

Capítulo 1

**Bioinspiração: métodos, abordagens,
taxonomia e um pouco de história**

Neste capítulo, apresentarei uma revisão dos métodos, abordagens e aplicações da bioinspiração encontradas na literatura, bem como um levantamento das nomenclaturas e dos termos adjacentes.

1.1 Origem, terminologia e nomenclatura

O termo *bionics* (biônica) foi cunhado em 1960 por Jack Steele, major da Força Aérea norte-americana, sendo usado como referência à integração entre a biologia e a engenharia, a fim de descobrir como a natureza solucionou problemas ao longo de milhões de anos de evolução, com o intuito de transmitir esse conhecimento para a produção de artefatos pelo homem (Bar-Cohen, 2011).

Quase uma década depois, em 1969, o termo *biomimetics* (biomimética) foi utilizado por Otto H. Schmitt no título de um artigo e designava uma nova ciência, cujo objetivo era estudar e replicar os métodos, projetos e processos da natureza. A concepção da biomimética por Schmitt foi fruto de sua pesquisa de doutorado de 1957, na qual tentava desenvolver um dispositivo físico capaz de imitar o comportamento de um nervo (Vincent, 2006). No princípio de sua pesquisa, o autor situava seu trabalho como uma área ainda pouco explorada da biofísica. Assim, somente doze anos depois o termo biomimética foi de fato publicado e popularizado.

Sobretudo através do trabalho do biólogo e engenheiro físico Werner Nachtigall, considerado o fundador dessa ciência na Alemanha, o termo *bionics* (biônica) foi reinterpretado no idioma alemão como *bionik*, fusão das palavras *biology*

(biologia) e *technik* (tecnologia) (Gruber 2011a; 2011b). Em 1969, Nachtigall se tornou professor e diretor do Instituto de Zoologia da Universidade do Sarre (Alemanha) e supervisionou, entre 1990 e 2002, o Programa de Pós-graduação em Biologia Técnica e Biônica, tendo também presidido a Sociedade para a Biologia Técnica e Biônica. O autor se posicionou contrário ao emprego de termos como *biomimetics* e *biomimicry*, pois têm em sua etimologia a palavra “mimese”, que significa “imitação”. Em entrevista à revista alemã *Bauwelt*,¹¹ o pesquisador caracteriza como ingênua a forma como a biônica é frequentemente abordada, uma vez que a natureza não pode ser sumariamente copiada. As inúmeras maneiras exibidas pela natureza de solucionar problemas, por outro lado, podem ser exploradas pelos pesquisadores para a concepção de projetos. Ou seja, para ser considerado “biônico”, um produto deveria ser desenvolvido por meio da aplicação do método pelo “biólogo técnico”. Assim, Nachtigall estabelece o pesquisador-desenvolvedor capaz de olhar para a biologia através do ponto de vista técnico como figura central no desenvolvimento de produtos, mecanismos ou tecnologias. De acordo com Nachtigall, a biologia técnica e a biônica pertencem uma à outra; são duas facetas que não podem ser separadas.

Ainda que haja ressalvas como as de Nachtigall, os termos biônica e biomimética (isto é, tanto *biomimicry* quanto *biomimetics*) geralmente são utilizados sem distinção.

¹¹ SCHULTZ, Brigitte; NACHTIGAL, Werner; POHL, Göran. Die Natur zu kopieren ist völlig sinnlos. Interview mit Werner Nachtigal und Göran Pohl. *Bauwelt*. [S. l.], 10 abr. 2023. Disponível em: <https://www.bauwelt.de/themen/Die-Natur-zu-kopieren-ist-voellig-sinnlos-Interview-Werner-Nachtigal-Goeran-Pohl-Bionik-Architektur-2115402.html>. Acesso em: 7 set. 2023.

Em uma abordagem um pouco mais ampla e flexível, encontramos o termo *bioinspiration* (ou bioinspiração, em tradução livre), aplicado para descrever a inspiração na natureza e na biologia para o desenvolvimento de artefatos ou tecnologias pelo homem (Biggins; Hiltz; Kusterbeck, 2011).

*Biomimicry*¹² (biomimetismo ou bioimitação, em tradução livre) é um termo cunhado por Janine Benyus, autora de diversos livros na área e cofundadora do Biomimicry Institute. Benyus propõe uma expansão do conceito clássico de biomimética e biônica através da delimitação de três abordagens: [1] ***natureza como modelo*** – que se assemelha aos conceitos clássicos de *biomimetics* e *bionics*; [2] ***natureza como medida*** – que utiliza os padrões naturais como critérios para julgar a riqueza de uma inovação; e [3] ***natureza como mentora*** – que estabelece uma nova maneira de ver e valorizar a natureza pela biomimética, isto é, não mais “o que podemos extrair dela” e sim “o que podemos aprender com ela” (Benyus, 2002).

No conceito de *biomorphism* (biomorfismo, em tradução livre), as formas da natureza servem de inspiração estética e semântica para a criação de produtos, construções e obras de arte. Esse é, de acordo com Kuhlmann (2001), um dos mais antigos e fundamentais conceitos estéticos na arte e na arquitetura ocidentais. O *Art Nouveau*, estilo artístico e

12 Os termos *biomimetics* e *biomimicry* foram traduzidos de maneira diferente neste livro, a partir da consulta a referências etimológicas e a falantes nativos da língua inglesa. Embora ambos os termos envolvam imitação, eles diferem em sua abrangência e aplicação. O termo *mimicry* é um sufixo mais específico relacionado à imitação e semelhança observadas no mundo natural, especialmente no contexto da biologia e ecologia. Já o termo *mimetics* traz consigo um conceito mais amplo, capaz de englobar o estudo da imitação e replicação.

arquitetônico que floresceu na Europa especialmente entre os anos de 1890 e 1920, é um exemplo. O biomorfismo se vale de estudos de proporção e harmonia na natureza e sua aplicação no design, arquitetura e composições visuais diversas. Nesses estudos, destaca-se a identificação de uma aparente unidade indivisível diretamente relacionada à beleza da forma, denominada número áureo, uma constante algébrica cujo valor arredondado para três casas decimais é 1,618 (Thompson, 2007; Doczi, 1990).

Uma vertente mais tecnológica do biomorfismo é o *Morphogenetic Design* (ou Design Morfogenético, em tradução livre) – um processo projetual que, na fase de concepção, utiliza recursos computacionais para emular padrões de crescimento e hierarquia (Kulfan; Colozza, 2012). Esses padrões são encontrados na formação estrutural de organismos e no crescimento e diferenciação dos tecidos nos seres vivos. A emergência desses padrões é, sabidamente, fruto de um processo de crescimento interativo *bottom-up* (de baixo para cima) e hierárquico. Apesar de essa área se apoiar em ferramentas computacionais mais recentes, é inegável que muitas dessas bases foram construídas a partir de precursores como Ernst Haeckel (1834-1919) e D'Arcy Thompson (1860-1948). Apoiado por recursos computacionais avançados, esse campo tecnológico é capaz de expandir as possibilidades de simulação, mutação e evolução de formas, a fim de resolver problemas de design. Na concepção de Hensel, Menges e Weinstock (2006), trabalhar com esse processo no design torna o resultado melhor a cada etapa, com sua performance e capacidades cada vez mais inter-relacionadas de uma maneira coerente e sinérgica. Essa concepção generativa

contrasta com os processos clássicos projetuais *top-down* (de cima para baixo) – perspectiva na qual os processos se apoiam em escolhas conscientes, “vindas de cima”.

1.1.1 Conceitos adjacentes, conjunções e subdivisões

Kulfan e Colozza (2012) organizaram os conceitos adjacentes à biomimética em *bionics* (biônica), *biomimicry* (biomimetismo), *neo-bionics* (neobiônica), *cybernetics* (cibernética), *pseudo-bionics* (pseudobiônica) e *non-bionics* (não biônica), classificando-os da maneira a seguir:

- **Biônica** – inspiração visual das formas, projetos e movimentos encontrados na natureza;
- **Biomimetismo** – inspiração conceitual a partir da compreensão de processos que ocorrem na natureza;
- **Neobiônica** – aplicação da computação para gerar algoritmos e processos de otimização baseados na natureza;
- **Cibernética** – inspiração obtida a partir de engenharia reversa dos projetos da natureza;
- **Pseudobiônica** – soluções projetuais desenvolvidas independentemente da biomimética, mas que foram confirmadas a partir da observação da natureza;
- **Não biônica** – inspiração obtida independentemente da natureza.

Petra Gruber (2011a) também organiza os significados de termos que ocorrem em conjunção com a biônica, sendo eles:

- **Biomorfologia** – ciência da construção e da organização das coisas vivas e de seus componentes, por exemplo órgãos, tecidos e células;
- **Morfologia estrutural** – referência ao design funcional na tecnologia e à anatomia funcional na biologia;
- **Micromorfologia** – exame e descrição da forma dos objetos microscópicos, resultando em um achado de formas funcionais;
- **Biomecânica** – aplicação das leis físicas da mecânica ao exame dos objetos naturais;
- **Biofísica** – exame e descrição de objetos biológicos com os termos e métodos da física;
- **Biotecnologia** – exploração dos objetos biológicos usando métodos técnicos. Recentemente a noção deste conceito modificou-se em direção às tecnologias que fazem uso de organismos com o intuito de gerar produtos bioquímicos, como enzimas, drogas e fármacos, além de abranger a pesquisa com organismos geneticamente modificados.

O fortalecimento das pesquisas em biotecnologia, de acordo com Biggins, Hiltz e Kusterbeck (2011), tem contribuído de maneira consistente para popularizar a bioinspiração. De acordo com os autores, a área contribui para a biomimética na medida em que promove a compreensão do funcionamento

dos processos e sistemas na natureza, gerando conceitos que podem ser assimilados e adaptados para uma vasta gama de aplicações. Além do conhecimento gerado, que embasa a compreensão dos organismos, o avanço da biotecnologia viabiliza tecnologicamente a materialização de conceitos bioinspirados (Biggins; Hiltz; Kusterbecket, 2011). Os autores destacam também dois termos correlatos à biomimética (bioimitação ou bioinspiração também são termos sinônimos para os pesquisadores) e fortemente ligados à biotecnologia, sendo eles:

- **Materiais bioderivados** – materiais feitos a partir de organismos vivos;
- **Biofabricação** – qualquer processo que utilize células, vírus, proteínas, biomateriais ou compostos bioativos como componentes para fabricação de modelos biológicos avançados, sistemas médico-terapêuticos e sistemas biológicos para diversas aplicações.

Lin e Meyers (2005) abordam a biomimética como uma área interdisciplinar e tecnológica entre a ciência dos materiais e a biologia, e retomam a classificação proposta por Sarikaya (1994, *apud* Lin; Meyers, 2005) que divide a biomimética em bioimitação e bioduplicação – *biomimicking* e *bioduplication*, respectivamente. O primeiro termo denomina o entendimento dos sistemas e a aplicação de conceitos através de materiais sintéticos usando a tecnologia atual. O segundo refere-se um estágio mais avançado, no qual novos métodos, como a engenharia genética, serão usados para a produção de uma nova classe de materiais.

Considerando as possibilidades da bioduplicação (*bioduplication*), inovações tecnológicas futuras podem ser conjecturadas no processo produtivo de novos produtos. Como exemplo, um carro cuja lataria não é fabricada, mas cultivada, tal como se formam a concha dos moluscos ou ossos humanos no processo de biomineralização (em que um organismo vivo forma aglomerados minerais). Apesar de parecer uma realidade distante, já se pode vislumbrar um princípio dessa perspectiva tecnológica na fabricação de materiais como o APHB, [poli (ácido 3-hidroxi-butírico)], polímero termoplástico produzido por organismos vivos que se degrada no solo ou no mar a partir da ação de uma enzima (PHB depolimerase) presente em bactérias e fungos (Sanchez; Arribart; Guille, 2005). Indo ainda mais longe, podemos lembrar que o fio da seda nada mais é que um filamento de proteína sintetizado por uma espécie de lagarta domesticada há cerca de 3 mil anos pelos chineses. Um novo formato de produção apoiada pela biotecnologia transcenderia em muito as práticas vigentes na indústria e facilitaria a integração das cadeias de produção com os ciclos naturais. Poderíamos, quem sabe, atingir uma nova fronteira de biocompatibilidade ou de não interferência, conforme proposto por Manzini e Vezzoli (2005).

Ao longo desta obra, serão utilizados os termos biomimética e bioinspiração com o intuito de traduzir de um modo geral os termos *biomimetics*, *bionics*, *bioinspiration* e *biomimicry*. É importante ressaltar, no entanto, que as evoluções conceituais propostas a partir do termo *biomimicry* não são derivadas somente de uma mudança de pensamento na área, mas sim da consonância entre os pensamentos

contemporâneos associados às noções de ecologia e sustentabilidade nas mais diversas áreas. Cabe, por fim, reforçar que, embora as ressalvas pontuadas por Werner Nachtigall em relação à impossibilidade de imitação literal da natureza (que desaconselhariam o uso do termo biomimética) representem uma razão concreta, biomimética foi adotado neste livro como sinônimo de biônica.¹³

1.2 Abordagens metodológicas da biomimética

A aplicação da biomimética no desenvolvimento de novos produtos e tecnologias é em geral descrita através de duas abordagens metodológicas. A primeira abordagem parte de um problema tecnológico ou de design, a partir do qual é realizada uma busca por situações análogas na natureza e das alternativas encontradas para solucioná-lo. A segunda parte do estudo da natureza para então encontrar aplicações tecnológicas para as estruturas que foram objeto de análise (Figura 1 e Quadro 1).

13 O termo biônica não havia sido adotado inicialmente neste livro em função de sua aplicação como sinônimo de prótese ou órtese tecnológica com propriedades superiores às orgânicas, sobretudo em obras de ficção científica das décadas de 1980 e 1990 e no imaginário popular.

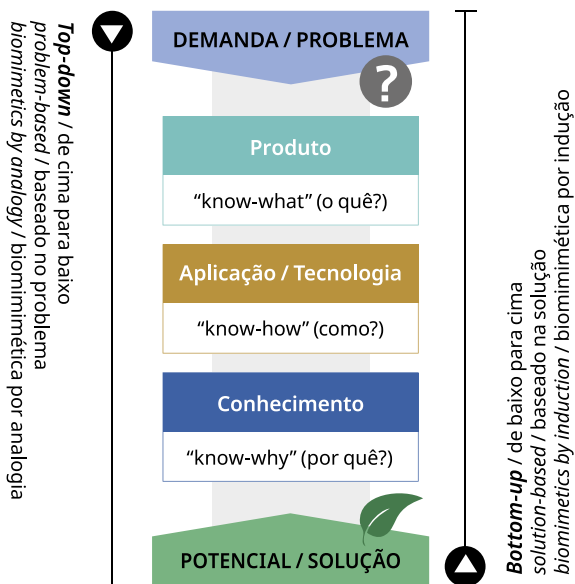


Figura 1: Síntese das duas abordagens da biomimética (*top-down* e *bottom-up*) descritas por autores da área

Fonte: Elaborado pela autora.

Abordagem baseada na demanda	Abordagem baseada na biologia	Autores
<i>top-down</i> (de cima para baixo)	<i>bottom-up</i> (de baixo para cima)	Speck e Harder (2006 <i>apud</i> Gruber, 2011a)
<i>problem-based</i> (baseado em problemas)	<i>solution-based</i> (baseado em soluções)	Vattam <i>et al.</i> , 2007
biomimética por analogia	biomimética por indução	Gebeshuber e Drack (2008 <i>apud</i> Gebeshuber, 2011)

Quadro 1: Síntese das principais abordagens e nomenclaturas na biomimética descritas por autores da área

Fonte: elaborado pela autora.

Speck e Harder classificam os métodos, respectivamente, em *top-down* e *bottom-up* (2006 *apud* Gruber, 2011a). Pesquisadores do Centro de Design Biologicamente Inspirado (Center for Biologically Inspired Design), no Instituto de Tecnologia da Georgia (Estados Unidos), adotam os termos *problem-based* (baseado em problemas) e *solution-based* (baseado em soluções) (Vattam *et al.*, 2007). Enquanto Gebeshuber e Drack denominam as abordagens como biomimética por analogia e biomimética por indução (2008 *apud* Gebeshuber; Majlis; Stachelberger, 2011).

Gebeshuber, Majlis e Stachelberger (2011) aplicam o BIM, método caracterizado como *problem-based* ou *top-down*, composto por quatro passos:

- *Identify function* – identificar o problema/problematizar;
- *Biologize the question* – “biologizar” a questão;
- *Find nature’s best practices* – encontrar as melhores práticas da natureza; e
- *Generate Process/Product Ideas* – geração de ideias para o processo/produto.

O trabalho de Parvan, Schwalmberger e Lindeman (2011) propõe uma abordagem combinada, de forma que o método seja intuitivo tanto para biólogos quanto para engenheiros. No modelo proposto, ambos trabalham em paralelo: engenheiros descrevem demandas da engenharia, enquanto biólogos descrevem soluções interessantes encontradas na natureza. Assim, as propostas emergem dos pares “demanda e solução”, que prosseguem através de uma busca por

analogias e similaridades para formarem posteriormente princípios de design bioinspirado.

Para além do que concerne à abordagem metodológica, alguns autores procuraram avançar na compreensão dos contextos de pesquisa, desenvolvimento e aplicação das soluções, ao que vamos tratar por quadro teórico (referente ao termo inglês *framework*).

Ahmar (2011) organiza e classifica a atividade projetual em biomimética quanto ao nível (*level*) e ao subnível (*sublevel*). O primeiro se refere à escala da qual se originam as soluções de design: desde as estruturas de um determinado organismo, passando por seu comportamento ou abarcando o complexo funcionamento de um ecossistema. O segundo está relacionado ao âmbito de aplicação da bioinspiração, partindo da forma à pura função do projeto (Figura 2).

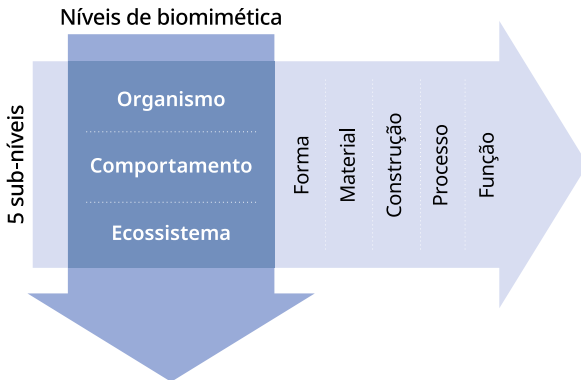


Figura 2: Abordagens em biomimética propostas por Ahmar (2001)

Fonte: elaborado pela autora a partir de Ahmar (2011, p. 14).

Biggins, Hiltz e Kusterbeck (2011) pontuam a necessidade de um quadro teórico para organizar o problema, sintetizando em diferentes eixos as pesquisas que têm sido realizadas na área de bioinspiração.

O estado da arte na área revela a existência de esforços contínuos na elaboração de métodos projetuais, geralmente adaptados a partir de técnicas tradicionais de design que são, em sua maior parte, lineares e baseados em etapas discretas e delimitadas. Há que se considerar, no entanto, que essas são tentativas de organizar logicamente um processo contínuo e não-linear, intrinsecamente ligado à criatividade – processo mental individual ainda pouco compreendido, ao qual alguns autores da área de metodologia em design se referem como um “salto ao vazio” (Morales, 1989) ou “Caixa Preta” (do inglês, *Black Box*) (Howard; Culley; Dekoninck, 2008). Seguir à risca algum dos métodos propostos na literatura pode garantir que se chegará a um resultado, mas não necessariamente que será considerado “bom”.

A compreensão dos organismos em estudo parece fundamental para a transposição de conceitos e mecanismos para os artefatos tecnológicos. Uma observação descuidada pode levar a resultados pouco expressivos, como no trabalho de Hu *et al.* (2009) que exemplifica a questão. O autor e sua equipe procuraram desenvolver uma nadadeira ondulatória baseada na nadadeira dorsal dos peixes *Gymnarchus niloticus* (Figura 3b). Após uma série de experimentos e medições executados através de método fielmente conduzido (Figura 3a), a equipe obteve um resultado pouco relevante do ponto de vista mecânico, o que buscaram corrigir com novos

testes usando diferentes filmes plásticos em substituição à membrana da nadadeira.

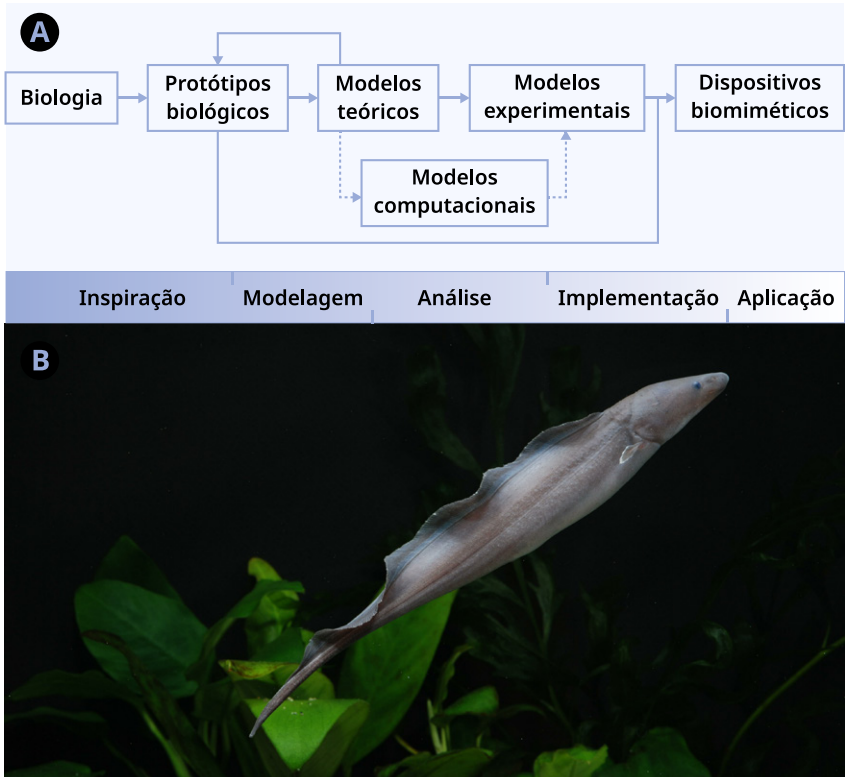


Figura 3: (A) método de projeto bioinspirado seguido por Hu *et al.*;

(B) peixe da espécie *Gymnarchus niloticus*

Fonte: Hu *et al.*, (2009, p. 634). Traduzido pela autora.¹⁴

¹⁴ (B) foi licenciada pela autora para o presente trabalho. Disponível em: https://stock.adobe.com/br/images/%E3%82%B8%E3%83%A0%E3%83%8A%E3%83%BC%E3%82%AB%E3%82%B9/67398469?prev_url=detail.

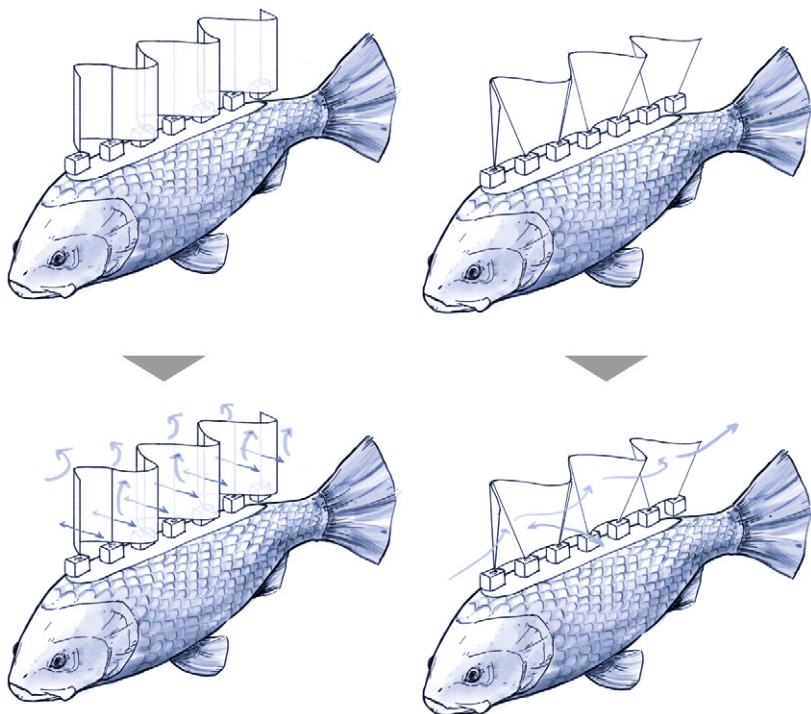


Figura 4: Representação do funcionamento do protótipo proposto por Hu *et al.* (2009) (esquerda) e da nossa proposta de funcionamento da barbatana ondulatória dos peixes de espécie *Gymnarchus niloticus* (direita)

As setas na imagem representam o fluxo de água.

Fonte: elaborado pela autora a partir de ilustração cedida para o presente trabalho.¹⁵

¹⁵ Ilustração de Vinícius de Abreu e Carvalho.

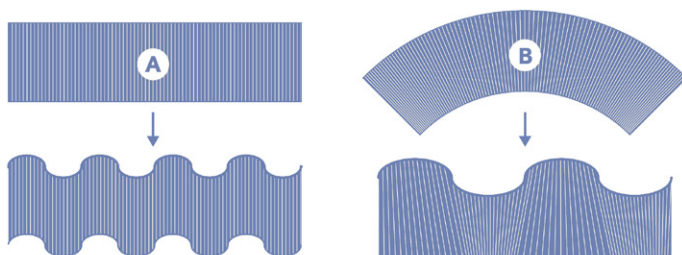


Figura 5: Planificações de membranas

(A) Planificação da membrana plástica usada por Hu *et al.* (2009);

(B) Planificação que resultaria em comportamento semelhante ao das nadadeiras do *Gymnarchus niloticus*.

Fonte: elaborado pela autora.

Os autores se ativeram às questões matemáticas e à construção do protótipo, deixando de notar um detalhe simples, porém crucial para a reprodução do mecanismo: a porção da membrana que se insere no dorso do peixe é mais curta que sua linha superior (semelhante ao corte que faria uma costureira para construir uma saia rodada) (Figura 5). Essa peculiaridade formal altera o comportamento do material e produz um movimento em cadeia nas ondulações do topo da nadadeira, o que provavelmente propicia também economia de energia pelo animal.

1.3 Métodos projetuais e biomimética

Parece evidente que a biomimética permite diferentes abordagens e métodos, sendo crucial, no entanto, que as peculiaridades biológicas ou funcionais sejam compreendidas para que se possa, assim, partir para um passo posterior de replicação.

O pesquisador Werner Nachtigall enfoca o desenvolvimento biônico em uma etapa precursora, em que a figura do “biólogo técnico” é central (podendo, inclusive, atuar de forma independente da etapa projetual). De acordo com o autor, o ponto sensível do processo de pesquisa e desenvolvimento está no olhar do biólogo técnico, que deve ser capaz de observar, julgar e selecionar na natureza exemplos de soluções pelas quais a tecnologia continua procurando.

Desta forma, independentemente do que seria um processo *top-down* ou *bottom-up*, a figura do biólogo técnico parece indispensável, pois é ele o responsável capacitado a encontrar na natureza, com o apoio de conhecimentos prévios, as soluções aplicáveis às demandas ou, na segunda abordagem, em encontrar na natureza questões pertinentes aos desafios tecnológicos atuais.

Outro ponto importante, frisado por Nachtigall, destaca a natureza de qualquer outra fonte de conhecimento: tudo o que existe, funciona (ainda que esta afirmação pareça tautológica). Usando o exemplo da fotossíntese, o autor defende que, do ponto de vista de um engenheiro que não soubesse da realização desse processo pelas folhas de plantas, seria praticamente absurdo considerar a possibilidade de transformar luz e gás carbônico em energia.

Ainda que haja alguma discordância entre os autores em relação às formas de apropriação do conhecimento adquirido na natureza para a concepção de soluções projetuais, parece unânime que a biomimética é de fato capaz de contribuir para a inovação tecnológica ao exibir exemplos e provocações profícuos.