

The use of Computational Design as a natural lighting analysis tool in Social

Cristina Yoshida De Freitas ¹, Renan do Nascimento Balzani¹, Félix Alves-Silva¹

¹ Universidade de Brasília - UnB, Brasília-DF, Brasil
crisyfreitas@gmail.com; renan.balzani@unb.br; felix.alves@unb.br

Abstract. This research presents a process of the combination of Computational Design with bioclimatic parameters from different climatic zones in Brazil, to assist in the analysis of standardized architectural solutions for Housing projects. For the analysis, a model was defined and inserted in three Brazilian (Brasília, Curitiba e Manaus) cities, which belonged to different bioclimatic zones, Z1, Z4 and Z8. The insertion of climatic parameters, as well as the production of the analysis prototype, were performed using Rhinoceros and its extensions Ladybug and Grasshopper.

Keywords: Computational Design, Daylight Simulation, Housing project; Mass-Customization.

1 Introdução

As ferramentas computacionais modificaram os processos de produção do espaço construído, algoritmos são utilizados como ferramenta de produção de soluções projetuais (Bianconi et al., 2019). O *Computational Design* (CD) agrega um conjunto de práticas projetuais generativas baseadas no uso de computadores e que permite arquitetos: explorar e validar soluções complexas de forma eficiente; criar e utilizar técnicas de fabricação digital e controlar o todo o processo de projeto (Caetano et al., 2020). O movimento Moderno consolidou a adoção de soluções universais de projeto para solucionar a escassez de habitações de baixo custo nas cidades. A utilização de soluções padronizadas, que pudessem ser disseminadas para diferentes locais e usuários, é problemática já que cada local possui características específicas (Alves-Silva & Furtado Silva, 2020). O CD pode ser utilizado para visualizar como uma solução padrão de projeto se comporta em diferentes cenários de implantação. Isso ocorre graças as capacidades de adaptação e manipulação de um sistema generativo de projeto a partir dos parâmetros ou das regras que compõe o algoritmo generativo do sistema (Garber, 2009).

A radiação solar é um fator importante para proporcionar conforto a uma edificação, uma vez que superfícies que recebem maior quantidade de insolação são mais quentes. Posicionar as edificações de modo adequado às condicionantes bioclimáticas do local contribui para melhoria do conforto nas edificações (Olgyay et al., 2015; Roudsari & Pak, 2013; Samadi et al., 2020). A análise de radiação nas edificações pode ser realizada por meio de cartas solares e gráficos, este tipo de representação é de difícil produção e interpretação, o que o seu uso como ferramenta de tomada de decisão de projeto.

Desde a década de 1970 os trabalhos desenvolvidos com Gramática da Forma demonstram como a lógica computacional pode ser utilizada como ferramenta de produção ou ferramenta de análise da forma de artefatos (Gips, 1975). Este artigo demonstra como o CD pode ser utilizado para simular como a radiação solar atua sobre as superfícies e os espaços internos de um modelo em zonas bioclimáticas diferentes do Brasil. Para realizar as simulações foram utilizados os plugins do *Rhinoceros*, o *Grasshopper* e o *Ladybug*. O *Grasshopper* é uma ferramenta que permite que o usuário programe por meio de algoritmos visuais enquanto o *Ladybug* é um *software* de simulação de condicionantes bioclimáticas. As simulações radiação solar e os parâmetros do modelo foram geradas a partir do algoritmo proposto.

Este artigo está estruturado em: Introdução, que apresenta o trabalho e o problema de pesquisa; Revisão de Literatura, apresenta e discute os conceitos norteadores do trabalho; Metodologia, detalha o percurso metodológico da pesquisa; Resultados, em que são apresentadas as simulações de radiação solar nas superfícies e nos espaços internos; a conclusão com as contribuições alcançadas e são apresentadas sugestões de desdobramentos para pesquisas futuras.

2 Revisão de Bibliográfica

2.1 *Computational Design* e Sistemas Generativos de projeto

Os métodos computacionais de projeto, baseados em parâmetros, ampliaram o escopo do uso das ferramentas computacionais para além da representação arquitetônica (Garber, 2009). O *Computational Design* (CD) não é a utilização de ferramentas digitais de projeto (softwares), o que caracteriza o CD é uso da lógica computacional para: automatizar processos de projeto; gerenciar um grande conjunto de soluções; incorporar e propagar alterações projetuais de forma rápida e eficiente; auxiliar projetistas no processo de busca por soluções formais (Caetano et al., 2020).

No CD a obtenção de soluções projetuais ocorre pelo uso da lógica algorítmica, em que o profissional de projeto estabelece um sistema que irá receber dados de entrada que serão processados, de acordo com as regras do sistema, para produzir dados de saída (Terzidis, 2006). No contexto de projeto estes dados de saída correspondem às definições formais do artefato em produção. O usuário pode adaptar as soluções (*outputs*) ao modificar as etapas ou as interações entre as variáveis que atuam no sistema (Burry, Jane; Burry, 2010). Em uma abordagem computacional de projeto, princípios construtivos e condicionantes de projeto podem ser codificados para obter um modelo generativo capaz de produzir soluções diversas e com capacidade de adaptação (Bianconi et al., 2019). A obtenção de variabilidade ocorre pela alteração dos parâmetros ou por meio da alteração no algoritmo (Martinho et al., 2020). O CD pode ser utilizado para a realização de análise de soluções de projeto ou de edificações existentes. Esta abordagem permite que o arquiteto possa visualizar um conjunto de soluções em diferentes cenários (Alves-Silva & Furtado Silva, 2020).

As políticas de produção de habitações populares, no Brasil, são fundamentadas na utilização de soluções universais, sob o argumento de redução de custos. Estas soluções arquitetônicas são disponibilizadas por instituições governamentais para serem utilizadas em todo o território brasileiro. Neste trabalho o CD foi utilizado como ferramenta de análise do comportamento do modelo, em relação a radiação solar, para Zonas Bioclimáticas diferentes do Brasil.

2.2 Iluminação natural

A produção dos ambientes construídos é definida a partir de critérios que buscam atender a algum parâmetro de desempenho. As variáveis ambientais são um dos primeiros critérios de desempenho a serem considerados na produção dos edifícios. A qualidade de uma construção estava relacionada com o modo como o edifício se relaciona com o meio. Essa capacidade de adequação se configura em importante princípio de definição da forma arquitetônica (Olgyay et al., 2015).

A radiação solar é um importante fator a ser considerado na definição de uma solução arquitetônica. Identificar quais as superfícies irão receber maior incidência solar possibilitam que arquitetos possam determinar que ambientes alcançarão maiores temperaturas (Roudsari & Pak, 2013). Além da radiação solar a iluminação natural de ambientes internos é outro fator que proporciona qualidade de vida aos habitantes de uma edificação. A iluminação natural contribui para a redução do consumo de energia elétrica ao viabilizar o uso dos espaços sem a necessidade de iluminação artificial durante o dia (Samadi et al., 2020).

As ferramentas computacionais, têm possibilitado que os parâmetros de conforto sejam e utilizados para validar as soluções de projeto. Esse tipo de processo auxilia na produção e análise de um universo de possibilidades projetuais. De acordo com a NBR15220-3(Norma Brasileira de Desempenho térmico de edificações - Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social), o Brasil possui oito zonas bioclimáticas. Esta NBR define as zonas bioclimáticas e os parâmetros arquitetônicos para obtenção de conforto para cada zona. Estes parâmetros foram utilizados para definir o algoritmo e gerar as simulações junto ao modelo teste.

Neste trabalho o algoritmo produzido foi produzido utilizando *Rhinoceros/Grasshopper* em conjunto com o *Ladybug*. O *Ladybug* é um plugin que possibilita a inserção de arquivos *EnergyPlus Weather*(.EPW) que são dados para a simulação de cenários climáticos de diferentes regiões do mundo (Roudsari & Pak, 2013). Os dados foram inseridos no sistema e utilizados para gerar a simulações que resultaram no comparativo da radiação solar e da iluminação natural para cada área de estudo.

3 Metodologia

Para fim de obter os resultados desta pesquisa foram definidas as seguintes etapas de trabalho (

Figura 1):

- Etapa 1: Definição de parâmetros;
- Etapa 2:Definição dos Softwares;
- Etapa 3: Definição e modelagem do modelo de teste;

- Etapa 4: Simulação da radiação e iluminação natural sobre o modelo de teste;
- Etapa 5: Análise dos cenários simulados.

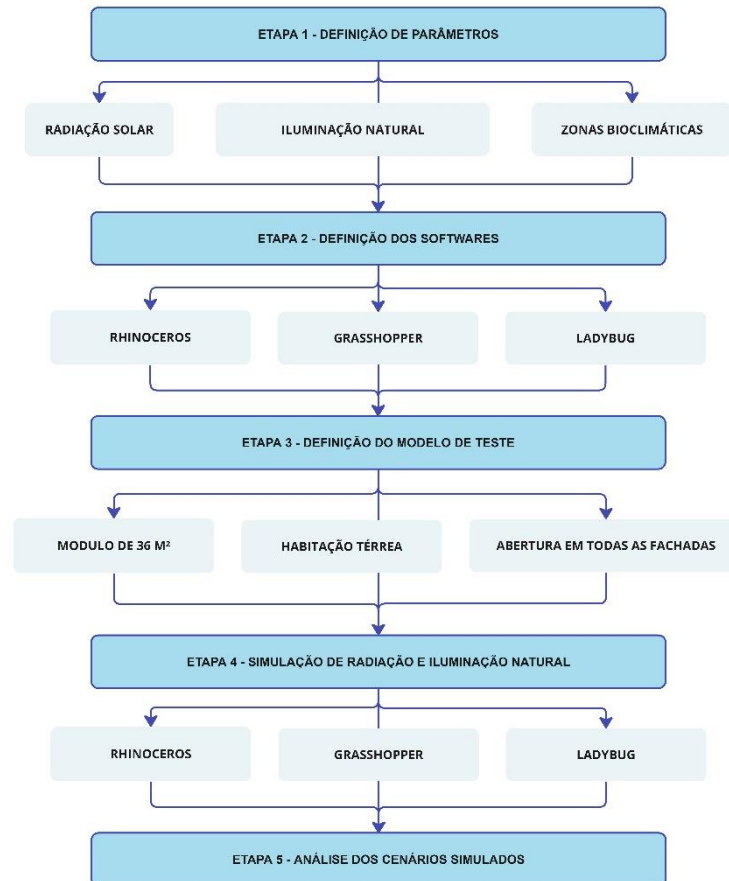


Figura 1. Percurso metodológico. Fonte: Autores, 2023.

Na etapa 1, foram definidos quais parâmetros seriam simulados a partir das zonas climáticas selecionadas, Zona 1(Z1), Zona 4(Z4) e a Zona 8(Z8). No caso desta pesquisa foram simuladas a radiação solar nas superfícies externas e a iluminação natural no interior do modelo. A etapa 2 definiu a ferramenta de programação visual *Grasshopper*, que é um *plugin* do *Rhinoceros*, em conjunto com o seu *plugin* *Ladybug*. A Etapa 3, consistiu na definição do modelo de teste, que seria submetido às variáveis climáticas. Na etapa 4, foram simuladas a radiação solar e a iluminação natural para as zonas climáticas escolhidas sobre o modelo. Por fim, na etapa 5, os cenários simulados foram analisados e comparados entre si.

3.1 Definição do protótipo de teste

Para realizar a análise comparativa, foi definido um modelo de teste, a definição do protótipo considerou como referência as dimensões mínimas para habitação unifamiliar de interesse social definido pelo governo brasileiro. Esta referência resultou em uma área útil de 35,00 m². A partir desta análise foram estabelecidas as seguintes características e dimensões para o protótipo teste:

- Tipologia: Habitação unifamiliar
- Dimensão: 5,00m(Largura) x 7,00m(Comprimento) x 3,00m(Altura)
- Área útil: 35,00m²
- Perímetro: 24,00m
- Área total de superfícies: 72,00 m²
- Quantidade de aberturas: 4 (1 em cada fachada) com dimensões de 2m(Largura) x 1m(Altura) x 1m(Peitoril)

Estes parâmetros foram utilizados para a produção do modelo no *Grasshopper* (Figura 2).

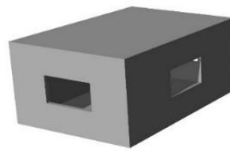


Figura 2. Modelo teste. Fonte: Autores, 2023.

O modelo utilizado não possui as paredes internas, uma vez que o foco principal é a formulação e validação do algoritmo de simulação para as zonas bioclimáticas de teste.

3.2 Definição e inserção dos parâmetros climáticos para a simulação

Para a realização da simulação foram definidas três cidades pertencentes a Zonas Bioclimáticas distintas, a citar: Curitiba-PR, Z1; Brasília-DF, Z4; e Manaus-AM, Z8(ABNT, 2003). Para a escolha das zonas e das cidades foram consideradas as condições de radiação e iluminação e ângulo solar sobre o modelo de teste.

Os parâmetros de iluminação foram inseridos no Ladybug a partir dos arquivos com a extensão. EPW das cidades selecionadas. Os dados foram retirados para a realização da simulação foram obtidos do *projeto Solar and Wind Energy Resource Assessment* (SWERA). O SWERA é uma iniciativa das Nações Unidas que agrega informações sobre ventilação e iluminação de países em desenvolvimento (U.S. *Department of Energy*, 2022). Os dados bioclimáticos utilizados estão disponíveis na página <http://swera.unep.net/>.

Para as simulações foram estabelecidos para análise e para padronizar os resultados foi adotado uma data e a hora de 10 de julho as 16:00.

O modelo de teste, para as três zonas, foi posicionado no seu comprimento, na sua maior dimensão, no eixo Norte-Sul e transversalmente, na menor dimensão, no eixo Leste-Oeste. Para melhor visualização do comportamento lumínico na área interna do protótipo foram definidas duas secções: uma longitudinal (Secção AA) e uma transversal (Secção BB) (Figura 3).

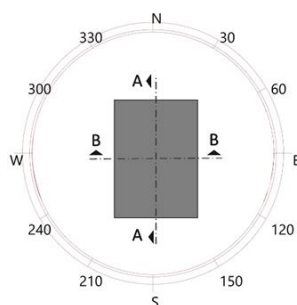


Figura 3. Posicionamento do modelo teste e definição das secções. Fonte: Autores, 2023.

3.3 O algoritmo proposto

O algoritmo para análise e simulação de irradiação nas superfícies externas do modelo foi organizado em três categorias (Tabela 1). Estas categorias foram definidas por funções de acordo com o elemento ou variável do sistema que manipulam.

Tabela 1. Categorias do algoritmo no *Grasshopper/Ladybug*.

Categoria	Componente/ Parâmetro
1 – Modelagem do Modelo de Teste	a. Paredes; b. Janelas; c. Piso d. Lajes
2 – Inserção de Dados Climáticos	a. Importação dos dados Bioclimáticos; b. Inserção do Modelo de teste
3 - Processamento e Simulação	a. Percurso solar b. Incidência solar nas fachadas c. Iluminação natural d.

Fonte: Autores, 2023.

A primeira categoria corresponde a Modelagem do Modelo teste, que reúne os parâmetros que atuam sobre as características geométricas do objeto. A segunda, Inserção de Dados Climáticos, se refere a inserção dos dados bioclimáticos das cidades analisadas.

O terceiro grupo, Processamento e Simulação, corresponde aos dados de saída, ou seja, aos resultados de simulação. No *Grasshopper* o algoritmo proposto foi organizado conforme a Figura 4.

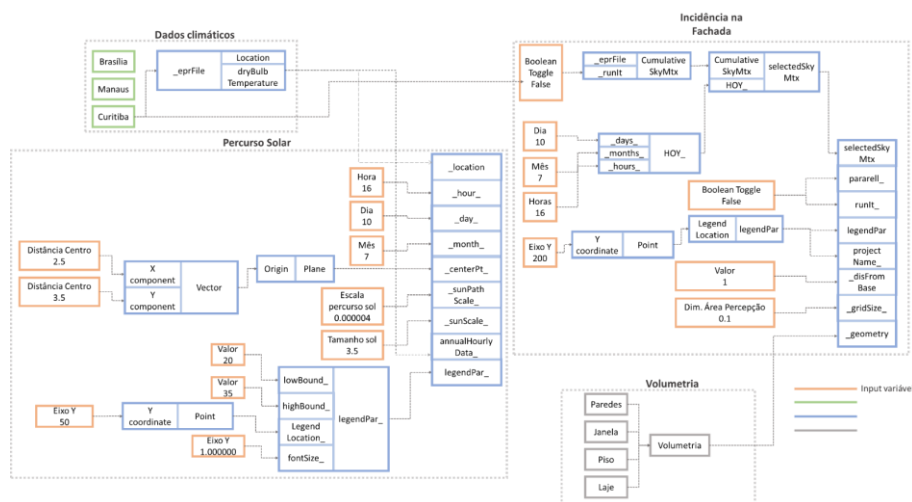


Figura 4. Algoritmo de simulação de radiação solar. Fonte: Autores, 2023.

4 Resultados

A partir das simulações feitas, foi obtido como resultado uma visualização da radiação solar em kWh/m² sobre as superfícies externas do modelo. Para esta análise utilizou-se a faixa de gradação de 0.00 e 0.30Kwh/m² e o sol para o horário de quinze a dezesseis horas. O dia escolhido para a simulação foi um dia do mês de julho (10 de julho). Este mês apresenta a maior taxa de insolação para as três cidades selecionadas.

A primeira cidade a ser analisada é a cidade de Manaus, Z8. Por estar localizada mais próxima a linha equador, a posição do sol, em relação ao modelo, está mais elevada, com ângulo solar que varia de 290° a 300°. Nesta zona, as fachadas mais afetadas são a norte e a oeste, que resulta em temperaturas mais elevadas nestas superfícies. A fachada oeste obteve uma radiação variando entre 0.23-0.30 KWh/m² e a fachada norte ficou na faixa de 0.15-0.23 KWh/m² (Figura 5).

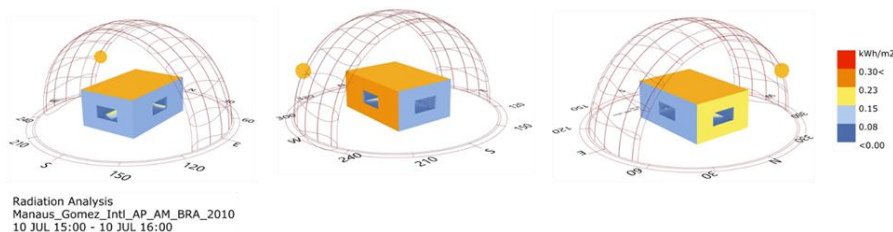


Figura 5. Radiação solar (0 - 0.30 KWh/m²) para Manaus-AM. Fonte; Autores, 2023.

Para a cidade de Brasília – DF, Z4, o ângulo solar com relação ao modelo fica entre 300° e 310°, e tem as fachadas norte e a oeste com maior incidência de radiação solar. O intervalo de radiação identificado para as duas fachadas foi de 0.23- 0.30Wh/m² (Figura 6). A projeção da radiação sobre o modelo para a cidade esta região é que a fachada oeste e a cobertura recebem uma quantidade maior de radiação e que a fachada norte, em relação a estas superfícies recebe uma menor contribuição.

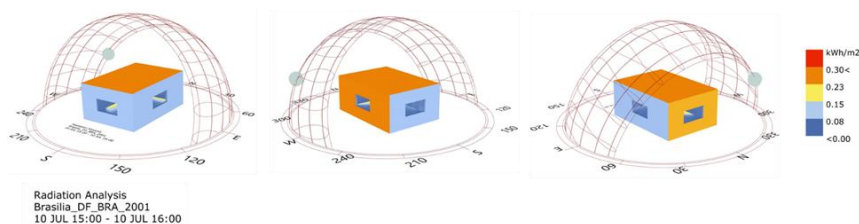


Figura 6. Radiação solar (0 - 0.30 KWh/m²) para Brasília - DF. Fonte: Autores, 2023.

Para a cidade de Curitiba – PR, Z1, o ângulo do solar com relação ao volume fica entre 310° e 320°. Par esta área o intervalo de radiação foi de 0.15- 0.23 KWh/m² (Figura 7). É possível observar, no modelo que as fachadas, norte e oeste e o teto recebem a mesma quantidade de radiação solar.

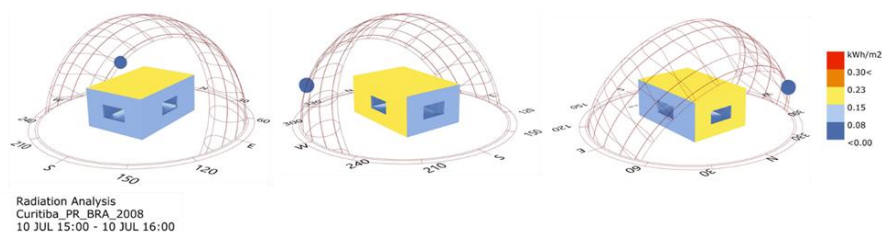


Figura 7. Radiação solar (0 - 0.30 KWh/m²) para Curitiba - PR. Fonte: Autores, 2023.

Nas figuras 07, 08 e 09 é possível verificar de forma visual o comportamento da radiação sobre o modelo de teste. Para as três zonas as fachadas que mais receberam radiação solar foram as norte e oeste, o que demonstra a necessidade da previsão de soluções de controle da radiação, principalmente para a cidade de Brasília que obteve os maiores valores, nas duas fachadas. Além das fachadas a cobertura recebe parte considerável desta radiação e deve ser objeto de atenção no desenvolvimento do projeto.

É importante observar que o processo proposto permite a visualização integrada dos diferentes cenários, apenas pela manipulação dos parâmetros é possível alterar características do modelo ou os dados bioclimáticos de análise. Para complementar a foram retiradas imagens internas do modelo de teste por meio de duas secções, uma longitudinal (AA) e uma transversal (BB).

Para a cidade de Manaus (Figura 8) internamente o índice de radiação máxima dentro do ambiente é de 0.23 KWh/m², nas porções que recebem incidência direta do sol. Uma maior intensidade na irradiação solar consiste em um aumento na temperatura dos ambientes internos. Para a cidade de Manaus este tipo de condição é ruim para o conforto dos usuários, uma vez que a cidade já apresenta temperaturas elevadas durante o ano. Esta condição, associada a outras variáveis climáticas, antrópicas e arquitetônicas, pode resultar em ambientes internos mais quentes que o exterior da edificação.

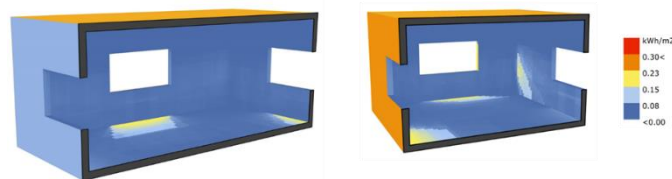


Figura 8. Iluminação natural interna para a cidade de Manaus – AM, seções AA e BB. Fonte: Autores, 2023.

Na cidade de Brasília (Figura 9), a iluminação solar se comporta de modo semelhante a cidade de Manaus, com índice de radiação máxima de 0.23 KWh/m², mesmo valor para a cidade de Manaus. No entanto, as temperaturas em Brasília são menores o que faz com que a iluminação natural possa ser importante para a manutenção do conforto térmico nos períodos mais frios do ano.

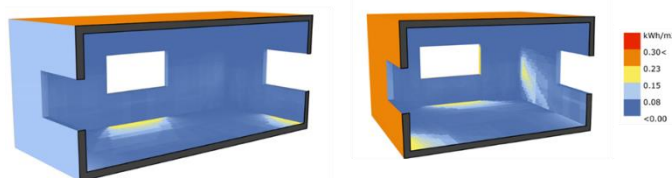


Figura 9. Iluminação natural interna para a cidade de Brasília – DF, seções AA e BB. Fonte: Autores, 2023.

Para Curitiba (Figura 10), podemos perceber que a luz solar entra de forma difusa, e possui poucas áreas em que radiação ultrapassa 0.15KWh/m², mesmo nas porções que recebem sol de forma direta. Isto demonstra a necessidade de ampliar as aberturas e atuar na orientação da edificação no lote para iluminar e aquecer os espaços internos.

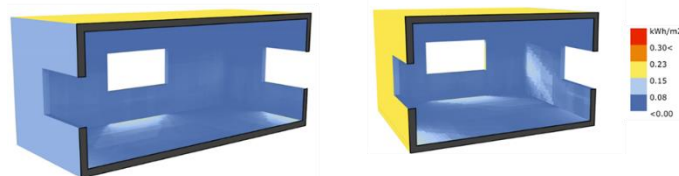


Figura 10. Iluminação natural interna para a cidade de Curitiba – PR, secções AA e BB. Fonte: Autores, 2023.

5 Conclusão

O CD tem se difundido entre as práticas arquitetônicas e tem sido utilizado para otimizar e automatizar processos e na exploração de conjuntos de soluções projetuais. Em um contexto de soluções arquitetônicas universais como o de produção de habitações populares este tipo de estratégia auxilia tanto na validação como na produção de soluções. O algoritmo pode ser complementado e expandido para a produzir projetos arquitetônicos que atendam a um número maior de zonas bioclimáticas, ou, na produção de soluções que possam ser rapidamente adaptáveis. Este artigo teve enfoque na formulação de um algoritmo por meio da plataforma *Grasshopper/Ladybug* para simular a radiação solar, em ambientes externos e internos para zonas bioclimáticas diferentes.

A utilização de uma estratégia algorítmica para análise do modelo teste possibilitou a realização de simulações para zonas bioclimáticas de estudo (Z1, Z4 e Z8). A avaliação da condição de iluminação e radiação solar sobre o modelo foi facilitada pela visualização da simulação da luz sobre as superfícies e no interior do modelo. Esta representação é de compreensão mais fácil do que a obtida por cartas solares, o que facilita a comunicação entre técnicos e leigos. Outra contribuição é que o uso proposto para o CD pode servir para auxiliar na implantação da edificação no lote, de modo que, sejam considerados o posicionamento mais adequado sob a perspectiva bioclimática.

É importante dar continuidade a pesquisa com o objetivo de expandir o algoritmo para simular um número maior de Zonas e para gerar soluções. No que diz respeito a análise o sistema pode ser ampliado para de modo que as análises sejam feitas de modo automática por meio da utilização de processo que utilizem de aprendizagem de máquinas e inteligência artificial.

Referências

- ABNT. (2003). NBR 15220-3 Desempenho térmico de edificações — Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. *Associação Brasileira De Normas Técnicas*, 1–23.
- Alves-Silva, F., & Furtado Silva, N. (2020). O uso do modelo paramétrico para a produção e variabilidade formal em habitações de pequeno porte. *Paranoá: Cadernos de Arquitetura e Urbanismo*, 26, 106–125. <https://doi.org/10.18830/issn.1679-0944.n26.2020.08>
- Bianconi, F., Filippucci, M., & Buffi, A. (2019). Automated design and modeling for mass-customized housing. A web-based design space catalog for timber structures. *Automation in Construction*, 103, 13–25. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.03.002>
- Burry, Jane; Burry, M. (2010). *The new Mathematics of Architecture* (1ª). Thames&Hudson.
- Caetano, I., Santos, L., & Leitão, A. (2020). Computational design in architecture: Defining parametric, generative, and algorithmic design. *Frontiers of Architectural Research*, 9(2), 287–300. <https://doi.org/10.1016/j.foar.2019.12.008>
- Garber, B. R. (2009). Optimisation Stories. *Architectural Design*, 79(2):6–13.
- Gips, J. (1975). Shape Grammars and their Uses. In *Shape Grammars and their Uses* (Issue January 1975). <https://doi.org/10.1007/978-3-0348-5753-6>
- Martinho, H., Pereira, I., Feist, S., & Leitão, A. (2020). Integrated Algorithmic Design in Practice A Renovation Case Study. *Anthropologic - Architecture and Fabrication in the Cognitive Age: Proceedings of the 38th Conference on Education and Research in Computer Aided Architectural Design in Europe (ECAADe)*. <https://doi.org/10.52842/conf.ecaade.2020.1.429>
- Olgyay, V., Olgyay, A., Lyndon, D., Olgyay, V. W., Reynolds, J., & Yeang, K. (2015). *Design with Climate* (REV-Revi). Princeton University Press. <https://doi.org/10.2307/j.ctvc77kqb>
- Roudsari, M. S., & Pak, M. (2013). Ladybug: A parametric environmental plugin for grasshopper to help designers create an environmentally-conscious design. *Proceedings of BS2013: 13th Conference of the International Building Performance Simulation Association, January 2013*, 3128–3135. <https://doi.org/10.26868/25222708.2013.2499>
- Samadi, S., Noorzai, E., Beltrán, L. O., & Abbasi, S. (2020). A computational approach for achieving optimum daylight inside buildings through automated kinetic shading systems. *Frontiers of Architectural Research*, 9(2), 335–349. <https://doi.org/10.1016/j.foar.2019.10.004>
- Terzidis, K. (2006). Algorithmic Architecture. In *Journal of Chemical Information and Modeling* (Vol. 53, Issue 9). Elsevier.
- U.S. Department of Energy. (2022). *Auxiliary Programs - EnergyPlus™ Version 22.1.0 Documentation*.