

O DESENHO COMO PROCESSO DE APLICAÇÃO DA BIOMIMÉTICA NA ARQUITETURA E NO DESIGN

Claudemilson dos SANTOS *

Resumo: Desenvolvimento de método de estudos dos sistemas naturais pelo desenho, visando compreender as soluções da natureza para situações análogas às encontradas no desenvolvimento de projetos de arquitetura e áreas afins. Biomimética é o nome que se dá para este processo de imitação da natureza. Apresenta-se o conceito da Biomimética através de exemplos que se utilizam desse princípio e seus diversos métodos de trabalho. Foi proposto o desenho de observação apoiado por uma matriz morfológica como instrumento de estudo de árvores para o estabelecimento de analogias com estruturas. Na discussão final, buscou-se determinar as implicações práticas desta pesquisa, no que diz respeito ao ensino e à prática da atividade projetiva criativa.

Palavras-chave: desenho de observação, arquitetura, Biomimética, sistemas naturais.

THE DRAWING AS PROCESS OF BIOMIMETICS APPLICATION IN ARCHITECTURE AND DESIGN

Abstract: development of studies method for the design of natural systems in order to understand the nature of solutions for situations similar to those found in the development of architectural projects and related areas. Biomimetics is the name given to this process of imitation of nature. It presents the concept of Biomimetics through examples that use this principle and its various working methods. It was proposed to design an observation

* Endereço eletrônico: claudemilson@fct.unesp.br - Professor do Departamento de Planejamento, Urbanismo e Ambiente da Universidade Estadual Paulista - Campus de Presidente Prudente.

supported by morphological matrix as a tool for the study of trees to establish analogies with structures. In the final discussion, attempted to determine the practical implications of this research, with regard to teaching and practice of projective creative activity

Keywords: drawing observation, architecture, Biomimetics, natural systems.

1. Introdução

Este trabalho é uma revisão teórica sobre a abrangência e as limitações da Biomimética aplicada à Arquitetura. Buscou-se, por meio de pesquisa bibliográfica, determinar os possíveis métodos de exploração das soluções da natureza, aplicáveis aos projetos arquitetônicos, através de modelos, teorias e exemplos.

A Biomimética, que no Brasil também é chamada de Biônica, vem demonstrando ser um caminho viável para solucionar problemas em diversas áreas, que vão da engenharia até a medicina, passando pela ciência dos materiais, fármacos, compostos químicos, ciência da computação, economia, entre outros. Na arquitetura, é um campo fértil para a pesquisa de estruturas, formas, materiais e uso da energia, entre outros. O termo Biomimética foi criado por Otto Herbert Schmitt, engenheiro biomédico da Universidade de Minnesota, em 1957, a quem também se atribui sua formulação como teoria. (VINCENT, 2006). Entretanto, desde longa data, a natureza vem servindo de referência para a construção dos mais diversos artefatos humanos.

Vincent (2006) relaciona dezenas de produtos considerados como ícones, no que diz respeito à inspiração na natureza, algumas datando de mais de três mil anos, quando os chineses propuseram uma pele artificial, depois passando pelos projetos de Leonardo Da Vinci para artefatos voadores, chegando até os exemplos contemporâneos. Talvez o exemplo mais clássico citado seja o Velcro, cuja criação foi claramente inspirada em sementes que se agarram aos animais para se dispersar na natureza.

1.1. Objetivos

O objetivo primeiro é validar o conceito de biomimética aplicado à arquitetura, através do estudo de árvores. Buscou-se idealizar uma experiência pela análise de algumas espécies brasileiras de árvores disponíveis no campus da Universidade Estadual Paulista em Presidente Prudente, pretendendo-se, ainda, realizar uma revisão bibliográfica e discussão teórica.

Ao adotar a Biomimética como método na busca por modelos para o desenvolvimento de soluções arquitetônicas, pretende-se realizar uma experiência que possa ser utilizada como exercício projetual nos cursos de arquitetura e design, e estimular a criatividade advinda da observação da natureza, o senso de valor estético das formas naturais, aliados à capacidade de raciocínio projetual apoiado pela representação gráfica.

2. Revisão bibliográfica

2.1. Conceito de biomimética

O termo biomimética vem do grego *bios*: vida; e *mimesis*: imitação. Pode-se afirmar que toda tecnologia desenvolvida pelo ser humano possui similar na natureza, desde as máquinas mais simples como a roda e a alavanca, até as máquinas mais sofisticadas, como computadores e aeronaves. Benyus (1997) descreve as abordagens dessa ciência da seguinte maneira:

- a. 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 [...].
- b. A natureza como medida. A biomimética usa um padrão ecológico para ajuizar a "correção" das nossas inovações. Após 3,8 bilhões de anos de evolução, a

natureza aprendeu: O que funciona. O que é apropriado. O que dura.

c. 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 (BENYUS, 2003).

Alguns estudiosos observam resistência em alguns setores com relação à Biomimética e à filosofia que a acompanha – a do design ambiental. Ao escolher essa prática, o pesquisador necessita sair do conforto da sua “área” e adotar uma visão multidisciplinar, o que não é aceito por setores mais conservadores e puristas. Esse quadro vem mudando nos últimos anos, mas muitos setores industriais preferem o modo tradicional de projeto e produção dos bens de consumo ao modo natural, baseado nos princípios da natureza, mais equilibrado e menos oneroso para o ambiente, a exemplo do modelo da pesquisa biomimética.

This sensitivity in the industrial community has spawned the field of design-for-the-environment, sometimes called green design, where the environmental consequences of design decisions is the primary concern. Unfortunately other members of the community hesitate to embrace this design philosophy. Instead they express concerns about the financial burden of implementing environmentally-sensitive philosophies and the potentially negative response of shareholders to lower profits; or they simply resist the suggested changes because they are considered to be a concept of limited long-term value, unworthy of attention. (THOMPSON, 1999)

Para que os princípios do design ambiental se cumpram, é necessário que todo o ciclo do produto seja avaliado, da extração da matéria prima até o descarte, passando pelo consumo de energia durante o uso e a operação. A biomimética não deve ser encarada como a solução para todos os problemas da humanidade e as principais críticas que sofre se devem a que nem sempre as soluções da humanidade foram inspiradas na natureza e que o desenvolvimento das soluções passam por uma complicada elaboração de engenharia.

Por exemplo, não foi exclusivamente imitando a natureza que o homem conseguiu inventar o avião. Nesse caso, inicialmente a natureza foi apenas inspiração e o estímulo ao desejo da humanidade de alçar voo. As primeiras tentativas fracassadas e totalmente equivocadas de produzir um objeto voador interpretavam a natureza ao pé da letra, tentando criar um equipamento que voasse pelo bater das asas, o que se mostrou ineficaz ao transportar tal conceito para a escala humana e para os materiais disponíveis. O aproveitamento da energia do combustível fóssil, o desenvolvimento de ligas metálicas, e demais mecanismos de controle não possuem inspiração direta na natureza, mas foram decisivos para o sucesso da invenção das aeronaves. O exemplo dos pássaros, em especial os que realizam voos de planeio, trazem noções importantes apenas para certos aspectos da dinâmica e equilíbrio do voo, rigidez e leveza estrutural.

O fato de que quase todos os mecanismos humanos possuem similares na natureza não significa que tenha havido influência direta dela; pode ter ocorrido simplesmente um desenvolvimento paralelo, e chegado às mesmas conclusões, graças à similaridade entre o método de projeto e a evolução da natureza. Um exemplo seria o mistério que cerca a invenção da roda, pois não há similar no reino animal e vegetal para uso de tal mecanismo. Apenas recentemente descobriu-se que alguns tipos de bactérias possuem flagelos com dispositivos rotativos semelhantes a rotores elétricos, mas tal conhecimento não estava disponível aos nossos ancestrais. O homem pode ter percebido a utilidade da roda de forma independente, observando pedras rolando morro abaixo e notando que as rochas mais roliças deslizavam com mais rapidez. Mas isso é apenas mera conjectura. Enfim, não podemos afirmar que todas as invenções humanas foram inspiradas na natureza, mas que o Homem adotou um processo de “projeto” muito semelhante ao processo de evolução da das espécies.

2.2. Metodologias

Um dos fatores que alimentam os argumentos dos opositores é que a Biomimética ainda permanece como uma ciência empírica, carente de metodologia consolidada. Não é fácil a tradução dos sistemas naturais para o tecnológico e o desenvolvimento das soluções vai muito além de uma simples inspiração. Algumas iniciativas estão sendo desenvolvidas no sentido de estabelecer um programa sólido que ajude a realizar esta tarefa e tornar a Biomimética uma prática mais difundida e aceita.

No general approach has been developed for biomimetics, although a number of people are currently developing methods for searching biological literature for functional analogies to implement. We think that this is only part of the required framework. Although it is well known that design and engineering are rendered much easier with use of theory, in biomimetics, every time we need to design a new technical system we have to start afresh, trying and testing various biological systems as potential prototypes and striving to make some adapted engineered version of the biomimetic device which we are trying to create. Additionally, the transfer of a concept or mechanism from living to nonliving systems is not trivial. A simple and direct replica of the biological prototype is rarely successful, even if it is possible with current technology. Some form or procedure of interpretation or translation from biology to technology is required. (VINCENT, 2006).

Ainda segundo Vincent (2006), o método que melhor se adequa à abordagem Biomimética e que vem sendo utilizada com frequência cada vez maior, é o TRIZ (Teoriya Resheniya Izobretatel'skikh Zadach) que, em Português, significa “Teoria para Resolução de Problemas Inventivos”, embora não tenha sido desenvolvido especialmente para essa finalidade. Tal método consiste em uma matriz heurística que facilita a transferência de soluções de uma área específica para outra situação similar.

Outras metodologias têm sido propostas para sistematizar o processo de imitação da natureza. O “Biomimicry Institute” propõe um método específico para tratar os assuntos inspirados na forma geométrica da espiral logarítmica, que se desenvolve por ciclos contínuos e repetidos, aumentando em complexidade conforme as etapas avançam. O processo pode ser visualizado na figura 1.

A própria espiral é uma referência a uma forma recorrente na natureza, como conchas de moluscos, pétalas de algumas flores, até mesmo a forma de galáxias. Esta forma representa um movimento cíclico e ordenado que parte da unidade mais simples em direção a uma multiplicidade complexa.

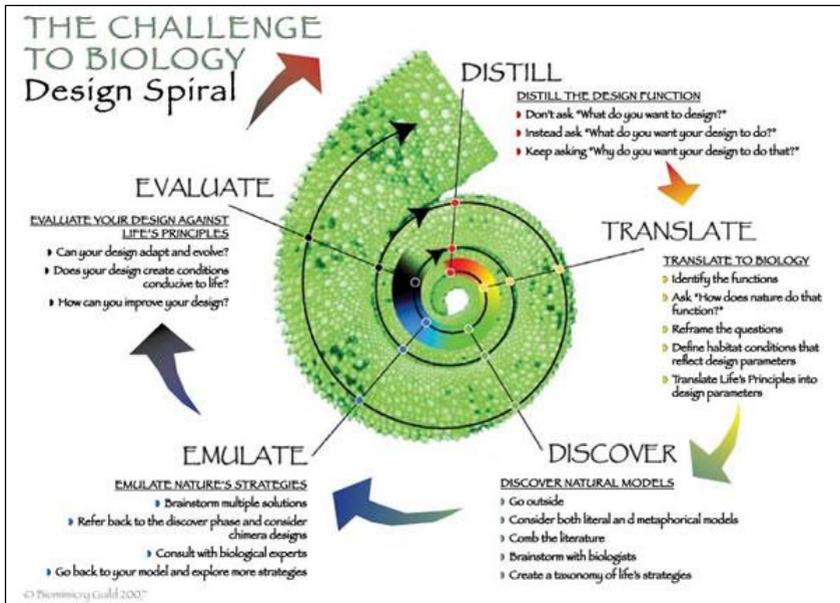


Figura 1: Espiral de desenvolvimento. Fonte:

<http://www.biomimicryinstitute.org/about-us/biomimicry-a-tool-for-innovation.html>

Quanto à abordagem, a pesquisa em Biomimética pode ser classificada de duas maneiras:

[...], projetos em biônica podem ser desenvolvidos de duas formas: "top down, onde o problema define a pesquisa, e botton up, onde a observação de uma determinada forma, método ou processo existente na natureza é transformado em um banco de dados que pode ser usado para gerar um produto potencial (FOLZ apud BARBOSA 2008).

Na arquitetura e no *design*, a pesquisa tende a ser *top down*, ou seja, relacionam--se os problemas que devem ser enfrentados e buscam-se soluções similares na natureza. Segundo Bahamón (2006):

[...] la observación de la naturaleza y la experimentación han sido métodos de enorme utilidad para el diseño de formas arquitectónicas. Desde construcciones vernáculas hasta las obras de importantes arquitectos, siempre han existido reinterpretaciones de formas naturales aplicadas al mundo de la arquitectura (BAHAMÓN, 2006).

Embora o meio científico requeira um processo em que haja relação de causa e efeito, em algumas situações uma simples analogia resulta em bons resultados. O processo criativo, assim denominado, pode ser conduzido não apenas para se imitar processos naturais similares, mas também para revelar equivalências de relações, materiais, funções e forma.

Jones (1976) estabelece um processo denominado “Matriz Morfológica”, para estudos de funções desejadas em relação à forma de atendê-las durante o processo de desenvolvimento de produtos. Outros autores como Gui Bonsiepe e Gustavo Amarante Bomfim também se utilizam esta denominação para descrever essa ferramenta no campo do *design* de produtos. Essa matriz foi adaptada para analisar espécies arbóreas, de modo a favorecer o reconhecimento dos mecanismos naturais que podem ser incorporados pelos produtos artificiais, método mais adequado, quando se buscam analogias.

O desenho de observação como um instrumento de análise, permite ao interessado que desenvolva maior atenção aos detalhes e, portanto, maior compreensão deles, os quais, normalmente, passam despercebidos pela maioria das pessoas. Com o uso da Matriz Morfológica, a leitura que se faz do objeto é pormenorizada e imediatamente memorizada, tornando-se um importante instrumento de estudo.

2.3 O método da Natureza

A Natureza possui sua própria “metodologia de projeto”. Observando-se como a Natureza opera na criação de espécies vegetais e animais, podemos transpor este método para a criação dos nossos próprios objetos. Segundo Benyus (1997), os “critérios” presentes na natureza, observados nos seres vivos mais adaptados, podem servir de base para o desenvolvimento de produtos sustentáveis:

Funciona com energia solar?
 Usa apenas a energia que precisa?
 Adapta a forma à função?
 Recicla tudo?
 Recompensa a cooperação?
 Apóia-se na diversidade?
 Funciona com base em especialização autóctone?
 Impede excessos de dentro para fora?
 Explora o poder dos próprios limites?
 É bonito? (BENYUS, 1997)

Estes critérios estão presentes em quase todos os seres que se encontram em equilíbrio com o seu meio, mas, como a natureza chegou a esses resultados? Em 1859, Charles Darwin demonstrou como os organismos vivos evoluem pela força da adaptação ao seu meio. A teoria da evolução pela seleção natural pode ser comparada à metodologia de desenvolvimento de produtos. Segundo Bahamón (2006), “[...] no existe mejor laboratorio experimental que una evolución de siglos, ni mejor garante de eficacia que la adaptabilidad de ciertas formas naturales a su entorno”. A natureza levou cerca de 3,8 bilhões de anos para moldar toda forma de vida existente, do menor ao maior ser vivo, cuja maior prova do sucesso adaptativo ao meio é simplesmente o fato de existir. Assim, o método para criar objetos também pode ser inspirado no “método” da natureza.

A tecnologia evolui através de um processo muito semelhante ao natural, "A própria cultura evolui. Os idiomas evoluem, os aviões evoluem, a música evolui, a matemática evolui, [...] e o modo que as criações humanas mudam com o tempo espelha a evolução biológica [...]" (ZIMMER, 2004, p. 485).

Baudrillard (2000), ao tentar obter um modo de definir os objetos, afirma que

A civilização urbana vê sucederem-se, em ritmo acelerado, gerações de produtos [...] frente aos quais o homem parece uma espécie particularmente estável. Tal

abundância, caso se reflita a respeito, não é mais estranha do que a das numeráveis espécies naturais" (BAUDRILLARD, 2000, p. 9).

Assim, os objetos podem ser definidos como espécies em contínua transformação, em que até mesmo seu próprio conceito evolui.

A síntese moderna da teoria da evolução vem ganhando espaço como base interpretativa em diversos campos do conhecimento, como a psicologia, medicina e outras ciências. Segundo Wright (1996), "a nova síntese darwiniana é, como a física quântica ou a biologia molecular, um corpus de teoria científica e fatos observáveis; mas, ao contrário dos anteriores, é também uma maneira de ver a vida cotidiana." Não somente como uma maneira de ver, mas de conhecer aspectos relacionados à maneira como criamos nossos objetos e nos relacionamos com eles, no passado e, por que não, no futuro. No campo da Ciência da computação, surgiram os algoritmos genéticos, claramente inspirados na teoria da evolução, em que programas sofrem mutações aleatórias e passam por um processo de seleção, idêntico aos seres vivos.

Algoritmos Genéticos (GAs-Genetic Algorithms) constituem uma técnica de busca e otimização, altamente paralela, inspirada no princípio Darwiniano de seleção natural e reprodução genética. Os princípios da natureza nos quais os GAs se inspiram são simples. De acordo com a teoria de C. Darwin, o princípio de seleção privilegia os indivíduos mais aptos com maior longevidade e, portanto, com maior probabilidade de reprodução. indivíduos com mais descendentes têm mais chance de perpetuarem seus códigos genéticos nas próximas gerações. Tais códigos genéticos constituem a identidade de cada indivíduo e estão representados nos cromossomas. Estes princípios são imitados na construção de algoritmos computacionais que buscam uma melhor solução para um determinado problema, através da evolução de populações de soluções codificadas através de cromossomas artificiais. (PACHECO, 1999).

Mesmo correndo o risco de ser impreciso, por resumir excessivamente um processo complexo, é preciso apresentar, primeiramente, os princípios da evolução por seleção natural, muito conhecida nas ciências biológicas, pois ainda existem muitas ideias equivocadas a seu respeito. Em poucas palavras, as espécies evoluem porque sofrem mutações e adaptações a cada geração, estas mutações são transmitidas à prole e as características vantajosas são selecionadas pelas condições ambientais. Ou seja, não necessariamente os mais fortes sobrevivem até obter o sucesso reprodutivo, mas sim, os organismos mais adaptáveis às condições do meio ambiente.

2.3.1. Teoria da evolução aplicada aos objetos

A evolução dos objetos utilizados pelo homem também se desenvolve por um processo semelhante ao natural. De uma geração para outra, são realizadas alterações diversas e os objetos, ou suas características de maior sucesso, tendem a permanecer em uso corrente. (figura 2). A variabilidade de materiais e técnicas de fabricação interfere na forma final dos objetos. Esses fatores também sofrem alterações de acordo com o avanço da ciência e da tecnologia. Ou seja, a tecnologia evolui à medida que a ciência se transforma, o que resulta em "mutações" nos objetos.

Assim, os objetos podem ser considerados uma extensão da evolução biológica, pois surgiram para compensar limitações físicas da espécie humana, e estão sujeitos às mesmas regras da evolução natural. Porém, observa-se que a velocidade das transformações cresce num ritmo exponencial, pois possui um ciclo que não depende de sucessivas gerações para acumular mutações, e a transmissão de características segue regras bem mais flexíveis. A evolução cultural e tecnológica acontece por um processo mais parecido com o lamarckiano, ou seja, as características aprendidas durante a vida podem ser transmitidas aos demais, sem necessitar do longo processo de mutação aleatória e transmissão hereditária, acontecendo, portanto, num ritmo muito mais acelerado.

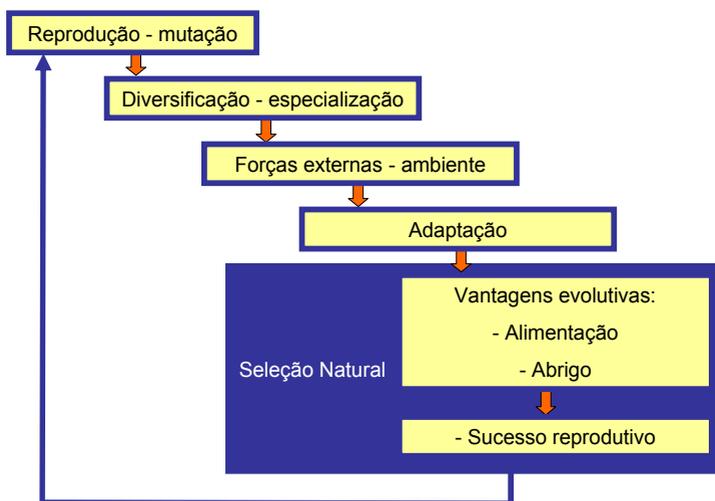


Figura 2: Esquema da teoria da evolução. Autoria própria.

2.3.2 Gerando diversidade

Os organismos variam e essas variações são herdadas pelos descendentes. Esse fato é observado em todo ser vivo, pois não existe um ser que seja a cópia idêntica de outro. Pequenas variações podem se tornar predominantes ao longo do tempo, ou simplesmente desaparecer. Uma árvore pode gerar a cada ano milhares de sementes, uma pequena parcela encontrará condições de germinar e uma parcela menor ainda conseguirá chegar à idade reprodutiva. Ou seja, os organismos produzem mais descendentes do que aqueles que podem sobreviver. Forçosamente, sobreviverão aqueles que forem mais adaptados ao meio onde estiverem (GOULD, 1999).

Na produção dos objetos artesanais ou manufaturados, nota-se grande diversidade de formas a cada novo produto produzido. Pequenas diferenças podem ter originado outras categorias de objetos num processo semelhante ao natural, mas num espaço de tempo muito mais curto. Assim, num processo cumulativo algumas dezenas de milhares de anos, uma simples pedra lascada, por exemplo, deu origem à enorme diversidade de facas, canivetes, machados, espadas e lanças (figura 3).



Figura 3: A diversidade é um atributo da teoria da evolução aplicável aos objetos.

A maioria dos objetos é desenvolvida a partir de objetos anteriores, mas também é frequente o surgimento de novas categorias de objetos totalmente novos, apenas aproveitando-se de mecanismos existentes, ou, para usar o termo cunhado por Baudrillard, os *tecnemas* existentes.

[...] A tecnologia conta-nos uma história rigorosa dos objetos, onde os antagonismos funcionais se resolvem dialeticamente em estruturas mais amplas. Cada transição de um sistema para outro melhor integrado, cada comutação no interior de um sistema já estruturado, cada síntese das funções faz surgir um sentido, uma pertinência objetiva independente dos indivíduos que a utilizarão: achamo-nos aí no nível de uma língua; por analogia com os fenômenos da Lingüística, poderíamos chamar "tecnemas" a esses elementos técnicos simples - diferente dos objetos reais -

cujo jogo fundamenta a evolução tecnológica (BAUDRILLARD, 2000).

Os tecnemas podem se transmitir de um objeto a outro, assim como os genes, memes, fonemas e outros elementos básicos de todo sistema evolutivo; e, portanto, podem contribuir para a evolução dos objetos como um todo. Ao contrário de Baudrillard, que nega a possibilidade de estudar os tecnemas como elementos isolados, através da aplicação da teoria darwinista estes estudos poderiam ser viabilizados, tal qual o estudo do DNA em organismo biológicos.

O pensamento criativo também segue o mesmo princípio de geração de diversidade. Ao pensarmos num problema, várias soluções são geradas mentalmente, antes que algumas poucas sejam comunicadas. Ou seja, as idéias também sofrem um tipo de seleção.

2.3.3. Processo de adaptação

As condições ambientais também sofrem contínuas variações. Se forem lentas o suficiente, os organismos podem se adaptar e a diversidade de espécies tende a se estabilizar. Porém, em alguns momentos, as transformações são rápidas e imprevisíveis. As espécies são obrigadas a se adaptar mais rapidamente e o processo de seleção natural acontece mais drasticamente. Qualquer vantagem tende a ser decisiva para a sobrevivência e para o sucesso reprodutivo. A diversidade tende a decrescer, pois muitas espécies que não conseguem se adaptar acabam extintas. Os organismos mais adaptáveis têm maior tendência a obter sucesso reprodutivo, portanto, as características herdadas favoráveis tendem a permanecer por várias gerações.

Um dos princípios mais propagados pela Ergonomia, ciência que estuda o fator humano no projeto de objetos, é o de que as máquinas devem se adaptar ao homem e não o contrário. (ILDA, 1998). De fato, desde o primeiro instrumento criado pelo homem, observa-se a tentativa de moldar a forma do objeto ao tamanho e à forma da própria mão, de modo que manuseá-lo seja mais confortável, preciso e eficiente.

No período paleolítico, um lítico lascado que produzisse ferimentos ao ser utilizado, ou que não realizasse os cortes da maneira

desejada, certamente seria reajustado ou deixaria de ser usado como objeto. Assim, adaptamos constantemente os objetos, de modo a produzirem maior eficiência, conforto e outras qualidades; posteriormente, transmitimos aos nossos descendentes o conhecimento necessário para não cometerem os mesmo erros, mas reproduzirem os acertos, concretizando o processo de evolução por seleção natural.

Löbach (2000, p.14) chega a colocar em termos parecido o próprio conceito de *design*, posicionando o designer como defensor dos interesses do usuário. Define que o "design é o processo de adaptação do ambiente 'artificial' às necessidades físicas e psíquicas dos homens na sociedade." Esse processo se repete desde a alvorada da tecnologia até os dias atuais.

Os automóveis, por exemplo, são adaptados ao nosso tamanho e proporcionam conforto, mas nem sempre foi assim. Foi necessário quase meio século para que os projetos se desvinculassem das carroças de tração animal que os inspiraram no início.

O processo ainda não terminou, pois ainda não dá para afirmar que o automóvel seja uma máquina completamente adaptada aos humanos. Sua operação não é intuitiva, exige um processamento cognitivo complexo que deve ser aprendido e praticado; a escala de velocidade que pode alcançar não tem comparativo com outros meios de transporte ancestrais e os humanos não aprenderam a lidar com a percepção do risco em alta velocidade, o que é demonstrado pelas estatísticas de acidentes de trânsito.

2.3.4. Forças selecionadoras

As forças selecionadoras são muito diversas, podendo ser: disponibilidade de alimento, relação presa *versus* predador, processo de acasalamento, mudanças ambientais, entre tantas outras. O ser humano pode ser tratado como uma das forças selecionadoras de espécies animais e vegetais com que se relacionam, influenciando no surgimento de novas espécies ou causando a extinção de outras. As diversas raças de gado, cães, aves ornamentais e outros animais de criação só existem por força da seleção artificial das características úteis aos seres humanos, em ambiente isolado do natural, aliado à hibridização forçada entre espécies similares. Nesse sentido, é possível afirmar que são espécies projetadas pelo homem.

Assim como na natureza, as forças selecionadoras que agem nos objetos podem ser de ordem econômica, ambiental ou cultural, porém fatores imprevisíveis costumam surgir frequentemente. Em suma, nos objetos criados pelo homem, as forças selecionadoras são o somatório de interesses em torno do objeto. No campo da ergonomia, podem-se considerar conforto, segurança, usabilidade e adaptabilidade como tal. A questão econômica faz com que se otimizem processos construtivos e se utilize material acessível. O fator cultural pode valer-se de simbologias, elementos estéticos ou da moda para produzir diversidade competitiva e conquistar a preferência do consumidor.

O processo de mutação natural não se antecipa às forças selecionadoras durante a reprodução, é um processo aleatório e regido pelo acaso. As formas de vida são expostas às forças selecionadoras posteriormente, ao contrário dos artefatos humanos, que são submetidos às forças selecionadoras positivamente e ainda durante sua existência no plano mental, podendo sofrer reações e novas mutações, ainda durante o processo de criação, direcionadas, especialmente, para atender aos interesses dos fatores “selecionadores”. Assim, novas espécies de objetos surgem, após a seleção dos elementos mais vantajosos e promissores, num processo contínuo.

Embora a metodologia esteja implícita nos processos descritos acima, será dada, a seguir, maior ênfase a alguns aspectos do método de *design* e do processo criativo humano em relação aos processos naturais. Existem inúmeros métodos de desenvolvimento de produtos, mas todos derivam de uma mesma estruturação lógica. De acordo com Löbach (2000), o trabalho projetual pode ser dividido em quatro fases, adotadas, aqui, como base comparativa ao processo de evolução natural.

2.3.5. Fase de preparação

Processo em se toma conhecimento do problema, das necessidades e dos interesses. São analisados todos os aspectos que podem influenciar as decisões e contribuir para a configuração resultante do processo. No ambiente natural, equivale ao somatório dos fatores ambientais existentes ou futuros, muitos deles imprevisíveis, que se relacionarão com o organismo.

2.3.6 Fase da geração

É a etapa de produção de idéias em grande diversidade de princípios, sem preocupação excessiva com as restrições, de forma *quase* aleatória. A maneira com que a mente opera nessa fase é variada e não totalmente conhecida, mas alguns processos foram identificados. Consiste na livre associação de ideias, a princípio com elevado grau de liberdade e, posteriormente, uma escolha sistemática. Um confronto hipotético entre a criação e o ambiente real é realizado ainda no plano mental, na tentativa de antecipar possíveis problemas ou falhas, como rejeição parcial ou total, assim como possíveis acertos. Há ainda um elevado grau de incerteza.

A evolução natural também possui a fase de produção de diversidade, mas é um processo aleatório, não direcionado à resolução dos problemas. E não poderia ser diferente, a matéria orgânica apenas reage a uma situação instantânea e não possui consciência de futuro; em suma, age por tentativa e erro. Se desconsiderarmos o tempo, o processo natural é semelhante ao humano, que pode ocorrer num pequeno lapso de tempo, ou demorar vários anos, dependendo da complexidade do objeto. Entretanto, a principal diferença reside no fato de que nossa criatividade não é totalmente aleatória, ocorrendo com uma direção específica, permitindo-nos simular mentalmente efeitos futuros antes mesmo de o objeto existir no mundo real.

2.3.7 Avaliação das alternativas

É a consequência natural do processo anterior, porém de forma sistemática. As possíveis soluções são confrontadas com os requisitos do projeto e as propostas mais promissoras são selecionadas. Pode-se dizer que tais requisitos equivalem às forças selecionadoras da natureza e, portanto, algumas são imprevisíveis ou imensuráveis. Enquanto o objeto permanece em desenvolvimento, as forças selecionadoras agem apenas por suposição; quanto maior for o conhecimento dessas forças, mais adequado será o objeto. No entanto, as condições reais de uso é que provocarão a seleção definitiva das características desejáveis.

Portanto, a fase de avaliação permanece durante as outras fases do ciclo do produto, passando por contínuas transformações e adaptações, pois

não se tem total domínio sobre o destino final dos objetos. Deve-se esperar um certo grau de adaptação posterior ao projeto, independente da vontade do projetista, pois apenas um protótipo utilizado em situação real poderá dirimir as incertezas sobre a aceitação e utilização verdadeira do objeto.

2.3.8. Realização da solução do problema

É a fase de materialização da idéia em produto, em que são estabelecidos os materiais construtivos, os processos de produção, os meios de distribuição e outras questões práticas. Embora tais elementos já devam ter sido considerados em fases anteriores, nesse momento se concretizam em ações, e o objeto é confrontado com a situação para o qual foi planejado.

A natureza opera de maneira diferente, já que não existe separação da atividade de criação e fabricação. As moléculas, ao se reproduzirem, estão, na verdade, recriando--se conforme programado pelo organismo matricial e utilizando-se, para tanto, apenas da matéria e energia disponíveis localmente.

Assim, a Biomimética é utilizada nesse contexto para basear a metodologia de projeto de produtos no “método” da natureza, descrito por Charles Darwin, como também para se observar os objetos já experimentados ao longo dos séculos para solucionar os problemas tecnológicos e os desafios adaptativos contemporâneos.

2.4. A representação gráfica como instrumento de análise.

O desenho é a primeira materialização do objeto, é o divisor de águas entre a imaginação e a realidade, sendo, portanto, um potencial de objeto. Assim, a evolução dos objetos reflete nossa capacidade de representá-los. O desenho tem sido parte integrante do processo de concepção e produção de todo projeto. As transformações pelas quais passou o pensamento projetual, iniciadas no século XIII, com a transição do meio natural para o técnico e, posteriormente, para o tecnológico informatizado, refletem o avanço da técnica, sempre amparado pelas diversas formas de representação gráfica.

Desde a Grécia antiga até os dias atuais, passando pelos períodos do Renascimento, da Revolução Industrial e da Bauhaus, o desenho se mostra como uma das principais ferramentas de desenvolvimento de todo tipo de projeto construtivo. Não é exagero antecipar que o uso de tecnologias computacionais, como a realidade virtual, para projetar os objetos, irá revolucionar esse processo.

2.4.1 Desenho e tecnologia

Os primeiros desenhos elaborados com o intuito de planejamento e antecipação de uma construção nasceram com os trabalhos de arquitetura e engenharia. As primeiras evidências datam de 2450 a.C., na região da antiga Babilônia e, mais tarde, no antigo Egito e na Grécia, o que pode explicar as grandiosas obras arquitetônicas, dos templos às fortificações. Devido à complexidade desse tipo de obra, fica difícil acreditar que elas tenham sido realizadas sem qualquer estudo prévio, através de desenhos e maquetes, embora não tenham sido encontrados, até hoje, quaisquer vestígios de tais desenhos, com exceção da estátua de Gudea, na Babilônia.

Algumas maquetes de construção egípcias (figuras 04 e 05) estão expostas no museu do Louvre, em Paris, mas não se sabe ao certo se a finalidade delas era recreação para crianças ou atividade de planejamento de construções. Zocco atribui o fato à aversão pelas “ciências aplicadas” daquele período clássico. Plutarco chegou a considerar Arquimedes e seus seguidores “culpados por converter a magnífica e imaterial ciência da geometria no mundo corrupto do trabalho mecânico”.

Os romanos herdaram as técnicas construtivas dos gregos, que espalharam por diversas regiões do mundo antigo e, embora a ciência tenha se desenvolvido em outros continentes, não se tem muitos registros de desenvolvimento tecnológico associado ao desenho na Europa, durante o período da Idade Média. Nesse período, as obras e artefatos eram produzidos por artesãos, pedreiros e carpinteiros, cujo conhecimento era transmitido do mestre para o aprendiz, oralmente, sem

que se fizesse uso de escolas especializadas, nem de qualquer registro escrito ou desenhado.



Figura 4: Maquetes egípcias de construções, museu do Louvre. Fonte: autor



Figura 5: Maquetes em argila de edificações egípcias, museu do Louvre. Fonte: autor.

2.4.2. Renascimento

Ao final da Idade Média, alguns artesãos passaram a realizar pequenos esboços das suas ideias em pequenos papéis, pedaços de madeira, ou em placas de barro, o que foi considerado uma inovação e representou um avanço para a época, marcando o início de uma nova cultura tecnológica. No século XI, os “pedreiros e carpinteiros” mais dotados construíram esplêndidas catedrais, porém com métodos arcaicos. Existem registros dessa época em tetos arqueados, onde são evidentes especificações prévias de detalhes e cálculos técnicos utilizados posteriormente, em sua construção. Surge, então, o uso do desenho caracterizando por antecipação, o objeto representado. Um dos precursores desta cultura foi Villard de Honnecourt, por volta de 1245.

A introdução da perspectiva deu-se de forma intuitiva pelo pintor florentino Giotto di Bondane (1266-1337). Durante o período do Renascimento, diversos nomes como Leon Baptista Alberti (1436) Filippo Brunelleschi (1377-1440) e Piero della Francesca (1420-1492), entre outros, foram os responsáveis pela formulação da técnica da perspectiva que dominou a pintura até o século XX. Já se mostrava, naquela época, o sentido de simular a realidade, antecipando todos os problemas construtivos e técnicos, advindos da sua execução, bem como a comunicação para terceiros das ideias e dos planos de construção.

A difusão de ideias, conhecimentos e inovações tornaram-se constantes, graças à enorme quantidade de publicações e escolas, o que provocou uma aceleração contínua no progresso científico e técnico. Por deixar uma grande quantidade de registros científicos, Leonardo da Vinci (1452-1519) tornou-se figura de destaque do período do Renascimento. Leonardo fazia com que se entendessem suas mais ousadas intenções de forma inequívoca e exata. Também é possível notar outro aspecto nos desenhos de Leonardo – a sua utilização como ferramenta para o raciocínio projetual e também como extensão da memória de curto prazo.

2.4.3 Revolução Industrial

O início do século XVIII foi marcado por um desenvolvimento acelerado da ciência e da tecnologia. As primeiras máquinas a vapor tiveram

influência do desenho arquitetônico, pois apresentavam elementos que lembram colunas Dóricas e Jônicas na tentativa de adorná-las. Nesse período, o uso crescente de novos materiais e o desenvolvimento da indústria e da ciência alteraram totalmente as relações profissionais na elaboração de projetos. O aumento da complexidade dos artefatos, com a inclusão da força motriz do vapor, tornou essencial o uso de um meio mais preciso e de se representar os projetos.

A Escola Politécnica da França (1791), pioneira na formação de engenheiros, garantiu a capacitação de profissionais para atuar naquele mercado emergente, mas, principalmente, para servir aos propósitos militares de Napoleão Bonaparte. Nessa escola, em 1796, Gaspard Monge sistematizou a Geometria Descritiva e iniciou uma nova maneira de comunicar e apresentar os objetos. A necessidade de manufaturar peças intercambiáveis, a introdução do método de reprodução conhecido por *blueprinting* e a economia proporcionada pelos desenhos, que dispensavam a construção de inúmeros modelos, foram os fatores que contribuíram para a solidificação da prática de execução de desenhos durante o projeto.

Assim como a Revolução Industrial disseminou a divisão do trabalho, a atividade de projeto também sofreu uma modificação, surgindo a profissão do desenhista e do engenheiro e a divisão entre projeto e execução, ou seja, a separação definitiva entre arte e o artesanato. O desenho simulava perfeitamente o objeto real e proporcionava a antecipação do seu funcionamento. Os artefatos poderiam ser fabricados por qualquer operário em qualquer local, embora a interpretação dos desenhos em projeções ortogonais necessitasse de treino, além de não ser muito fácil e intuitiva.

Outra aplicação para o desenho técnico, não menos importante, é a documentação. Por seu caráter comercial, os desenhos precisavam ser protegidos nos seus mínimos detalhes contra cópias ilegais. Aliás, também era a garantia da confecção exata dos equipamentos, minuciosamente, em qualquer lugar com condições técnicas suficientes.

O desenho técnico teve papel fundamental na elaboração de padrões e normas, para o registro de patentes dos inventos, a documentação dos projetos, entre outros, tornando possível a proliferação da tecnologia por toda a Europa e também para a América, incluindo a criação de padrões internacionais que garantiram a intercambiabilidade e a reprodutibilidade.

2.4.4. A Bauhaus

Paralelamente ao desenvolvimento da Engenharia e da Arquitetura, uma reforma na formação artística começou a surgir em meados do século XIX, que ficou conhecida como o movimento Artes e Ofícios. Surgiu da consciência da necessidade de se promover a educação estética dos produtores e, ao mesmo tempo, elevar o artesanato ao status de arte para recuperar sua posição de mercado, ameaçado pelos produtos produzidos mecanicamente. A (re) união da arte e artesanato e sua inclusão no processo mecânico de produção foram aspectos negligenciados nas tradicionais academias de ensino, ao contrário da Escola de Artes e Indústria, fundada na Alemanha, em 1868, onde se pregava a primazia do arquiteto como mestre encarregado de influir na elevação da arte industrial.

Nas aulas dessa escola, buscava-se uma interpretação do livre aspecto artístico e da finalidade condicionada na produção de um objeto que atendesse a uma necessidade concreta, ou seja, uma junção do belo ao necessário. A escola que mais se aproximou dessa síntese foi a Bauhaus, fundada por Walter Gropius, em 1919, a qual, entre diversos aspectos pedagógicos, destaca o resgate do artesanato através da formação em oficinas. A Bauhaus teve profunda influência na estética do objeto industrial e na arquitetura, fazendo-se sentir até os dias atuais. Foi responsável pela criação e difusão do termo Design para nomear a atividade de configuração dos objetos industriais e dos meios de comunicação.

No decorrer do século XX, a atividade de projeto foi definitivamente atrelada ao desenho e, rapidamente, chegou-se a um patamar de desenvolvimento semelhante ao atual, principalmente pela padronização nacional e internacional com o surgimento de normas específicas para desenho. Portanto, os desenhos de engenharia passaram a conter um elevado grau de abstração com a inclusão de diversos tipos de simbologia, que somente “iniciados” em desenho técnico poderiam entender. Dessa forma, os desenhos de projetos que necessitavam transitar por setores nos quais não se conheciam os códigos específicos, nem mesmo o processo de projeções ortogonais, passaram a ser desenvolvidos com características realistas. Houve um retorno aos processos de desenho anteriores à Revolução Industrial, passando a existir como uma nova categoria de desenhos de projetos – os desenhos de apresentação.

A perspectiva realista, ilustrações técnicas, “renderings” e outras formas de apresentação de projetos, passaram a fazer parte do cotidiano

dos designers, cujos desenhos de apresentação eram elaborados para se comunicar de forma mais fiel e convincente possível, o conceito do produto que se estava desenvolvendo. Técnicas artísticas eram utilizadas para aumentar a expressividade do desenho e o poder de convencimento. Entretanto, para que não houvesse ambiguidade na interpretação das formas, foram também utilizados os métodos de projeção ortogonal acrescido de aspectos volumétricos através da aplicação de sombras e texturas.

Somente nos anos 70, é que uma nova revolução nas técnicas de desenho começou a se formar, com o advento dos programas de computador voltados à execução dos desenhos. A princípio, o maior auxílio do computador foi no sentido de automatizar tarefas repetitivas, facilitar modificações e organizar projetos. Essa ferramenta também torna o processo de construção geométrica das formas muito mais fácil, acelera o ciclo de projeto, uma vez que unifica o processo de projeto, aumenta a precisão dos desenhos, facilita a transmissão de informações entre os diversos setores envolvidos no projeto, capacita os projetistas a imaginarem objetos mais complexos, entre outros fatores positivos.

2.5. Metodologia de projeto e o desenho

Após a separação entre a concepção e a produção dos produtos, ocorrida durante a Revolução Industrial, passou a existir com maior ênfase a profissão de engenheiro e de desenhista, surgindo, também, práticas consagradas de desenvolvimento de projetos. Porém, somente no decorrer do século XX, a atividade de desenvolvimento de projetos se sofisticou, passando a incorporar conhecimentos científicos e a utilizar métodos científicos na resolução de problemas de projeto, motivado principalmente pelo avanço da técnica e pelo aumento da complexidade dos produtos. A Bauhaus foi a primeira escola que enfrentou, metodologicamente, os problemas de projeto. Nomes como Josef Alberts, Hannes Meyer e Marcel Breuer, consideravam o resultado de seus trabalhos como produto dos métodos de trabalho.

Os métodos de projeto posteriores foram possíveis, em grande parte, devido às técnicas e ferramentas desenvolvidas com finalidades logísticas na II Guerra Mundial, que, aos poucos, foram se adaptando a usos civis. Tecnologias como informática, cibernética, a investigação das

operações e a teoria dos sistemas, passaram a fazer parte dos métodos de projeto e por volta da década de 60, os estudos sobre metodologia de projeto se consolidaram.

Muitos autores já desenvolveram estudos diversos em Metodologia de Design, gerando uma grande multiplicidade de métodos, técnicas e procedimentos para projetos. Os métodos existentes podem variar quanto ao tipo de projeto, escola de pensamento, contexto histórico, entre outros fatores. Contudo, todos os métodos consideram procedimentos baseados em métodos científicos, onde predomina o pensamento racionalista e o processo de redução da complexidade. Assim, o fio condutor da metodologia clássica é o pensamento cartesiano. Pérez sintetiza o conceito de metodologia como

[...] um esforço para exteriorizar de maneira gráfica ou literária o processo de projeto, em função de: uma verificação e controle do processo em cada etapa, um estímulo constante à intuição criadora e a ordenação das necessidades contemporâneas do trabalho em equipe (BAHAMÓN; PÉREZ, 2007).

Segundo Löbach (2000), o processo de design é tanto um processo criativo como processo de solução de problemas. São reunidas todas as informações sobre o problema, analisadas e relacionadas criativamente entre si. Criam-se em seguida, alternativas de soluções para o problema, que são julgadas segundo critérios estabelecidos. Por último, desenvolve-se a alternativa mais adequada. Todo esse processo pode ser dividido em quatro fases distintas, embora, na prática, elas ocorram simultaneamente, com constantes avanços e retrocessos. O quadro 1 mostra as etapas descritas por Löbach, em comparação às formas de representação gráfica, que serão detalhadas em seguida.

2.5.1 O desenho no projeto

A maioria dos autores coloca o desenho como atividade secundária no desenvolvimento de projetos, remetendo-o a apenas a algumas das etapas da metodologia. Todas as metodologias indicam as etapas a cumprir, mas poucos autores especificam como as etapas podem ser efetuadas. O

desenho pode ser o meio de efetivar todas as etapas da metodologia com eficiência, rapidez, precisão e a um custo baixo. Bonsiepe atribui ao desenho, um papel importante no processo projetual, relacionando todas as etapas de um projeto ao desenho.

Etapas da metodologia	Tipos de desenho
<p>- Análise do problema</p> <p>Conhecimento do problema</p> <p>Coleta de informações</p> <p>Análise das informações</p> <p>Definição do problema, clarificação do problema, definição de objetivos</p>	<p>Desenho analítico</p> <p>Análises da necessidade, da relação social (homem-produto), da relação com ambiente (produto-ambiente), da função (funções práticas), estrutural (estrutura de construção), da configuração (funções estéticas), de patentes, legislação e normas, de sistemas de produto.</p> <p>Descrição das características do novo produto</p>
<p>2- Alternativas do problema</p> <p>Escolha dos métodos de solucionar problemas, Produção de idéias, geração de alternativas</p>	<p>Desenho criativo</p> <p>Conceitos de design, alternativas de solução, esboço de idéias, construção de modelos</p>
<p>3- Avaliação das alternativas do problema</p> <p>Exame das alternativas</p> <p>Processo de avaliação</p>	<p>Desenho como suporte para o raciocínio e extensão da memória</p> <p>Escolha da melhor solução, incorporação das características ao novo produto</p>
<p>4- Realização da solução do problema</p> <p>Realização da solução do problema</p> <p>Nova avaliação da solução</p>	<p>Desenho como ferramenta de comunicação de idéias e precisão da fabricação</p> <p>Projeto mecânico e estrutural, configuração dos detalhes, desenvolvimento de modelos e protótipos, fabricação e documentação, etc.</p>

Quadro 1. Comparação das etapas de um projeto e os tipos de desenho. Adaptado de LÖBACH, 2000.

O desenho tem estreita ligação com a atividade de desenvolvimento de projetos, em todas as suas etapas. É visto como forma de externalizar idéias, como meio de persuasão e como um método de comunicação – tarefas comuns em todo processo de projeto. E ainda, é um importante meio de instruir o usuário final sobre como operar o produto. Serão demonstradas, a seguir, diversas visões a respeito do desenho e seu envolvimento com o processo de projeto. Em sua maioria, são reflexões resultantes de vários anos de atuação profissional em desenvolvimento de produtos e na atividade de docência de projetos, amparado por pesquisas diversas em referências bibliográficas.

2.5.2 O desenho analítico

Nas etapas iniciais do projeto, quando já se determinaram quais as oportunidades, ou quais as necessidades do consumidor ou usuário, normalmente é necessário conhecer mais a respeito dos produtos e sistemas similares existentes. Através da análise desses sistemas, o projetista pode vir a conhecer muito mais sobre o problema, gerando inúmeras formas de solucioná-lo. Entretanto, para que essa quantidade elevada de informação possa se processar e tornar-se conhecimento, é necessário um estudo aprofundado de tais sistemas. Normalmente, esse estudo baseia-se em imagens do sistema de produto, obtido através de levantamento fotográfico, vídeo, ou em observações *in loco*, através de desenhos e levantamento de medidas.

O desenho mostra-se como uma ferramenta eficiente de análise de problemas de projeto. O desenho de observação permite conhecer tanto os aspectos gerais dos sistemas como as suas particularidades. Verificações e medições embasadas em conceitos da geometria descritiva podem proporcionar valor científico às conclusões que poderão fundamentar as decisões futuras.

2.5.3 O desenho criativo

Embora, hoje em dia, o computador seja imprescindível no desenvolvimento de projetos, alguns profissionais divergem quanto ao seu uso na fase de execução de esboços criativos. Há indícios de que o

computador tende a prender o projetista por muito tempo em alguma idéia inicial antes que ele possa criar variações ou, até mesmo, descartar uma idéia que não se mostrou promissora. Não é possível definir um modo ideal de desenhar criativamente, pois esta tarefa é extremamente pessoal. Portanto, cada indivíduo deve estabelecer, ao longo do aprendizado, quais são a técnica e o tipo de desenho que apresentam melhor resultado, de acordo com sua aptidão e capacidade pessoal.

Os tipos de desenhos adequados para esta etapa não são apenas desenhos livres, feitos no papel ou no computador. Também é possível se realizar desenhos criativos, por meio de representações ortogonais, desenhos geométricos, operações booleanas com figuras geométricas, poliedros e objetos afins, ou mesmo, até criar as formas diretamente sobre materiais e meios de expressão tridimensionais.

Portanto, representações tridimensionais também são usadas como técnica exploratória de formas, mas sempre o que se busca é um “desenho” de uma nova forma. O uso da palavra “desenho” para expressar “forma” denota que, mesmo manipulando-se objetos tridimensionais, o processo de raciocínio para obtenção da forma é muito semelhante à execução de desenhos, expressos em superfícies planas como papel e tela do computador, entre outras.

Ao se modelarem objetos tridimensionais, outros sentidos são acionados e combinados de maneira indissolúvel, tornando impossível isolar apenas um aspecto desse processo e analisá-lo, separadamente, durante sua criação. No entanto, uma vez finalizada a forma, é a visão – em seu aspecto bidimensional – que realiza a verificação das proporções. O ato de realizar explorações de formas em meios tridimensionais, porém, é geralmente precedido por estudos em suporte bidimensional – desenho –, por se apresentar como atividade menos trabalhosa e menos onerosa que a modelagem tridimensional.

O tato é mais determinante que a visão, entre os sentidos envolvidos na modelagem tridimensional criativa mas, se considerarmos apenas a visão neste processo, temos um método semelhante ao desenho, pois o senso de proporção atribuído à visão é bidimensional, talvez, não enquanto se cria, mas enquanto se avalia, muito embora, frequentemente, a avaliação e criação possam ser simultâneas.

2.5.7. O suporte para o raciocínio e extensão da memória

Pode-se dizer que o raciocínio projetual consiste em criar e aprimorar constantemente formas e conceitos de objetos. As criações acontecem através de imagens mentais, em que os primeiros conceitos são gerais e vão ganhando detalhes e tomando forma à medida que se reflete e se raciocina sobre o objeto. Mesmo que o projetista seja dotado de um imenso talento e uma memória espetacular, não é possível ter plena consciência da totalidade do objeto que se pretende criar apenas com imagens mentais. São todos os seus aspectos funcionais, espaciais, formais, materiais, construtivos, dinâmicos, de equilíbrio (estáticos), de interfaces, que se devem registrar e aprimorar, gradualmente, à medida que o conceito surge em forma de imagens mentais. A memória de curto prazo não é suficiente para operar todas estas implicações e as imagens mentais, geralmente, não conseguem configurar quantidades grandes de detalhes nas criações.

Raramente uma idéia nos é dada através de uma imagem mental completa e rica de detalhes, mas, quando acontece, o projetista deve ter habilidade suficiente para registrar rapidamente a maior quantidade possível de detalhes. O pensamento é mais rápido do que o registro de idéias. Portanto, geralmente se concentram esforços apenas em questões fundamentais do projeto e outros detalhes que não são considerados em primeira instância, tendem a ser esquecidos ou menosprezados. Mas, geralmente, um pequeno detalhe tal como um pequeno traço, pode despertar a memória para idéia completa, como surgiu na primeira vez.

Portanto, quando se cria algum objeto, deve-se utilizar o desenho como suporte para o raciocínio projetual, como forma de registro simultâneo da imagem mental criativa. Isso permite aliviar a memória de curto prazo para operações complexas enquanto os detalhes são registrados para posterior análise e reflexão e, então, retornar a novas imagens mentais complementares. Sem o desenho, esse ciclo de operações simultâneas se quebra e o resultado, em geral, é pobre de detalhes e, por vezes, nem o próprio projetista é capaz de compreender com exatidão e plenitude a idéia gerada.

2.7. Estudo de casos

2.7.1. Modelos de estruturas

A história da arquitetura está repleta de exemplos de soluções arquitetônicas em que formas foram diretamente copiadas da natureza. A percepção dos princípios físicos que regem o comportamento dos sistemas estruturais naturais pode inspirar ou até mesmo ensinar novas possibilidades para a arquitetura. Segundo Yopanan (2000), o conceito de estrutura é amplo e encontra-se em todas as áreas do conhecimento humano. No caso das edificações, a estrutura é também um conjunto de elementos (lajes, vigas, pilares) que se inter-relacionam – laje apoiando viga, viga apoiando pilar – para desempenhar uma função, criar um espaço.

Um galho de árvore pode mostrar de maneira muito visível os princípios físicos que regem o comportamento de uma viga em balanço (viga fixada em apenas um apoio). São inúmeros os exemplos naturais que ajudam a entender melhor o comportamento de um sistema estrutural. A natureza é um bom exemplo de como os problemas estruturais podem ser resolvidos visando à estética, à economia e à funcionalidade. Ricardo Carlos Carvalho, estudante do curso de Arquitetura e Urbanismo, realizou, em 2008, sob minha orientação, uma compilação de casos em que houve um claro emprego de soluções biomiméticas em construções e estruturas, apresentadas a seguir.

As nervuras da asa da libélula, quando estudadas, remetem ao conceito de estrutura como caminho de forças. A asa do inseto é constituída de várias nervuras que vão aumentando de espessura conforme se aproximam do seu tronco, onde existe uma malha densa; em contrapartida, nas extremidades a espessura das nervuras é menor. O edifício Hall of Labor possui estrutura semelhante à asa da libélula. Nele, barras estruturais se cruzam resultando num sistema denominado grelha. Todos os caminhos convergem para as vigas, que se apoiam sobre os pilares. As vigas são o único caminho para levar as cargas até os pilares; em vista disso, elas são bem mais robustas do que as nervuras. (figura 6).

As conchas marinhas possuem pequena espessura, no entanto, são bastante resistentes. As nervuras contidas nas conchas aumentam a rigidez evitando que elas se deformem, principalmente com esforços de compressão. A estrutura das conchas encontradas no mar podem ser vistas

em construções, principalmente em coberturas em formas de cúpulas. Nesse caso, grandes vãos podem ser vencidos, mesmo quando as nervuras apresentarem pequenas espessuras. Um exemplo de analogia existente entre conchas e estruturas pode ser a estrutura projetada por Félix Candela para um restaurante. (figura 7).

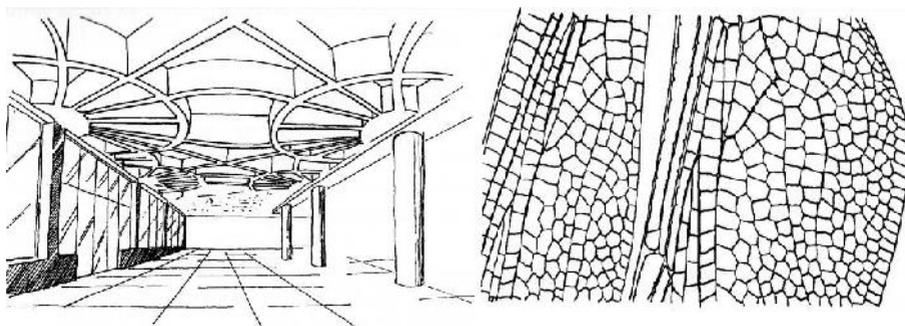


Figura 6: À esquerda, esboço do edifício Hall of Labor de Nervi. À direita, nervuras da asa da libélula. Fonte: Yopanan, 2000.

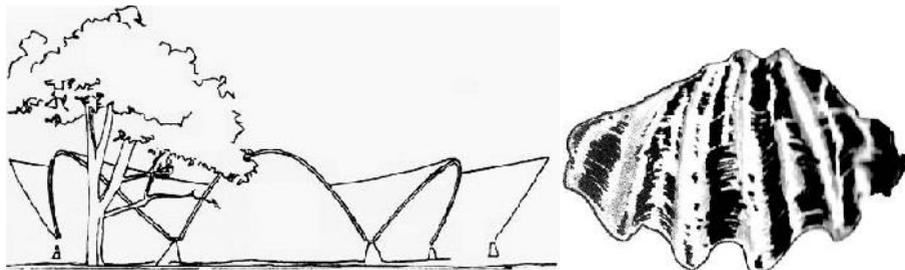


Figura 7: Projeto de Félix Candela para restaurante no México e concha marinha. Fonte: Yopanan, 2000.

A estrutura observada no cogumelo Amanita possui analogia em alguns tipos de estrutura. A base do cogumelo denomina-se volva, a haste é chamada de pé e a parte superior de chapéu. O chapéu possui nervuras radiais, as lamelas. Elas são esbeltas, porém capazes de garantir estabilidade. As nervuras estão em balanço em relação ao pé; sendo assim,

o chapéu é mais fino nas bordas e mais espesso junto ao talo. O mesmo tipo de nervura também existe em plantas aquáticas conhecidas como Vitória Régia. Na arquitetura, o uso de estruturas de lajes tipo cogumelo é bastante comum em coberturas. 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. Para grandes vãos (acima de 30 metros) a laje pode ser nervurada, o que lhe garante maior estabilidade e a aproxima ainda mais das formas do cogumelo. (figura 08).

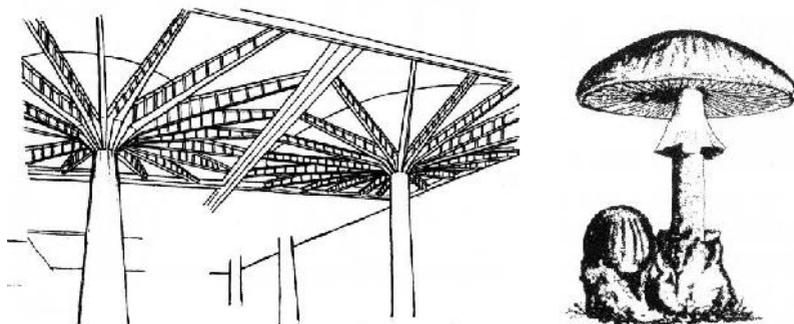


Figura 8: À esquerda: estrutura laje tipo cogumelo. À direita: Cogumelo tipo amanita.
Fonte: Yopanan, 2000.

A construção do casulo das abelhas é feita com cera secretada do inseto que, com as patas, vai depositando o material enquanto gira em torno do seu corpo. Desse modo, a abelha utiliza seu corpo como gabarito para a construção de sua casa. Se as formas do casulo fossem circulares, haveria um dispêndio de material empregado. As únicas três formas que não deixam espaços perdidos são: o triângulo, o quadrado e o hexágono. Esta é a forma que mais se aproxima à geometria dos casulos. Para aumentar ainda mais a rigidez da forma hexagonal, as abelhas aumentam as espessuras junto aos nós, aproximando o hexágono do sistema estrutural conhecido como pórtico. No edifício, a parede estrutural em forma de losango tem a função de transmitir as cargas dos pavimentos superiores para os pilares do térreo. Isso é possível porque os nós da malha são enrijecidos (figura 9).

O galho das árvores é sempre do mesmo material: a madeira. Esta possui a mesma resistência em todas as seções. Quando, em uma

construção, a cobertura propriamente dita se apoia num conjunto formado pela repartição de pilares, cada “braço do pilar” se comporta como o galho de uma árvore.

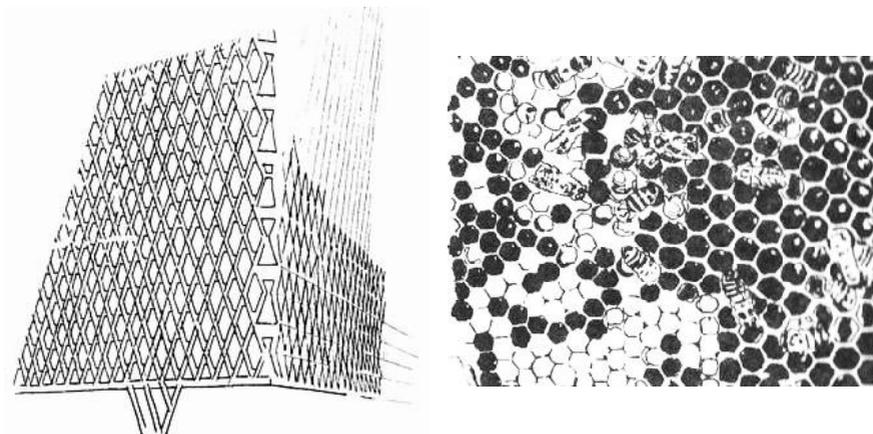


Figura 9: Edifício da IBM, Pitsbrug, projeto de Curtis e Davis e Colméia de Abelhas.

A araucária é uma árvore de galhos horizontais que não apresentam variações nas dimensões das suas seções nem alteração de inércia. Para resistir à variação de esforços ao longo do seu comprimento, a natureza criou um terceiro artifício; aumentar a resistência do material nas seções próximas ao tronco. Uma analogia à construção realizada pelo homem pode ser apreciada, por exemplo, na construção de uma viga em balanço executada com concreto armado. Para resolver o problema do aumento do esforço junto ao apoio é necessário aumentar a resistência do material; por exemplo, através do uso de armaduras em combinação com o concreto (concreto armado), conferindo maior resistência à viga, já que o concreto, por si só, é um material bastante resistente à compressão, mas pouco resistente à tração.

Já os galhos do chorão são muito finos, apresentam concentração de material junto ao centro de gravidade da sua seção. Os galhos não possuem inércia e não podem absorver os esforços de flexão nem mesmo os de compressão simples, suportando apenas a tração simples provocada pelo seu peso. Na arquitetura, um exemplo típico seria os travamentos de sistemas estruturais denominados contraventamento.

O pé de chuchu, maracujá e outros tipos de trepadeiras, ao se fixarem na parede ou qualquer outro tipo de “escora”, apresentam hastes razoavelmente rígidas em forma de molas. Essas molas permitem que a planta, quando exposta ao vento, possa sofrer considerável deformação sem o risco de se romper. Se fossem todas rígidas, as hastes de fixação da planta à “escora” absorveriam integralmente todos os esforços causados pela vibração do vento. Tal fenômeno é idêntico ao que faz um fio de arame romper-se quando submetido ao dobramento alternado ora de um lado, ora de outro. Essa situação provoca nas fibras de arame, alternância entre esforços de compressão e tração. Os materiais, nessas condições, apresentam um fenômeno denominado fadiga: rompem-se facilmente mesmo sem a aplicação de um grande esforço.

A casa do João-de-Barro leva fibras vegetais misturadas com o barro úmido. A forma final do ninho é parecida com uma cúpula, na qual, como se sabe, predomina o esforço de compressão simples.

A aranha, na construção da sua teia, lança inicialmente fios radiais fixados em pontos rígidos. Após lançar os tipos principais, tece os anelares até completar a malha. Algumas obras executadas pelo homem seguem a geometria das teias, na direção dos esforços principais, tornando o sistema mais resistente e econômico. (figura 10).

2.7.2 Analogias em edificações

Bahamón; Pérez (2007) afirmam que:

em la arquitectura contemporânea, el uso de lãs formas animales, ya sea para conferir cierto simbolismo al proyecto, para encontrar soluciones funcionales o simplemente por cuestiones estéticas, se há convertido em una práctica conocida, si no recurrente.

Estes autores organizaram uma compilação de casos em que o uso da biomimética se faz presente em projetos arquitetônicos contemporâneos por todo o mundo, seja a inspiração de origem animal, vegetal ou mineral, resumida abaixo.

Observatório Vogelnest – Freire Arquitetura. O projeto do observatório baseou-se na estrutura do ninho de pássaros. A plataforma do observatório possui uma altura de 7,5 metros e é sustentada por oito suportes de madeira laminada e chapada com dimensões e inclinações distintas. Os suportes se apoiam em bandas paralelas com quatro pontos de aço. A plataforma possui um diâmetro de 6 metros e sobre ela se levanta uma escada de acesso que conecta a base com a parte superior do observatório. A altura do ninho-observatório garante uma boa visibilidade em toda a extensão do parque. Essa mesma panorâmica é visível através dos anéis de apoio na medida em que o visitante sobe pela escada. (figura 11).

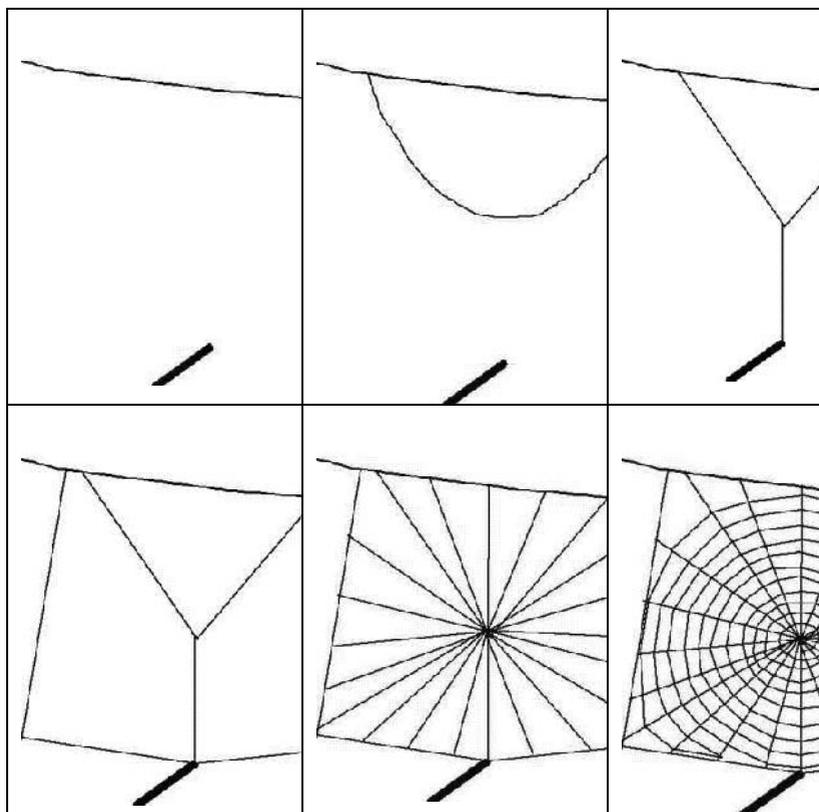


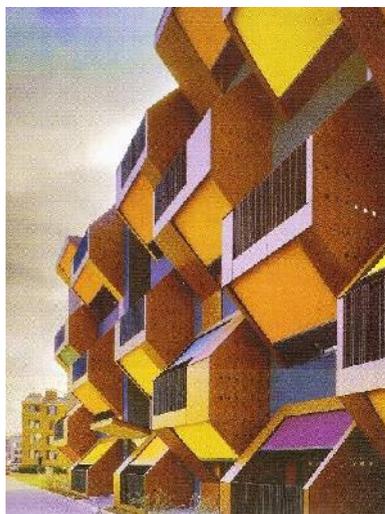
Figura 10 – Sequência de construção da teia de aranha. Fonte: <http://grandpacliff.com/Animals/Spiders/OrbWebCon.htm>



Figura 11: Vista do observatório. (Bahamón, 2006)

Apartamentos Izola – Ofis Aras. Cada habitação é dotada de uma varanda que conecta o interior com o exterior. Suas condições facilitam a iluminação e ventilação naturais. Uma tela transparente que cobre a varanda permite um ambiente mais íntimo ao mesmo passo que seus habitantes podem desfrutar da vista da baía. A mesma tela cria um efeito de sombra que une o interior e o exterior e multiplica a impressão de amplitude das habitações. Ao lado de cada apartamento, existem painéis perfurados que permitem a entrada de brisas dentro da edificação. Além disso, na parte inferior de cada varanda existe um espaço para a instalação de unidades de ar condicionado. A utilização de cores quentes e vivas busca criar distintas atmosferas em cada um dos apartamentos (figura 12).

Parasita Palmas – Korteknie Stuhlnacher Arquitetura. A edificação parasita utiliza um edifício já existente como elemento estrutural de apoio. As paredes foram construídas com painéis de madeira laminada. Cada elemento foi fabricado, cortado sob medida, embalado e enviado para o local de montagem. O revestimento exterior serve como isolamento térmico. As paredes possuem painéis pintados em verde brilhante. A inovação do projeto apresentou novas possibilidades no uso da madeira na construção civil (figura 13).



Figuras 12: Fachada e perspectiva apartamentos Izola. fonte: Bahamón; Pérez (2007).

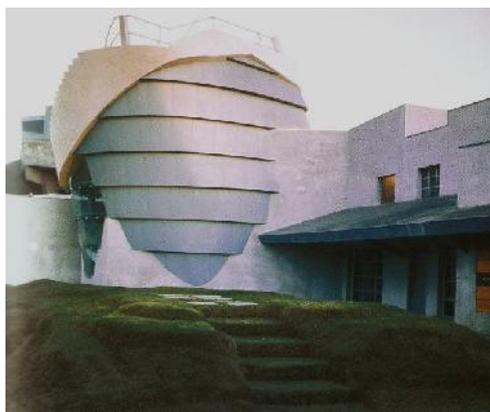


Figura 13 – À esquerda: Vista do “edifício- parasita”, à direita Vista do edifício baseado no ninho. Fonte: Bahamón; Pérez (2006).

O ninho – Eric Owen Moss. Na planta baixa se abriga a recepção e a entrada principal para as oficinas. Uma vez em seu interior, o visitante depara-se com uma escadaria que conduz ao primeiro andar, onde se encontra uma sala de conferências, enquanto que uma segunda caixa de escada em forma triangular conduz para ao redor da clarabóia piramidal. Há um amplo terraço para reuniões informais que favorece amplas visões da cidade. Dada a orientação do edifício, a luz provém da clarabóia central e das janelas laterais de maneira que a iluminação pode atingir até mesmo a planta baixa do edifício. (figura 13).

Ilha Mur – Acconci Studi. A ilha artificial repousa sobre uma plataforma construída em aço e vidro. O uso de materiais transparentes, busca gerar entre os visitantes uma sensação de flutuar dentro de uma bolha de ar. A forma em espiral da peça possui uma parte coberta e outra descoberta. A parte descoberta pode servir de anfiteatro a partir de distintas configurações de arquibancadas de modo que a interação entre os visitantes seja condicionada de acordo com a ocasião ou evento. Na parte coberta de vidro, há um café; além disso, o espaço conta com um área de jogos para crianças que une o teatro ao café (figura 14).

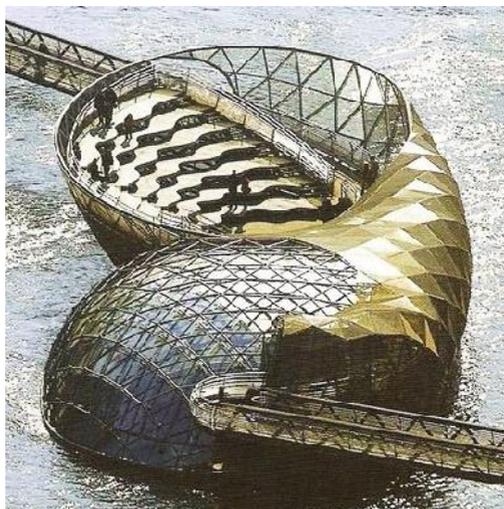
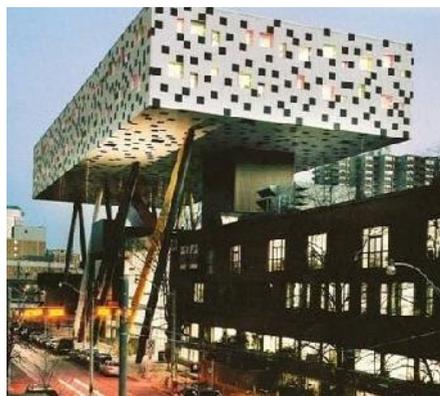
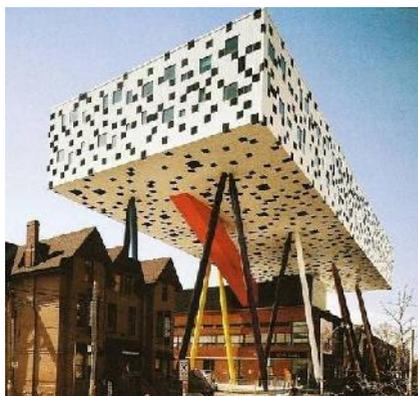


Figura 14: Vista da Isla Mur. Fonte: Bahamón; Pérez (2007).

Centro Sharp de artes. Um dos principais desafios do projeto era garantir que a escola continuasse funcionando normalmente enquanto era construído um volume por cima dos edifícios já existentes. Devido à escassez de espaço livre no campus e a proximidade com os edifícios adjacentes, a equipe não contava com a possibilidade de um edifício tão amplo. O projeto deveria permitir uma construção clara e sistemática. As colunas estruturais chegam a pesar até 20 toneladas. Para dotar as colunas principais de comprimento necessário, tiveram que adotar a tecnologia utilizada na indústria petroleira, optando-se pela pré-fabricação fora da obra.

O edifício abriga novos estúdios de arte, auditórios para conferências salas de exposição e oficinas de diversas espécies. Além disso, o projeto teve por objetivo resolver a defeituosa organização dos antigos edifícios e criar um novo lobby que unifica as circulações e os acessos aos diversos blocos. Em um entorno de climas extremos, em que os invernos são rigorosos e os verões quentes e úmidos, foi necessária a criação de um sistema de climatização eficiente e sustentável. A dupla fachada que cobre o volume cria uma câmara de ar perimetral que permite refrigerar e aquecer naturalmente o espaço interior evitando o dispêndio energético. (figura 15).



Figuras 15: Vistas em perspectiva do edifício de artes Sharp. Fonte: Bahamón; Pérez (2007).

SEEC Centro de Exposições e Conferências – Escócia. O teatro comercial requeria um entorno neutro e altamente funcional, dotado de todos os serviços e capaz de sofrer transformações para abrigar uma ampla gama de eventos. A sala de conferências é tecnicamente muito avançada com espaços e instalações necessárias. O teatro principal oferece um sistema de voto eletrônico para eleições locais. Os visitantes podem optar por entrar diretamente na sala de conferências – com capacidade para 300 pessoas – ou acessar primeiramente o térreo que conecta com um auditório principal e uma rede de espaços para exposições. (figura 16).

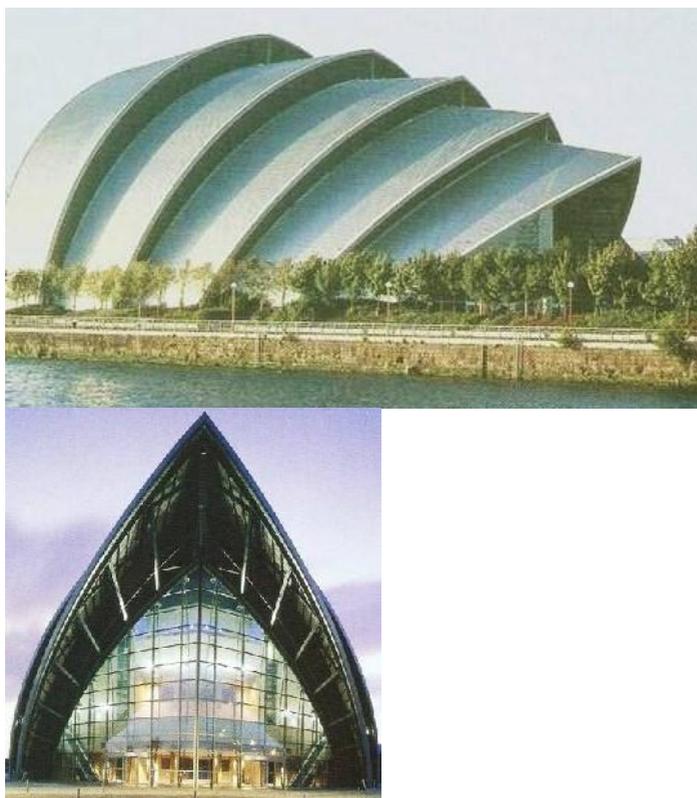


Figura 16: Vista lateral e frontal do edifício SEEC. Fonte: Bahamón; Pérez (2006).

A natureza está repleta de sistemas estruturais que podem servir de modelo para as construções humanas. Vasconcelos (2000) enumera e descreve diversos exemplos de estruturas naturais no reino vegetal, animal e mineral, para este propósito. Contudo, não existem estudos disponíveis para todo tipo de árvore. A natureza, por sua própria característica, possui incontáveis espécies e esse tipo de análise de todas as espécies seria impraticável. Portanto, os estudos devem ser realizados à medida que alguma espécie desperta a atenção, seja por questões estéticas ou estruturais, seja por necessidades novas. Assim, a seleção de algumas espécies para realizar a análise biomimética pode ser selecionada, e os critérios para isso vão desde princípios estéticos, disponibilidade de exemplares, até critérios técnicos e econômicos.

O campus da Unesp de Presidente Prudente reúne diversos exemplares de espécies arbóreas nativas em seu paisagismo, assim, é possível selecionar algumas árvores para realizar um estudo do potencial que cada uma delas oferece para otimizar os produtos humanos. Duas espécies foram selecionadas para análise, a Ficheira (*Schizolobium parahyba.*) e a Farinha-seca (*Albizia niopoides*). São espécies de grande porte, típicas da região e foram analisadas quanto à forma da sua estrutura.

A Farinha-seca (figuras 17 e 20) possui altura entre 10 e 20 metros, com tronco de 40 a 60 centímetros de diâmetro. No Brasil, ocorre nos estados de São Paulo, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais e Goiás. A árvore pode ser empregada na arborização de praças públicas, ruas, avenidas e grandes jardins, podendo ser um elemento presente do planejamento paisagístico. Apresenta dispersão irregular e descontínua. Seu florescimento é a partir do final de outubro prolongando-se até o início de janeiro. (LORENZI, 2000). Por ser amplamente utilizada em arborização urbana, essa árvore foi escolhida para este estudo.

A Ficheira (figura 18) desempenha papel de destaque em programas para o reflorestamento misto de áreas degradadas visando à preservação permanente, devido principalmente ao seu rápido crescimento no campo, podendo atingir dez metros de altura no período de dois anos. Também é amplamente utilizada em arborização de praças, avenidas e espaços públicos urbanos.

Ambas possuem sistema de ramificação muito característico que as diferencia visualmente de outras espécies. Sua forma característica é responsável pela sua identificação mesmo à distância, de tão peculiares que são.

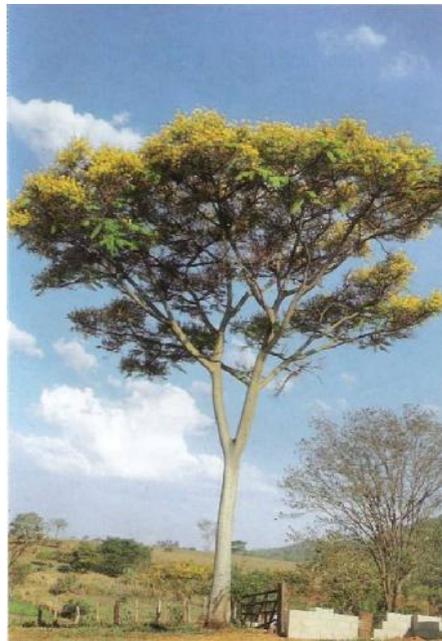


Figura 17 e 18: À esquerda, Farinha-seca (fonte: Ricardo Carlos Carvalho, 2008). À direita, Ficheira (fonte: Lorenzi, 2000).

Para implementar um estudo, seguindo a metodologia da biomimética, é necessário definir os problemas que se pretende resolver na prática e que são bem resolvidos pelos modelos naturais. Atualmente, há uma preocupação crescente em oferecer proteção solar, função exemplarmente cumprida pelas árvores em geral.

Nesse caso, a primeira característica que chama a atenção é o amplo espaço coberto pela sombra a partir de um único ponto de sustentação. No ambiente urbano, isso pode ser uma característica desejável, pois a quantidade de espaço disponível para fixação de elementos suspensos é limitada e quanto mais pontos de apoios se determinam, mais espaço é necessário. Ou seja, é desejável que se cubram áreas amplas, mas sem tomar espaço no nível do solo.

Outra característica importante é a permeabilidade ao vento. As forças aerodinâmicas surgem em função da pressão que o vento exerce

sobre as superfícies. Quanto maior a área, maior a força que a estrutura deve resistir. Ao se permitir que o ar circule através da estrutura os esforços são minimizados, ao contrário das coberturas de faces cheias, que funcionam como um velame, ampliando a força sobre a estrutura.



Figura 20: Farinha seca. Fonte: Desenho de Claudemilson dos Santos

Componente morfológico	Funções						
	1	2	3	4	5	6	7
copa 	Captar energia	Proteger do calor, trocar calor	Proporcionar luz difusa	Compor a paisagem	Reter umidade	Conduzir água	Abrigar pássaros
galhos superiores 	Suportar folhas e flores	Abrandar o vento, absorver energia do vento	Permitir ventilação	Atrair descargas elétricas atmosféricas	Estruturar cobertura	Produzir padrão de forma por repetição	Modelar a copa
folhas e flores 	Captar energia, trocar calor	Coletar água	Conter cores, contrastar com a paisagem	Fornecer alimento	Reter umidade	Adubar o solo	Conter o vento; produzir ruído suave
troncos e meio troncos 	Estruturar cobertura	Conduzir água	Abrigar pássaros	Suportar peso	Flexionar sem romper	Elevar objetos	Conduzir descargas elétricas
raízes 	Prender-se ao solo	Absorver água	Conduzir nutrientes	Filtrar a água	Dispersar energia	Conduzir descargas elétricas	Trocar calor

Fonte: Autoria própria

Quadro 2: Matriz morfológica da Farinha seca.

A flexibilidade da estrutura é outra característica de destaque, pois impede que ela se rompa sob rajadas de vento. O diâmetro dos galhos são menores e, portanto, mais flexíveis nas partes mais altas, mais sujeitas aos ventos, do que nas partes mais baixas, que devem ser mais resistentes também à compressão. O sombreamento é variável ao longo do ano, pois ocorre o desfolhamento em certos meses, justamente no período de inverno, quando o calor solar é desejável.

Tais características são comuns a diversas outras espécies, porém há um diferencial na forma da copa e no arranjo dos galhos que as tornam expressivas. É possível que certas aplicações arquitetônicas considerem fortemente os condicionantes estéticos de certos tipos de estruturas, e essa busca pela diversidade de formas pode encontrar na observação da natureza um repositório constante de novas formas.

Assim, uma experiência de análise morfológica foi idealizada, em que se observaram espécies de árvores encontradas no campus local, com uma leitura direcionada ao aproveitamento dos princípios por trás da forma, através do reconhecimento das funções das partes, favorecendo a revelação de analogias.

Algumas características que foram observadas com o auxílio da matriz morfológica permitem formular interessantes conjecturas a respeito de soluções estruturais, aproveitamento solar, isolamento luminoso e térmico, estética e captação de água entre outras.

4. Conclusão

O estudo teórico acerca das aplicações da Biomimética no desenvolvimento de projetos arquitetônico reuniu métodos, conceitos e exemplos de aplicação que podem despertar a criatividade e, ao mesmo tempo, o pensamento crítico a respeito do resgate do equilíbrio entre a ação humana e a natureza. A inspiração biomimética pode conscientizar-nos da necessidade de adotarmos os padrões e critérios de sobrevivência adaptada ao meio ambiente.

Os métodos estudados e desenvolvidos envolvem diversos aspectos que podem ser ensinados nas disciplinas de Desenho de Observação, Introdução ao Projeto, Linguagens Visuais, Modelos e Maquetes, entre outras do curso de Arquitetura e Urbanismo, assim como de outros cursos,

como Engenharia e Design que poderão contar com o embasamento teórico necessário para o desenvolvimento, através de uma metodologia criativa, de ações de educação visual e percepção ambiental.

5. Referências Bibliográficas

BAHAMÓN, A.; PÉREZ, P.; CAMPELLO, A. **Arquitectura vegetal: analogias entre el mundo vegetal y la arquitectura contemporânea.** Barcelona: Parramón ediciones S.A., 2006.

BAHAMÓN, A.; PÉREZ, P.; CAMPELLO, A. **Arquitectura animal: analogias entre el mundo animal y la arquitectura contemporânea.** Barcelona: Parramón ediciones S.A., 2007.

BARBOSA, Enio Rodrigo. **Inspiração que vem da natureza exige visão multidisciplinar na pesquisa.** Cienc. Cult., São Paulo, v. 60, n. 3, Sept. 2008.

BAUDRILLARD, J. **O sistema dos objetos.** São Paulo: Editora Perspectiva, 2000. 2ed.

BENYUS, J. M. **Biomimética: inovação inspirada pela natureza.** São Paulo: editora Cultrix, 1997.

BENYUS, J. M. **Biomimética: inovação inspirada pela natureza.** São Paulo: editora Cultrix, 2003.

FELISBERTO, L. C. **Contribuição para o estudo de estruturas resistentes ao impacto com base na biomimética: observação e reexploração da natureza.** Tese (doutorado). São Carlos: EESC-USP, 1999.

GOULD, S. J. **Darwin e os enigmas da vida.** São Paulo: Martins Fontes, 1999. 2ed.

HERTEL, H. **Structure, form and movement.** New York: Reinhold, [1966, c1963].

JONES, J. C. **Métodos de diseño.** Barcelona: Gustavo Gili, 1976.

LOBÄCH, B. **Design industrial: bases para a configuração de produtos industriais.** São Paulo: Edgard Blücher, 2000.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil.** v.1, 3º ed. Nova Odessa-SP: Instituto Plantarum, 2000.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil.** v.2, 2º ed. Nova Odessa-SP: Instituto Plantarum, 1998.

PACHECO, Marco Aurélio C., **Algoritmos genéticos: princípios e aplicações**. ICA: Laboratório de Inteligência Computacional Aplicada - www.ica.ele.puc-rio.br, 1999. Acesso em 2008.

SANTOS, Claudemilson dos. **O design na micro e pequena empresa na região de Bauru: a abordagem do projeto pelo desenho**. 2003. 112f. Dissertação (Mestrado em Desenho Industrial). Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação, UNESP, Bauru, 2003.

THOMPSON, Brian S. **Environmentally-sensitive design: Leonardo WAS right! Materials and Design**, 20 (1999) 23-30. London: Elsevier, 1999.

ULLER, M. **Biomimética aplicada à engenharia aeronáutica**. Dissertação de mestrado. São Carlos: EESC-USP, 1999.

VASCONCELOS, A.C. **Estruturas da Natureza: Um Estudo da Interface Entre Biologia e Engenharia**. São Paulo: Studio Nobel, 2000.

VINCENT, Julian F.V; BOGATYREVA, Olga A; BOGATYREV, Nikolaj R; BOWYER, Adrian; PAHL, Anja-Karina. **Biomimetics: its practice and theory**. J. R. Soc. Interface 22 August 2006 vol. 3 no. 9 471-482.

WRIGHT, R. **O animal moral: porque somos como somos: a nova ciência da psicologia evolucionista**. São Paulo: Editora Campus, 1996. 7ed.

YOPANAN, Conrado Pereira Rabelo. **Concepção Estrutural e a Arquitetura**, São Paulo, 2000.

ZIMMER, C. **O livro de ouro da evolução**. Rio de Janeiro: Ediouro, 2003.