

## AUTO-SOMBREAMENTO E EFEITOS DE LUZ E SOMBRA EM SUPERFÍCIES COMPLEXAS EMPREGADAS NA ARQUITETURA

RENATA ÁVILA BANDEIRA<sup>1</sup>; JANICE DE FREITAS PIRES<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de Pelotas – [renataavialbandeira@gmail.com](mailto:renataavialbandeira@gmail.com)

<sup>3</sup>Universidade Federal de Pelotas – [janicefpirez@gmail.com](mailto:janicefpirez@gmail.com)

### 1. INTRODUÇÃO

O projeto de pesquisa AMPARA – Análise e tem investido no estudo de geometrias complexas da arquitetura, visando a sua transposição para o ensino. Neste sentido, a partir de duas teorias didáticas, a Teoria da transposição didática (1991) e a Teoria antropológica da didática (1999), ambas de Chevallard, a pesquisa investe em explicitar estruturas de saber integrais e integrativas. Integrais no sentido de abranger as especificidades geométricas e da representação gráfica associadas ao projeto de arquitetura e sua funcionalidade, tais como desempenhos estruturais e de conforto ambiental. Integrativas no sentido de compreender e como tais geometrias estão associadas com temas e conteúdo do currículo de arquitetura e podem definir de maneira prática e aplicada os conceitos de projeto e sustentabilidade.

No início do projeto, em 2020, procurou-se explorar as relações com outros temas abordados na formação em arquitetura, como a abordagem de estruturas estereotômicas e tectônicas e a biomimética, com a intenção de investigar como as geometrias complexas poderiam impactar o ambiente construído. Visando integrar ainda mais o projeto com os temas do currículo de arquitetura e a biomimética, de 2021 e 2022, o projeto avançou para incluir abordagens bioclimáticas, ampliando a análise para considerar aspectos ambientais e sustentáveis (PAIXÃO; PIRES, 2022), como os relacionados ao desempenho térmico, estrutural das edificações.

Com isso, entre setembro de 2023 e março de 2024, buscou-se avaliar os efeitos da radiação solar incidente em superfícies complexas da arquitetura, empregadas em projetos referenciais, tal como a geometria do restaurante Los Manantiales, de Félix Candela, obra do século XX, que emprega a geometria de dupla curvatura em paraboloides hiperbólicos. Esta análise identificou o número de horas de insolação direta e quantidade de energia, na envoltória das superfícies geométricas, comparando-a com a geometria formada por superfícies cônicas, que são mais simples em termos de geometria, por terem curvatura nula. Observou-se que a geometria em dupla curvatura, que é recorrente na natureza, apresenta um tempo de incidência solar na envoltória maior e mais distribuído, o que demonstra um desempenho térmico otimizado em relação ao das superfícies com geometria mais elementares. Os resultados estão sistematizados em Oliveira; Pires (2023, 2024).

A partir de tais resultados, buscou-se, de abril a setembro de 2024, avançar no estudo em aspectos perceptivos a partir de simulações de luz e sombra, a fim de investigar os efeitos visuais sobre o edifício, confrontando com os obtidos pela simulação anterior. A ideia de investigar os efeitos de luz e sombra surgiu do próprio discurso relativo ao restaurante Los Manantiales, que destaca o controle de entrada de luz no ambiente interno do prédio, em vista de que alguns resultados preliminares de simulações de quantidade de horas de insolação direta e de energia incidente nas duas superfícies apresentou um resultado com grande variação. Isto

instigou a investigar as influências do auto-sombreamento da própria superfície, considerando a variedade de curvas que cada uma apresenta (paraboloides hiperbólicos e superfície cônica).

## 2. METODOLOGIA

Buscou-se desenvolver um exercício comparativo entre os resultados das simulações de horas de insolação e de radiação incidente nas duas superfícies realizadas por OLIVEIRA; PIRES (2024), em diferentes horários do dia, e com base no local de inserção do projeto do restaurante Los Manantiales e os resultados das simulações de efeitos visuais de luz e sombra, dentro e fora do edifício, formado por paraboloides hiperbólicos e por superfícies cônicas. Em função da variabilidade de resultados anteriores e, a partir da revisão de literatura em Pawlyn (2019), que aborda a biomimética e especificamente os capítulos sobre as relações entre formas da natureza e luz, identificaram aspectos tais como: a capacidade de os organismos reunirem e focarem a luz; a capacidade de minimizarem o auto-sombreamento (para garantir luz adequada); a capacidade de gerarem cor estrutural adaptável ou estável; a capacidade de criarem efeitos de luz e cor; a capacidade de gerirem abordagens integradas.

Nesse contexto, o tema auto-sombreamento levou ao lançamento da hipótese da influência do tipo de superfície nos resultados das simulações anteriores, já que as próprias curvas podem influenciar diretamente nos efeitos de reflexão e autorreflexão dos raios solares incidentes. A pesquisa então se concentrou nos aspectos de minimização de auto sombreamento, para então observar os efeitos perceptivos gerados pela luz e sombra sobre as estruturas com geometria complexa empregadas na arquitetura.

O projeto de referência é a obra de Félix Candela, o restaurante Los Manantiales, Figura 1, localizado na cidade do México, em Xochimilco. A edificação foi construída em 1957, com a funcionalidade de ser um amplo salão de restaurante com capacidade de até mil pessoas. A forma se deu pela intersecção de quatro paraboloides hiperbólicos que gerou oito porções de superfície, que resultam em uma estrutura que se assemelha a uma flor de lótus.

Figura 1: Restaurante Los Manantiales - Félix Candela e Flor de Lótus



Fonte: ArchDaily

Para a análise do efeito da luz e sombra na edificação de Felix Candela utilizou-se o software Sketchup, juntamente com a modelagem feita anteriormente no projeto com o uso do software Rhinoceros e Grasshopper. Foram definidas cinco etapas para a realização das simulações:

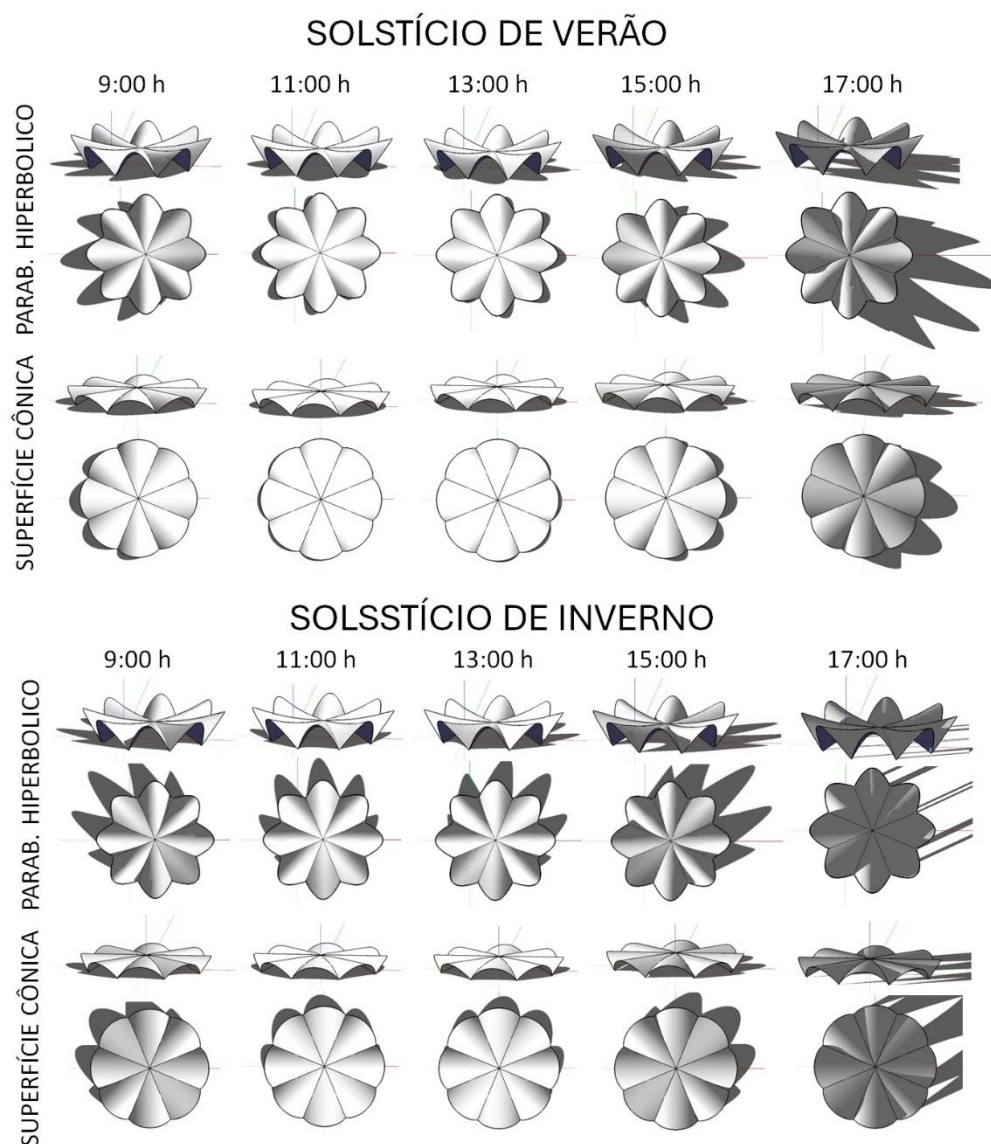
1. Atribuição da geolocalização do restaurante no programa Sketchup;
2. Ajuste para o solstício de verão, levando em consideração a localização do restaurante, para o dia 21/06, e ajuste para o solstício de inverno, no dia 21/12;

3. Realização das simulações das sombras nos horários das 7h, 9h, 11h, 13h, 15h e 17h, no exterior e interior da volumetria;
4. Análise dos resultados das simulações.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As simulações estão ilustradas na Figura 2, podendo-se observar o autosombreamento das superfícies em relação aos dois períodos analisados e aos horários do dia.

Figura 2: Simulações de luz e sombra para as superfícies curvas.



Fonte: Elaboração própria.

Destacam-se nestas simulações o seguinte resultado observável visualmente: a existência nos dois períodos simulados de uma maior regularidade no auto sombreamento da superfície formada por porções de cilindros em relação aos paraboloides hiperbólicos em que ocorre simultaneamente áreas com maior e menor sombreamento. Isto pode ser um dos fatores de influência direta nos resultados das simulações realizadas anteriormente, em que a cônica tem muito menos quantidade de radiação do que os paraboloides hiperbólicos, indicando a

necessidade de aprofundar os estudos anteriores para compreender a possível relação com o auto-sombreamento.

Outro resultado observável é o controle pelo arquiteto da incidência solar no interior do edifício a partir de estratégias projetuais nos planos de vidro inclinados das fachadas, obtendo melhores condições de desempenho térmico em seu interior, e talvez com o intuito de gerar menos interferência na incidência solar do entorno imediato. Destaca-se que os resultados anteriores mostraram que o edifício poderia ficar quente no período de verão em função da grande quantidade de energia incidente e também das horas de insolação.

#### 4. CONCLUSÕES

Estes experimentos alcançaram o objetivo inicial de verificar visualmente a influência da geometria em questões de conforto Ambiental, particularmente como o auto-sombreamento das superfícies curvas pode ter relação com os níveis de radiação incidente e horas de insolação. Conclui-se que a forma proposta pelo arquiteto Félix Candela para o restaurante Los Manantiales não apenas foi projetada em função de seu desempenho estrutural, mas também para questões de bioclimática, o que pode ser compreendido a partir de atividades de simulação do auto-sombreamento nas superfícies.

O estudo explicitou uma estrutura de saber integrada e articulada entre a representação gráfica e digital, a sustentabilidade e arquitetura, a qual tem potencial para a proposição de atividades didáticas que priorizem uma formação corresponsável com os desafios dos problemas ambientais atuais.

#### 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CHEVALLARD, Y. El Análisis de las Prácticas Docentes en la Teoría Antropológica de Lo Didáctico. **Recherches en Didactique de Mathématiques**, Grenoble, Vol. 19, nº 2, pp. 221-266, 1999. (Traducción de Ricardo Barroso, Universidad de Sevilla).

DUQUE, K. "Clássicos da Arquitetura: Restaurante Los Manantiales / Félix Candela" [Clásicos de Arquitectura: Restaurante Los Manantiales / Félix Candela] 17 Abr 2017. ArchDaily Brasil. (Trad. Souza, Eduardo) Acessado em julho de 2024. <<https://www.archdaily.com.br/br/869307/classicos-da-arquitetura-restaurant-los-manantiales-felix-candela>>

OLIVEIRA, B. P.; PIRES, J. F. Simulação de desempenho termo energético da geometria complexa da arquitetura: construção de referenciais didáticos para o ensino de projeto. In: ENSUS 2024 - XII Encontro de Sustentabilidade em Projeto, 2024, Belo Horizonte. Belo Horizonte: Grupo de Pesquisa VirtuHab/Universidade Federal de Santa Catarina Universidade Federal de Minas Gerais, 2024. v. 01. p. 49-58.

PAIXÃO, L. P.; PIRES, J. de F. A Geometria Complexa da Arquitetura em uma abordagem Regenerativa. **Periódico Técnico e Científico Cidades Verdes**, v. 10, p. 129-142, 2022.

PAWLYN, M. **Biomimicry in Architecture**. Londres: RIBA, 2019.