

Identificação de Características Morfológicas em Artefatos Inspirados na Natureza

Identification of Morphological Characteristics in Artifacts Inspired by Nature

Theska Laila de Freitas Soares, MSc.

theska.soares@ufpe.br

Antônio Henrique Silva Nogueira, MSc.

antonio.nogueira@ufpe.br

Amilton José Vieira de Arruda, PhD.

amilton.arruda@ufpe.br

Resumo

Este artigo tem o objetivo de identificar as características referentes a morfologia de artefatos bioinspirados. Para tanto, como parâmetro teórico avaliativo, descreveu os padrões morfológicos recorrentes na natureza e os relacionou com os artefatos analisados, procurando entender quais eram também recorrentes nestes artefatos. Através da investigação de exemplos relevantes em 4 categorias de artefatos bioinspirados: mobiliário, iluminação, moda e arquitetura, foram feitas análises qualitativas e a partir desta pesquisa exploratória inicial, se constatou que as principais características morfológicas dos artefatos inspirados na natureza encontradas foram: Mimese; Complexidade (através das Formas Orgânicas e Fractais); Eficiência Estrutural; Modularização; Simetria; Escala e Formas Geométricas Recorrentes (através, principalmente, de formas circulares, triangulares, pentagonais, hexagonais, esféricas e espirais). Essa classificação inicial será utilizada como base para uma posterior análise empírica a ser desenvolvida.

Palavras-chave: Design; Biomimética; Artefatos bioinspirados; Padrões da natureza; Morfologia

Abstract

This article aims to identify the characteristics related to the morphology of bioinspired artifacts. Therefore, as an evaluative theoretical parameter, he described the morphological patterns recurring in nature and related them to the analyzed artifacts, trying to understand which ones were also recurrent in these artifacts. Through the investigation of relevant examples in 4 categories of bioinspired artifacts: furniture, lighting, fashion and architecture, qualitative analyzes were made and from this initial exploratory research, it was found that the main morphological characteristics of the nature-inspired artifacts found were: Mimese; Complexity (through Organic and Fractal Forms); Structural Efficiency; Modularization; Symmetry; Scale and Recurring Geometric Shapes (mainly through circular, triangular, pentagonal, hexagonal, spherical and spiral shapes). This initial classification will be used as a basis for further empirical analysis to be developed.

Keywords: Design; Biomimicry; Bioinspired artifacts; Patterns of nature; Morphology

1. Introdução

No modernismo, início do século XX, a “boa forma” de um determinado produto tinha o foco no funcionalismo, o que resultava numa limpeza visual, com formas geométricas mais simples, ângulos retos e poucos ornamentos, ou seja, o intuito era reduzir objetivamente a complexidade formal do objeto, principalmente, visando a facilidade e agilidade de produção, ou seja, isto reduzia processos e o tempo de produção no intuito de baratear o produto, e por conseguinte, atender e tornar acessível o consumo das massas.

Porém, nas últimas décadas, na Era da informação provocada pela globalização, resultado da consolidação da internet, a pluralidade estilística e a ausência de uma linearidade conceitual hegemônica tornam cada vez mais difícil a identificação de um modelo único de paradigma devido a velocidade das transformações atuais. Entretanto, é perceptível a urgência de novos modelos que priorizem a conservação ambiental e resgatem a atenção e respeito à natureza, diante das catástrofes provenientes da mudança climática decorrente da exploração e degradação humana irresponsável ao meio ambiente. Em resposta, a biomimética têm sido promissora em trazer soluções nas mais diversas áreas, inclusive, em colocar a natureza em evidência como parâmetros para criação de novos artefatos.

Um fato que têm contribuído para isto é a evolução constante da tecnologia, principalmente através do design paramétrico e a impressão 3D (manufatura aditiva), pois com eles há possibilidade de construir as complexas e eficientes estruturas da natureza através de softwares como o *Grasshopper* ou o *Dynamo*, que através das superfícies com múltiplas curvas conhecidas como geometrias não-euclidianas ou NURBS (*Non-Uniform Rational Basis Surfaces*), permitem com maior facilidade, controle e em menor tempo, o projeto de estruturas modulares, formas orgânicas e curvas estruturais através de parâmetros pré-definidos que foram previamente reconhecidos nos padrões da natureza. A seguir, serão mostrados quais são estes padrões, estabelecendo uma relação entre estes e os artefatos inspirados na natureza com foco na morfologia.

2. Artefatos Bioinspirados e Analogia Morfológica

Coelho (2008) diz que a palavra "artefato" se refere aos objetos produzidos pelo trabalho humano e se contrapõe, portanto, aos objetos naturais ou acidentais. Trata-se de uma categoria muito ampla, abrangendo sem distinção, objetos tecnológicos, artísticos, industriais, artesanais, etc. Para o autor, é útil pensar no design como uma área que gera artefatos, pois a amplidão desse conceito ajuda a superar distinções que muitas vezes dificultam a comparação de objetos produzidos em contextos diferentes, ou com o emprego de meios e técnicas muito diversos entre si. Independentemente da forma, da função ou da época de sua produção, todo objeto humano é um artefato no sentido etimológico de ter sido "feito com arte" (do latim, *arte factus*). Em outras palavras, todo objeto produzido pelo esforço humano entra em existência através de algum processo que transforma a idéia em matéria, para tal processo, que no design corresponde ao ato de projetar, é uma característica da própria humanidade, pois o homem é um animal que gera artefatos, vestígios eloquentes da sua ação como cultura e espécie.

Sobre Artefato bioinspirado esta pesquisa considera aqueles que possuem clara referência e inspiração baseada na natureza. Sendo assim, pode-se traduzir a Natureza, viva (animal, vegetal) ou não-viva (mineral, fenômenos), através de analogias das suas formas, funções, estruturas, princípios, processos, sistemas, movimentos, características, comportamentos,

etc., e transpor para soluções de sistemas artificiais. Desta forma, muitas analogias estão relacionadas com a interpretação da referência da natureza, basta focar em um ou mais de seus aspectos. As principais Analogias são: Morfológica, Funcional, de Movimento, Comportamental e Simbólica.

A Analogia Morfológica é definida por Bonsiepe (1992) como a busca experimental de modelos elaborados da tradução das características estruturais e formais para transpor em projetos. Sendo assim, este tipo de Analogia procura estudar e analisar o porquê da forma natural, as inter-relações da sua geometria. Segundo Wilson *et al.* (2010), a análise de fenômenos morfológicos da natureza facilita e estimula a capacidade de percepção de detalhes e princípios presentes em sua estrutura. Muitas vezes, tais formas são favoráveis não apenas pela estética, mas pelo ganho em eficiência. Um exemplo disto é mostrado por Versos (2010) através do *BIONIC CAR* da marca Mercedes-Benz, cuja inspiração foi a forma e estrutura óssea hidrodinâmica do peixe-cofre, que proporcionou alta resistência à estrutura do carro através do uso mínimo de material, como resultado, o automóvel apresentou uma excelente aerodinâmica, peso reduzido e um consumo de 4,3 litros por 100km, o que significou 20% mais economia que os veículos da mesma classe.

3. Padrões da Natureza

A palavra padrão tem sua origem etimológica no latim “*Patronos*”, no sentido de “*modelo a ser seguido*”, de *pater*, “*pai*”. Segundo o Dicionário de Oxford, padrão também se refere a uma base de comparação consagrada como modelo por consenso geral ou por determinado órgão oficial, ou seja, é uma base de referência usada para determinar as qualidades ou características de alguma coisa; norma.

Desta forma, Soares (2016) define que os Padrões da Natureza se referem às formas, princípios ou características recorrentes nela. Alguns destes princípios se relacionam com a natureza num contexto mais abrangente, tais como: Equilíbrio/Autorregulação, Crescimento, Autorregeneração, Reprodução, Evolução (Mutação), Adaptação, Metamorfose, Materiais naturais de fonte renovável, Eficiência/Economia (energia, processos), Autossuficiência, Sinergia, Ciclicidade (da vida, da matéria, da energia, da água, do tempo, das estações, etc.), mas há também aqueles princípios mais relacionados a questões morfológicas, tais como: Simetria, Escala, Modularização, Proporção Áurea, Números de Fibonacci, Eficiência Estrutural; e ainda, os relacionados à Forma propriamente dita: Complexidade (Formas Orgânicas e Fractais) e Formas Geométricas (Círculos, Triângulos, Pentágonos, Hexágonos, Esferas e Espirais).

Alguns destes padrões, especificamente os relacionados a morfologia serão brevemente detalhados a seguir, pois servirão de critério na avaliação dos artefatos analisados.

3.1 Princípios/Características Relacionadas à Morfologia da Natureza

- a) **Simetria** se refere a “conformidade, em medida, forma e posição relativa, entre as partes dispostas em cada lado de uma linha, um plano, um centro ou um eixo. “Semelhança entre duas ou mais situações ou fenômenos”. Tal princípio formal pode ser observado em diversos exemplos na natureza. A maioria das folhas, por exemplo, podem ser divididas por um eixo central e, portanto, possuem **simetria bilateral**, também chamada refletiva, assim como muitos animais e também os humanos. Já em

muitas flores, frutos e animais marinhos é possível observar a **simetria radial**, em que existem partes iguais ao redor de um eixo central. Há ainda exemplos que não possuem simetria, como alguns corais e poríferos, ou seja, neles ocorre **assimetria**.

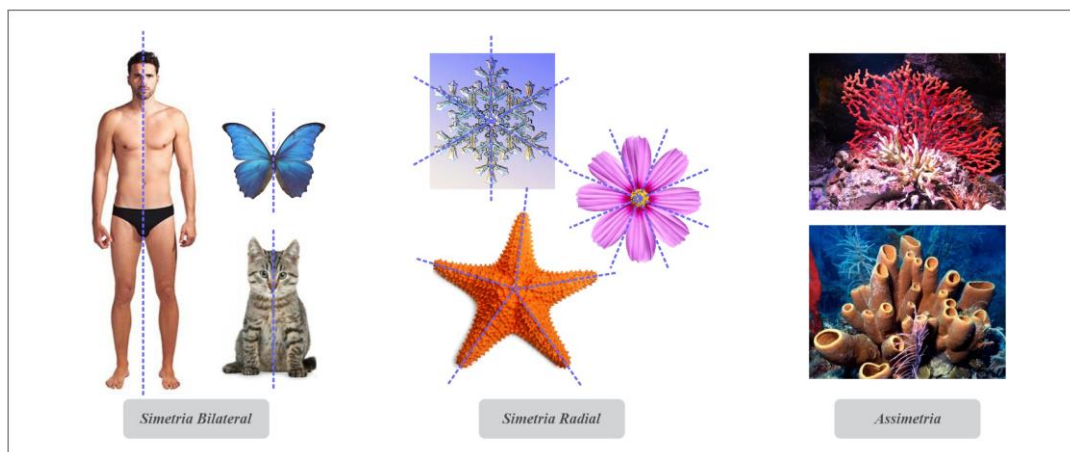


Figura 1: Exemplos de simetria bilateral, radial e assimetria na natureza.
Fonte: Elaborado pelos autores.

- b) **Escala** se refere a relação entre as dimensões de um desenho e o objeto por ele representado. Também pode ser entendido como “série de graus ou níveis dispostos segundo a importância de cada um, em ordem ascendente ou descendente; hierarquia. Chama-se **microescala** a escala para medir as dimensões de objetos microscópicos; **macroescala** é a das dimensões dos objetos visíveis a olho nu e **megaescala** a que possui dimensões muito grandes, usada em astronomia. É possível perceber ainda, a manifestação de escalas numa mesma referência natural, ou seja, diferentes tamanhos de estruturas semelhantes, como por exemplo em ramificações: dos vasos sanguíneos, de plantas, de galhos, de pétalas das flores, etc.



Figura 2: Exemplos de escala na natureza, estruturas semelhantes de diferentes tamanhos.
Fonte: Elaborado pelos autores.

- c) **Modularidade** se refere a repetição de componentes, partes ou segmentos de estruturas em que é discernível uma regularidade, ou seja, elementos similares que repetem-se de maneira previsível. Pearce (1990) também defende que a natureza tende a produzir estruturas padronizadas com organização modular. A começar pelo próprio sistema de organização e agrupamento de módulos celulares dos seres vivos, o sistema de construção da natureza. De fato há diversos exemplos deste princípio e Andrade (2003) reforça que são inúmeras as suas vantagens: organização, otimização de espaço, simplificação de estruturas, otimização mecânica, pois módulos

semelhantes produzem ângulos repetitivos que correspondem a maneira mais eficiente de aliviar as pressões. Os segmentos do corpo do tatu-bola, da minhoca, permitem maior flexibilidade; os módulos da carapaça da tartaruga, uma distribuição de esforços que lhe confere resistência; as escamas da cobra, dos peixes e as placas do corpo do crocodilo resultam em facilidade de locomoção e rigidez.



Figura 3: Diversos exemplos de modularidade na natureza. Fonte: Elaborado pelos autores.

- d) **Eficiência Estrutural** se refere ao princípio de que na natureza há material estrutural apenas onde é necessário, o que resulta em eficiência/economia de material. Observa-se em diversos exemplos da natureza, principalmente, no que se refere a estruturação. Um bom exemplo disto são os ossos em geral, mas em especial os das aves, cuja pneumatização favorece o vôo através de associações de força e leveza, fornecidas por sua estrutura óssea interna, um emaranhado de cavidades ocas, com depósito de material ósseo apenas onde há necessidade estrutural ao invés do preenchimento total que resultaria no aumento de peso do animal e também do gasto energético durante o vôo. O mesmo pode ser observado no cogumelo Morel, no esqueleto do cacto Cholla e no esqueleto de poríferos.



Figura 4: Exemplos da Eficiência estrutural através de cavidades ocas na natureza. Fonte: Elaborado pelos autores.

3.2 Formas da Natureza

- e) **Complexidade**, em termos de formas, na natureza representam as formas orgânicas e os fractais. As **Formas Orgânicas** são aquelas recorrentes dos organismos vivos, caracterizadas pela fluidez de linhas curvas na maioria das vezes, e por isto, apresentam maior grau de complexidade que as formas geométricas retinfeas.



Figura 5: Exemplos na natureza de formas orgânicas com linhas curvas e de formas geométricas retilíneas. Fonte: Elaborado pelos autores.

Os **Fractais** também representam a complexidade das formas naturais, embora possuam leis simples de formação. Hemenway (2010) explica que a geometria fractal, também chamada geometria da natureza, foi descrita pelo matemático Benoît Mandelbrot em 1975. O termo é derivado do latim *fractus* e do verbo *frangere*, que significa “quebrar” ou “criar fragmentos”, e é usado para descrever um grupo particular de formas irregulares que não estão de acordo com a geometria euclidiana. As principais propriedades que caracterizam os fractais são a *auto semelhança*, a *complexidade infinita* e as *dimensões fracionadas*.

Miranda *et al.* (2008) explica que a *auto semelhança* significa que eles parecem ter cópias de si próprios escondidas no interior do original, assim, um fractal pode ser definido como a repetição de uma forma específica, repetida em uma escala cada vez menor, de forma infinita. Pode ser entendida também como uma simetria através das escalas, assim, infinitamente uma pequena porção do fractal pode ser vista como uma cópia do todo em uma escala menor. Já a *complexidade infinita* refere-se ao fato de que o processo de geração de um fractal é recursivo, ou seja, quando se executa um determinado procedimento, no decorrer da mesma encontra-se como sub-procedimento o próprio procedimento anteriormente executado. Sendo assim, a construção iterativa de um fractal matematicamente definido, dispõe-se de um número infinito de procedimentos a serem executados, gerando-se assim uma estrutura infinitamente complexa.

Por fim, a *dimensão fracionada* refere-se a uma fração, ou seja, a um valor não inteiro de dimensão, que representa o grau de ocupação da estrutura no espaço que a contém, o que é diferente do que ocorre na Geometria Euclidiana, onde um ponto possui dimensão zero, uma linha possui dimensão um, uma superfície possui dimensão dois e um volume possui dimensão três. Enquanto os sólidos possuem um número inteiro e limitado de dimensões, a geometria fractal poderá oferecer infinitas dimensões fracionárias, repetidas a diferentes escalas. Por exemplo: a dimensão fractal dos relâmpagos no espaço tridimensional é 1.51. Na imagem abaixo é possível identificar alguns exemplos de fractais na natureza.



Figura 6: Exemplos de fractais (auto semelhança em escala) na natureza.
Fonte: Elaborado pelos autores.

- f) **Formas Geométricas:** Ao contrário do que muitos possam prever também é possível identificar diversos exemplos de geometrias tradicionais, principalmente em imagens microscópicas de estruturas naturais, tais como círculos, elipses e polígonos regulares ou irregulares (retângulos, triângulos, hexágonos, pentágonos, losangos, etc.); e também as geometrias espaciais, como esferas, elipsoides, cones, cilindros e poliedros. Visto que os gregos desenvolveram a própria geometria a partir da observação de fenômenos da natureza.

Desta forma, **círculos, elipses, elipsoides e esferas**, podem ser encontrados na configuração e no movimento dos planetas, estrelas, nos olhos, em sementes; frutos, dentre outros. Na natureza, a forma esférica é ótima, pois guarda dentro de si a relação de volume máximo com superfície mínima, ou seja, são capazes de armazenar a maior quantidade de material internamente utilizando a menor quantidade de material possível para construir a superfície externa, o que torna esta configuração extremamente eficiente na construção de *invólucros*;

Outra geometria recorrente são as pentagonais, com o **pentágono regular, regular estrelado e irregular**. Os dois primeiros são muito relacionados à *Proporção Áurea*, pois traçando suas diagonais se formam triângulos cuja razão entre o lado e sua base é o número de ouro, *1,618*. Estas formas são recorrentes em animais marinhos, no interior de frutos, flores e plantas;

Os **hexágonos e poliedros**, também são muito recorrentes em situações de aglomerações celulares, nas colmeias de abelhas, olhos de insetos, na pele de répteis etc.;

As formas triangulares são relacionadas a estruturação. Fuller (1979) afirma que o **triângulo** é o único polígono auto estabilizado, um padrão constante, de integridade em si, um elemento estável independente do seu tamanho, sendo as únicas formas que permanecem rígidas, mesmo quando construídas com conexões flexíveis, tendo cada vértice estabilizado pelo lado oposto. Este é o motivo para a engenharia dividir os polígonos em formas triangulares, e os poliedros em tetraedros, para garantir mais força estrutural e estabilidade. Este padrão é encontrado em folhas, pétalas, pinheiros, montanhas.

Sobre as relações da geometria com a natureza orgânica e inorgânica, Ghyca (1977) afirma que em um estado final de equilíbrio, os elementos de formações cristalinas e no reino inorgânico são encontradas de forma recorrente formas geométricas como tetraedros, cubos, octaedros e derivados arquimedianos. Já nos seres vivos da botânica e da zoologia são mais associados os corpos platônicos pentagonais, dodecaedro, icosaedro e derivados, mais relacionados com a *Proporção Áurea* e aos *Números de Fibonacci*. A seguir uma figura mostrando exemplos destas geometrias na natureza.

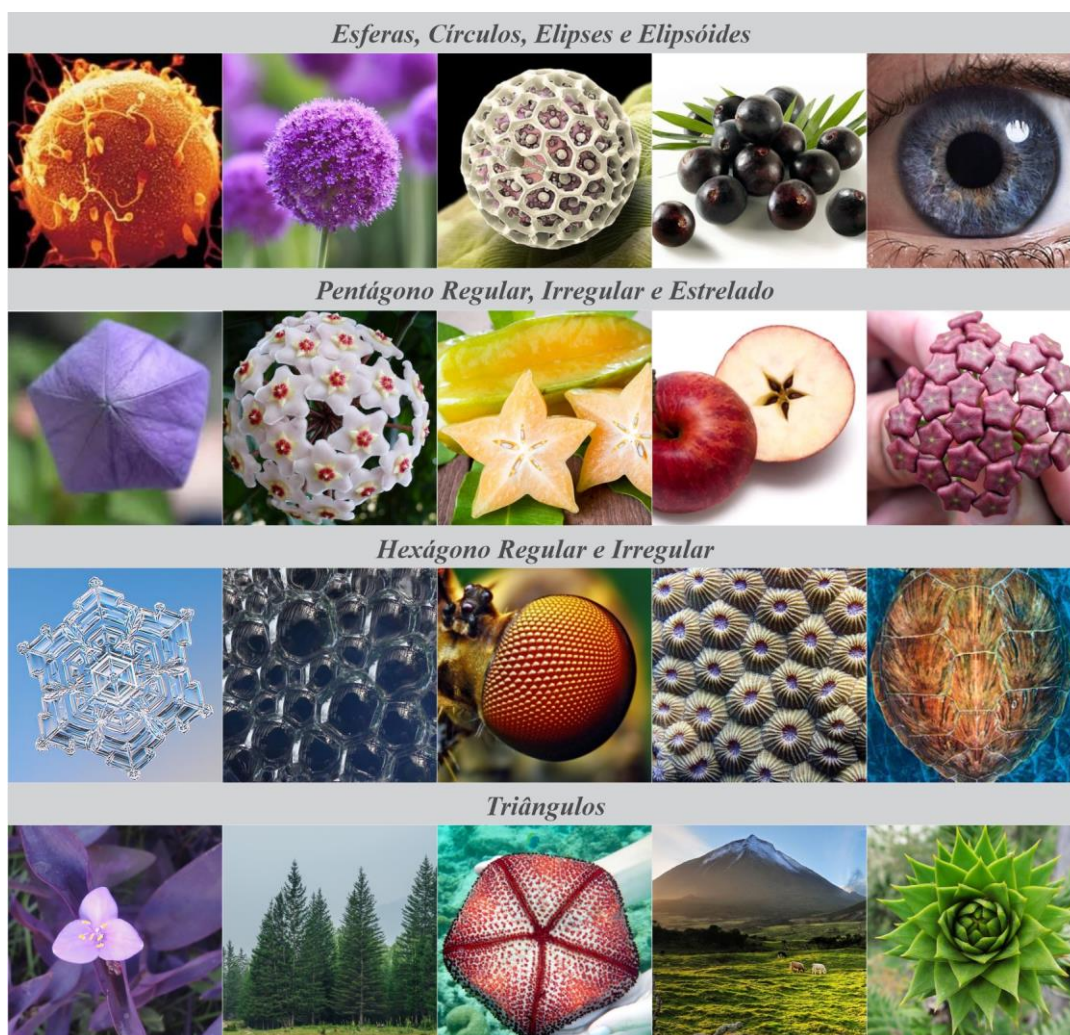


Figura 7: Exemplos de formas geométricas na natureza. Fonte: Elaborado pelos autores.

Além destas, há uma geometria associada a padrões de crescimento na natureza, as **Espirais**. São definidas como uma curva que gira em torno de um ponto central (chamado pólo), dele se afastando ou se aproximando a constantes ou diferentes distâncias. A Espiral de Arquimedes se afasta a distâncias constantes, já a espiral logarítmica de Descartes ou equiangular, possui crescimento em progressão geométrica. A espiral dourada é um tipo de espiral logarítmica associada a proporção áurea que está relacionada ao crescimento de plantas, de fetos, de folhas, de conchas, de galáxias, etc.



Figura 8: Exemplos de espirais na natureza. Fonte: Elaborado pelos autores.

É importante atentar que embora estes padrões formais existam, quase nunca se apresentam com rigor formal, pois se observa que as formas orgânicas são geradas a partir de uma luta contra a gravidade terrestre, tendo portanto que buscar o equilíbrio com todas as forças de perturbações naturais as quais estão expostas, adaptando-se a fenômenos naturais como: vento, sol, chuva, etc. Thompson (1961) também defende que as formas na natureza é resultado de um diagrama de forças que se pode avaliar ou deduzir tais forças que estão agindo ou tiver agido sobre ele; e que através da ação dessas forças internas e externas, se cria uma ampla diversidade de formas de um inventário de princípios básicos.

4. Análise Morfológica em Exemplos de Artefatos Bioinspirados

Para esta análise, os artefatos com inspiração morfológica na natureza foram categorizados em: *Artefatos de Arquitetura (Pavilhões)* e *Artefatos de Design de Produto (Mobiliário, Iluminação e Moda)*. Para cada categoria foram pesquisados 5 exemplos, buscando detalhes dos projetos na internet, organizados através de imagens e avaliados nos quadros das figuras seguintes, segundo os critérios de presença dos padrões recorrentes da natureza que foram detalhados no tópico anterior. São eles:

a) Artefatos de Arquitetura (Pavilhões)

Artefatos Arquitetônicos (Pavilhão)					
Padrões da Natureza					
Simetria: Bilateral; Radial; Assimétrica.	Simetria Bilateral	Simetria Radial	Assimetria	Assimetria	Simetria Bilateral
Escala	✓		✓	✓	
Modularização	✓	✓	✓	✓	✓
Eficiência Estrutural	✓	✓	✓		✓
Complexidade: Formas Orgânicas Fractal	Forma Orgânica	Forma Orgânica	Forma Orgânica	Fractal	Forma Orgânica
Formas Geométricas: Círculos; Elipses; Triângulos; Pentágonos; Hexágonos; Esferas; Espirais.	Formas Geométricas: Círculos; Elipses, Pentágonos, Hexágonos, Triângulos.	Formas Geométricas: Círculo, Esfera, Pentágono, triângulos.	Formas Geométricas: Elipse, Pentágonos, Hexágonos.	Formas Geométricas: Políedros (aglomeração celular), Pentágonos, Hexágonos.	Formas Geométricas: semi-círculos, Elipses; Esfera.

Figura 9: Quadro dos exemplos de artefatos arquitetônicos. Fonte: Elaborado pelos autores.

b) Artefatos de Design de Produto (Mobiliário, Iluminação e Moda)

<i>Artefatos de Mobiliário</i>						
<i>Padrões da Natureza</i>						
<i>Simetria: Bilateral; Radial; Assimetria.</i>		Simetria Bilateral	Assimetria	Simetria Bilateral	Simetria Radial	Assimetria
<i>Escala</i>			✓	✓		
<i>Modularização</i>			✓	✓	✓	
<i>Eficiência Estrutural</i>		✓	✓	✓		✓
<i>Complexidade: Formas Orgânicas Fractal</i>		Forma Orgânica	Forma Orgânica	Fractal		Forma Orgânica
<i>Formas Geométricas: Círculos; Elipses; Triângulos; Pentágonos; Hexágonos; Esferas; Espirais.</i>			Formas Geométricas: Poliedros irregulares (aglomeração celular)	Formas Geométricas: Pentágono, polígonos	Formas Geométricas: Círculo raialdo	Formas Geométricas: Elipses (tampo)

<i>Artefatos de Iluminação</i>						
<i>Padrões da Natureza</i>						
<i>Simetria: Bilateral; Radial; Assimetria.</i>		Assimetria	Simetria Radial	Simetria Radial	Simetria Radial	Assimetria
<i>Escala</i>			✓	✓		✓
<i>Modularização</i>			✓	✓		✓
<i>Eficiência Estrutural</i>		✓	✓	✓	✓	
<i>Complexidade: Formas Orgânicas Fractal</i>		Forma Orgânica	Forma Orgânica	Forma Orgânica	Forma Orgânica	Forma Orgânica
<i>Formas Geométricas: Círculos; Elipses; Triângulos; Pentágonos; Hexágonos; Esferas; Espirais.</i>			Formas Geométricas: Pentágonos; Hexágonos; Esferas; Espirais.		Formas Geométricas: Polígonos arredondados (aglomeração celular); Elipse.	Formas Geométricas: Círculos

<i>Artefatos de Moda</i>						
<i>Padrões da Natureza</i>						
<i>Simetria: Bilateral; Radial; Assimetria.</i>		Simetria Bilateral	Assimetria	Simetria Bilateral	Assimetria	Simetria Bilateral
<i>Escala</i>		✓			✓	
<i>Modularização</i>		✓		✓	✓	✓
<i>Eficiência Estrutural</i>			✓		✓	✓
<i>Complexidade: Formas Orgânicas Fractal</i>		Forma Orgânica	Forma Orgânica	Forma Orgânica	Forma Orgânica	Forma Orgânica
<i>Formas Geométricas: Círculos; Elipses; Triângulos; Pentágonos; Hexágonos; Esferas; Espirais.</i>		Formas Geométricas: Espirais		Formas Geométricas: Espirais	Formas Geométricas: Triângulos que geram também outros polígonos (Pentágonos e Hexágonos)	Formas Geométricas: Hexágonos

Figuras 10, 11 e 12: Quadros dos exemplos de artefatos de mobiliário, iluminação e moda com identificação dos padrões da natureza. Fonte: Elaborado pelos autores.

Como é de se esperar, todos os artefatos inspirados na natureza possuem diversos graus de similaridade morfológica com a referência natural (*Mimese*). Uma tem maior grau e outras menos, com mais abstração, isto porque uma composição bioinspirada abstrai elementos de uma determinada inspiração, pois, de acordo com Vassão (2010) a abstração aproveita o que é essencialmente relevante a um propósito em particular e descarta aquilo que é secundário, ignorando o restante da informação.

A *Complexidade* pôde ser vista principalmente através das *formas orgânicas* marcadas pelas curvas, por vezes irregulares. Dondis (1994, p. 42) define tais formas como sendo exageradas, distorcidas e emocionais, embora também defenda que a complexidade, instabilidade e irregularidade aumentam a tensão visual e as tornam mais atrativas, como pôde ser observado nos exemplos acima. Há também outro fator ligado a complexidade observado nestes exemplos, que se refere ao número de componentes em cada artefato, alguns com muitos componentes (mais complexo) e outros com poucos (menos complexo). Houveram poucos exemplos da aplicação da geometria *fractal*, talvez reflexo ainda da complexidade para desenhar e executar no mundo real.

De maneira geral, a *Eficiência Estrutural* pôde ser notada em muitos dos artefatos, principalmente aqueles com peças vazadas e linhas curvas mais finas, representando grande economia de material. Também presente nos exemplos com peças ocas modulares, esta economia representa um fator muito importante quando se trata de sustentabilidade.

Na natureza, a variedade morfológica e a imprevisibilidade diante do que parece caótico faz crer que a percepção sobre os elementos que compõem as estruturas orgânicas é algo de difícil compreensão e análise, visto que quanto maior for o número de elementos mais complexo será o sistema. Porém, como afirma Vassão (2010), a complexidade pode ser simplificada como um conjunto de entidades que compõem uma unidade, ou seja, pode ser vista também como um conjunto de simplicidades.

Nos artefatos inspirados na natureza, essa afirmação é importante, por exemplo, para perceber a *Modularidade*, através dos seus padrões de repetição que também ocorre nos fractais, pois quando se identificam a “simplicidade”, ou o módulo de repetição em cada caso, se compreende que aquela estrutura complexa, na verdade, possui uma lógica de organização racional, e nos artefatos, isto facilita e economiza também na produção, e esta característica ocorreu também em diversos exemplos da análise.

A *Simetria* observada nestes artefatos é uma característica de geometrias mais regulares, composições racionais, equilibradas e harmoniosas. O processo cognitivo, acostumado à regularidade e percepção lógica, absorve a simetria como um elemento tranquilizante, capaz de poupar o homem do esforço cognitivo durante a contemplação de algo assimétrico, em muitos dos artefatos é uma característica que harmoniza com o todo ao redor. Porém, também foi observado durante análise, diversos artefatos com composições assimétricas, da mesma forma que ocorre na natureza orgânica. De acordo com Dondis (1994), estas composições são mais difíceis para equilibrar, pois requer o ajuste de muitas forças, porém se tornam bem mais provocativas, com maior variedade e poder de interesse. Portanto, conclui-se que, neste aspecto, não existe modo correto ou desejável, tudo irá depender da intenção do projeto. Todos os exemplos analisados, simétricos e assimétricos, têm a sua qualidade formal.

Nos exemplos em que houve *Escala*, esta característica pôde ser percebida nos artefatos através da gradação em relação ao tamanhos de elementos, furos ou módulos semelhantes, isto, sem dúvida, reforçou a percepção da similaridade com a natureza. E ainda, diversos

exemplos de **Formas Geométricas** também foram recorrentes nestes artefatos, sejam formas circulares, triangulares, esféricas/geodésicas ou espirais, porém, houveram mais casos com formas poligonais de aglomeração celular, sejam regulares, como as pentagonais, hexagonais ou irregulares. Tais formas estão associadas a percepção de regularidade, e por vezes, da simetria como já foi explicado.

5. Considerações Finais

Assim como é variada a diversidade na natureza existem diversas categorias de artefatos inspirados nela, entretanto através das análises foi possível observar a relação da presença de muitos dos padrões morfológicos da própria natureza nos artefatos inspirados por ela, e com isto, identificar com estes exemplos algumas características morfológicas que foram recorrentes, são elas: **Mimese, Complexidade (através das formas orgânicas e fractais), Eficiência Estrutural, Modularização, Simetria, Escala e Formas Geométricas Recorrentes (através, principalmente, de formas circulares, triangulares, pentagonais, hexagonais, esféricas e espirais)**. Embora não se exclua a possibilidade de serem identificadas outras características de acordo com novos estudos e parâmetros.

Por fim, também é importante pontuar que muitos destes artefatos são resultantes tanto do design paramétrico, que através do *Grasshopper* possui diversas ferramentas disponíveis já prontas para o desenho dos padrões naturais, tais como espirais, fractais, geodésicas, modularização, eficiência de estruturação, dentre outros; Assim como é resultante também de novos processos de fabricação digital, notadamente através da impressão 3D (manufatura aditiva), que permite que as geometrias complexas da natureza sejam materializadas, sem grandes perdas ou sobras de materiais, ao contrário dos métodos de fabricação tradicionais, ratificando que a estratégia de criar artefatos utilizando inspirações da natureza também se reflete como um caminho promissor na colaboração de questões de sustentabilidade.

Referências

- ANDRADE, Mateus G. *Articulações: Análise de estruturas naturais e brinquedos como estudo de caso*. 2º Congresso Internacional de Pesquisa em Design, Rio de Janeiro, 2003.
- BONSIEPE, Gui. *Teoria e prática do design industrial: elementos para um manual crítico*. Lisbon: Centro Português de Design, 1992. 362 p.
- COELHO, Luiz Antonio Luzio (Org.). *Conceitos-chave em Design*. Rio de Janeiro: Editora PUC-Rio e Teresópolis: Editora Novas Idéias, 2008. 280p.
- DONDIS, Donis A. *Sintaxe da Linguagem Visual*. São Paulo: Martins Fontes, 1994.
- FULLER, Richard B. *Synergetics 2: Further explorations in the geometry of thinking*. New York: Macmillan, 1979.
- GHYCA, Matila. *The Geometry of Art and Life*. New York: Dover, 1977.
- HEMENWAY, Priya. *O código secreto: a fórmula misteriosa que governa a arte, a natureza e a ciência*. Koln: Evergreen, 2010.
- MIRANDA, José; ASSIS, Thiago; MOTA, Fernando; ANDRADE, Roberto; CASTILHO, Caio. *Geometria fractal: propriedades e características de fractais ideais*. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 30, n. 2, 2304 (2008).

PEARCE, Peter. *Structure in nature is a strategy for Design*. Cambridge: MIT Press, 1978.

SOARES, Theska L.F. *A biomimética e a geodésica de Buckminster Fuller: uma estratégia de Biodesign*. 2016. 286f. Dissertação (Mestrado em Design) – Programa de Pós-graduação em Design, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2016.

THOMPSON, D'arcy Wentworth. *On growth and form*. 1ªed., Cambridge, Cambridge University Press, 1961.

VASSÃO, C. A. *Metadesign: ferramentas, estratégias e ética para a complexidade*. São Paulo: Blucher, 2010.

VERSOS, Carlos. A.M. *Design biônico: A natureza como inspiração criativa*. Dissertação (Mestrado). 2010. 186p - Universidade da Beira Interior, Covilhã, Departamento de engenharia Eletromecânica.

WILSON, Jamal O. & ROSEN, David. *The effects of biological examples in idea generation*. Design Studies. n. 31 p. 169-186, Elsevier, 2010.