

## Análise biomimética de obras arquitetônicas

### *Biomimetic analysis of architectural works*

**João Pedro Silva Ribeiro, Graduando em Arquitetura e Urbanismo (UFG/Câmpus Goiás).** joao.ribeiro@discente.ufg.br

**Thiago Montenegro Goes, titulação, Professor de Arquitetura e Urbanismo da UFG; Doutorando em Arquitetura e Urbanismo na UnB; Especialista em Conforto Ambiental e Eficiência Energética.**

thiago\_goes@ufg.br

#### **Resumo**

A Humanidade aprendeu com a natureza, mas a exploração substituiu o aprendizado, resultando em problemas ambientais. Abordagem sustentável no design implica aprender com a natureza, respeitando princípios e processos. A arquitetura biomimética, inspirada nos princípios e processos naturais, é inovadora na concepção de edifícios. Modernistas como Gaudí, Fuller e Nervi usaram elementos naturais em suas obras, precursores da biomimética. Contemporâneos como Calatrava, Brajovic e Nouvel a aplicam explicitamente. Este estudo analisa a produção das duas vertentes por meio de uma análise classificatória, incluindo uma leitura dos aspectos emprestados da biologia. O intuito é destacar influências e lições na prática arquitetônica.

**Palavras-chave:** Biomimética. Sustentabilidade. Morfogênese. Simbiose. Atemporalidade

#### **Abstract**

*Humanity learned from nature, but exploration replaced learning, resulting in environmental problems. A sustainable approach to design involves learning from nature, respecting principles and processes. Biomimetic architecture, inspired by natural principles and processes, is innovative in the design of buildings. Modernists such as Gaudí, Fuller and Nervi used natural elements in their works, precursors of biomimicry. Contemporaries such as Calatrava, Brajovic and Nouvel apply it explicitly. This study analyzes the production of both aspects through a classificatory analysis, including a reading of aspects borrowed from biology. The aim is to highlight influences and lessons in architectural practice*

**Keywords:** Biomimetics. Sustainability. Morphogenesis. Symbiosis. Timelessness

## 1. Introdução

A capacidade humana de projetar é crucial na configuração do ambiente natural. Decisões refletem influência de tecnologia, estrutura social e economia, mas são tomadas por pessoas e carregam responsabilidade [01]. Buckminster Fuller promove "Fazer mais com menos", exemplificado por domos geodésicas [02]. Janine Benyus advoga pela Biomimética, imitando a natureza para resolver problemas [03]. A Humanidade aprendeu com a natureza, mas a exploração substituiu o aprendizado, resultando em problemas ambientais. Abordagem sustentável no design implica aprender com a natureza, respeitando princípios e processos.

Projeto, como criação de ideias que afetam humanos, demanda soluções, e biomimética oferece perspectiva ecológica. A abordagem pode ser difundida desde o ensino fundamental. Natureza é fonte de inspiração diante de degradação ambiental [04]. A estratégia de usar a natureza como referência para soluções é compreensível considerando vasta história de vida. Ela desenvolveu soluções eficazes e sustentáveis, como otimização de espaços e eficiência energética. Seres vivos realizaram o que a humanidade busca fazer, de forma mais eficiente e harmoniosa com meio ambiente [03].

No entanto, no decorrer do avanço tecnológico, revela-se uma lacuna nos estudos que integram biologia ao projeto. Replicar modelos biológicos em sistemas inanimados raramente é eficaz, devido à complexidade e diferenças fundamentais. A interdisciplinaridade é essencial para criar soluções inovadoras, combinando conhecimentos de várias áreas. Uma abordagem estratégica é necessária para adaptar princípios biológicos de forma eficiente e econômica. Promover pesquisa e desenvolvimento nessa área e incentivar colaboração entre disciplinas é crucial para avançar na aplicação de soluções inspiradas na natureza [04].

Dessa forma, com o passar dos séculos, diversos nomes exploraram a natureza na criação de artefatos, resultando em acúmulo de conhecimento e aprimoramento de técnicas. Este estudo busca compreender as relações entre arquitetura e ambiente natural, analisando arquitetos do passado e do presente e classificando analogicamente como cada um utilizou a natureza em seus projetos [03]. Além disso, destacar a importância contínua da biomimética na arquitetura contemporânea, diante de desafios como sustentabilidade e integração com o entorno natural. Exemplos específicos de como a natureza foi incorporada em projetos arquitetônicos são apresentados para inspirar e informar sobre o potencial da biomimética na criação de espaços construídos mais eficientes, esteticamente agradáveis e em harmonia com o meio ambiente.

## 2. Metodologia

O método da analogia é empregado em diversos campos da criação, percepção e criatividade, oferecendo soluções para diferentes áreas. No entanto, sua aplicação requer estudos contínuos, pois transferir conceitos vivos para sistemas inanimados é complexo. A simples replicação direta de modelos biológicos raramente é bem-sucedida, exigindo uma abordagem estratégica e interdisciplinar para o sucesso [05]. A biônica e a biomimética amplamente usam a analogia para descobrir novos princípios, formas, processos e estruturas, contribuindo para a interpretação das estruturas naturais. Historicamente, é o método mais comum para encontrar soluções de design inspiradas na natureza. A tentativa analógica consiste em relacionar o problema com conceitos, ideias e imagens por meio do processo de cruzamento, para extrair soluções.

A metodologia deste estudo explora a conexão entre arquitetura e natureza, usando uma abordagem baseada em analogias. A pesquisa analisa duas vertentes: obras de arquitetos modernistas, considerados precursores da biomimética, como Gaudí, Fuller e Nervi, e projetos de arquitetos contemporâneos, como Calatrava, Brajovic e Nouvel, influenciados pela natureza. A análise envolve observação detalhada das formas, materiais e soluções construtivas de cada obra selecionada, classificando-as com base em analogias conhecidas, tanto formuladas por: [06], sendo, morfológica e funcional; por [07], definidas por [08], sendo, orgânica, classificatória, anatômica, darwiniana e sensorial; como também por [09]), sendo, direta, pessoal, simbólica e fantástica. Assim, buscando compreender não apenas a estética, mas também a funcionalidade e o desempenho das estruturas arquitetônicas em relação ao ambiente natural.

### 3. Resultados

A seguir são apresentados os resultados para as duas vertentes.

#### 3.1. Produção Modernista

A seguir são apresentados os resultados:

##### 3.1.1 Antoni Gaudí 1852 - 1926

O renomado arquiteto catalão do final do século XIX e início do século XX, frequentemente citado como precursor da abordagem biomimética, encontrou inspiração na natureza e em padrões orgânicos para suas obras. Ele estudou cuidadosamente como as formas orgânicas se desenvolvem na natureza e as aplicou em seus projetos arquitetônicos, resultando em estruturas harmoniosas que imitam a complexidade e a elegância naturais [10].

A Sagrada Família, projeto emblemático de Gaudí, representa essa ligação com a natureza, combinando elementos de organismos humanos, obras de arte e sistemas mecânicos em uma analogia orgânica [08]. Suas colunas lembram árvores entrelaçadas, e as abóbadas evocam folhas ou conchas. Ao entrar, se tem uma sensação de se estar envolvido por uma atmosfera de bosque encantado, com pilares estreitos e jogos de luz, enquanto as torres principais se assemelham a flores em plena floração, destacando a harmonia entre elementos orgânicos [12].



**Figura 1:** Sagrada Família Fonte: (Sagrada Família, 2023).

Embora menos proeminente que a analogia orgânica, a abordagem morfológica é evidente no projeto da Casa Batlló, onde os elementos arquitetônicos refletem a morfologia e a estrutura de um organismo vivo [06].. Os balcões lembram escamas e o telhado se assemelha a uma coluna vertebral, exemplos claros dessa abordagem, na qual Gaudí busca reproduzir características da natureza. O interior, feito de cerâmica azul, cria uma atmosfera única, remanescente de uma cascata que desce pelo poço de luz [14]..

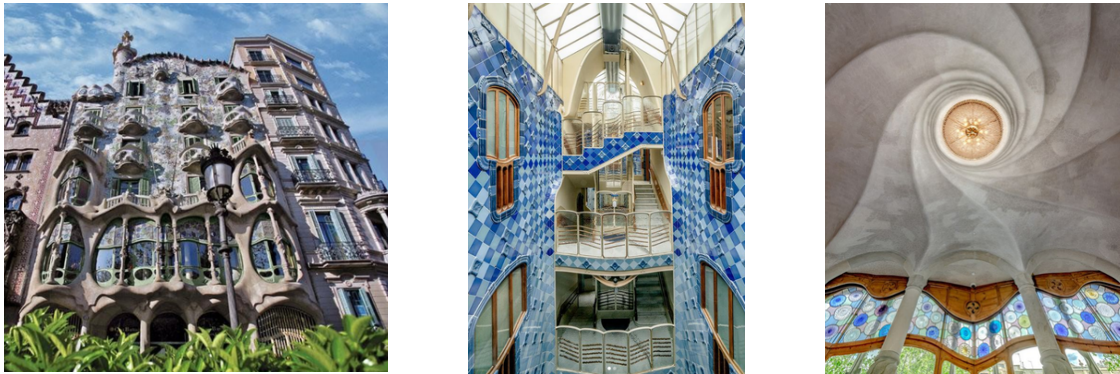
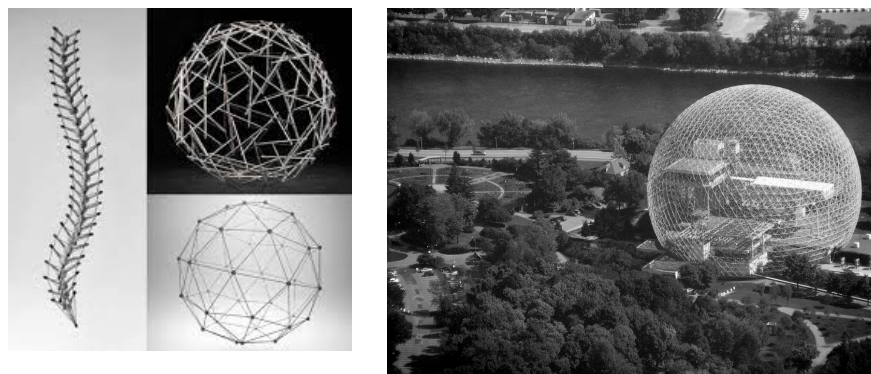


Figura 2: Casa Batlló Fonte: (Casa Batlló, 2023; Hisour, 2023).

### 3.1.2 Richard Buckminster Fuller 1955 - 1983

Os projetos de Fuller são considerados representativos da arquitetura biomimética devido ao seu compromisso em imitar os padrões, processos e formas da natureza em suas criações. Ele buscava soluções eficientes e sustentáveis, inspirando-se nos princípios naturais para projetar estruturas inovadoras, como a Cúpula de Montreal, também conhecida como Biosphère. Essa estrutura emblemática é um exemplo claro de sua abordagem morfológica, inspirada em estruturas naturais como bolhas de sabão, e concebida para ser leve e autossustentável [02][06]..

Embora Fuller seja mais conhecido por sua abordagem morfológica, suas estruturas tensegrity também exemplificam a aplicação de princípios funcionais inspirados na biologia [06]. Sendo uma estrutura que equilibra forças de compressão e tensão de forma semelhante às estruturas encontradas na biologia, como células e tecidos. Embora muitas de suas estruturas tensegrity tenham sido protótipos ou instalações temporárias, elas contribuíram para o avanço do design e da engenharia, inspirando novas abordagens para a construção de estruturas leves e resistentes [02][04].





**Figura 3:** Estruturas tensegrity e Cúpula de Montreal Fonte: (Massey, 2006; Buckminster Fuller, 2024).

### 3.1.3 Pier luigi Nervi

Embora Nervi não seja frequentemente associado explicitamente à arquitetura biomimética, muitos de seus projetos demonstram princípios que refletem a eficiência estrutural e a elegância encontradas na natureza. Um exemplo é o Palazzo del Lavoro, construído para a Exposição Internacional de Turim em 1961, onde o concreto armado foi aplicado de forma inovadora para criar formas curvas e abóbadas que lembram as estruturas orgânicas da natureza, como a casca de um caracol [08].

Outro exemplo é o PalaLottomatica, em Roma, Itália, que combina inovação estrutural com formas arquitetônicas expressivas, demonstrando uma abordagem morfológica. A estrutura de concreto do edifício evoca a distribuição de arcos em algumas estruturas naturais, como folhas de plantas ou espinhas de peixe, refletindo a adaptação de princípios de ordem geral à situação específica do projeto [14]. Nervi demonstra sua habilidade em traduzir elementos morfológicos da natureza em suas criações arquitetônicas, mesmo que não seja explicitamente associado à arquitetura biomimética [06].



**Figura 4:** Palazzo del Lavoro e PalaLottomatica Fonte: (Butler, 2021).

## 3.2 Produção Modernista

A seguir são apresentados os resultados:

### 3.2.1 Santiago Calatrava

Os projetos de Santiago Calatrava frequentemente incorporam formas orgânicas, estruturas esbeltas e linhas fluidas que refletem as formas encontradas na natureza. Um exemplo emblemático é o Museu do Amanhã, cuja estrutura se assemelha a uma flor ou a uma estrutura óssea, buscando representar a ideia de um organismo vivo e conectar os visitantes com a sustentabilidade e a relação entre humanos e o ambiente natural. Essa abordagem demonstra uma clara analogia orgânica, onde Calatrava não apenas emula a estética da natureza, mas também incorpora princípios de eficiência e adaptação encontrados nos ecossistemas naturais [08].

Outro exemplo é o Turning Torso, em Malmö, Suécia, inspirado na torção da coluna vertebral e do DNA. Este design oferece vistas panorâmicas e estabilidade estrutural aprimorada, refletindo uma analogia anatômica que busca imitar elementos estruturais e funcionais encontrados no corpo humano para criar soluções. Ao otimizar a entrada de luz

natural e a ventilação, o edifício reduz a dependência de energia artificial, refletindo os princípios da biomimética para criar soluções sustentáveis e inovadoras na arquitetura [08].



Figura 5: Museu do Amanhã e Turning Torso Fonte: (Calatrava, 2015; Calatrava, 2005).

### 3.2.2 Marko Brajovic

Votu hotel, Península de Maraú, na Bahia. Por ser uma região com temperaturas elevadas, o objetivo do projeto era oferecer melhoria térmica ao ambiente. Inspirado pelas tocas do do Cão de Pradaria, que são tubos longos que ficam no subsolo e fazem a entrada e saída de ar de forma rápida, que ocorrem por meio das diferenças na pressão atmosférica [12]. A analogia sensorial está presente na adaptação do sistema de ventilação das tocas para o ambiente das suítes, aproveitando as diferenças na pressão atmosférica para promover a circulação de ar de forma rápida e eficiente, como também proporciona uma sensação de conforto sensorial aos ocupantes [08].



Figura 6: Votu hotel Fonte: (Brajovic, 2023).

### 3.2.3 Jean Nouvel

A Torre Agbar, em Barcelona, tem uma fachada inspirada na forma de um gêiser, proporcionando proteção contra a luz solar direta e reduzindo a necessidade de ar-condicionado (Nouvel, 2024). Essa abordagem reflete uma analogia simbólica, onde elementos naturais são utilizados de forma metafórica para alcançar objetivos práticos na arquitetura, como eficiência energética e conforto ambiental [09]. O One Central Park, em Sydney, apresenta uma fachada verde exuberante que oferece sombreamento natural, melhora

a qualidade do ar e contribui para a biodiversidade urbana [15]. Essa abordagem demonstra uma clara analogia orgânica, onde elementos naturais, como plantas e vegetação, são integrados ao ambiente construído para criar soluções sustentáveis e promover uma maior harmonia entre o ambiente urbano e a natureza. (Steadman, 2008).

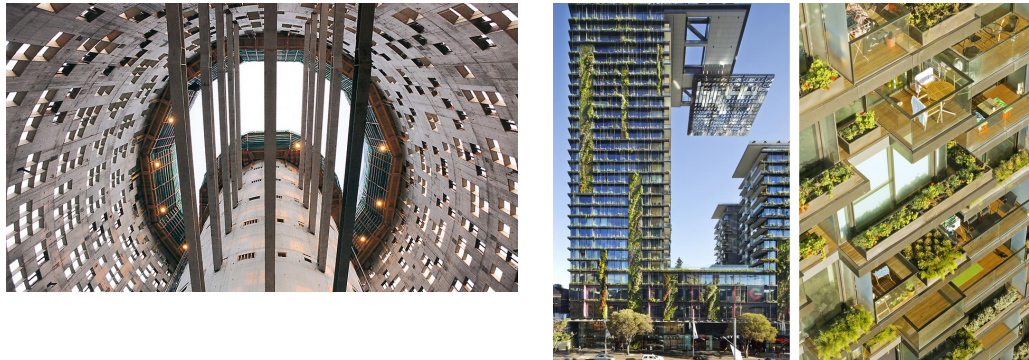


Figura 7: Torre Agbar Fonte: (Gordon, 1965).

### 3.3. Análises dos resultados e discussões

O legado dos arquitetos modernistas como Gaudí, Fuller e Nervi, embora não explicitamente associado à biomimética, reflete uma profunda compreensão dos princípios naturais. Suas obras apresentam uma variedade de analogias com a natureza, contribuindo intuitivamente para a abordagem biomimética e deixando um legado de projetos inovadores que ressoam com eficiência e harmonia naturais.

Por outro lado, os arquitetos contemporâneos como Calatrava, Brajovic e Nouvel abraçam explicitamente a biomimética em seus projetos. Além de incorporar elementos naturais, aplicam metodologias baseadas em analogias para criar soluções sustentáveis e eficientes, refletindo uma busca consciente por integração com o ambiente natural.

Ao comparar os arquitetos modernistas e contemporâneos, percebe-se uma evolução na abordagem da arquitetura em relação à natureza. Enquanto os modernistas contribuíram de forma intuitiva e inconsciente, os contemporâneos adotam uma abordagem mais consciente e estratégica, aproveitando avanços na compreensão dos princípios naturais e das tecnologias disponíveis.

Essa evolução reflete-se em um gráfico geral, que visa compreender a analogia predominante e secundária dos sucessivos arquitetos:

Quadro 1: Classificação de analogias

Principais Analogias compreendidas por cada arquiteto.						
Arquiteto	Gaudi	Fuller	Nervi	Calatrava	Brajovic	Nouvel
Analogia Predominante	Orgânica	Morfológica	Morfológica	Orgânica	Funcional	Simbólica
Analogia Secundária	Morfológica	Funcional	Funcional	Anatômica	Sensorial	Orgânica

Fonte: Autores.

## 6. Conclusão

Ao comparar os arquitetos precursores do modernismo com seus contemporâneos, percebemos uma ascensão proeminente da arquitetura biomimética como uma abordagem inovadora na busca por soluções sustentáveis e eficientes na construção de edifícios. Os arquitetos modernistas, mesmo sem compreensão formal da biomimética, contribuíram intuitivamente ao incorporar elementos naturais em suas criações, como a Sagrada Família de Gaudí e a Cúpula de Montreal de Fuller, que continuam a inspirar os contemporâneos.

Por outro lado, os arquitetos contemporâneos abraçam ativamente os princípios biomiméticos, integrando elementos naturais e aplicando metodologias baseadas em analogias para criar soluções inovadoras. Projetos como o Museu do Amanhã de Calatrava e o Votu Hotel de Brajovic exemplificam essa busca por uma simbiose mais profunda entre arquitetura e natureza, resultando em edifícios funcionalmente eficientes e ecologicamente responsáveis.

A arquitetura biomimética emerge não apenas como uma tendência contemporânea, mas como um paradigma duradouro e inspirador na concepção do espaço construído. Seu legado é marcado pela inovação e sustentabilidade, proporcionando uma base sólida para as gerações futuras, onde a harmonia entre arquitetura e natureza é fundamental para a criação de ambientes habitáveis e conscientes do contexto ecológico.

## Referências

- [01] HESKETT, John. Design: A Very Short Introduction. Oxford University Press, 2005.
- [02] BALDWIN, J. Bucky works: Buckminster Fuller's ideas for today. New York: John Wiley & Sons, 1996.
- [03] BENYUS, J. M. Biomimética: Inovação inspirada pela natureza. 6ª ed. São Paulo: Ed.Pensamento- Cultrix, 1997.
- [04] MANZINI, Ezio; VEZZOLI, Carlo. O desenvolvimento de produtos sustentáveis: os requisitos ambientais dos produtos industriais. São Paulo: Edusp, 2002.
- [05] GRUBER, P. Biomimetic in Architecture [Architektur Bionik]. In: Biomimetics materials, structures and processes - examples, ideas and case studies. Berlim: Springer-Verlag, 2011.
- [06] BONSIPE, G. Diseño industrial. Madri: Alberto Corazón Editor, 1978.
- [07] ARRUDA, Amilton. Bionic Basic: Verso un nuovo modello di ricerca progettuale. 2002.175 p. Tese (doutorado) – Univesidade Politécnico de Milão, Dottorato di Ricerca in Disegno Industriale e Comunicazione Multimediale.
- [08] STEADMAN, Philip. The evolution of designs – biological analogy in architecture and applied art, 1ª ed., Cambridge, Cambridge University Press, 1979, 1988, revised edition, 2008.
- [09] GORDON, William. Sinética: El desarrollo de la capacidad creadora. México: HerrerosHnos. S. A., 1965.
- [10] Petry, M. Gaudí: Um gênio da arquitetura. Mila Petry. 2023
- [11] ZERBST, Rainer. Gaudí: The Complete Works. Köln: Taschen, 2020. 367 p.
- [12] Arquitetura biomimética. Hisour arte cultura exposição. 2023
- [13] Sagrada Família: The work of Antoni Gaudí. Sagrada Família. 2023.



[14] Casa Batlló: The house of the dragon. Casa Batlló. 2023

[15] THE ESTATE OF R. BUCKMINSTER FULLER. Buckminster Fuller. 2024