

A Biônica no Projeto de Produtos

Jaime Ramos

M. Eng.

Professor na Pontifícia Universidade Católica do Paraná - CCET

Rua Imaculada Conceição, 1155 - Prado Velho

80215-901 - Curitiba - Pr.

Ingeborg Sell

Dr. rer. nat.

Professora na Universidade Federal de Santa Catarina - EPS

Caixa Postal 476 - Campos Universitário - Trindade

88040-900 - Florianópolis - Sc.

Palavras-Chave: Projeto de Produto; Projeto de Processos; Biônica; Sistemas Naturais; Banco de Dados.

Key-Words: Product Design; Design of Process; Bionics; Natural Systems; Data-base

RESUMO

Este trabalho parte do pressuposto de que a natureza é uma boa fonte de idéias para a solução de problemas de projeto. Assim sendo, mostra-se aqui, onde, no processo de projeto, o conhecimento levantado e estruturado pela Biônica pode ser útil. E, para incrementar o uso deste conhecimento neste processo, apresenta-se um banco de dados na forma de um catálogo. Uma aplicação do catálogo numa tarefa de projeto, a nível de ensino, mostrou que a sistematização do conhecimento sobre os sistemas naturais facilita o seu uso na geração de soluções criativas.

ABSTRACT

This work takes it for granted the nature is a good source of ideas for solution of design problems. In this way, this paper presents where, in design process, the knowledge acquired and structured by Bionics can be useful. In order to increase the utilization of this knowledge, we present a data-base in a catalogue form. In design process, the use of the catalogue shown, at teaching level, that systematization of natural systems knowledge facilitates its utilization, in the generation of creative solutions.

Introdução

A vida na terra é o resultado dos processos de evolução e seleção naturais que se desenrolam há mais de três bilhões de anos em nosso planeta. Na luta pela sobrevivência, os organismos mais adaptados às condições do meio têm maiores chances de vencer. Assim, as características, que resultam em eficiência e funcionalidade, passam para as gerações seguintes, ao passo que os seres que não desenvolvem tais características tendem a desaparecer.

Ao contrário do ser humano, que tem uma curta existência para criar, a natureza possui milhões de anos de experiência, modelando e adequando suas criações, sempre buscando a eficiência. O homem primitivo aproveitava essa experiência, usando a natureza como fonte de inspiração para resolver seus problemas diários: as primeiras choupanas assemelhavam-se aos ninhos dos pássaros; a ponta do arpão, usado desde a idade da pedra, é semelhante ao ferrão dos insetos e aos espinhos de algumas plantas.

Na luta pela sobrevivência, e na tentativa de controlar e não ser controlado pelos fenômenos naturais, o homem, muitas vezes, viu como única alternativa a destruição da fauna e da flora, para construir seu mundo, desprezando a sabedoria contida nos princípios naturais. Talvez seja por esse motivo que, só depois de criar soluções tecnológicas como o sonar, por exemplo, teve que admitir que essas soluções já existiam na natureza há muito tempo (no caso do sonar, o eco-localizador do golfinho).

Assim sendo, parece razoável voltar a utilizar os princípios de solução que a natureza oferece e aproveitar o seu potencial na solu-

ção dos diferentes problemas e necessidades do homem. Esta é precisamente a atividade que a Bionica se propõe a apoiar. Por isso, este trabalho pretende contribuir para:

— divulgar o potencial das soluções desenvolvidas pela natureza e

— estimular a aplicação destas soluções no projeto de produtos e processos.

O Projeto de Produtos e Processos

Na atividade de planejamento e desenvolvimento de produtos e processos, desencadeada por problemas de clientes, pode-se distinguir cinco grandes etapas:

1ª - definição de estratégias de produtos: procura, avaliação e seleção de idéias de produtos e mercados;

2ª - determinação do problema do cliente e a definição dos requisitos de projeto;

3ª - concepção de soluções alternativas;

4ª - projeto preliminar;

5ª - projeto detalhado.

Nas etapas 1 e 3, são geradas, aperfeiçoadas e combinadas idéias que devem resultar num produto que atende às necessidades do cliente dentro das restrições especificadas na lista de requisitos. Para a execução destas, a criatividade do grupo de projetos é funda-

mental. Como criatividade é a capacidade de relacionar informações produzindo novas interpretações, ela pode ser estimulada pela busca de mais informações disponíveis em diferentes áreas do conhecimento e nos mais diversos meios, como a pesquisa bibliográfica, o estudo de sistemas técnicos existentes, a experimentação de modelos e o estudo e a análise de sistemas naturais; esta última, objeto de trabalho da Biônica.

A Biônica

O homem sempre usou a natureza como fonte de idéias para resolver seus problemas cotidianos, embora nem sempre de forma consciente.

A utilização proposital de princípios naturais no projeto de objetos criados pelo homem já pode ser vista nos trabalhos de Leonardo Da Vinci (1452-1519) que estudou o voo dos pássaros, analisando o batimento das asas, o voo planado, e o voo em equipe. Com o conhecimento adquirido nestes estudos, projetou, inicialmente, asas a serem movidas pela força muscular humana. Quando concluiu que o homem não teria força suficiente para sustentar o “voo batido”, passou a estudar a possibilidade de aproveitar a força do vento e a resistência do ar para viabilizar a idéia de uma máquina voadora (veja Nachtigal, 1987). Além desta, houveram muitas outras tentativas de imitar o voo dos pássaros.

O uso dos princípios naturais no projeto de objetos prosseguiu:

— Clement Ader, em 1890, seguindo o

modelo do morcego, construiu um aparelho chamado L'Eole, e teria realizado a primeira decolagem de uma máquina mais pesada que o ar, movida a motor (veja Angellucci, 1971).

— Em 1850, Sir Joseph Paxton projetou o Crystal Palace inspirado na estrutura das folhas da vitória régia, cuja parte superior é um grande disco, circundado por uma borda de pequena altura, sendo seu lado inferior reforçado por nervuras, que partem do centro e se bifurcam em várias direções, o que dá rigidez a esta planta. Este projeto teve uma influência significativa nos conceitos de espaço e luz na arquitetura e foi também precursor dos modernos métodos de construção e montagem pré-fabricada (veja fig. 1; Coineau, 1989).

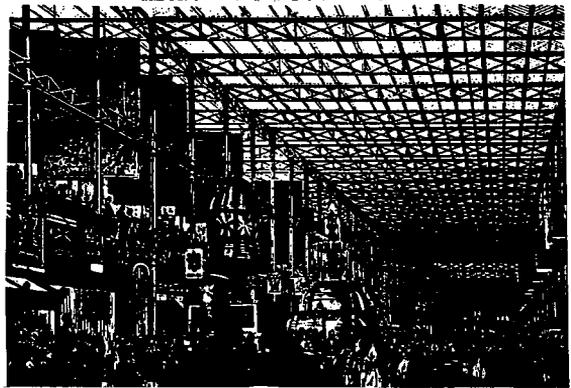


Fig. 1 - O Crystal Palace de Paxton

E, finalmente, em 1960, a Força Aérea Americana promoveu um simpósio, no qual compareceram matemáticos, físicos, biólogos, engenheiros e psicólogos, dentre outros. Este evento marca o início da Biônica como ciência ou como atividade formalizada (veja Gerardin, 1968).

Biônica é o estudo de sistemas e organizações naturais, com o objetivo de analisar e recuperar soluções funcionais, estruturais e

formais, para aplicá-las na resolução de problemas humanos, através da geração de tecnologias e da concepção de objetos e sistemas (veja Vanden Broeck, 1989). Assim, a Biônica analisa sistemas naturais, seus princípios e características funcionais, com o objetivo de buscar, por analogia, inspiração e novas abordagens para a concepção de sistemas técnicos.

Tanto como atividade que contribui para estimular a criatividade, quanto como ciência que busca a compreensão dos fenômenos naturais, visando recuperar princípios e soluções para resolver problemas na técnica, a contribuição da Biônica ocorre nas seguintes questões interdependentes:

- na determinação da melhor forma;
- na definição de princípios de solução adequados para as funções desejadas;
- na redução da quantidade de materiais necessários.

O Uso da Biônica no Projeto de Produtos e Processos

Como ciência que pesquisa a relação entre forma, função e material na natureza, buscando a compreensão dos princípios naturais para futuras aplicações em sistemas técnicos, a Biônica pode dar uma importante contribuição na procura de princípios de solução, indicando os sistemas naturais que são portadores das funções procuradas. Contudo, para viabilizar o uso da Biônica no projeto de produtos

e processos, os projetistas encontram algumas dificuldades.

Primeiramente, o estudo e a análise de um dado sistema natural gera conhecimento sobre as características deste, podendo-se obter princípios naturais promissores. Mas, ao se analisar o sistema, ainda não se sabe quais e que tipos de problemas de projeto podem ser resolvidos com o auxílio deste conhecimento, exceto pela intuição, cuja manifestação não pode ser planejada ou prevista. Porém, a análise dos sistemas naturais é imprescindível para a elaboração de um banco de dados que reúna informações sobre estes sistemas.

Por outro lado, quando se tem uma tarefa de projeto específica, está-se à procura de idéias para solucionar o problema especificado na tarefa. A dificuldade está em identificar os sistemas naturais que possam fornecer idéias de soluções promissoras e, sobretudo, escolher aqueles que sejam os mais importantes e úteis.

Diante destes dois casos infere-se que, para, de fato, viabilizar o uso da Biônica de forma regular e com sucesso, é necessário que haja, por um lado, a pesquisa básica, realizada por estudiosos de sistemas naturais e, por outro lado, a pesquisa aplicada, em que projetistas criam em seus produtos mecanismos, formas e características em analogia ao que existe na natureza, utilizando informações levantadas pela pesquisa básica.

Para evitar a repetição da pesquisa básica, bem como para viabilizar a aplicação fácil e rápida do conhecimento sobre sistemas naturais hoje disponível, este deve ser reunido e sistematizado num banco de dados, em forma de catálogo; um extrato de um catálogo destes pode ser visto no anexo. Este catálogo deve permitir a inclusão de novos conhecimentos,

à medida que forem gerados, tanto na pesquisa básica, quanto na pesquisa aplicada. Com este recurso, os grupos de projeto têm algo que lhes estimula a criatividade e lhes sugere usar princípios de solução já testados anteriormente. O uso, com sucesso, do conhecimento catalogado gera novo conhecimento que, por sua vez, também deve ser incluído no catálogo, enriquecendo o mesmo.

O Banco de Dados

Ao se criar um banco de dados, há uma questão inicial a responder: “Como classificar e estruturar os dados disponíveis?” Para isso, é preciso definir critérios: Arruda (1991) propõe a classificação por argumento de pesquisa, como sistemas de locomoção, estruturas, containers, etc, agrupados segundo a taxonomia dos seres vivos; Offner (1974) utiliza uma classificação baseada na relação do ser com o meio ambiente: na água, no ar, na terra, in situ. Estas propostas não são muito úteis para o uso por parte dos grupos de projeto. Estes têm um problema para resolver — criar um sistema artificial — e estão à procura de alternativas de solução, sendo-lhes indiferente a origem das idéias aproveitáveis. Por isso, o conhecimento sobre os sistemas naturais e suas possibilidades de uso foi, neste trabalho, classificado e estruturado por funções genéricas, para cuja realização o sistema natural contém princípios válidos. Assim, por exemplo, se a tarefa de projeto é desenvolver um sistema de locomoção, a função genérica para a qual o grupo procura alternativas de solução é locomover, e o banco de dados informa, com esta chamada, os sistemas naturais nos quais há princípios que cumprem esta função. Neste caso, ele fornece informações sobre os seguintes sistemas naturais: golfinho, medusa,

minhoca, morcego, pássaros e peixes, além das pernas de bípedes, de quadrúpedes e de insetos. Ao lado do nome do sistema, o banco de dados contém uma descrição das características destes, relevantes para a execução da função em epígrafe, além das aplicações conhecidas ou possíveis dessas características.

Para melhorar a praticidade do catálogo para uso pelas equipes de projeto, este foi dividido em dois campos: no primeiro, cuja entrada é pela função desejada, há apenas um resumo das características e das aplicações de cada sistema natural pertinente; no segundo, cuja entrada ocorre pelo nome do sistema natural, há um detalhamento destas, ao lado de indicações bibliográficas complementares. Em ambos os campos as chamadas estão em ordem lexicográfica (veja anexo).

A Aplicação

O banco de dados aqui elaborado foi aplicado em tarefas de projeto em atividades de ensino, no curso de Desenho Industrial da Pontifícia Universidade Católica do Paraná. Inicialmente, foi apresentada uma base teórica sobre a Biônica. Depois os alunos receberam a tarefa: projetar um novo brinquedo.

As funções que deveriam ser cumpridas foram o ponto de partida para todos os projetos. O banco de dados foi usado e as idéias foram geradas a partir de associações entre os princípios de solução e as funções desejadas para o produto, e os contidos em sistemas naturais, disponíveis no catálogo, como pode ser visto, por exemplo, na figura 2: a solução foi inspirada no movimento alternado das patas dos quadrúpedes durante a corrida. O brinquedo se desloca aproveitando a energia dos saltos do usuário sobre o mesmo.

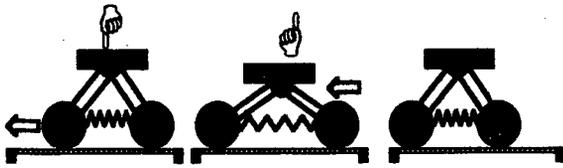


Fig. 2- Veículo saltante inspirado no movimento das pernas dos quadrúpedes

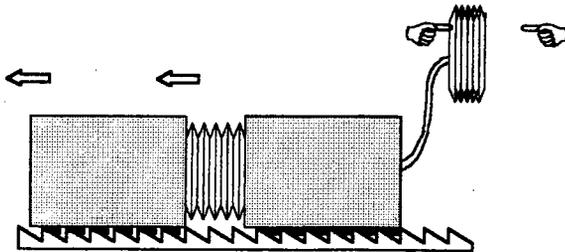


Fig. 3- Trem movido a expansão/contração de fole que empurra o vagão da frente e puxa o vagão de trás. O trilho permite deslocar para frente e impede o deslocamento para trás

Outros trabalhos utilizaram mais de um princípio natural para desenvolver o produto, como pode ser visto na figura 3, no qual foram estabelecidas analogias com as escamas da serpente e a expansão e a contração dos segmentos da minhoca.

Desta aplicação, pôde-se concluir que a pesquisa num banco de dados é uma boa

opção, embora não a única, para a busca de idéias para o desenvolvimento de novos produtos e processos. Com ele, foi possível estimular a criatividade, fazendo as pessoas romperem com idéias pré-concebidas e com soluções já conhecidas.

Conclusão

Embora o homem sempre tenha buscado idéias na natureza e tentado estabelecer analogias entre sistemas naturais e sistemas artificiais a serem criados por ele, para satisfazer suas necessidades, há hoje um grande potencial, em termos de conhecimento, que é ainda pouco explorado.

Para garantir um acesso fácil e rápido ao conhecimento disponível sobre sistemas naturais por parte das pessoas, que têm a incumbência de criar sistemas artificiais, foi preciso reunir este conhecimento de forma sistematizada, para apresentá-lo a elas, o que levou à geração de soluções não convencionais, como pôde ser visto durante a aplicação. Assim, o catálogo aqui apresentado representa uma contribuição para as atividades de projeto de produtos e processos.

Anexo

“EXTRATO DO CATÁLOGO CONTENDO CARACTERÍSTICAS E APLICAÇÕES DE SISTEMAS NATURAIS”

CAMPO 1: Guia para pesquisa de aplicações de sistemas naturais

OBSERVAÇÕES:

As informações deste campo estão classificadas por FUNÇÕES organizadas em ordem alfabética.

No catálogo completo aparecem funções tais como:

ADERIR, AERODINAMIZAR, DESLIZAR, ESTRUTURAR, FIXAR, LOCALIZAR, MOVIMENTAR, PUXAR, PLANAR, TEXTURIZAR, UNIR.

FUNÇÃO: ADERIR (ver também: fixar)		
SIST. NATURAL	CARACTERÍSTICAS	APLICAÇÃO
LAGARTIXA	. Patas em forma de pás flexíveis que permitem grande aderência em superfícies lisas	. Solas de sapatos . Dispositivos para melhorar a aderência entre superfícies

FUNÇÃO: DESLIZAR (ver também: movimentar)		
SIST. NATURAL	CARACTERÍSTICAS	APLICAÇÃO
SERPENTES (Escamas)	. A forma das escamas facilita o deslocamento para a frente e dificulta o deslocamento para trás.	. Essa solução é aplicável em dispositivos, tais como: esquis, trenós, solas, correias transportadoras, entre outros.

FUNÇÃO: MOVIMENTAR		
SIST. NATURAL	CARACTERÍSTICAS	APLICAÇÃO
MEDUSA	. A medusa desloca-se por meio de propulsão a jatos de água.	. Dispositivos para propulsão e direção de veículos aquáticos.
PERNAS (Insetos)	. Os insetos possuem três pares de patas que permitem o deslocamento, sem problemas de equilíbrio.	. Robôs que caminham de modo análogo aos insetos.

FUNÇÃO: TEXTURIZAR		
SIST. NATURAL	CARACTERÍSTICAS	APLICAÇÃO
MORANGO	. O morango possui uma superfície externa coberta por sementes de forma esférica.	. Superfícies de interface tátil (homem/objeto técnico)

EXTRATO DO CATÁLOGO CONTENDO CARACTERÍSTICAS E APLICAÇÕES DE SISTEMAS NATURAIS”

CAMPO 2: Descrição de sistemas naturais, características e aplicações

OBSERVAÇÃO: As informações deste campo estão classificadas por SISTEMAS NATURAIS e organizadas em ordem alfabética.

ABELHA, Colméia da

Karl Von Frisch, apud Coineau (1989) ilustra as vantagens da forma hexagonal e demonstra que, se a abelha utilizasse as formas circulares, pentagonais ou octogonais na construção da colméia, ao invés da forma hexagonal, haveria desperdício de cera. Se a forma utilizada fosse a triangular, quadrada ou hexagonal, esse inconveniente seria eliminado; mas é a forma hexagonal que combina melhor aproveitamento do material construtivo com resistência mecânica. Assim, a colméia da abelha fornece um ótimo exemplo de construção leve, que combina baixo peso com elevada resistência mecânica.

Aplicação: ESTRUTURAR PAINÉIS RÍGIDOS

Estruturas de forma semelhante à da colméia das abelhas constituem a camada intermediária dos materiais modernos, definidos como estruturas sanduíche. As estruturas sanduíche são empregadas na construção de painéis, pela sua leveza e rigidez. Estes painéis são compostos por uma camada intermediária na forma de colméia e duas lâminas externas.

Informações adicionais:

COINEAU, Yves, KRESLING, Biruta. Le invenzioni della natura e la bionica. Torino: Edizioni Paoline, 1989. 97 p.

ARANHA, Teia da

A teia da aranha é constituída por fios simples, unidos em vários pontos por adesão. O material dos fios possui resistência e elasticidade superior à maioria dos materiais tecnológicos. A teia possui fios secos e fios pegajosos. Sua função é a de proteger o inseto e capturar presas que são seu alimento. Os elementos em tração (dados pela rede da teia propriamente dita), e os elementos em compressão (plantas usadas para ancorar a teia), combinados com a disposição dos fios, conferem grande resistência a essa estrutura.

Aplicação: ESTRUTURAR CONSTRUÇÕES TÊNSEIS

O uso de tensores nas grandes construções traz, como vantagem principal, a redução do peso das grandes estruturas. Os exemplos mais comuns do uso de estruturas tênses podem ser vistos em pontes e grandes coberturas.

Informações adicionais:

OTTO, Frei. Natürliche Konstruktionen. Stuttgart: Deutsche Verlags, 1982.

CARRAPICHO (*Arctium lappa*)

Esta semente é bastante conhecida por grudar na roupa de humanos ou nos pêlos de animais, que as carregam e as distribuem amplamente pelas áreas em que circulam. Esse mecanismo permite à planta conquistar novos espaços.

Aplicação: FIXAR OBJETOS

O engenheiro suíço Georges Mestral percebeu a possibilidade de desenvolver, a partir do estudo do carrapicho, um sistema de fixação flexível que pudesse ser conectado e desconectado várias vezes, sem a necessidade de regulagens ou apertos. O aperfeiçoamento desse sistema, para a produção industrial, exigiu oito anos de trabalho e muita persistência por parte do inventor.

O *velcro* é hoje utilizado amplamente como fecho para roupas, calçados, bolsas, pára-quadras e, até mesmo, como fixador de objetos.

Informações adicionais:

HERTEL, Heinrich. Structure form and movement. New York: Reinhold Publishing Corporation, 1966. 251p.)

COLUNA VERTEBRAL

A coluna vertebral é composta por elementos articulados rígidos (vértebras), unidos pelos ligamentos e articulados pelos movimentos da musculatura. Os elementos rígidos são mantidos sob compressão, e os ligamentos e a musculatura fazem o papel de tensores.

Aplicação: ESTRUTURAR COLUNAS FLEXÍVEIS

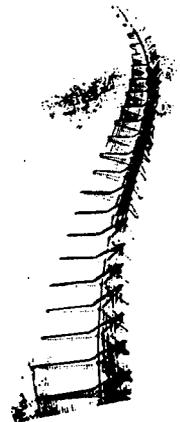
Otto (1982) propôs a construção de um pilar flexível baseado na combinação de elementos em tração com elementos em compressão, existentes na coluna vertebral.

Informações adicionais:

OTTO, Frei. Natürliche Konstruktionen. Stuttgart: Deutsche Verlags, 1982.

Fig. 1 - Pilar flexível projetado por Frei Otto

Fonte: Otto (1982, p. 30)



ESPONJA

A esponja é um animal aquático que vive preso ao fundo do mar e que pertence ao filo *Porifera*, que significa portadores de poros. Sua superfície é coberta por pequeninos poros.

Aplicação: ESTRUTURAR COBERTURAS AUTOPORTANTES

A esponja é uma estrutura muito leve. A partir do estudo da mesma, Otto (1982) construiu uma estrutura chata autoportante, para suportar cargas aplicadas perpendicularmente a essa superfície. Essa estrutura é reticulada e formada por barras, cuja configuração permite construções leves e muito resistentes, que utilizam um mínimo de material.

Informações adicionais:

OTTO, Frei. Natürliche Konstruktionen. Stuttgart: Deutsche Verlags, 1982.



Fig. 2 - Estrutura desenvolvida partir do estudo da esponja

LAGARTIXA

Uma lagartixa do sul da França tem as patas em forma de pás flexíveis. Com essa característica, o animal pode agarrar-se em superfícies escorregadias e subir, até mesmo, em paredes de vidro.

Aplicação: ADERIR SUPERFÍCIES

A forma de pás flexíveis tem sido utilizada na sola de alguns tipos de sapatos. Essa mesma forma pode ser aplicada em dispositivos para fixar ou melhorar a aderência entre superfícies.

Informações adicionais:

TALENTO Inventivo da Natureza. Revista Super Interessante, n. 4 , Abril de 1993. p. 62-66.

MEDUSA

As medusas deslocam-se expandindo seu corpo, como se fosse um guarda-chuva que abre e fecha rapidamente. Ao inflar, ela aprisiona uma certa quantidade de água no seu interior; ao contrair, ela expela um jato de água com uma força que gera uma outra equivalente na mesma direção, mas em sentido contrário sobre ela própria, permitindo o seu deslocamento.

Aplicação: MOVIMENTAR POR MEIO DE JATOS DE ÁGUA

Costeau apud Coineau (1989) utilizou um princípio semelhante ao do sistema propulsivo da medusa, ao desenvolver um disco submarino movido por dois jatos orientáveis, que garantem, ao mesmo tempo, a propulsão e a direção do disco.

Fonte: Coineau (1989, p.8),

O sistema propulsivo por reação da medusa e de outros animais aquáticos, pode ser aplicado em veículos que tenham que se movimentar na água ou em dispositivos para movimentar fluidos, tais como bombas ou agitadores.

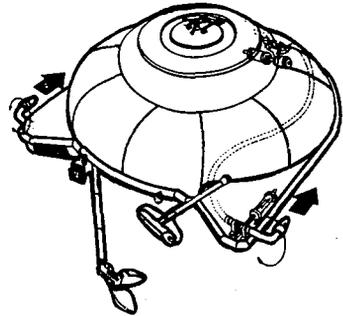


Fig. 3 - Disco submarino de J. Y. Costeau (projeto de 1959)

Informações adicionais:

COINEAU, Yves, KRESLING, Biruta. Le invenzioni della natura e la bionica. Torino: Edizioni Paoline, 1989. 97 p.

MORANGO

O fruto do morangueiro possui a superfície externa coberta por sementes de forma esférica.

Aplicação: TEXTURIZAR SUPERFÍCIES

A superfície externa do morango foi pesquisada por Carlo Bombardelli e equipe, do Instituto Europeo di Design em Milão, como um dos modelos naturais para superfícies de interface tátil.

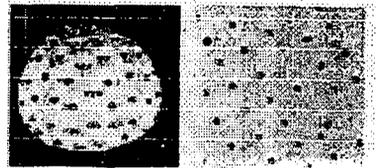


Fig. 4 - Morango e superfície desenvolvida a partir do modelo natural

Informações adicionais:

BIONICS and Design. Design Dk, Kobenhavn N. 3, p. 25-32, 1991.

PERNAS, Insetos

Os insetos se deslocam graças ao movimento alternado dos seus três pares de patas. A cada movimento, os insetos avançam as pernas dianteira e traseira de um lado, e a perna central do outro.

Aplicação: MOVIMENTAR MÁQUINAS RASTEJANTES

Máquinas rastejantes, movidas por três pares de pernas — sistema denominado de trípode alternado —, não têm os problemas de equilíbrio das máquinas inspiradas nos bípedes ou quadrúpedes. Contudo, também necessitam de algum tipo de programação para executar os movimentos, e da ajuda da inteligência artificial para reconhecer e superar obstáculos.

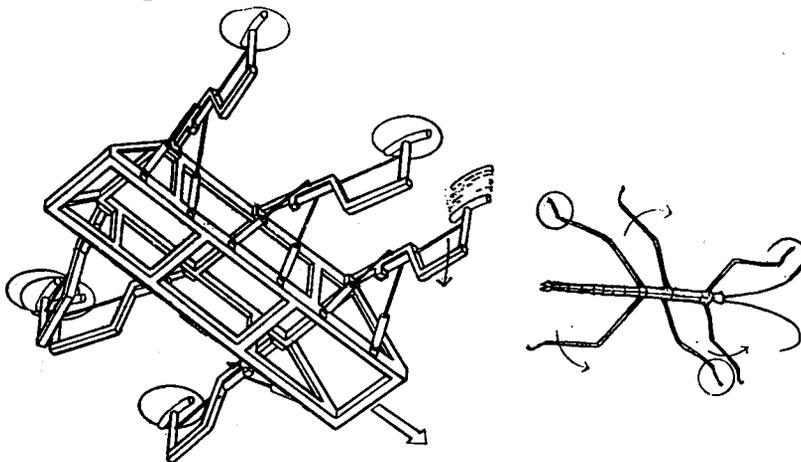


Fig. 5 - Inseto e veículo rastejante

Fonte: Nachtigall (1987)

Informações adicionais:

NACHTIGALL, W. La nature réinventée: Bionique. Paris: Librairie Plon, 1987

Referências

Bibliográficas

ANGELLUCCI, Enzo. Gli Aeroplani. Milano: Arnoldo Mondadori Editori, 1971.

ARRUDA, Amilton José V. Proposta didática metodologica: Utilizzo della classificazione naturale come elemento di studio bionico. Master in Industrial Design/Bionica. Milano: Istituto Europeo di Design, 1991.

COINEAU, Yves, KRESLING, Biruta. Le invenzioni della natura e la bionica. Torino: Edizioni Paoline, 1989. 97 p.

GERARDIN, Lucien. Bionics. New York: World University Library, 1968.

NACHTIGALL, Werner. La nature réinventée: La bionique. Paris: Librairie Plon, 1987.

OFFNER, D.H. A creative aid to engineering design. Mechanical Engineering, p. 14-18, July 1974.

VANDEN BROECK, F. O uso de analogias biológicas. Revista Design e Interiores, São Paulo, n.15, p.97-100, 1989.

Bibliografia

PAHL, G. & BEITZ, W. Konstruktionslehre. Berlin: Springer, 1986.

RAMOS, Jaime. A bionica aplicada ao projeto de produtos. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 1993, 122 p., (dissertação).

VDI2220. Produktplanung: Ablauf, Begriffe und Organisation. 1980.