

ANÁLISE DE DESEMPENHO BIOCLIMÁTICO DA GEOMETRIA COMPLEXA DA NATUREZA EMPREGADA NA ARQUITETURA

BRUNNA PEREIRA DE OLIVEIRA¹; JANICE DE FREITAS PIRES²

¹Universidade Federal de Pelotas – brunnappo26@gmail.com

² Universidade Federal de Pelotas – janicefpires@gmail.com

1. INTRODUÇÃO

O presente trabalho está inserido no Projeto de Pesquisa AMPARA (Análise, Modelagem PARAmétrica e Fabricação Digital da geometria complexa da arquitetura: construção de referenciais didáticos para o ensino de projeto), da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo (FAUrb) da Universidade Federal de Pelotas (UFPel), que possui como objetivo principal o estudo da geometria complexa da arquitetura e a construção de referenciais didáticos para o seu emprego.

Previvamente a criação do projeto, reconheceu-se a ocorrência na arquitetura de geometrias complexas definidas por superfícies curvas e que estão relacionadas com estruturas da natureza devido as suas propriedades de otimização estrutural (PIRES; PEREIRA; 2019). No início de desenvolvimento do AMPARA, no ano de 2020, buscou-se identificar relações com outros temas abordados na formação em arquitetura, especialmente no ateliê de projeto, investigando os tipos de impactos que estas geometrias complexas teriam sobre o ambiente construído, avançando-se em 2021 e 2022 para abordagens bioclimáticas, tal como destacam GONÇALVES e DUARTE (2006).

Sob esse contexto, o projeto paramétrico, uma abordagem tecnológica que tem subsidiado a representação da arquitetura contemporânea ao gerar modelos associativos, permite a concepção de uma variedade de soluções projetuais, particularmente com geometrias complexas e que contemplam desempenhos térmico, estrutural e de conforto ambiental, permitindo executar análises dinâmicas e simulações termo energéticas. Tais simulações viabilizam aferições em diversos aspectos do projeto com cálculos complexos resolvidos em tempo real (FONSECA; PEREIRA; CLARO, 2010). Assim, a modelagem paramétrica, vinculada à simulação térmica, configuraram-se como recursos potenciais a concepção projetual (SILVA; SILVA; GÓES, 2020).

Desse modo, a partir do propósito de abranger uma estrutura integral do saber, conforme postula CHEVALLARD (1999), busca-se reconhecer métodos de simulação para a avaliação de desempenho bioclimático de geometrias empregadas em arquitetura. Nesse contexto, por meio de um exercício comparativo da avaliação dos resultados de simulações do tempo de incidência solar e da quantidade de radiação solar incidente sobre dois tipos de superfícies, tem-se como objetivo refletir acerca da influência da geometria complexa da natureza empregada na arquitetura nas questões de conforto térmico para, assim, avançar para a etapa de estruturação de atividades didáticas.

2. METODOLOGIA

A revisão bibliográfica específica deste estudo tratou dos temas modelagem paramétrica e simulação térmica, sob os aspectos técnicos, teóricos e tecnológicos, sistematizado em OLIVEIRA; PIRES (2023). Em tal estudo, reconheceu-se que o

plugin de simulação termo energética Ladybug se integrava junto ao plugin de programação visual Grasshopper, oferecendo uma gama de tipos de avaliações com resultados obtidos em tempo real.

No mesmo trabalho, a fim de avançar em estudos de simulação térmica, fez-se um experimento com dois tipos de superfícies, um cilindro que se caracteriza por uma geometria elementar, e um catenoide, uma geometria complexa caracterizada como superfície mínima inspirada pela natureza, mas que possui processo de geração simples, por rotação da curva catenária em torno de um eixo externo a curva (CARMO, 1987). Esta superfície foi anteriormente estudada em PIRES (2018) sob o conceito de superfície mínima e, no contexto do projeto AMPARA, por PAIXÃO e PIRES (2022) em seus aspectos teóricos a partir de um referencial arquitetônico: o Hypérions, do arquiteto Vincente Callebaut.

A análise do tempo de incidência solar demonstrou diferenças relevantes entre as superfícies, pela qual a superfície mínima do catenoide teve um desempenho mais otimizado. No presente trabalho, avança-se para avaliação sobre os níveis de radiação solar na envoltória das duas superfícies. Para isso, foram definidas cinco etapas para a realização de tais simulações:

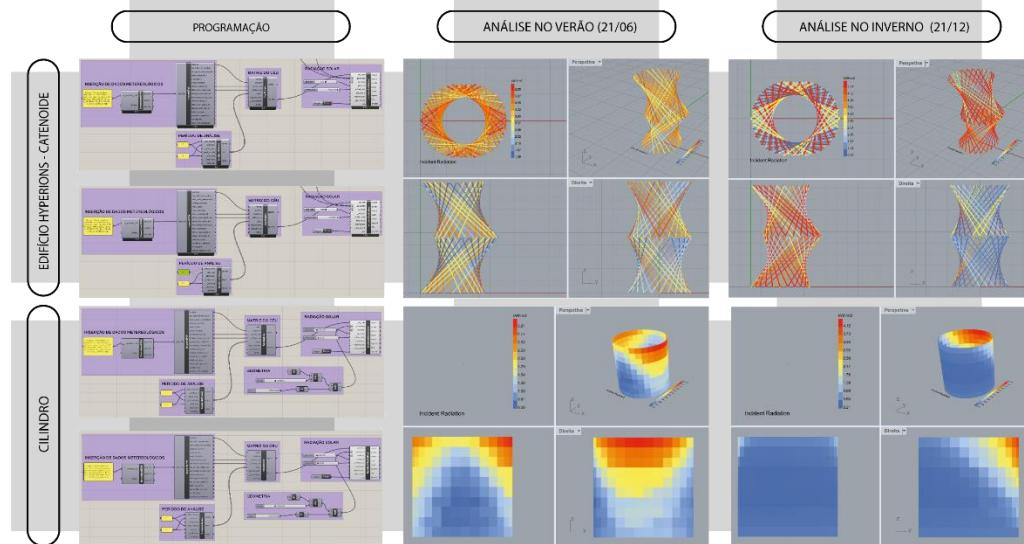
- 1) Seleção do objeto de estudo e sua modelagem;
- 2) Obtenção dos dados meteorológicos do local do objeto de estudo, neste caso do projeto de arquitetura Hyperions (New Delhi, na Índia) a partir do EnergyPlus: <https://energyplus.net/weather>;
- 3) Definição dos dias que serão realizadas as simulações: foram adotados os dias referentes ao solstício de verão (21/06) e de inverno (21/12), sobretudo por possuírem altura, posicionamento solares e condições climáticas distintas;
- 4) Programação e geração da trajetória solar a partir do componente SunPath no software de modelagem tridimensional Rhinoceros com o plugg-in de modelagem paramétrica Grasshopper e o plugg-in de simulação termo energética Ladybug, seguida da programação e simulação do tempo de incidência solar direta dos dias selecionados por meio do componente DirectSunHours e da quantidade de radiação solar incidente através do componente Incident Radiation;
- 5) Análise e discussão dos resultados obtidos nas simulações.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na etapa dos estudos preliminares foi simulado, primeiramente, o tempo de incidência solar sobre a modelagem das duas superfícies anteriormente citadas, para os dias de solstício de verão (21/06) e de inverno (21/12). Com isso, avançou-se para a programação e simulação da quantidade de radiação incidente sobre a superfície do cilindro e do catenoide com a inserção dos dados meteorológicos, bem como o período de análise supracitado na programação, conforme pode ser observado na Figura 01. A partir de tais simulações constata-se que a superfície mínima do catenoide do edifício Hyperions, durante o verão, permite uma maior variabilidade de incidência solar sobre uma determinada área da superfície, não tendo uma grande região com baixa incidência e outra com grande, como acontece na superfície elementar do cilindro. Ademais, verifica-se que no inverno, o edifício Hyperions possui grande vantagem em relação ao cilindro no que se refere a conforto térmico dos usuários. Isto porque ele recebe não apenas mais tempo de incidência solar durante o inverno, como também uma maior quantidade de radiação solar incidente, conforme o Quadro 01. Para interpretação dos resultados da simulação, analisou-se graficamente a legenda de horas de incidência solar

direta e de radiação solar incidente sobre a superfície durante o dia simulado, em que cada tempo e quantidade são representados por uma cor.

Figura 01: Programação e resultado da simulação na superfície do projeto Hyperions e do cilindro.



Fonte: elaboração própria.

Quadro 01: Análise dos resultados da simulação.

Informações	Tempo de incidência solar		Quantidade de radiação solar		
	Análise Gráfica	Imagen	Análise Gráfica	Imagen	
Superfície: Hyperions Solstício de verão – dia 21 de junho	Nota-se, a partir da legenda gráfica ao lado, que no verão o tempo de incidência solar direta sobre a superfície é, predominante, de 9 horas.	hours 14.00 12.60 11.20 9.80 8.40 7.00 5.60 4.20 2.80 1.40 0.00	Notícias Incidente Radiação Sombra	kWh/m² 6.50 6.07 4.65 4.22 3.80 3.37 2.95 2.62 2.10 1.67 1.25	Notícias Incidente Radiação Sombra
Superfície: Hyperions Solstício de inverno – dia 21 de dezembro	Nota-se, a partir da legenda gráfica ao lado, que no inverno o tempo de incidência solar direta sobre a superfície é, predominantemente de 10 horas.	hours 10.00 9.00 8.00 7.00 6.00 5.00 4.00 3.00 2.00 1.00 0.00	Notícias Incidente Radiação Sombra	kWh/m² 5.17 4.72 4.28 3.84 3.39 2.95 2.51 2.06 1.62 1.18 0.73	Notícias Incidente Radiação Sombra
Superfície: Cilindro Solstício de verão – dia 21 de junho	Nota-se, a partir da legenda gráfica ao lado, que no verão o tempo de incidência solar direta sobre a superfície varia entre 0 e o valor máximo de horas.	hours 7.00 6.30 5.60 4.90 4.20 3.50 2.80 2.10 1.40 0.70 0.00	Notícias Incidente Radiação Sombra	kWh/m² 3.01 2.77 2.52 2.26 2.03 1.76 1.54 1.30 1.05 0.81 0.56	Notícias Incidente Radiação Sombra
Superfície: Cilindro Solstício de inverno – dia 21 de dezembro	Nota-se, a partir da legenda gráfica ao lado, que no inverno o tempo de incidência solar direta sobre a superfície é, predominantemente, nulo	hours 10.00 9.00 8.00 7.00 6.00 5.00 4.00 3.00 2.00 1.00 0.00	Notícias Incidente Radiação Sombra	kWh/m² 4.12 3.73 3.34 2.95 2.56 2.17 1.78 1.39 1.00 0.60 0.21	Notícias Incidente Radiação Sombra

Fonte: elaboração própria.

4. CONCLUSÕES

O presente trabalho demonstrou, por meio de simulações, que edificações que possuem superfícies inspiradas na natureza – neste caso, o catenoide – apresentam, durante o inverno, um tempo de incidência solar na envoltória das edificações maior e mais distribuído e uma quantidade de radiação solar incidente sobre a superfície maior, o que contribui para o conforto térmico dos usuários. Isso evidencia, que além do desempenho estrutural inherente as estas superfícies, elas apresentam também um desempenho térmico otimizado em relação ao das geometrias euclidianas, como o cilindro – que podem ser estudadas matematicamente em espaços planos. Desse modo, a partir deste estudo, será possível avançar para a etapa de estruturação de atividades didáticas.

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).

FONSECA, R. W. da; PEREIRA, F. O. R.; CLARO, A. Iluminação natural: a contribuição de suas reflexões no interior do ambiente construído. **Pós. Revista do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da FAUUSP**, v. 17, p. 198-217, 2010.

GONÇALVES, J. C.; DUARTE, D. H. S. Arquitetura sustentável: uma integração entre ambiente, projeto e tecnologia em experiências de pesquisa, prática e ensino. **Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 6, n. 4, 14 dez. 2006. Ambiente Construído, p. 51-81. Acesso em 15 abr. 2022. Disponível em: <https://seer.ufrgs.br/index.php/ambienteconstruido/article/view/3720/2071>.

PAIXÃO, L. P; PIRES, J. de F. A Geometria Complexa da Arquitetura em uma Abordagem Regenerativa. **Cidades Verdes**, v. 10, n. 27, 2022.

PIRES, Janice de Freitas; PEREIRA, ALICE CYBIS. A estruturação do saber relacionado a geometria complexa e a modelagem paramétrica de estruturas regenerativas na arquitetura. **GESTÃO & TECNOLOGIA DE PROJETOS**, v. 14, p. 90-110, 2019.

CARMO, M. P. **Superfícies Mínimas**. Rio de Janeiro: Instituto de Matemática Pura e Aplicada – IMPA, 1987

OLIVEIRA, B. P. de; PIRES, J. de F. Integração entre modelagem paramétrica, simulação térmica e geometria complexa para a otimização do desempenho das edificações. **City, Architecture and Sustainability. I Latin American Symposium**. Jun, 2023.

SILVA, F. da; SILVA, C.; T. GÓES. O uso do Grasshopper na simulação termoenergética de edifícios: uma revisão sistemática. In: Congresso de Construção Civil, 2020, Brasília-DF. **Anais [...]**. Brasília: UnB, 2020. p.1008-1015.