSARI, M. S. et al. Ladybug Tools. 2017. Disponível em: <<https://www.ladybug.tools/index.html>>. Acesso em: 07 abr. 2024.

- [22] MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL. Programa Minha Casa Minha Vida – Contratações Brasil (2009 – 2019). Disponível em: http://sishab.cidades.gov.br/novo_executivo/filtro. Acesso em: 02 abr. 2024.
- [23] EUROPE, McNeel (org.). Incident Radiation. 2023. McNeel Europe. Disponível em: https://docs.ladybug.tools/ladybug-primer/components/3_analyzegeometry/incident_radiation. Acesso em: 01 jun. 2023.
- [24] MOURA, Jéssica Moraes de. O Programa Minha Casa, Minha Vida na Região Metropolitana de Natal: uma análise espacial dos padrões de segregação e desterritorialização. **Urbe - Revista Brasileira de Gestão Urbana**, [S.L.], v. 6, n. 583, p. 339, 2014. Pontifícia Universidade Católica do Paraná - PUCPR. <http://dx.doi.org/10.7213/urbe.06.003.ac05>.
- [25] ROLNIK, Raquel et al. O Programa Minha Casa Minha Vida nas regiões metropolitanas de São Paulo e Campinas: aspectos socioespaciais e segregação. *Cadernos MetrÓpole*, [S.L.], v. 17, n. 33, p. 127-154, maio 2015. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/2236-9996.2015-3306>.
- [26] SENADO FEDERAL. LEI NO 10.257, DE 10 DE JULHO DE 2001: Estatuto da Cidade. Brasília: Sub-secretaria de Edições Técnicas, 2001. 101 p.
- [27] TOMASETTI, Thornton (org.). **CORE STUDIO**. 2019. Thornton Tomasetti. Disponível em: <https://www.thorntontomasetti.com/core-studio>. Acesso em: 02 abr. 2024.
- [28] BAVARESCO, Mateus V et al. Aspectos impactantes no desempenho energético de habitações de interesse social brasileiras: revisão de literatura. **Ambiente Construído**, v. 21, n. 1, p. 263-292, jan. 2021. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212021000100505>.
- [29] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15220: desempenho térmico de edificações. Rio de Janeiro, 2005.