

A Biomimética como Método Criativo para o Projeto de Produto

F.B. Detanico^{a,b}, F.G. Teixeira^b, T.K. Silva^b

^afloradetanico@yahoo.com.br

^bPrograma de Pós-Graduação em Design, Departamento de Design e Exp. Gráfica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil

Resumo

É possível inferir o vasto campo de investigação do conhecimento existente na natureza. O presente trabalho delimita-se quanto ao uso da biomimética como ferramenta para a geração de alternativas, durante a fase de projeto conceitual. Foi realizada a identificação de alguns princípios de solução da natureza, matemáticos/geométricos e/ou funcionais, que possam ser devidamente reconhecidos através dos padrões existentes, visando sua aplicabilidade no desenvolvimento de produtos. Como fundamentação teórica necessária para o desenvolvimento do presente trabalho, há dois principais focos de pesquisa. O primeiro deles está relacionado à metodologia de projeto de produto, mais precisamente à fase conceitual, na qual ocorre o processo criativo ou a geração de soluções alternativas. O segundo ponto abordado se refere ao biomimetismo e ao conhecimento dos princípios de solução da natureza como um todo, contemplando simultaneamente seus padrões geométricos, matemáticos e funcionais.

Palavras-chave: Biomimética, Design, Criatividade.

Biomimetics as a Creative Method for Product Design

Abstract

It is possible to infer the broad field of inquiry known in nature. This study is delimited to the use of biomimetics as a tool for the generation of alternatives during the conceptual design phase. It was performed to identify some principles of a settlement of nature, mathematical / geometrical and/or functional, which can be adequately recognized by current standards, aiming at its application to the development of products. As necessary theoretical basis for the development of this work, there are two main focuses of research. The first one is related to the methodology for product design, more precisely the conceptual stage, which occurs in the creative process or the generation of alternative solutions. The second point raised refers to biomimetics and knowledge of the principles of a settlement of nature as a whole, covering both their geometric, mathematical and functional patterns.

Keywords: Biomimetics, Design, Creativity

1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento de produto passa necessariamente por uma fase inicial de concepção, chamada por muitos autores de projeto informacional e conceitual. Durante essa fase, é necessária a geração de soluções alternativas, o que pede a participação criativa de um projetista ou equipe de projeto. Esse processo criativo conta não somente com a inspiração do projetista, mas também com métodos e ferramentas que permitam a manifestação da criatividade. É possível entender que todo o indivíduo com algum conhecimento técnico, com treinamento, motivação e conhecendo os métodos seja capaz de gerar soluções úteis e inovadoras.

Segundo Forcellini [6], há pesquisas que indicam que a criatividade para encontrar soluções de projeto de produtos nasce, com frequência, na analogia direta com a natureza. O conceito de Biônica ou Biomimética consiste em analisar sistemas naturais e reproduzir seus princípios de solução, buscando contribuições relevantes no processo de desenvolvimento de produto. Essas adaptações permitem a criação de formas análogas, funções análogas ou ainda comportamentos análogos.

As soluções da natureza podem contribuir para o processo criativo de projeto, tanto na forma de analogia como através de seus padrões geométricos/matemáticos. É possível observar, por exemplo, constantes proporções

matemáticas na constituição de seres humanos, animais e vegetais. Essas geometrias naturais são frequentemente associadas aos conceitos de estética, harmonia e equilíbrio, conformando verdadeiros símbolos de beleza. Ricketts [11], por exemplo, encontrou uma relação entre a célebre “razão áurea” e as faces belas de jovens mulheres. Da mesma forma, um estudo de Heiss [7], que analisou rostos de modelos famosas, encontrou desvios de menos de 5% com relação ao que seria um rosto 100% desenhado segundo a proporção áurea.

Assim como as citadas acima, outras pesquisas sobre os princípios da natureza têm sido realizadas na busca de soluções mais completas nas mais diversas áreas do conhecimento, tais como medicina, engenharia, arquitetura, arte, entre outros. O design também pode se apropriar destes princípios de forma mais freqüente e objetiva. Por isso a proposta do presente artigo é tornar mais acessível a compreensão das soluções naturais, além de deixar clara a importância de uma constante investigação sobre o tema, o que tende a facilitar a sua aplicação no processo criativo do projeto.

A indústria atual busca um constante aprimoramento dos produtos para concorrer com a competitividade do mercado. Para alcançar essa meta, faz-se cada vez mais necessária a aliança dos conceitos de funcionalidade, estética

e economia (sustentabilidade). O processo criativo do projeto é um dos responsáveis por dar essa resposta de otimização do produto e por isso tem muito a crescer em se apropriar dos princípios naturais. Não é suficiente conhecê-los, há que aplicá-los, de forma que se tornem de fato uma ferramenta de auxílio ao designer durante o processo de geração de alternativas para o projeto de produto.

Para desenvolver a proposta deste artigo foram pesquisados fundamentalmente dos grandes temas. O primeiro deles está relacionado à metodologia de projeto de produto, mais precisamente à fase conceitual, na qual ocorre o processo criativo ou a geração de soluções alternativas. O segundo ponto abordado se refere ao biomimetismo e ao conhecimento dos princípios de solução da natureza como um todo, contemplando simultaneamente seus padrões geométricos, matemáticos e funcionais.

2. PROJETO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO

Diante do atual contexto de globalização, no qual o fluxo de informações e conhecimentos é muito intenso, é possível perceber grandes transformações nos âmbitos da educação, da economia, da tecnologia, etc. Para se manterem atuantes e competitivas no mercado, as organizações têm buscado alternativas através do aperfeiçoamento de seus produtos e processos de produção. Segundo Basseto [2], a sobrevivência das organizações está diretamente relacionada com a sua capacidade de transformar informações e conhecimentos em produtos e serviços competitivos, o que significa menor custo, mais rapidez na produção e melhor qualidade (produtos mais sofisticados, de alto desempenho e confiáveis).

Desenvolvimento de produto é um conceito amplo e pode ser entendido como todo o processo de transformação de informações necessárias para a identificação da demanda (aspectos como a pesquisa de mercado), a produção e o próprio uso do produto, incluindo também o descarte ou desativação do mesmo. O produto é entendido como um objeto concebido industrialmente, com características e funções, o qual possui alguns atributos básicos como aparência, forma, cor, função, imagem, material, embalagem, marca, serviços pós-venda e garantias. Novos produtos não significam, necessariamente, produtos originais; novos produtos podem ser obtidos com melhorias e modificações de produtos existentes [1].

Conforme Romano [12], o processo de desenvolvimento integrado de produtos pode ser compreendido através de três macro-fases, decompostas em oito fases. Ao final de cada fase há uma avaliação do resultado obtido, autorizando a passagem para a fase seguinte. Como descrito na Figura 1 a seguir, estas são decompostas em atividades que são, por sua vez, desdobradas em tarefas [1].

A macro-fase de *planejamento* envolve as ações para a elaboração do plano de projeto, visando orientar o desenvolvimento do produto em suas demais fases. São considerados, aqui, conhecimentos e ferramentas de gerenciamento de projetos num sentido abrangente, como um empreendimento que tem início e fim definidos e apresenta unicidade e temporariedade. A macro-fase de *projeção* envolve os processos para a elaboração do projeto do produto, ou seja, a transformação das informações de necessidades dos clientes em informações técnicas detalhadas da solução proposta. Esta macro-fase é realizada sob os processos de projeto informacional, conceitual, preliminar e detalhado do produto, promovendo um processo evolutivo das informações de projeto. A última macro-fase envolve as ações de *implementação* da solução

técnica proposta e do plano de manufatura para produção do produto, seu lançamento e validação do projeto [2].

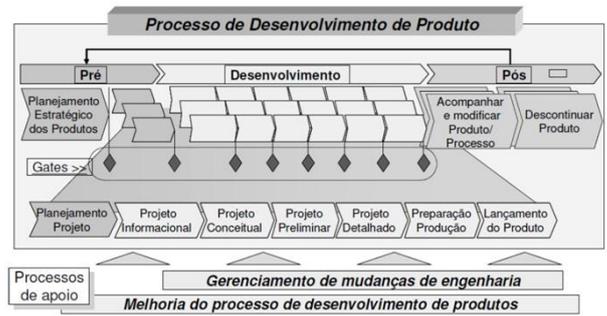


Figura 1: Representação gráfica do modelo do processo de desenvolvimento integrado de produtos.

Fonte: [18].

As decisões tomadas durante as fases iniciais terão forte impacto sobre o desempenho do produto ao longo de seu ciclo de vida, pois é no planejamento e no projeto que as propriedades do produto são definidas e, conseqüentemente, seu comportamento (funcional, econômico, de segurança, etc.). A Figura 2 apresenta o efeito das diferentes fases do ciclo de vida sobre o custo do produto, indicando claramente que o custo do mesmo fica intimamente comprometido com as diretrizes definidas nas primeiras fases, até a conclusão do projeto detalhado. É interessante observar, na Figura 3, que o custo do projeto é na ordem de 5%, mas o efeito de decisões tomadas nessa fase, como demonstra a **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, afeta 70% do custo total do produto [1].

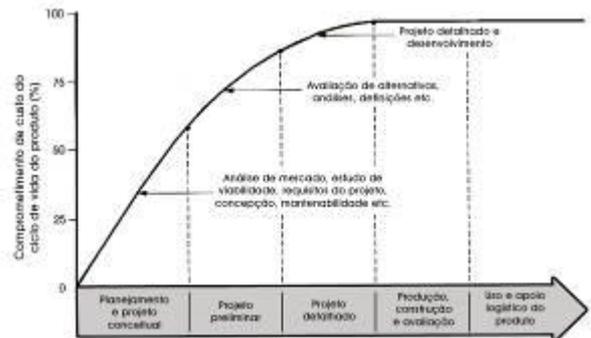


Figura 2: Efeitos das diferentes fases do ciclo de vida sobre o custo do produto (Downey, 1969) - Fonte: Back, 2008

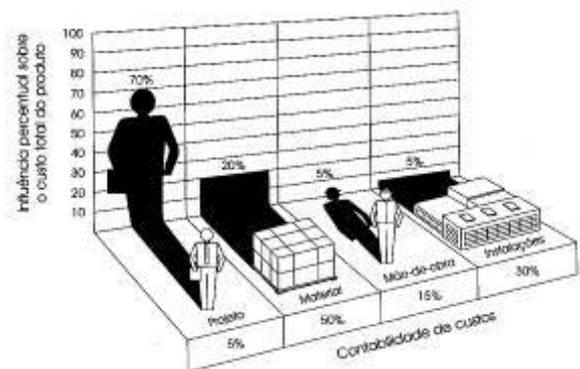


Figura 3: Influências sobre o custo do produto, devido às decisões tomadas, referentes ao projeto, ao material, à mão-de-obra e às instalações (Smith e Reinertsen, 1991) - Fonte: Back, 2008

Segundo Baxter [3], quando o projeto conceitual estiver pronto deve ser definido o seu mercado potencial, seus princípios operacionais e os principais aspectos técnicos. Um grande número de decisões terá sido tomado e um considerável volume de recursos financeiros alocados. Contudo, os gastos com o desenvolvimento ainda são relativamente pequenos – a pesquisa ocorreu só no papel e os trabalhos de projeto consistem de desenhos e modelos baratos. A introdução de mudanças em etapas posteriores, como na fase de engenharia de produção, pode implicar em refazer matrizes de elevadíssimos custos.

2.1 Macro-fase de Projeto

Segundo Basseto [2], para a fase de projeto de produto, vários modelos têm sido propostos e melhorados, servindo de orientação e especificando métodos e ferramentas para os projetistas transformarem as informações de projeto. São modelos propostos na forma de um conjunto de atividades, logicamente organizadas, que vão desde a identificação da necessidade até a descrição técnica final do produto.

Além do modelo proposto por Romano, apresentado na Figura 1, há a sistemática proposta por Asimov em 1962, descrita por Back [1], que organiza as atividades em ordem cronológica de acordo com o esquema da Figura 4. No estudo da viabilidade, procura-se definir um conjunto de soluções viáveis para o problema em estudo. Já no projeto preliminar deseja-se identificar qual das alternativas propostas é a melhor concepção para o produto. E o projeto detalhado é onde se busca obter as descrições de engenharia de um projeto viável e verificado.



Figura 4: Fases do ciclo produção-consumo do produto (Asimov, 1962) Fonte: Back, 2008

Os autores Pahl e Beitz [10] estabelecem o processo de projeto em quatro fases principais (Figura 5). A primeira delas é a definição da tarefa, na qual é estudado o problema e se elabora uma lista de requisitos. Em seguida vem o projeto conceitual, que consiste em abstração para identificar os problemas essenciais, o estabelecimento da estrutura de funções, a busca e combinação de princípios de soluções, a obtenção de variantes de concepções, sua concretização e finalmente a avaliação das soluções segundo critérios técnicos e econômicos. A terceira etapa se refere ao projeto preliminar, no qual se busca satisfazer as funções do produto, sendo configurados: forma dos componentes, layout,

processos de fabricação e materiais apropriados para a concepção selecionada. E, por último, o projeto detalhado, no qual se estabelecem as descrições definitivas para as soluções dos elementos construtivos, formas, dimensões, acabamentos superficiais, materiais e processos de fabricação.

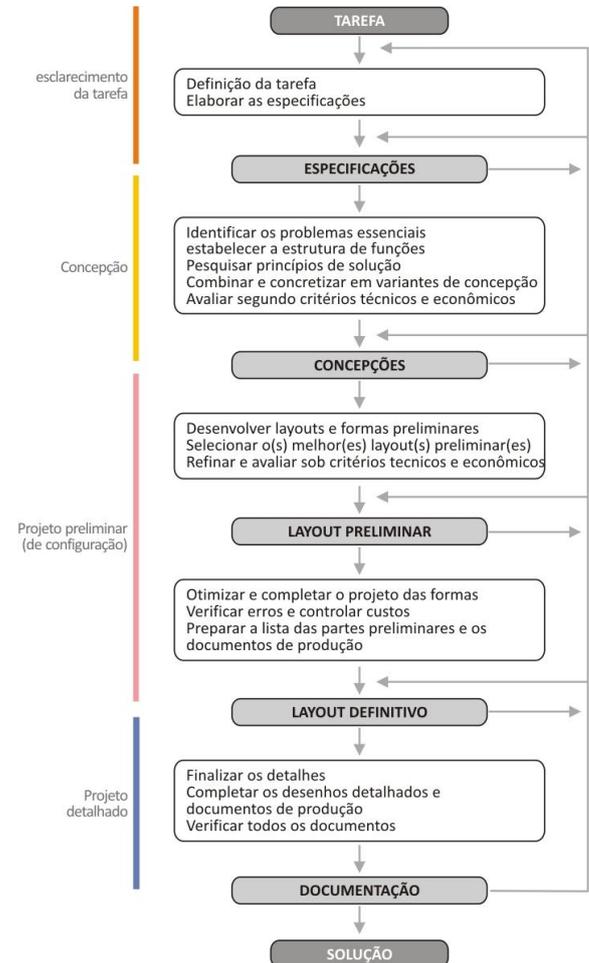


Figura 5: Fases do processo de projeto de Pahl e Beitz (1996) - Fonte: Back, 2008

Desta forma, o processo de projeto tem início com o esclarecimento do problema de projeto, o qual estando bem definido dará a idéia inicial do produto, mesmo que, na forma de requisitos de projeto. É necessário, portanto, planejar e esclarecer adequadamente o problema de projeto, sendo, inclusive, um dos aspectos essenciais para a geração de soluções alternativas.

2.2 Processo Criativo

No decorrer do processo de projeto, as fases de projeto informacional e projeto conceitual são as responsáveis pela constante atualização e aperfeiçoamento dos produtos no mercado. O processo criativo, que é o foco de estudo do presente trabalho, ocorre durante o projeto conceitual, ferramentando o projetista para o desenvolvimento de soluções inovadoras.

A criatividade no processo de projeto é um dos fatores de grande importância para desenvolver produtos inovadores e mais competitivos. Por muito tempo a criatividade foi vista como uma característica de poucas pessoas, como um dom que os indivíduos possuíam quando nasciam. Porém, esta

visão deixou de prevalecer quando se percebeu que os indivíduos poderiam desenvolver soluções criativas quando devidamente capacitados e suportados para esse processo [2].

Segundo Magalhães (1995), apud [2] e Alencar (1996), apud [2], por um longo tempo, a criatividade era tida como sinônimo de capacidade ou habilidade de atos extraordinários, ou seja, fruto da inspiração divina. Os gregos, por exemplo, invocavam as musas em busca da inspiração e tinham em cada uma delas uma referência a uma arte específica (dança, música, poesia, teatro, história, etc.).

Segundo Boden (1999), apud [2] a criatividade é como um quebra cabeças e até mesmo um mistério, sendo que os próprios inventores, cientistas e artistas não sabem como surgem suas idéias originais em determinados momentos, citando a intuição como provável fator para o processo criativo. Alencar também aborda a criatividade como um fenômeno complexo que envolve a interação dinâmica das pessoas envolvidas como as características da personalidade e das habilidades de pensamento e o ambiente, onde o clima psicológico, os valores e normas da cultura podem interferir [2].

Segundo Torrance [14], é possível identificar algumas características próprias de pessoas criativas. Algumas delas são: intuição, coragem, ousadia, curiosidade e espírito desafiador. Mas considerando o que já foi abordado na introdução a respeito do processo criativo, é importante retomar a idéia de que as características pessoais influenciam na criatividade, mas que não são garantia de inovação. Há que ter inspiração, mas também há que saber direcionar ou sintetizar as soluções adequadas para um problema, de forma prática e objetiva. Mesmo que um indivíduo esteja inspirado e alcance uma excelente solução, não é possível ficar esperando esse fenômeno ocorrer. Talvez esta seja uma das questões que diferencie arte de design. A arte está intimamente ligada à inspiração; já o projeto pode ser muito bem caracterizado como fruto de um árduo trabalho.

No domínio do design, a criatividade é entendida como a habilidade dos membros da equipe de ter idéias novas e úteis para resolver o problema proposto ou de sugerir soluções para a concepção de um produto. Produtos, processos, soluções de problemas e idéias criativas devem possuir as seguintes qualidades: apresentar novidade, ser única, ser útil ou apreciada e simples [1].

Na fase conceitual, são buscados princípios de solução, que devem ser avaliados para um posterior amadurecimento nas fases seguintes. Nessa fase, duas etapas principais são consideradas: a primeira, de abstração, onde se desenvolve a estrutura de funções do produto, ou seja, o que o produto deverá fazer, desconsiderando soluções técnicas conhecidas. Na segunda etapa, de síntese, busca-se estabelecer como o produto deverá fazer para satisfazer as funções definidas na forma de princípios físicos, químicos ou biológicos. Aqui se inicia o processo de realização do produto, ainda num estágio conceitual, em nível de princípios de solução [2].

Back [1], descreve o processo de criação conforme mostra a Figura 6, organizado nas etapas de Preparação, Esforço Concentrado, Afastamento, Visão, Seleção de Idéias e Revisão. No presente trabalho, essas etapas serão agrupadas em *geração de soluções*, *seleção da concepção* e *análise da concepção*, desenvolvidas nos capítulos seguintes.



Figura 6: etapas do processo de criação

Fonte: Back, 2008

2.2.1 Geração de Soluções

A etapa do esforço concentrado se baseia essencialmente na aplicação de métodos para geração de soluções alternativas. Esses métodos são classificados de diferentes formas na literatura e, segundo Back [1], podem ser agrupados em dois grandes grupos: métodos intuitivos e métodos sistemáticos. Dentre os métodos intuitivos estão brainstorming e suas variações, o método de Delphi, analogia direta, simbólica e pessoal, método sinético, método da listagem de atributos e método da instigação de questões. Já os sistemáticos são o método da matriz morfológica, o método da análise de valor e o método da função síntese.

Segundo Basseto [2], os métodos intuitivos estão associados à imaginação, inspiração, iluminação e, a partir deles, pode surgir inesperadamente uma idéia, seja em uma conversa informal ou mesmo quando estamos distantes do problema. Os métodos sistemáticos também estão associados aos métodos intuitivos, mas apresentam procedimentos para geração de idéias criativas como, por exemplo, através da divisão do problema em partes menores ou mesmo utilizando uma base de conhecimento para determinados problemas comuns ou similares para estimular o processo criativo.

Dentre tantas ferramentas, a biomimética também pode ser considerada como um método criativo, o qual é aplicado através de analogia com elementos da natureza, em âmbito formal, comportamental ou funcional. Contudo esse conhecimento, que é vastíssimo, ainda não foi sistematizado, o que dificulta e limita o uso.

2.2.2 Seleção da Concepção

Após o processo de geração de soluções alternativas é necessário realizar a seleção dessas concepções e verificar aquelas que apresentam viabilidade. Segundo Back [1], o ponto de partida para essa triagem é o estabelecimento de critérios ou os limites que permitem distinguir as soluções úteis daquelas que devem ser abandonadas. A **Erro! Fonte de referência não encontrada.** traz exemplos de critérios generalizados, desdobramento em critérios específicos e parâmetros de avaliação dos mesmos.

2.2.3 Análise da Concepção

A macro-fase do Projeto Conceitual do produto inicia com a geração do maior número possível de alternativas, passando-se a seguir à fase de seleção da melhor ou das melhores soluções dentre todas que compõem o grande grupo das alternativas. Por fim, a concepção adotada deve chegar à etapa conclusiva de análise e validação, na qual serão feitos pequenos ajustes e adaptações, buscando a otimização da solução.

Para que o processo seja possível, é necessário modelar a concepção escolhida, criando modelos que possam ser abstratos ou experimentais, a partir do qual poderá ser feita a análise. De forma bem ampla, pode-se definir *modelo* como: *uma versão simplificada do que é real*. O processo de modelagem tem como ponto de partida o objeto real, o qual deve ser substituído por outro objeto abstrato, ou modelo mais simples, geralmente com a mesma designação, em forma gráfica, textual ou simbólica (Schichl, 2003, apud [1]).

2.2.4 Considerações sobre o capítulo

São diversas as formas de modelagem de uma concepção e muito mais diversas ainda são as múltiplas maneiras de analisá-la, as quais vão desde parâmetros dimensionais, econômicos, estéticos, de configuração, de precisão, de segurança, de sensibilidade, etc. Apesar da etapa de *análise da concepção* ser parte integrante da macro-fase do Projeto Conceitual, não é mérito da presente pesquisa aprofundar-se neste tema. A demarcação realizada na introdução do trabalho deixa claro o interesse focado na etapa do processo criativo do projeto e da geração de alternativas, realizados ainda durante a primeira fase do Projeto Conceitual.

Segundo Basseto [2], de um modo geral, não se pode querer que as pessoas sejam criativas, pois a criatividade é um processo que deve ser construído e também estimulado, seja através de práticas, de procedimentos e principalmente rompendo barreiras que inibem o processo criativo. Pereira e Bazzo (1997), apud [2], falam que o ensino, hoje, enfrenta desafios em promover melhores condições de aprendizagem, pois pouco se sabe lidar com o medo do erro e do fracasso, o que favorece a falta de iniciativa e, conseqüentemente, a incapacidade, levando aos educandos uma visão pessimista de seus talentos e de suas possibilidades de solucionar problemas.

É importante promover um ensino que proporcione autoconfiança, persistência, coragem de correr riscos e de resolver problemas e, com isto, fazer com que os educandos reconheçam suas potencialidades, respeitem as diferenças e oportunizem a geração de idéias. Segundo Leonardo da Vinci [16], todas as ciências são filhas da experiência e esta nunca erra, pois o que erra é só o nosso julgamento em prometer a si mesmo resultados que não são causados por nossos experimentos.

Depois de estudados alguns autores, foi possível compreender muito do processo de desenvolvimento de produto. Para dar andamento à pesquisa, o passo seguinte é

aprofundar o tema dos princípios de solução da natureza, buscando reconhecer padrões matemáticos e funcionais.

3. BIOMIMETISMO E SOLUÇÕES ANÁLOGAS

É possível verificar, principalmente no método da analogia, relações freqüentes com a natureza para encontrar soluções de concepção. O Biomimetismo ou a Biônica são abordagens tecnologicamente orientadas para aplicar as lições de design da natureza buscando solucionar os problemas do homem. Os estudos da Biomimética são embasados nas soluções naturais de projeto, decodificando geometrias e funcionamentos, na busca do melhor aproveitamento e do menor gasto de energia.

Segundo Soares [13], o termo Biônica foi inventado, em 1958, pelo Engenheiro da Força Aérea dos E.U.A Major Jack E. Steele e foi definido como “a análise das formas pelas quais os sistemas vivos atuam e têm descoberto os artifícios da natureza”. O termo *Biônica*-do grego “elemento de vida”- foi oficialmente usado como título de um simpósio em setembro de 1960.

Segundo Podborschi (*et al.*, apud [13]), a Biônica é a ciência que estuda os princípios básicos da natureza (construtivos, tecnológicos, de formas, etc.) e a aplicação destes princípios e processos na procura de soluções para os problemas que a humanidade encontra. Uma vez que a Biônica lida com a aplicação das estruturas, procedimentos e princípios de sistemas biológicos, foi convertida em um campo interdisciplinar que combina a biologia com a engenharia, a arquitetura, e a matemática. Wahl [17] sugere que a Biônica e o Biomimetismo representam duas abordagens distintas ao “design e natureza”, baseadas em diferentes concepções da relação entre a natureza e a cultura. Enquanto a Biônica trata da previsão, manipulação e controle da natureza, o Biomimetismo aspira a participação na natureza e, por isso, constitui uma maior contribuição para a sustentabilidade.

Depois de investigar um extenso número de pesquisas, Janine Benyus documentou e integrou suas descobertas em *Biomimicry - Innovation Inspired by nature*. Este novo termo – *Biomimética* - é caracterizado por ser mais amplo que o conceito de Biônica, conhecido até então. Além de considerar a imitação da forma biológica, o Biomimetismo inclui também o conceito de replicação do comportamento dos organismos biológicos. A definição de Benyus a respeito do campo de estudo da Biomimética está reproduzida abaixo [13]:

- **Natureza como modelo:** Estudar os modelos da natureza e imitá-los ou usá-los como inspiração, com o intuito de resolver os problemas humanos;
- **Natureza como uma medida:** Usar o padrão ecológico para julgar a relevância e a validade das nossas inovações. Após bilhões de anos de evolução, a natureza aprendeu o que funciona, o que é mais apropriado e o que perdura;
- **Natureza como um mentor:** Nova forma de observar e avaliar a natureza. Preocupar-se não no que podemos extrair do mundo natural, mas no que podemos aprender com ele.

O presente trabalho tratará o tema dos princípios naturais de solução a partir da visão da Biomimética, considerando também os aspectos da Biônica, mas buscando relações mais amplas e integradoras, visto que o objetivo não é apenas copiar da natureza, mas aprender e interagir com ela.

Segundo Benyus [4], em uma sociedade acostumada a dominar ou "melhorar" a natureza, imitá-la de forma respeitosa é uma abordagem radicalmente nova, uma revolução de verdade. Ao contrário da Revolução Industrial, a Revolução Biomimetismo apresenta uma era baseada não no que se pode extrair da natureza, mas sobre o que é possível aprender com ela. Fazendo as coisas à maneira da natureza, é possível mudar a forma de cultivar alimentos, de produzir materiais, de gerar energia, de curar, de armazenar informações e de realizar negócios. Depois de 3,8 bilhões anos de pesquisa e desenvolvimento, as falhas são fósseis, e aquilo que nos rodeia é o segredo para a sobrevivência.

A respeito dessa engenhosidade e sabedoria presentes na natureza, Leonardo da Vinci faz a seguinte afirmação [16]:

A genialidade do homem faz várias invenções, abrangendo com vários instrumentos o único e mesmo fim, mas nunca descobrirá uma invenção mais bela, mais econômica ou mais direta que a da natureza, pois nela nada falta e nada é supérfluo [16].

Ao olhar com profundidade para a natureza, percebemos que todas as invenções humanas já apareceram nela de uma forma mais elegante e com um custo muito menor para o planeta. Mesmo um dos mais inteligentes sistemas construtivos, de pilares e vigas, já está caracterizado em lírios e hastes de bambu. O aquecimento central e ar-condicionado são superados pela torre de cupim. O melhor sonar produzido pelo homem é difícil de ouvir, em comparação com a transmissão do morcego multifrequencial. Até mesmo a roda, que sempre pareceu ser uma criação exclusivamente humana, foi encontrada no pequeno motor rotativo que impulsiona o flagelo das bactérias mais antigas do mundo [4].

Os seres vivos, em conjunto, mantêm uma estabilidade dinâmica, como dançarinos em um arabesco, continuamente manipulando recursos sem desperdícios. Depois de décadas de estudos, os ecologistas começaram a entender semelhanças escondidas entre muitos sistemas interligados. De suas anotações saem alguns princípios [4]:

- A natureza trabalha à luz do sol;
- A natureza usa apenas a energia que necessita;
- A natureza adapta a forma à função;
- A natureza recicla tudo;
- A natureza vive em cooperação;
- A natureza se assenta na diversidade;
- A natureza exige conhecimentos precisos;
- A natureza corta o desperdício desde a origem.
- A natureza toca o poder de limites.

Segundo o biólogo John Todd (2000), apud [17], a ecologia da Terra possui um conjunto de instruções que precisamos urgentemente decodificar e empregar na concepção dos sistemas humanos. Após quarenta anos de pesquisas nas áreas de biologia, ecologia e design, Todd enfatiza que é possível projetar com a natureza. Através do design ecológico é possível existir uma civilização mais evoluída, usando apenas um décimo dos recursos do planeta que a sociedade industrial utiliza hoje.

John e sua esposa Nancy Jack-Todd (1993), apud [17], foram os primeiros pesquisadores a oferecer uma lista de

princípios de design ecológico. A proposta inicial são 9 preceitos, incrementados depois por um décimo ponto, visando salientar a centralidade do design como expressão da intencionalidade em todas as interações humanas:

- O mundo vivo é a matriz para todo o design;
- O design deve seguir, e não opor-se às leis da vida;
- A equidade biológica deve determinar o design.
- O design deve refletir o bioregionalismo;
- O design deve ser baseado em fontes de energia renováveis;
- O design deve ser sustentável na integração de sistemas vivos;
- O design deve ser co-evolucionário com o mundo natural;
- A construção e o design devem ajudar a curar o planeta;
- O design deve seguir uma ecologia sagrada;
- Todos somos designers.

Esta lista de preceitos do design biológico reflete a visão holística e participatória que sustenta o design sustentável integrado. O movimento transdisciplinar que cresceu desta abordagem participativa e eticamente responsável tem sido descrito como "Bioneers", design natural ou movimento natural do design [17].

Desde os anos 70, a Biônica se tornou uma disciplina de apoio cada vez mais influente para engenheiros e tecnólogos. Uma grande contribuição para isso foi o trabalho pioneiro do zoologista Werner Nachtigall (1997), apud [17], que retrata a biônica como o processo de aprender com a natureza como inspiração para a concepção técnica independente. Nachtigall formulou uma série de princípios do design biônico:

- Integrada, em vez de construção aditiva;
- Otimização do conjunto, em vez de maximização dos elementos individuais;
- Multifuncionalidade, em vez de monofuncionalidade;
- Adaptação a ambientes particulares;
- Poupança de energia, em vez do desperdício de energia;
- Uso directo e indirecto da energia solar;
- Limitação temporal, em vez de durabilidade desnecessária;
- Reciclagem total, em vez de acumulação de resíduos;
- Redes, em vez de linearidades;
- Desenvolvimento durante o processo de experimentação e erro.

Outros princípios para guiar o design de produtos são desenvolvidos também por Janine Benyus [4] e Edwin Datschewski (2001), apud [13], dois nomes indissociáveis da evolução do Biomimetismo como ciência, os quais estão expostos no Quadro 1.

Janine Benyus (1997)	Ed Datchefski (2001)
<ul style="list-style-type: none"> • Usar resíduos como um recurso • Diversificação e cooperação para usar completamente o habitat • Obter e usar energia de forma eficiente • Otimizar em vez de maximizar • Moderar o uso de materiais • Não poluir • Não gastar recursos • Permanecer em equilíbrio com a biosfera • Partilhar informação • Comprar localmente 	<ul style="list-style-type: none"> • Cíclico: os produtos devem ser parte de ciclos naturais, feitos de material que possa ser compostado ou tornarem-se parte de um ciclo humano, como um círculo fechado de reciclagem. • Solar: toda a energia usada para fazer o produto deve provir de energia renovável, em todas as suas formas, como a solar. • Eficiente: aumentar a eficiência dos materiais e uso de energia significa menos danos ambientais. Os produtos podem ser desenhados para usar 1/10 do que usavam antes. • Segurança: os produtos e os subprodutos não devem conter materiais tóxicos • Social: A fabricação dos produtos não pode incluir exploração dos trabalhadores.

Quadro 1: Princípios de Biomimetismo definidos por dois autores diferentes. Fonte: Soares, 2008

4. A BIOMIMÉTICA COMO FERRAMENTA NO PROCESSO CRIATIVO DO PROJETO DE PRODUTO

Assim como os citados acima, muitos estudiosos têm se dedicado à busca de princípios e soluções para a aplicação de um design sustentável. A biomimetica é uma ferramenta que pode transformar a visão do homem sobre o mundo e diversas pesquisas já estão comprovando a sua utilidade. O artigo *Application of abstract formal patterns for translating natural principles into the design of new deployable structures in architecture*, de M. R. Matini & J. Knippers [9], descreve um método para transmissão dos princípios naturais para estruturas arquitetônicas, baseado no estudo de caso das deformações do corpo da minhoca. Uma minhoca se move por meio de ondas de contrações musculares, que alternadamente encurtam e alongam o corpo. É apresentada, então, uma abstração desse princípio natural e o desenvolvimento de novas estruturas móveis na arquitetura, utilizando o modelo abstrato.

O método consiste em 3 etapas fundamentais: Como captar um princípio natural, como encontrar um conceito de projeto para a estrutura e como desenvolver o conceito. É proposto um modelo geométrico gerado a partir de um princípio natural, o qual será aplicado ao conceito de estrutura móvel, após sequenciais modificações do modelo inicial. Esse conceito não é uma cópia da natureza, é apenas inspirado nela. Nas fases seguintes novos conceitos e possibilidades são desenvolvidos.

Após determinada a característica especial que se deseja aplicar à estrutura, é necessário gerar um modelo wireframe 2D ou 3D que simplifica um princípio natural como lei de uma forma. Primeiramente, um organismo, animal ou planta, deve ser simplificado por pontos e linhas e, depois disso, seu mecanismo de deformação devem ser representado por cores. Os pontos e linhas representam os principais elementos que participam da deformação do corpo. A deformação da forma advém das mudanças das linhas. Os pontos representam o tipo de deformação das linhas uma com relação às outras. As linhas, em seus pontos de intersecção, podem se mover com diferentes graus de liberdade. As cores dos pontos e das linhas mostram os tipo de transformação em cada componente, podendo ter diferentes significados.

As cores vão do preto, passam pelo azul, vermelho e, por fim, o verde. Os pontos vão ganhando liberdade de

movimento a medida que se afastam do preto, seguindo a mesma ordem descrita acima. As linhas pretas não podem mudar de forma, as azuis podem sofrer flexão, as vermelhas podem ser encurtadas e as verdes podem ser alongadas. A Figura 7 demonstra um tipo de deformação, seguindo as regras das cores e elementos.

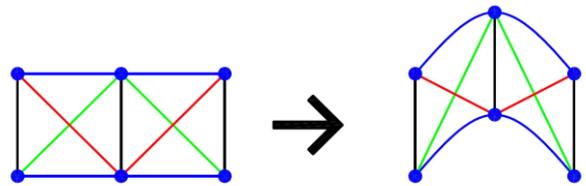


Figura 7: exemplo que demonstra uma transformação. Fonte: Matini & Knippers, 2008

Esse esquema gráfico de análise de deformações foi aplicado ao caso da minhoca. Verificou-se que, sob a pele do verme, há dois principais grupos de músculos, uns longitudinais e outros circulares. Quando os músculos circulares se contraem, tornam a minhoca mais alongada e fina. Quando os músculos longitudinais se contraem a minhoca fica mais curta e mais gorda (Figura 8).

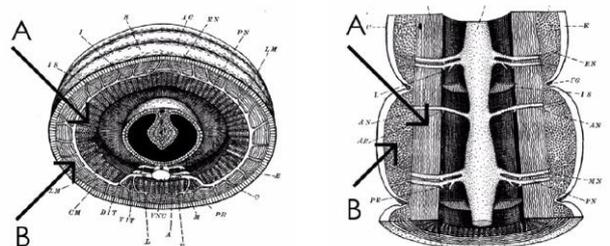


Figura 8: Representação dos grupos de músculos da minhoca. A=músculos longitudinais, B=músculos circulares. Fonte: Matini & Knippers, 2008

Esta deformação do corpo da minhoca por ser representada graficamente por um modelo 3D wireframe, composto apenas de linhas vermelhas e verdes e pontos pretos. Foram utilizadas três modificações estruturais ao sistema inicial: adicionadas as linhas diagonais (linhas azuis),

subtraídas as linhas extras (as linhas verde e vermelha, que não desempenham um papel importante na deformação do modelo) e mudadas a cor dos pontos (variação de preto para azul) (Figura 9).

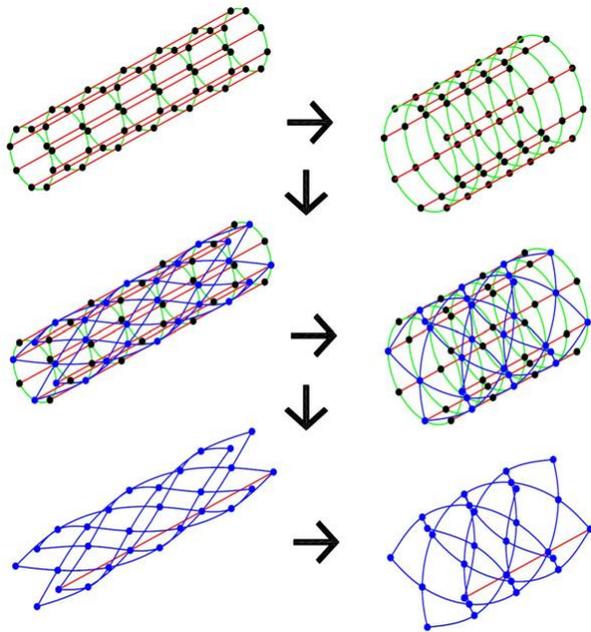


Figura 9: Sequência de transformação da minhoca. Fonte: Matini & Knippers, 2008

O resultado é o conceito de uma estrutura cilíndrica retrátil, que pode ser utilizado para diferentes aplicações na arquitetura. Com a deformação espiral das hastas elásticas e a orientação das articulações, esta estrutura cilíndrica pode assumir outras formas, mudando sua altura e largura. Este conceito também foi desenvolvido pelos autores e está demonstrado na Figura 10 abaixo:

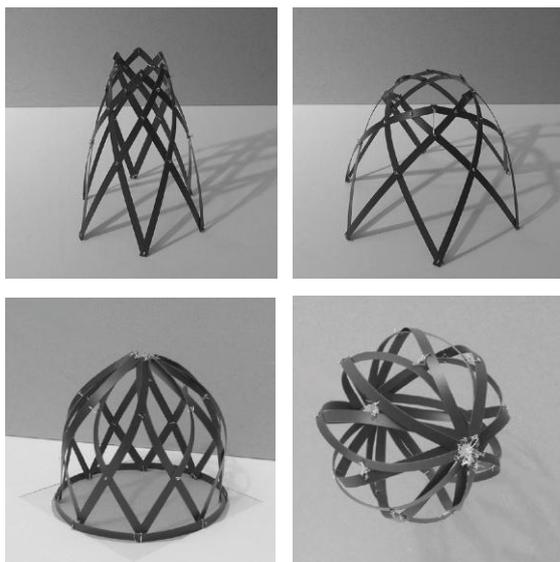


Figura 10: Teste do resultado com modelo real. Matini & Knippers, 2008

Assim como este, outros exemplos de busca de referências naturais para solucionar problemas do homem poderiam ser abordados. Segundo Isenmann [8], certamente

economistas e engenheiros utilizam com freqüência as analogias biológicas, em particular analogias a partir de organismos (analogia com a evolução, com o crescimento fractal, com o cérebro, etc.) na busca por solucionar fenômenos sócio-econômicos. No entanto, sem um quadro conceitual associado e sem um amplo esclarecimento filosófico, a perspectiva da ecologia industrial de compreender a natureza como modelo provavelmente permanece apenas especulativo. É questionável se o trabalho com as analogias biológicas são de fato algo novo ou apenas um condicionamento do senso comum. Reforçar a base da ecologia industrial é útil por proteger a idéia poderosa de a natureza servir como modelo e não apenas por utilizá-lo como uma mera retórica ou uma nota na literatura de gestão ambiental, apenas como um belo acessório.

Outro questionamento interessante é trazido por Wahl [17], que resgata um ensinamento de Leonardo da Vinci, de 500 anos atrás: "aqueles que tomarem partido de qualquer estandarte que não seja o da natureza – a mestra de todos os mestres – trabalharão em vão"

Da Vinci parece ter previsto certa tendência do homem em percorrer um caminho orientado pelo objetivo de aumentar a sua capacidade de controlar e manipular a natureza, em vez de aprender e integrar-se a ela. Apesar da advertência de Leonardo, muitos foram os que tomaram o caminho da "não-natureza". Galileu Galilei focou seus estudos nos aspectos quantitativos e mensuráveis da natureza, considerando os aspectos qualitativos de importância secundária. Francis Bacon descreveu a visão de homem como "mestre da natureza." René Descartes criou a separação conceitual entre mente e corpo, entre humanidade e natureza, entre sujeito e objeto, categorias mutuamente exclusivas e independentes. Juntos, eles criaram a base para uma ciência reducionista do objetivismo independente [17].

Esta abordagem científica, predominante a partir do século XVIII, gerou uma separação dos seres humanos da sua natureza biológica, tornando-se observadores objetivos. A causa raiz da insustentabilidade total da civilização moderna reside na separação dualista da natureza e da cultura. É na natureza que todos os povos e todas as espécies são unidos em uma comunidade de vida. No entanto, a cultura é comumente concebida como algo independente e à parte da natureza. Apesar dessa inversão de valores culturais, desde a revolução industrial, a ciência reducionista permitiu ao homem projetar uma série de tecnologias poderosas, manipuladoras, as quais vêm transformando o planeta de maneira arrasadora [17].

Depois de muitos estudiosos estarem percebendo as grandes inovações que podem ocorrer inspiradas pela natureza, Benyus [4] traz um questionamento interessante com relação ao uso que o homem dará a esse conhecimento: "O que fará a Revolução Biomimética diferente da Revolução Industrial? Quem pode afirmar que não se vai simplesmente roubar o trovão da natureza e utilizá-lo em alguma campanha contra a vida?" Esta não é uma preocupação infantil, pois uma das mais recentes invenções biomiméticas foi o avião, inspirado no voo dos pássaros. O homem voou pela primeira vez em 1903, e em 1914, já estava lançando bombas do céu. Talvez o que o homem realmente necessite não é uma mudança tecnológica, mas uma mudança interna de metalidade, que o permita estar atento às lições da natureza.

Segundo Benyus [4], não há muito que aprender na cidade, é hora de caminhar na floresta novamente. Uma vez que a natureza é vista como um mentor, o relacionamento do homem com o mundo muda. Neste ponto da história, como

se contempla a possibilidade muito real de perder um quarto de todas as espécies nos próximos trinta anos, a biomimética torna-se mais do que apenas uma nova forma de olhar para a natureza. Ela se torna uma corrida e um resgate.

Segundo Wahl [17], o design é a expressão da intencionalidade através de interações e relações. Isso muda significativamente quando a intenção de projeto é abordada na perspectiva da cultura como algo separado da natureza, com o objetivo de manipulá-la da forma mais eficaz, ou quando é abordada dentro de uma forma holística, que considera a cultura como um co-participante dependente dos processos naturais. Tais mudanças na intenção são mudanças que afetam toda a atividade humana. A criação de uma civilização sustentável se dá primeiramente sobre tais mudanças fundamentais nas visões de mundo dominante, sistemas de valores, intenções e estilos de vida.

A visão destes autores trazem o tema da Biomimética como uma questão cultural, de respeito à vida e à natureza, o que vai muito além do alcance do designer. Para uma real revolução biomimética, como fala Benyus, é necessário um trabalho conjunto de todas as áreas do saber em reeducar o homem a ser mais ético e mais "humano". Apesar de ser restrita, a atuação do designer pode contribuir muito para uma sociedade mais sustentável, apropriando-se das ferramentas da Biomimética, conhecendo-as a fundo e aplicando-as em seus produtos. A ferramenta de apoio ao projeto proposta no presente trabalho buscará estar em conformidade com os princípios abordados neste capítulo.

5. EXEMPLOS DE APLICAÇÕES

O propósito do presente capítulo é verificar, em alguns exemplares dentro da área do design, da arte, da engenharia e da arquitetura, a possível aplicação de princípios de solução da natureza. Estes princípios podem ser expressos através de padrões matemáticos, de formas geométricas ou de proposições funcionais que se assemelhem ou busquem inspiração em referências naturais.

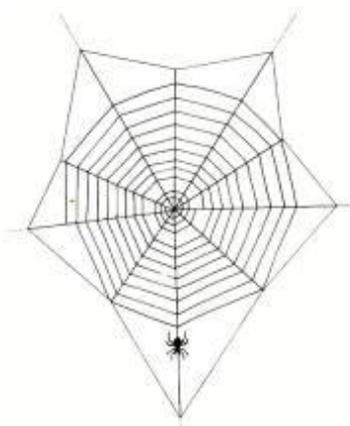


Figura 11: Construção de uma teia de aranha juntando fios radiais retos com linhas de giro espiral. Fonte: Doczi, 1990

Leonardo da Vinci, que foi um expoente na área da engenharia, dizia que, apesar da grande genialidade do homem, este nunca descobrirá uma invenção mais bela, mais econômica ou mais direta que a da natureza. As observações e experimentos descritos em seus diários, dentre os quais é possível encontrar uma primeira idéia de submarino, de asa-delta, de tanques de guerra, de pontes e dezenas de peças mecânicas, são claros exemplos de sua inspiração nos modelos naturais [16].

György Doczi [5] também ilustra diversos exemplos de aplicações de padrões naturais na arte e na arquitetura. Segundo ele, os trançados de cestos têm grande semelhança com teias de aranha. As aranhas tecedeiras constroem suas teias começando por fios retos que se juntam no centro (Figura 11). Em seguida tecem espirais ao redor desses fios, que vão se alargando em órbitas cada vez mais amplas. Cesteiros também trabalham em um padrão parecido, iniciando a urdidura com fibras mais duras dispostas radialmente a partir de um ponto que será o centro do cesto (Figura 12). Em seguida, fibras flexíveis são trançadas por cima e por baixo da urdidura de forma rotativa.



Figura 12: Trançado de cesto. Hastes de fibra dura, que formam a urdidura, sustentam a trama espiralada flexível. Fonte: Doczi, 1990

Dentro da área da arquitetura, há dois expoentes construídos na China para os jogos olímpicos de 2008, o Cubo D'água e o Ninho de Pássaro, ambos inspirados em elementos da natureza, os quais batizam inclusive os seus nomes. A estrutura básica do primeiro edifício se baseia em bolhas e, apesar de nenhuma ser igual à outra, todas seguem um mesmo padrão gerador (Figura 13 e Figura 14). No anexo 3, encontra-se uma breve explicação de parte do processo criativo realizado durante o projeto conceitual deste estádio, Já o segundo edifício se baseia nas tramas e trançados de um ninho, trocando a tradicional palha por aço (Figura 15 e Figura 16).



Figura 13: Foto noturna do Cubo D'água.

Fonte: [Http://mw2.google.com/mw-panoramio/photos/medium/7817442.jpg](http://mw2.google.com/mw-panoramio/photos/medium/7817442.jpg)



Figura 14: Foto da estrutura do Cubo D'água.
Fonte: [Http://www.core.form-ula.com/wp-content/uploads/2008/06/484440654_ee7bb8ddbc_b.jpg](http://www.core.form-ula.com/wp-content/uploads/2008/06/484440654_ee7bb8ddbc_b.jpg)

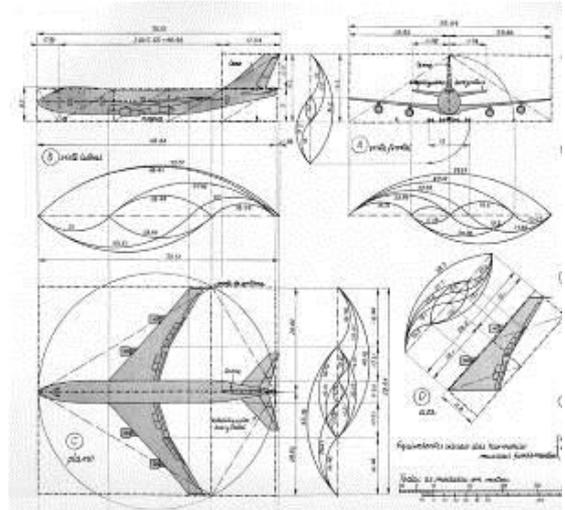


Figura 17: Estudos geométricos do Boeing 747.
Fonte: Doczi, 1990



Figura 15: Ninho de Pássaro. Foto: Martin Saunders.



Figura 16: Ninho de Pássaro. Foto: Ben McMilian.

Voltando-se para a indústria e a engenharia mecânica, não se pode deixar de lado a invenção do Avião em base a analogia com os pássaros e respeitando também a razão áurea (Figura 17). Outra criação inteligente para solucionar o problema de alta resistência e leveza de peças mecânicas simultaneamente é o honeycomb, desenvolvido a partir da geometria dos favos das colméias (Figura 18). Ainda dentro da indústria, é interessante ressaltar a criação do velcro, baseado na estrutura dos carrapichos (Figura 19).



Figura 18: honey-comb, baseado na geometria das colmeias.



Figura 19: fotos tiradas em laboratório pela equipe do LDSM, UFRGS de um pega, pega (carrapicho). Fonte: CD Biônica.

Robert Le Ricolais (1894-1977), um arquiteto e engenheiro francês, usou o padrão reticulado da Radiolaria (Figura 21), protozoário marinho, como inspiração. Através de suas pesquisas, ele desenvolveu princípios estruturais, que resultaram em uma estrutura firme, leve e durável. Seu objetivo eram estruturas com “força infinita e peso zero”. Este mesmo pesquisador estudou as conchas corrugadas, Pecten (Figura 20), produzindo planos rígidos e tubos de superfície corrugada [15].



Figura 20: concha corrugada Pecten.

http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Pecten_irradians_illustration.png

Frei Otto, do Instituto de estruturas leves da Universidade de Stuttgart, organizou um programa no qual reuniu biólogos, arquitetos e engenheiros (também matemáticos, ecologistas, filósofos e sociólogos) com o objetivo de extrair idéias úteis da biologia. Essas idéias podem ser percebidas nas estruturas tensionadas que ele utilizou para cobrir o estádio olímpico de Munique (Figura 22), dentre outras estruturas. Essas membranas foram inspiradas nas tramas horizontais construídas sob a água pela aranha *Argyroneta aquatica*, a qual é usada para reter ar para o desenvolvimento subaquático dos seus ovos. Este conceito também foi utilizado por Jacques Rougerie no projeto de uma vila subaquática (Figura 23) para acomodar 250 mergulhadores [15].

Com relação a materiais, segundo Vincent [15], apesar da grande quantidade de inovações que são lançadas todos os anos, a madeira ainda é o mais eficiente estruturalmente em termos de custo, estabilidade, segurança e capacidade de suporte de peso. Tanto é assim que a maior aeronave já construída (Howard Hughes’ “Spruce Goose”) foi feita em madeira, assim como o famoso DeHavilland “Mosquito”. A madeira nunca deveria ter sido deixada de lado, mas o fato é que as aeronaves começaram a ser fabricada em metal. Há que levar em conta que as propriedades mecânicas da madeira nunca são totalmente uniformes e portanto ela deve ser cuidadosamente escolhida, o que é um dos motivos pelos quais ela acaba perdendo muitas vezes para o metal.

Está sendo desenvolvido um novo material em fibra de vidro para proteção contra explosivos e à prova de balas e baseado nas características morfológicas da madeira (a parede celular - Figura 24). É particularmente próprio para roupas, pois é leve, sendo feito de material celular. Com certeza existem outros mecanismos a serem descobertos na madeira, uma vez que apenas o princípio da parede celular foi mais profundamente estudado [15].

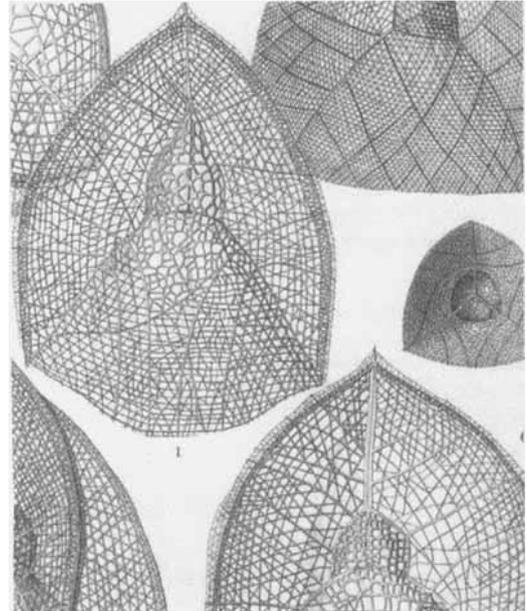


Figura 21: Radiolaria, o esqueleto da *Callimixa spp.* Fonte: Vincent, 2006



Figura 22: Parte do Estádio Olímpico de Munique. Fonte: Vincent, 2006



Figura 23: Projeto de uma vila subaquática de Jacques Rougerie. Fonte: Vincent, 2006

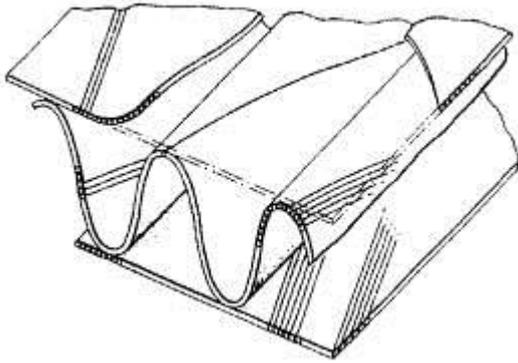


Figura 24: Utilização de tecnologia do papelão ondulado para produzir um análogo da madeira

Além da madeira, outros materiais importantes sobre os quais a natureza nos ensina são os compósitos cerâmicos. A rigidez dos compósitos cerâmicos biológicos é ditada pela agregação de cerâmica presente. A natureza é capaz de compactar mais cerâmica dentro de um material compósito do que o ser humano, de forma que os materiais compósitos biológicos podem ser muito mais fortes.

Bill Clegg, um dos maiores inovadores na área da biomimética, desenvolveu um prato cerâmico baseado na madrepérola. A madrepérola tem uma proteína da matriz tênue entre as plaquetas de aragonita. A idéia de Clegg's foi usar as plaquetas, mas com diferentes materiais dentro. Adaptando a tecnologia de produção dos capacitores de circuitos elétricos, ele tornou mais econômica e simples a produção.

Outra estrutura natural interessante de ser estudada é o ouriço-do-mar. As estruturas tipo espuma existentes na conexão dos espinhos com o corpo principal ouriço do mar dão suporte às finas paredes externas de forma as mesmas possam resistir à flambagem, permitindo que a estrutura se dobre sem quebrar.

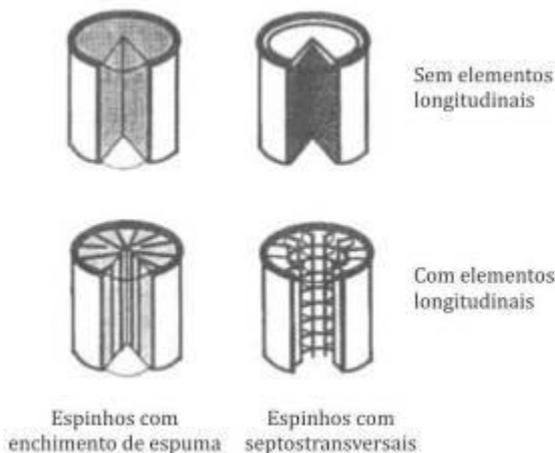


Figura 25: Estruturas internas de alguns espinhos. Fonte: Vincent, 2006

Lorna Gibson e GN Karam pesquisaram em profundidade a estrutura dos espinhos do ouriço-do-mar. Ela distinguiu diferentes estruturas internas dos tubos: um núcleo isotrópico tridimensional; o mesmo tipo de núcleo, porém com nervuras longitudinais ao longo do tubo e com reforços ortogonais longitudinais em forma de favos de mel quadrados. Por último, septos finos muito próximos.

Essas quatro estruturas foram analisadas como cartuchos cilíndricos (Figura 25). A teoria dos materiais celulares mostra que a rigidez da estrutura da célula é o reflexo das densidades alcançadas, as quais podem variar de acordo à geometria da estrutura celular.

O recente desenvolvimento do processo que permite a produção de reservatórios cilíndricos de metal com um núcleo do tipo espuma ou favos é uma resposta à importância e aplicabilidade da pesquisa desenvolvida. O conhecimento que estava confinado na natureza agora pode ser estendido a leves suportes tubulares, tais com os encontrados nas suspensões dos carros de corrida.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As questões acima abordadas tratam de demonstrar a existência de uma ordem matemática e precisa na constituição dos seres. De forma que, na natureza, nada parece ser aleatório. A existência de certos princípios comuns (sejam eles matemáticos, geométricos e/ou funcionais) na constituição do objeto natural abre uma ampla gama de possibilidades inventivas ao homem. O designer pode e deve se apropriar desses princípios para lançar-se à criação de produtos mais inteligentes, que aliem estética, economia e funcionalidade.

Como sugestão para serem desenvolvidas em trabalhos futuros fica a criação de um sistema classificatório, o qual facilite a busca e a escolha dos princípios biomiméticos. Há a necessidade de criação de uma ferramenta prática e funcional, que de fato possa auxiliar o designer durante a geração de alternativas do projeto de um produto.

7. REFERÊNCIAS

- [1]. BACK, N.; OGLIARI, A.; DIAS, A. & SILVA, J. C. Projeto Integrado de Produtos: planejamento, concepção e modelagem. Porto Alegre, Manoele, 2008.
- [2]. BASSETTO, E. L. Proposta de Metodologia para o Ensino das Fases de Projeto Informacional e Projeto Conceitual. Florianópolis, 2004.
- [3]. BAXTER, M. Projeto de Produto: Guia Prático para o Design de Novos Produtos. São Paulo. Edgard Blucher, 2000.
- [4]. BENYUS, J. Biomimicry: Innovation inspired by nature. New York. Quill Publishes, 1997.
- [5]. DOCZI, G. O Poder dos Limites: harmonias e proporções na natureza, arte e arquitetura. São Paulo. Mercury, 1990.
- [6]. FORCELLINI, F. A. Apostila de Projeto de Produto. [S.l.]: [s.n.], 2002.
- [7]. HEISS, A. M. Göttliche proportionen des attraktiven gesichts (thesis). Giessen, Germany: University of Giessen, 2002.
- [8]. ISENMANN, R. Industrial Ecology: Shedding more Light on its Perspective of Understanding Nature as Model. Sustainable Development, 2003.
- [9]. MATINI, M. R.; KNIPPERS, J. Application of "abstract formal patterns" for translating natural principles into the design of new deployable structures in architecture. WIT Transactions on Ecology and the Environment, 2008.
- [10]. PAHL, G. E. B. W. Engineering design: a systematic approach. London. Springer Verlag, 1996.
- [11]. RICKETTS, R. M. Divine proportion in facial esthetics. Clin Plast Surg, 9, outubro 1982. 401 - 22.

- [12]. ROMANO, L. N. Modelo de referência para o processo de desenvolvimento de máquinas agrícolas (tese). Florianópolis. Programa de pós-graduação em engenharia mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, 2003.
- [13]. SOARES, M. A. R. Biomimetismo e Ecodesign: Desenvolvimento de uma ferramenta criativa de apoio ao design de produtos sustentáveis. Lisboa. Universidade Nova de Lisboa - Faculdade de Ciências e Tecnologia, 2008.
- [14]. TORRANCE, E. P. Criatividade: medidas, teses e avaliações. São Paulo. IBRASA, 1976.
- [15]. VINCENT, J. F. V. Applications – Influence of Biology on Engineering. *Journal of Bionic Engineering* 3, 2006
- [16]. VINCI, L. D. Da Vinci por ele mesmo/ tradutor Marcos Malvezi. São Paulo: Madras, 2004.
- [17]. WAHL, D. C. Bionics vs. biomimicry: from control of nature to sustainable participation in nature. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, 87, 2006.
- [18]. ROZENFELD, H.; FORCELLINI, F.A.; AMARAL, D.C.; TOLEDO, J.C.; SILVA, S.L.; ALLIPRANDINI, D.H.; SCALICE, R.K. *Gestão de Desenvolvimento de Produtos: uma referência para a melhoria do processo*. São Paulo: Saraiva, 2006.