

ARQUITETURA BIOMIMÉTICA: ANÁLISE DA EFICIÊNCIA ESTRUTURAL E SUA RELAÇÃO COM FORMA, FUNÇÃO E EXPRESSÃO

Amanda Capoville Procopio Faccina Berglund (IC) e Célia Regina Moretti Meirelles (Orientadora).

Apoio: PIBIC Mackenzie

RESUMO

Essa pesquisa cogita esclarecer a composição entre biomimética e arquitetura debatidos no contexto da atualidade, a partir de uma crítica sistemática sobre a relação primária entre homem-natureza, buscando a reflexão a partir de um preceito não apenas sustentável, mas como de mentoria provida pela fauna e flora. Para tal, a reprodução de tais ideais foi inferida como uma vertente de pensamento arquitetônico que influencia concretamente as ações projetuais. Como método, foi aplicado a ferramenta do estudo de caso, e selecionadas três obras arquitetônicas do século XX, Restaurante los Manantiales, Palazzo del Lavoro e Estação de Serviço em Dettingen. A análise de tais obras parte de um pressuposto de relevância de seus respectivos autores, teorias e estudos para a abordagem, Félix Candela, Pier Luigi Nervi e Heinz Isler, considerados precursores da arquitetura biomimética. Para tanto, é de extrema relevância entender o paralelismo entre a arquitetura e a natureza, as suas formas, estruturas, desenhos e composições, utilizando obras modernistas como referência ao estudo de uma aplicação notória e urgente no design e na arquitetura contemporânea. Soma-se ao método o estudo teórico, a experimentação com modelos simplificados das obras selecionadas no Software de modelagem Rhinoceros 3D e posteriormente prototipados em impressora 3D. Desse modo, a pesquisa busca desvendar estruturas conceitualmente mais eficientes, leves, estáveis e dinâmicas com uma menor utilização de materiais, a partir da reprodução de padrões do meio natural.

Palavras-chave: Arquitetura biomimética. Eficiência estrutural. Expressão.

ABSTRACT

This research aims to clarify the interplay between biomimicry and architecture within the context of the present day, through a systematic critique of the primary relationship between humans and nature. The goal is to foster reflection based not only on sustainability principles, but also on guidance provided by fauna and flora. To achieve this, the incorporation of such ideals has been inferred as a robust architectural line of thought that concretely influences design actions. As a case study, three architectural works from the 20th century have been selected: Restaurant los Manantiales, Palazzo del Lavoro, and Dettingen Service Station. The analysis of these works is based on the premise of the significance of their respective

creators, theories, and studies for the approach: Félix Candela, Pier Luigi Nervi, and Heinz Isler, considered pioneers of biomimetic architecture. Therefore, it is of utmost importance to comprehend the parallelism between architecture and nature, encompassing their forms, structures, designs, and compositions. Modernist works are used as points of reference to explore a notable and urgent application within contemporary design and architecture. In addition to the theoretical study, simplified models of the chosen works were created using the Rhinoceros 3D modeling software and subsequently prototyped using a 3D printer. This approach seeks to unveil conceptually more efficient, lightweight, stable, and dynamic structures with reduced material usage, based on the replication of patterns found in the natural environment.

Keywords: Biomimetic architecture. Structural efficiency. Expression.

1. INTRODUÇÃO

Ao projetar, um arquiteto deve pensar na forma mais eficiente da utilização do espaço, de modo que o bem-estar do homem faça sentido, permitindo assim a apropriação do ambiente pelo seu usuário, na forma de viver, morar, construir e habitar. De todas as maneiras, através da matéria, da dimensão, da expressão e da ergonomia, o arquiteto projeta para o ser humano. Assim, é relevante a linha de raciocínio, a obra serve ao homem. Contudo, esta se faz presente na relação primária estabelecida entre homem-natureza, a qual mostra-se em um processo de descaracterização desde a Revolução Industrial. O raciocínio anterior se mantém quando a fauna e a flora vêm durante séculos servindo à exploração em detrimento das necessidades do homem, que em prol de um sistema capitalista, enxerga na natureza recursos, materiais e alternativas que servem à produção massiva da indústria.

Como reflexão, destaca Gauzin-müller (2002), há uma relação direta entre a construção civil e a mudança climática. Se opondo a tal preceito, urge a necessidade do homem rever a relação da forma de produção da construção civil, visando minimizar os impactos ambientais, a emissão de CO₂ e a extração de materiais não renováveis. Um dos temas mais relevantes discutidos nas últimas décadas é a construção sustentável, a qual desencadeou a noção de diversas tecnologias, que já criadas ou não, foram adaptadas e melhoradas para atender a essa demanda.

Em 2015, a ONU publicou a Agenda 2030 para o desenvolvimento sustentável e dentre seus 17 objetivos: a necessidade de tornar as cidades, assentamentos e comunidades sustentáveis, bem como a produção e consumo responsáveis (ONU BRASIL, 2015). Como resposta a esse propósito e somado à própria condução progressista dos ideais da sociedade na última década, novas propostas surgem em busca de inovação e sustentabilidade através do olhar voltado ao passado como forma de aprendizagem. A arquitetura biomimética demonstra-se como um novo ramo na qual a inspiração na natureza é o seu fundamento, tendo a natureza como diretriz projetual, seja de modo formal, estrutural ou comportamental.

Ao retornar à reflexão sobre a função que o arquiteto exerce, há a extrema necessidade de se entender a importância do profissional quando se analisa a relação do homem com seu entorno, e como as obras arquitetônicas espelham o olhar e o comportamento humano perante à natureza. Como vertente da arquitetura que busca uma perspectiva diferenciada no que tange ao mundo em que vivemos, a biomimética surge como um olhar alternativo que propõe uma visão mais generosa e empática com a biodiversidade. Como ponto de partida, defende-se uma reprodução dos padrões presentes

na natureza — fauna e flora — sejam essas estruturas, formas, símbolos, composições químicas e biológicas na própria construção arquitetônica.

Apesar da recente concretização do conceito formal, a arquitetura biomimética traz consigo reflexões intensas sobre o modo como o ser humano se relaciona com seu entorno e propõe como essa conexão poderia ser diferente. Ainda assim, se baseia em algo que é objeto de estudo de outras ciências milenares como a biologia, a matemática e a sociologia. Outro aspecto observado em pesquisas internacionais é a correlação da biomimética com a questão estrutural, devido a formas diferenciadas e orgânicas aplicadas nos projetos, de modo a vencer grandes vãos de forma eficiente (KATIDIS, 2017). Segundo Meirelles; Kishi (2013), a influência de formas de dupla curvatura é inevitável quando se analisa sistemas leves que possam ser aplicados nas grandes coberturas, esses são associados a formas geométricas de grande eficiência estrutural.

Torna-se notória, portanto, a relevância que um estudo sobre um tema que analisa a eficiência da utilização de conceitos da biomimética, que vão do teórico ao prático nas construções arquitetônicas, bem como para a própria reflexão que as obras trazem por si só.

O objetivo geral da pesquisa foi analisar a relação das estruturas arquitetônicas em concreto armado do período de 1955 a 1970, observando as alternativas que podem ser criadas a partir da reprodução dos padrões presentes da natureza e seu rebatimento na arquitetura biomimética, entender a ligação entre elementos como forma, função e expressão. Tal direcionamento é dividido em outras três especificidades:

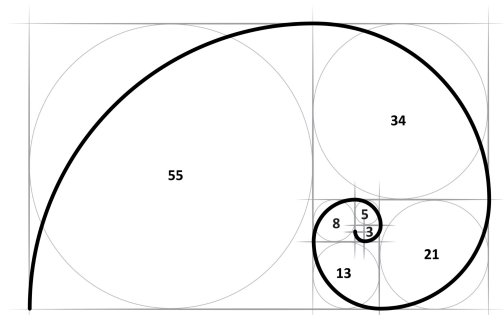
- Avaliar os padrões naturais: forma, estrutura, desenhos;
- Estudar a eficiência da forma de maneira a minimizar o uso de material;
- Analisar três obras relevantes à problemática;

2. REFERENCIAL TEÓRICO

A teorização matemática acerca da razão áurea concretizou sua expressão mais conhecida com a sequência de Fibonacci, como observa Ferrer (2005). E assim, cientificamente consolidada, "foi usada pelo homem no intuito de projetar às suas obras a beleza e perfeição que encontrava na natureza." Para compreender essa lógica é necessário retomar o seu raciocínio de construção.

Como principal símbolo de representação da sequência de Fibonacci, as conchas marinhas são desenhadas em uma proporção divina de estrutura espiralada, a qual a sequência da soma dos termos adjacentes equivale ao termo seguinte, explicitado nas figuras 1 e 2.

Figura 1: sequência de Fibonacci representada por número; Figura 2: Foto de concha marinha espiralada



Fonte: InfoEscola



Fonte: Uol

Com aplicações do número áureo em outras formas de expressão como a arte e a arquitetura, a ordem ficou reconhecida por inferir simetria e harmonia às obras. Leonardo da Vinci aplicou as teorias em inúmeras obras, inclusive na pintura de Mona Lisa. Segundo Mandarino (2011), com o "desenho geométrico da divisão de ouro na base da tela, com os eixos de simetria e com as subdivisões áureas, cria-se um grid harmonioso."

Já na arquitetura, as primeiras evidências da lógica matemática foram concretizadas na construção grega Parthenon - Phídeas, que teve como princípio de sua simetria a utilização de retângulos áureos. Outro exemplo característico são as obras de Le Corbusier, o arquiteto teorizou o modulator, um sistema de padrões do espaço arquitetônico baseado nas medidas do corpo humano, utilizando a razão de ouro por meio do retângulo áureo e da sequência de Fibonacci (POSSEBON, 2004). A Capela de Notre Dame du Haut é sua principal obra exemplar da utilização dessa teoria.

Assim, como ponto de partida da reflexão sobre modelos inspirados na natureza, é necessário entender e estudar referências de proposições que já existem e têm sido utilizadas há séculos, propondo mudanças, adequações e inovações que se moldem às necessidades do homem, utilizando o ecossistema como mentor (BROCCO, 2017). Dessa maneira, é possível aprofundar o entendimento de estudo: a arquitetura biomimética e suas aplicações.

CONCEITO DA BIOMIMÉTICA

Janine Benyus (2000, 37) argumenta que é possível definir a biomimética através de alguns aspectos: o primeiro é a natureza como modelo; "A biomimética é uma nova ciência que estuda os modelos da natureza e depois imita-os ou inspira-se neles ou em seus processos para resolver os problemas humanos." e o segundo fator: "a natureza como mentora; A biomimética é uma nova forma de ver e valorizar a natureza. Ela inaugura uma

era cujas bases se assentam não naquilo que podemos extrair da natureza, mas no que podemos aprender com ela". Para tal, o ideal compartilhado parte do princípio que ao invés de competir espaço com a natureza, usurpando de seus recursos de maneira inconsequente, seja coexistir com ela, resultando na otimização de recursos e maior sustentabilidade ao planeta (BENYUS, 1997).

Caracteriza-se, como um fator interdisciplinar, um processo de co-criação entre a biologia e a arquitetura, no qual a natureza exerce um papel de "design principle", servindo de exemplo estratégico para a arquitetura solucionar demandas projetuais (ARAÚJO et al., 2018). Assim, a investigação da biologia e da ordem natural cria arquitetos mais conscientes e habilitados a alcançar soluções alternativas para problemáticas urbanas e projetuais (GRUBER, 2011). Nesse sentido, é nesses ideais que a arquitetura biomimética deve se sustentar, trazendo uma reflexão das relações que o homem tem com a natureza, e consequentemente das relações recém criadas pelas obras arquitetônicas (KATIDIS, 2017).

A vertente assume não só uma mera reprodução ou inspiração estética, mas, principalmente, estratégias de projeto, eficiência estrutural e formal e linguagem artística, uma tendência que leva a uma abordagem interdisciplinar projetual (BERTOL, 2011). Segundo Benyus (2003), os padrões presentes na natureza, observados nos seres vivos mais adaptados, podem servir de base para o desenvolvimento de projeto e construção sustentável, portanto buscam estruturas de formas eficientes, como exemplo, as tenso estruturas, estas que tem a base na bolha de sabão ou na teia da aranha.

Se entende, dessa maneira, uma seleção de obras que utilizaram soluções biomiméticas, refletindo aspectos como forma, função e estrutura naturais. Cita-se como exemplo referenciais na arquitetura biomimética: Palazzo Del Lavoro, Restaurante Los Manantiales e Estação de Serviço em Dettingen, desenhadas e orquestradas por precursores do pensamento biomimético tais como Pier Luigi Nervi, Félix Candela e Heinz Isler.

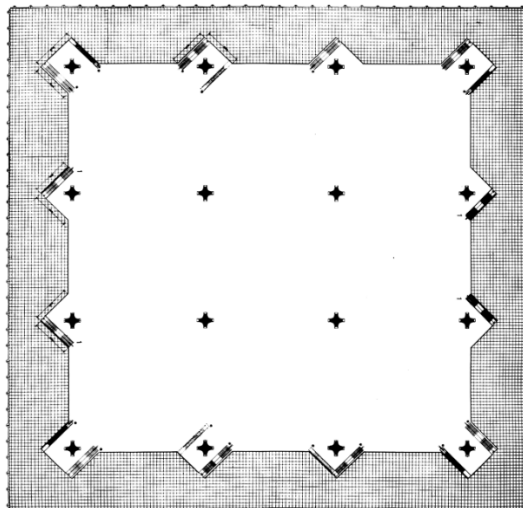
BIOMIMÉTICA APLICADA NA ARQUITETURA

PALAZZO DEL LAVORO: Pier Luigi Nervi & Antonio Nervi - Turim – Itália – 1961

A planta se organiza em um quadrado segmentado em um mezanino de borda e uma área de pé direito amplo sustentada por 16 pilares. A partir mútuo é possível fazer comparações: a primeira laje nervurada é organizada em uma sequência de módulos

quadrados de 10 metros que formam um perímetro quadrado em volta à área livre. Essa é essencialmente equiparada à asa da libélula.

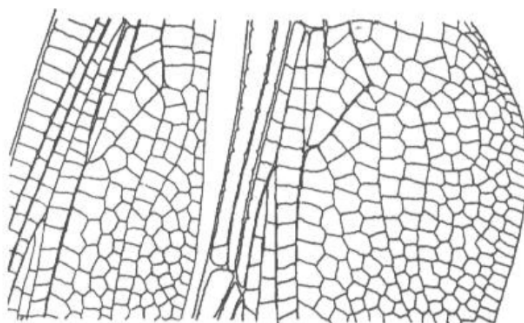
Figura 3: Planta térrea Palazzo del Lavoro;



Fonte: Atlas of places, 2018

Segundo Dos Santos (2010), as nervuras da “asa da libélula” remetem ao conceito de estrutura como caminho de forças” A estrutura é um conjunto de elementos, o qual torna-se o caminho pelo qual as forças que atuam sobre ela devem transitar até chegar às fundações. A asa do inseto é constituída de várias nervuras que vão aumentando de espessura conforme se aproximam do seu tronco, e uma vez que apresenta poucos caminhos (direção da força) “sofre um maior acúmulo de forças em cada um, obrigando-os a serem cada vez mais largos com relação à proximidade ao tronco do inseto”, como destaca a figura 4.

Figura 4: Nervuras da asa da libélula;



Fonte: Yopanan, 2000

A construção do mezanino possui estrutura semelhante à asa da libélula, como espécies de grelhas curvas que formam as lajes e descarregam em vigas retas. As vigas de borda são o único caminho para levar as cargas até os quatro pilares, por isso elas são bem

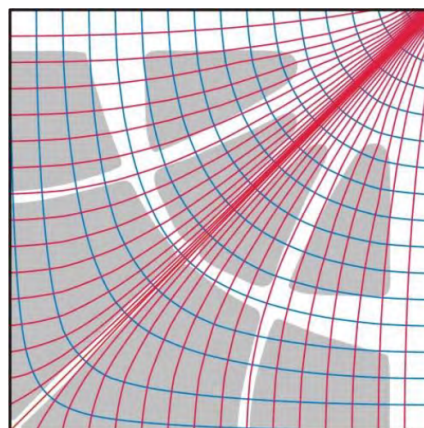
mais robustas do que as nervuras (VASCONCELOS, 2000). Além da comparação anterior, observa-se a variação de espessura entre as próprias nervuras, as quais se tornam mais robustas nas proximidades às vigas de borda e em suas próprias intersecções. Uma vez que os módulos quadrados de 10 m x 10 m são sequencialmente repetidos, os pilares são posicionados nos quatro vértices (nos pontos de encontro entre as geometrias).

A análise do desenho da grelha, segundo Halpern; Billington; Adriaenssens (2013), é feita a partir do quadrante superior direito do quadrado explicitada na figura 6, simétrica ao quadrante inferior esquerdo. É notável um espessamento nas nervuras no vértice onde se encontra o pilar e no contorno nas vigas da geometria. Os resultados apresentados mostram uma “forte correlação entre as isostáticas primárias e secundárias teóricas e o plano construído.”

Figura 5: Fotografia em perspectiva da laje nervurada; Figura 6: Análise isostática de um quadrante da laje;



Fonte: Atlas of places, 2018



Fonte: Halpern; Billington; Adriaenssens, (2013, p 5)

Além dessa analogia, a obra também apresenta 16 grandes pilares em balanço distribuídos bordeados por 4 vigas comuns aos pilares adjacentes. Esses se assemelham às estruturas dos cogumelos, utilizando a tipologia estrutural de laje cogumelo em grelha de concreto armado. “A base do cogumelo denomina-se volva, a haste é chamada de pé e a parte superior de chapéu”, podendo este apresentar nervuras. A espessura da laje deve ser maior junto aos pilares e mais fina nas extremidades. É essa variação de espessura que torna o sistema estrutural semelhante aos cogumelos (DOS SANTOS, 2010, p 175). Como destaca a figura 7 e 8.

Figura 7: Fotografia de cogumelos;



Fonte: Dinâmica Ambiental, 2022

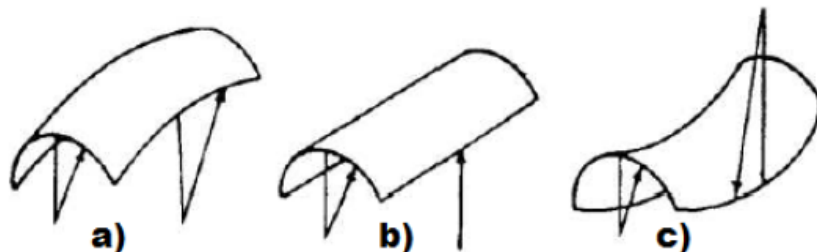
Figura 8: Pilar e laje do Palazzo del Lavoro



Fonte: Città di novara, 2022

Para entendimento pleno da análise das obras seguintes, entende-se necessário uma breve dissertação a respeito da classificação de estruturas tipo casca, baseadas na curvatura gaussiana. Esta superfície de dimensão tridimensional é o resultado das curvaturas principais, ou seja, sua forma pode ser positiva, negativa ou nula. No caso de o produto das curvaturas gaussianas ser positivo, trata-se de uma superfície Sinclástica, se for nulo, trata-se de uma superfície simples e se for negativo, trata-se de uma superfície Anticlástica (SOUSA, 2017, p 10).

Figura 9: Desenho sobre curvaturas gaussianas: a) Superfície Sinclástica; b) Superfície Simples; c) Superfície Anticlástica

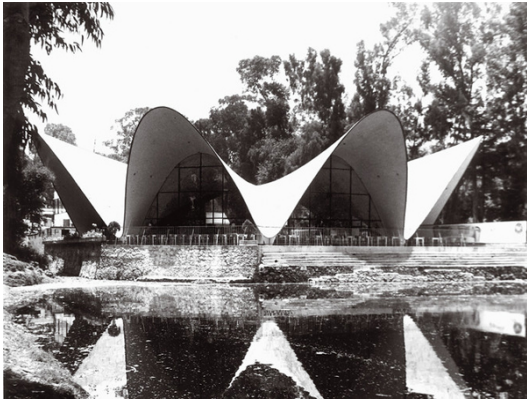


Fonte: Sousa, 2017

RESTAURANTE LOS MANANTIALES: Félix Candela - Cidade de México – México – 1958

Conforme destaca Deghiara; Tak; Perrone(2021) “as conchas marinhas possuem pequena espessura, no entanto, são extremamente resistentes. As nervuras contidas nas conchas aumentam a rigidez evitando que a estrutura deforme”. Um exemplo de analogia existente entre conchas e estruturas foi projetado por Félix Candela para um restaurante. É destacado nas figuras 10 e 11.

Figura 10: Restaurante Los Manantiales



Fonte: Archdaily, 2022

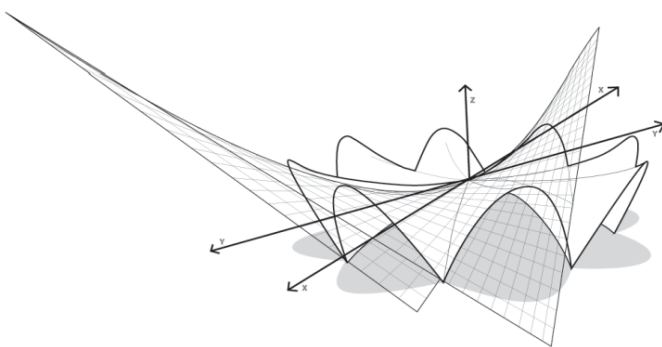
Figura 11: Concha marinha: nervuras milimétricas



Fonte: Yopanan, 2000

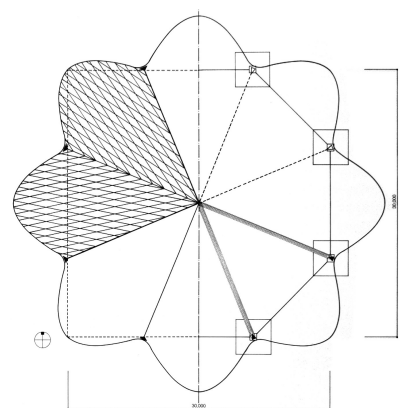
A forma, vista como planta, lembra a uma “flor” flutuando em um lago (BROWN,2012). Meirelles; Kishi (2013) afirmam que a estrutura é formada pela intersecção de quatro parabolóides hiperbólicos de bordas curvas. Os autores também descrevem como a forma de dupla curvatura permite estruturas eficientes e de pequenas espessuras, tais como de 8 cm. As cascas do tipo parabolóide hiperbólico pertencem ao grupo das cascas com superfícies com curvatura gaussiana negativa ou anticlástica, e apresentam uma grande versatilidade de morfologias. A forma e a composição das cascas extremamente finas de concreto promovem um espaço amplo de 30 metros de vão livre, composto por oito peças curvas. No encontro das oito segmentações a espessura aumenta em três vezes para sustentação junto ao solo.

Figura 12: Esquema de gráfico destacando parabolóides hiperbólicos



Fonte: Archdaily, 2022

Figura 13: Planta térrea



Segundo Oliveira (2019, p 100), as conclusões resultantes do detalhamento do projeto constituíram

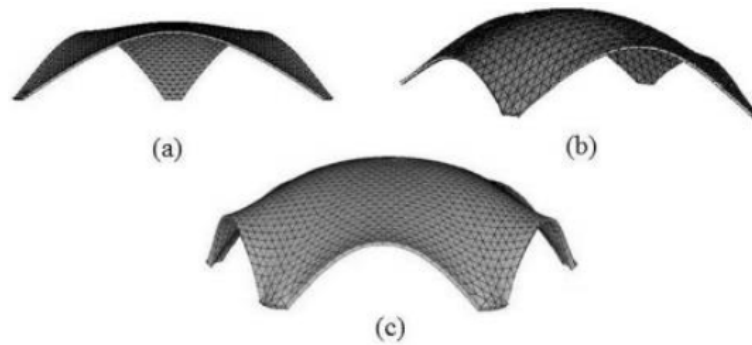
[...] um avanço na construção de cascas finas e pode ter sido resultado da percepção de que através da forma é possível desviar e evitar a concentração de caminhos de forças das zonas de bordo, o que evita concentrações de tensões e esforços de flexão. Adicionalmente, a opção por espessuras muito reduzidas,

mesmo nos bordos, significa a inexistência de rigidez que gerasse os esforços indesejáveis.

ESTAÇÃO DE SERVIÇO EM DETTINGEN - Heinz Isler - Solothurn - Suíça - 1968

As cascas do tipo parabolóide elíptico são uma solução para utilização em certas coberturas, elemento que pertence ao grupo das cascas de superfície gaussiana positiva ou sinclástica. A correlação biomimética é feita a partir da carapaça de tartaruga e casca de ovo no sentido longitudinal, uma vez que apresentam forma curva semelhante e passível de compressão. A forma das estruturas em parabolóides elípticos se apresentam em diversas composições, conforme é explicitado na figura 14. A obra em ocasião apresenta planta triangular (figura 15).

Figura 14: Estruturas de cascas de formas livres geradas computacionalmente, a) Planta Triangular; b) Planta Quadrada e c) Planta Pentagonal



fonte: Parametrichouse

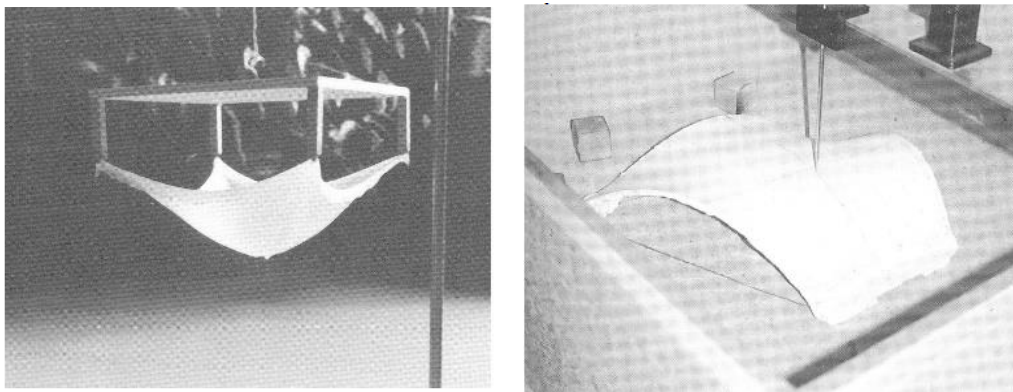
Figura 15: Estrutura de casca da estação de serviço em Dettingen



Fonte: Sousa, 2017

Heinz Isler executava experimentos das formas de suas estruturas através modelos de membranas suspensas: aplicava-se tecidos finos, que eram deformadas pelo efeito da gravidade, atingindo assim seu formato final tracionado sobre estas era colocado argamassa de gesso. Segundo Sousa (2017), há uma translação de uma parábola convexa sobre outra parábola também convexa, sendo estas curvas contidas em planos ortogonais entre si, criando assim uma geometria de dupla curvatura. Após esse processo, bastava copiar o mesmo modelo com algum material com resistência à compressão e invertê-lo, fazendo com que a estrutura estivesse puramente comprimida (KOTNIK, SCHWATZ, 2011).

Figura 16: modelos respectivamente em tração e compressão;



Fonte: Isler; Heinz, parametric semiology

3. METODOLOGIA

Na primeira etapa foi feita a revisão da literatura em livros, teses e dissertações voltadas para o contexto da aplicação da arquitetura biomimética nas obras arquitetônicas, com destaque para os textos “Biomorphic Structures: Architecture Inspired by Nature, Asterios Agkathidis”(2017) e “Diferentes Concepções de Estruturas tipo Casca e a Influência no Comportamento Estrutural”, Tomás Manuel Rodrigues de Sousa, (2017). Outro estudo referencial detalhado é o texto que relaciona forma e estrutura aplicado à materialidade: *Grandes Coberturas na Arquitetura Contemporânea: Estudos de Caso do Sony Center e do Mercado de Santa Caterina*.

Na segunda etapa foi aplicado a metodologia de estudos de caso, foram modelados com software Rhinoceros 3D três obras arquitetônicas selecionadas durante a pesquisa.

- Parabolóide hiperbólico em concreto - Restaurante Los Manantiales: Félix Candela
- Nervura em concreto - Palazzo del Lavoro: Pier Luigi Nervi
- Sistema Pilar- vigas em concreto - Palazzo del Lavoro: Pier Luigi Nervi
- Parabolóide elíptico - Heinz isler

Na terceira etapa foram impressos modelos simplificados das respectivas obras com a impressora 3D no Laboratório de Prototipagem da Universidade Presbiteriana Mackenzie.

Na quarta etapa foi feita uma análise e síntese de modo crítico das obras, sua relação com a natureza e o entendimento sobre a eficiência das estruturas com recorte nas formas, funções e expressão.

4. RESULTADO E DISCUSSÃO

A partir da primeira etapa de estudo iconográfico, as obras foram escolhidas e três estudos de caso foram realizados de forma que atendessem a proposta da pesquisa: obras que transparecem a essência da biomimética - que fossem passíveis de investigação e relevância para os desdobramentos do trabalho - análise da eficiência estrutural e sua relação com forma, função e expressão.

Observa-se a importância da pesquisa investigativa, realizada nos três projetos, e destaca-se que a aplicação de modelos físicos e digitais ajudaram a aumentar a percepção do espaço e o entendimento da estrutura. A modelagem no software Rhinoceros 3D foi imprescindível para a obtenção de resultados com modelos digitais simplificados considerando a complexidade das formas orgânicas e curvas das obras. Após essa etapa concluída, os arquivos digitais foram utilizados para a impressão dos modelos físicos na impressora 3D.

A primeira obra selecionada foi o Palazzo del Lavoro, situado em Torino, Itália (1961). Como explicitado anteriormente, o layout é configurado como um quadrado dividido em um mezanino ao longo da borda e uma área de pé direito alto suportada por 16 pilares. A partir de ambas as partes, é possível realizar comparações: em um primeiro momento, a laje nervurada é estruturada em uma série de módulos quadrados de 10 metros que formam um perímetro quadrado em torno da área aberta. Essa configuração é essencialmente comparável à asa de uma libélula. Além disso, plasticamente, os pilares com sistema radial de vigas em balanço assemelham-se às nervuras do cogumelo. Os sistemas pilar-viga e um módulo de laje nervurada foram modelados no software, demonstrados nas figuras 17 e 18.

Figura 17: Isométrica digital do Palazzo del Lavoro: sistema pilar-viga centrais e mezanino de borda;

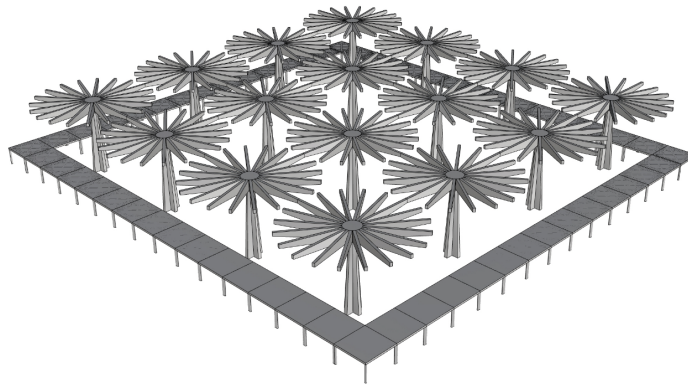
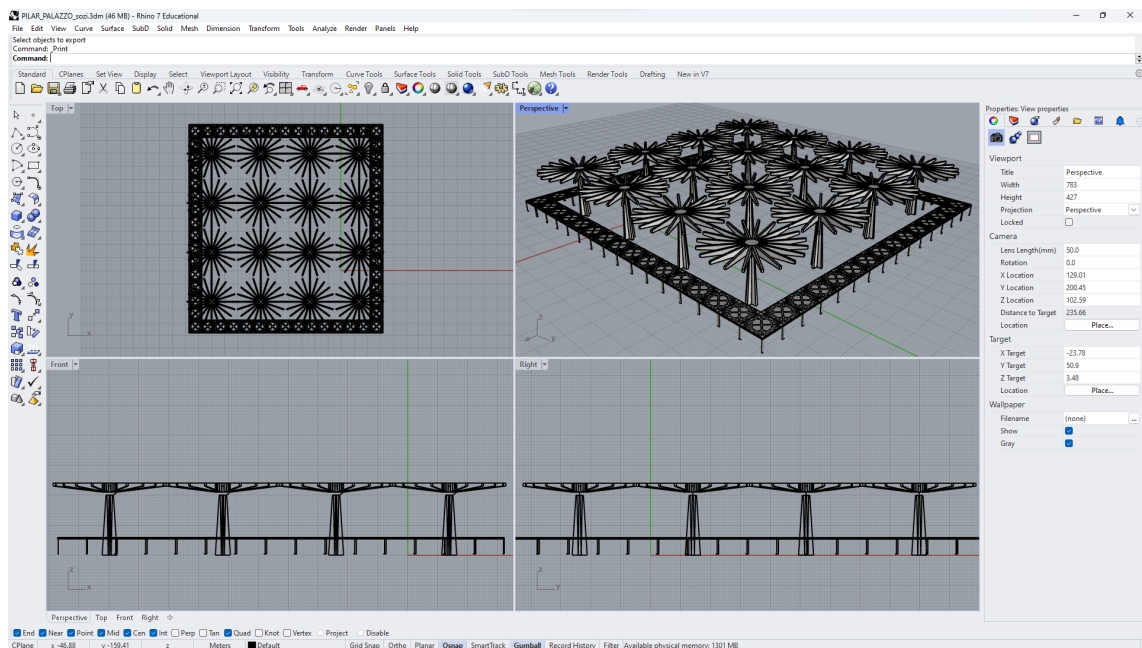


Figura 18: Captura de tela do Rhinoceros 3D com a modelagem do Palazzo del Lavoro;



Fonte do autor

A partir da modelagem digital, os modelos físicos foram prototipados na impressora 3D. Para melhor entendimento das estruturas, os modelos foram impressos separadamente, respectivamente, sistema pilar - viga e módulo quadrangular demonstrados nas imagens 19 e 20.

Figura 19: Fotografia do sistema pilar - viga em planta, elevação e perspectiva, respectivamente;

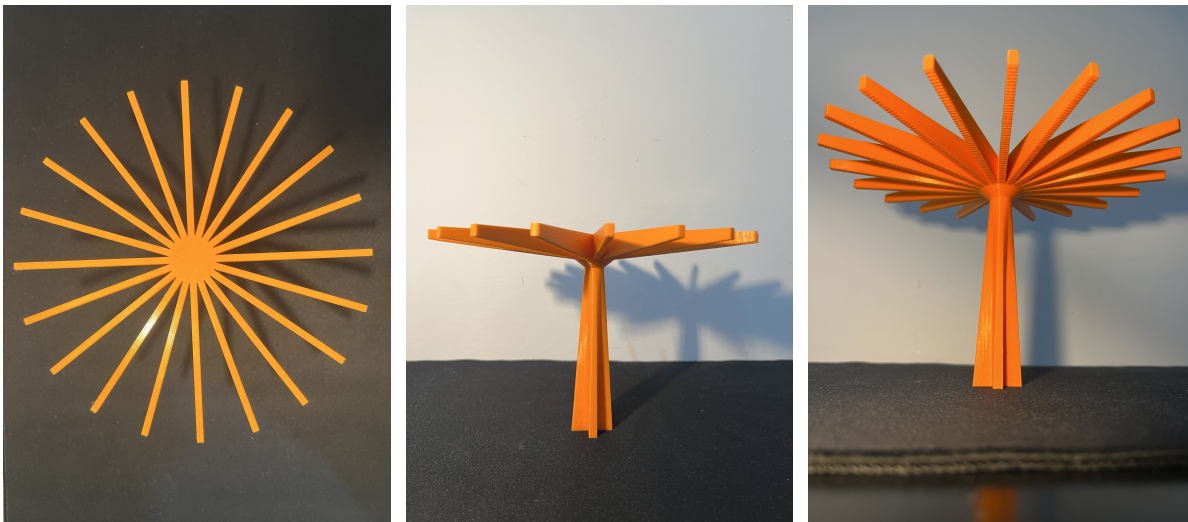


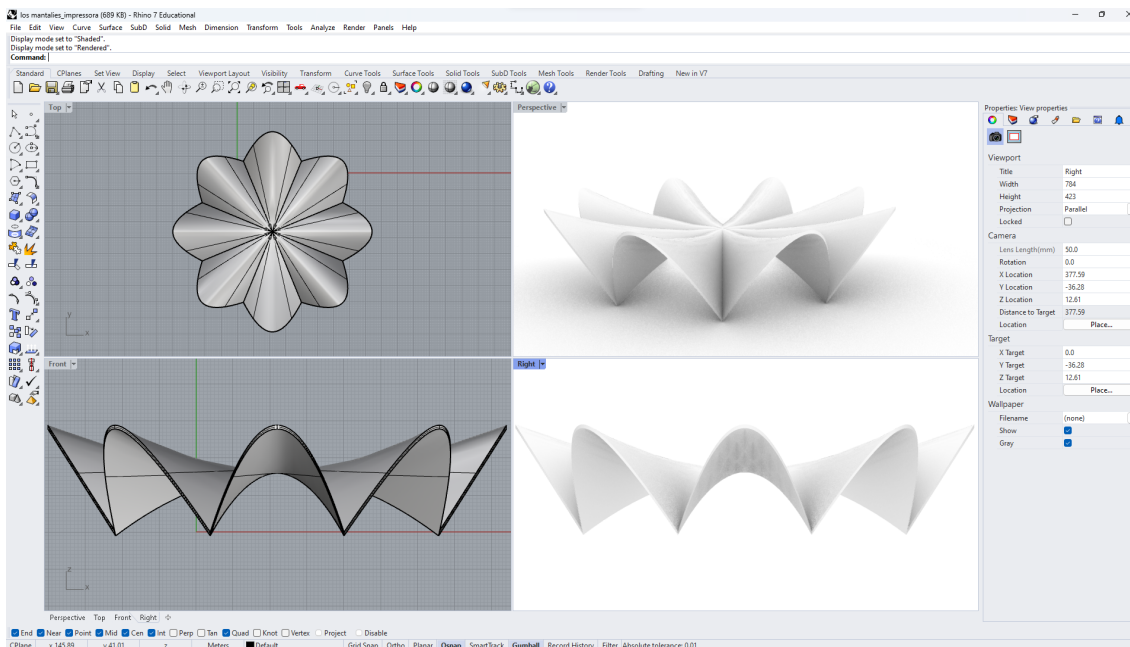
Figura 20: Fotografia do módulo quadrangular da laje nervurada;



Fonte do autor

A segunda obra selecionada foi o Restaurante Los Manantiales, situado na Cidade do México, México (1958). A estrutura é formada pela intersecção de 4 parabolóides hiperbólicos de bordas curvas. Sua modelagem foi feita a partir de uma peça e após reproduzidas e unificadas. A imagem 21 é dividida em quatro partes: Vista superior, perspectiva e elevações.

Figura 21: Captura de tela do Rhinoceros 3D com a modelagem do Restaurante Los Manantiales;



Fonte do autor

Figura 22: Fotografia do modelo do Restaurante Los Manantiales em elevação e perspectiva, respectivamente;

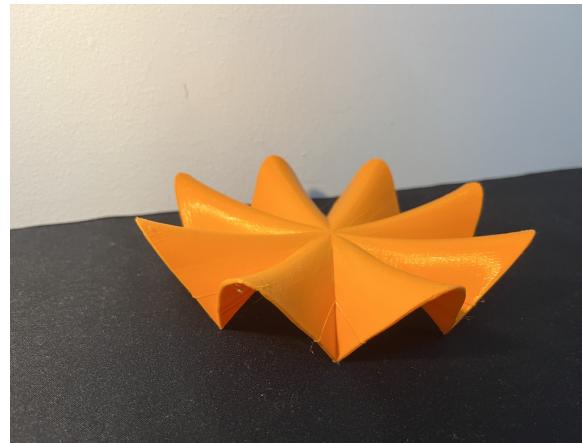
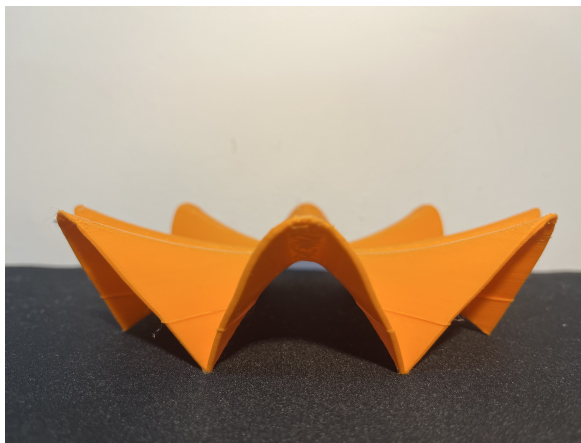


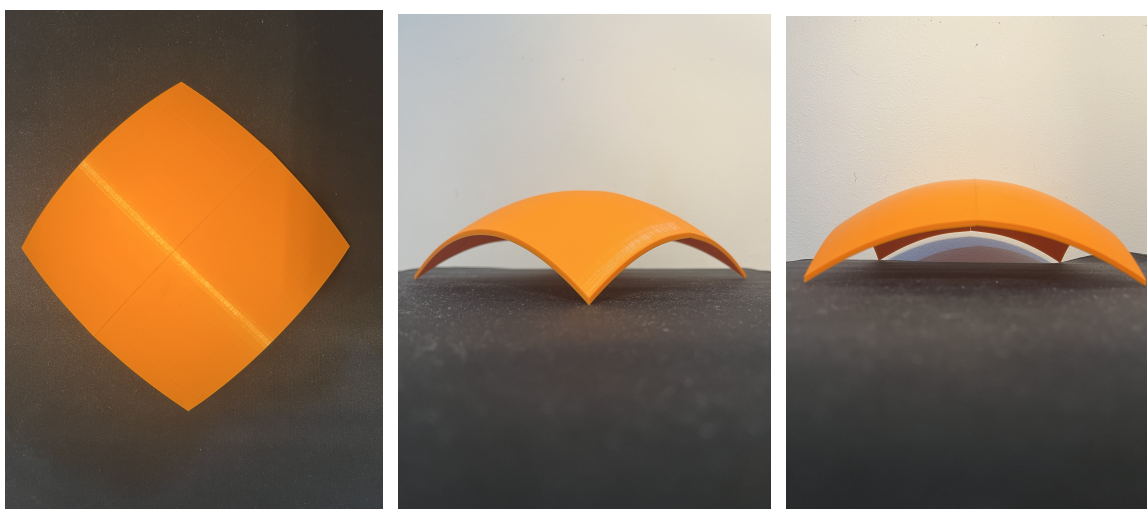
Figura 23: Fotografia do modelo do Restaurante Los Manantiales em planta;



Fonte do autor

A terceira obra escolhida foi a Estação de Serviço em Dettingen, situada em Solothurn, Suíça (1968). A obra apresenta planta triangular, porém ao encontrar dificuldades na modelagem no programa 3D, a criação da geometria foi redirecionado para uma planta quadrada. O modelo produzido representa outra forma estudada pelo engenheiro, contudo segue os mesmos preceitos de estudo e teorização, comprovadas pelos seus experimentos.

Figura 24: Fotografia do modelo do parabolóide elíptico em planta quadrada em planta e elevação, respectivamente;

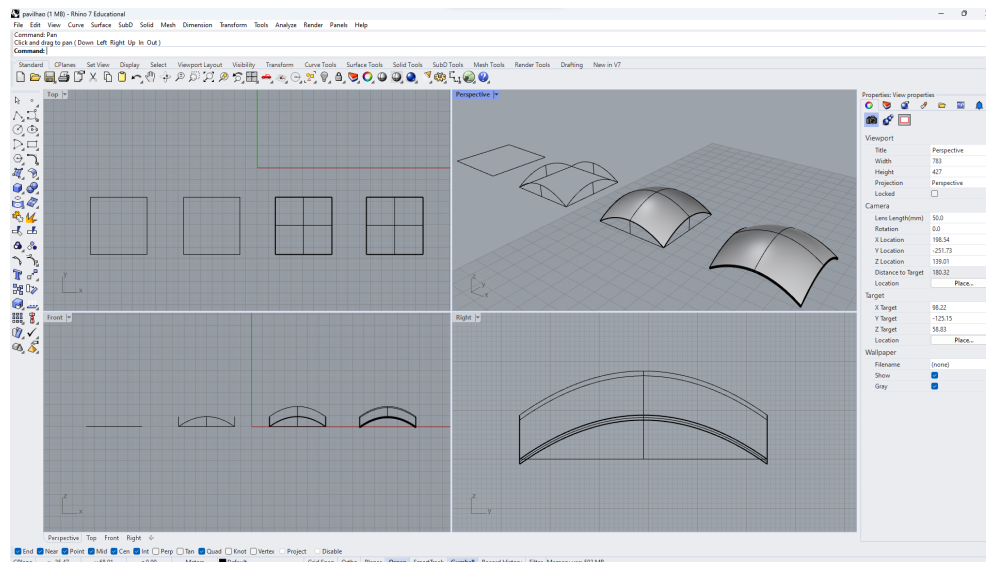


Fonte do autor

Na modelagem digital, foram feitas quatro etapas indicadas na imagem 26. Como ponto de partida foi estabelecido um quadrado de base, após, foram desenhados arcos nas quatro arestas da geometria. Com a ferramenta para criar superfícies foi possível dar

espessura à cobertura. Nota-se que, para os modelos físicos serem viáveis para impressão, a espessura real das obras foi desconsiderada, utilizando medidas maiores.

Figura 25: Captura de tela do Rhinoceros 3D com a modelagem de parabolóide elíptico em planta quadrada



Fonte do autor

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir da análise das formas estruturais das obras, entende-se a arquitetura biomimética não só como uma alternativa aos problemas de estabilidade das construções e seu desempenho, como também uma maneira de expressão de elementos formais relacionados à natureza. Além de soluções práticas, o estudo aprofundou o pensamento crítico de uma relação que vem sendo construída durante séculos entre o homem e a natureza, atravessando um conceito de simples analogia à fauna e à flora para uma reflexão sistemática, utilizando um preceito não apenas sustentável, mas como de mentoria provida pela fauna e flora. Como objetivo principal da pesquisa foi analisar a relação das estruturas arquitetônicas em concreto armado do período de 1955 a 1970, obras icônicas, e seu reatamento na arquitetura biomimética: entender a ligação entre elementos como forma, função e expressão. Tal direcionamento foi dividido em outras duas especificidades: destacar pluralidade presentes nos padrões naturais e estudar a eficiência da forma de maneira a minimizar o uso de material.

Como ferramenta da metodologia, foram analisadas três obras relevantes à problemática; essas evidenciam a preocupação pela eficiência e economia estrutural, assim como com o sentido estético. Evidencia-se a relevância da pesquisa investigativa presente nas obras, ressaltando-se que os modelos físicos e virtuais auxiliaram na amplificação da percepção do espaço e na compreensão da configuração. A simulação no software

Rhinoceros 3D foi essencial para alcançar os resultados simplificados, considerando a complexidade das formas orgânicas e curvilíneas das construções. Após essa etapa concluída, os arquivos digitais foram utilizados para a impressão dos modelos físicos na impressora 3D. Entende-se, portanto, a necessidade e auxílio que as ferramentas digitais apresentam quando se estuda obras de curvas e orgânicas de grande complexidade. Ademais, a abordagem da biomimética aplicada na arquitetura deve ser contínua, uma vez que, da mesma forma que os obstáculos se modificam e a contemporaneidade constantemente apresenta novos desafios, a natureza também opera de maneira evolutiva e nunca atinge um estado final, por consequência, é imprescindível acompanhar seus desenvolvimentos e desdobramentos e investigar as novas soluções à medida que elas emergem, para sempre obter novas fontes de inspiração.

6. REFERÊNCIAS

- AGKATHIDIS, Asterios. *Biomorphic structures*. London: Laurence King Publishing, 2017.
- 2017.BAGHDADI, Abtin; HERISTCHIAN, Mahmoud; KLOFT, Harald. Parametric House: Architecture, Art & Design, 2023. Disponível em: <https://parametrichouse.com/shells-of-heinz-isler/>. Acesso em 4 de maio de 2023.
- BENYUS, J. M. *Biomimética: inovação inspirada pela natureza*. São Paulo: editora Cultrix, 2003.
- BERTOL, Daniela. *Form Geometry Structure: from nature to design*. 1ª Edição. Exton, Pennsylvania: Bentley Institute Press, 2011.
- BROCCO, Giane. *Biomimética: natureza como inspiração para a tecnologia*. 2017. Disponível em: http://www.repositorio.jesuita.org.br/bitstream/handle/UNISINOS/6876/Giane+Cauzzi+Brocco_.pdf;jsessionid=5BC7F8383807DF211ADED2B71C585DFC?sequence=1. Acesso em: 4 de abril de 2022.
- BROWN, Nathan A. Geometric and Structural Feasibility Study of Hypar Shells. 2012. Bachelor of Science in Engineering, Department of Civil and Environmental Engineering, Architecture and Engineering Program, Princeton University, 2012.
- BUILD BIOS. Heinz Isler: A few important things. Abril, 2009. Disponível em: <https://blog.buildllc.com/2009/04/heinz-isler-a-few-important-things/>. Acesso em 5 de abril de 2023.
- DEGHIARA, Eduardo; TAK, Yu Je; PERRONE, Rafael Antônio Cunha. *Palácio das Convenções-A técnica do origami e da biomimética*. São Paulo, Universidade Presbiteriana Mackenzie, 2021.
- DE SOUSA, Tomás Manuel Rodrigues. Diferentes Conceções de Estruturas tipo Casca e a Influência no Comportamento Estrutural. Covilhã, junho de 2017. Disponível em: https://ubibliorum.ubi.pt/bitstream/10400.6/7909/1/5541_11267.pdf. Acesso em 14 de junho de 2023.
- DOS SANTOS, Claudemilson. O Desenho como processo de aplicação da biomimética na arquitetura e no design. *Revista Tópos*, V. 4, N° 2, 2010.
- FAY, Liliana. *Estruturas Arquitetônicas: Composição e Modelagem*. Apostila IT829. Rio de Janeiro: Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2006. Disponível em https://www.academia.edu/35386978/Estruturas_arquitet%C3%B4nicas_Composi%C3%A7%C3%A3o_e_modelagem. Acesso em 5 de abril de 2022.

- FERRER, Joseane Vieira. *O Número de Ouro na Arte, Arquitetura e Natureza: Beleza e Harmonia*. 2005. Disponível em https://www.ufrgs.br/espma/disciplinas/midias_digitaais_II/modulo_IV/numero_de_ouro.pdf. Acesso em 8 de abril de 2022.
- GAUZIN-MÜLLER, Dominique. *Sustainable architecture and urbanism: concepts, technologies, examples*. Springer Science & Business Media, Boston, 2002.
- GKATHIDIS, Asterios. *Biomorphic structures: Architecture Inspired by Nature*. Laurence King Publishing, 2017.
- GRUBER, Petra. *Biomimetics in architecture: architecture of life and buildings*. Vienna: Springer, 2011.
- HALPERN, Allison B.; BILLINGTON, David P.; ADRIAENSSENS, Sigrid. The Ribbed Floor Slab Systems of Pier Luigi Nervi. Proceedings of the International Association for Shell and Spatial Structures (IASS) Symposium 2013. September, Wroclaw University of Technology, Poland. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/294700249_The_ribbed_floor_slab_systems_of_pier_luigi_nervi. Acesso em 14 de julho de 2023.
- KEELER, Marian; VAIDYA, Prasad. *Fundamentos de Projeto de Edificações Sustentáveis*. Belo Horizonte: Bookman Editora, 2018.
- KOTNIK, Toni; SCHWATZ, Joseph. The architecture of Heinz Isler. Journal of the International Association for Shell and Spatial Structures. Madri, v. 52. 185-190, set. 2011.
- MANDARINO, Denis. *Ensaio: A divisão áurea por detrás do olhar de Mona Lisa. O grid oculto de Leonardo Da Vinci*. São Paulo, 2011.
- MARTINS, Alexandre Augusto. *Aprendendo com a natureza: construindo e desvendando analogias entre sistemas estruturais naturais e artificiais*. palestra. São Paulo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Presbiteriana Mackenzie; outubro de 2021. Disponível em: <https://www.gparqcon.com.br/arquitetura-e-estrutura>. Acesso em 10 de abril de 2023.
- MEIRELLES, C.R.M; KISHI, S. *Grandes Coberturas na Arquitetura Contemporânea: Estudos de Caso do Sony Center e do Mercado de Santa Caterina*. Cadernos de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo. São Paulo, v. 13, n.2, p.1-19. 2013.
- POSSEBON, Ennio. O modulator de Le Corbusier: forma, proporção e medida na arquitetura. FMU. *Revista de Cultura IMAE*, ano 5, número 11, Janeiro/Junho 2004, páginas 68 a 76. Disponível em http://airesfernandes.weebly.com/uploads/5/1/6/5/5165255/forma_propor_e_medida_na_arquitetura.pdf. Acesso em 5 de abril de 2023.
- REBELLO, Y. C. P. *"A Concepção Estrutural e a Arquitetura"*. São Paulo: Editora Zigurate, 2000.
- SHARP, Dennis. Atlas of places. Novembro de 2018. Disponível em: <https://www.atlasofplaces.com/architecture/palazzo-del-lavoro/>. Acesso em 23 de março de 2023.
- VASCONCELOS, Augusto Carlos de. *Estruturas da natureza*. Um estudo da interface entre biologia e engenharia. São Paulo: Studio Nobel, 2000.

Contatos: amandaberglund.arg@gmail.com (IC) e celiaregina.meirelles@mackenzie.br (Orientadora)