

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
FACULDADE DE ARQUITETURA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESIGN

Flora Bittencourt Detanico

**MÉTODO E REPOSITÓRIO BIOSIGN: SISTEMATIZAÇÃO
BIOMIMÉTICA PARA APLICAÇÃO DOS PRINCÍPIOS DE
SOLUÇÃO DA NATUREZA NO PROCESSO DE
DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS**

Tese de Doutorado

Porto Alegre

2021

FLORA BITTENCOURT DETANICO

Método e Repositório BLOsign: sistematização biomimética para aplicação dos princípios de solução da natureza no processo de desenvolvimento de produtos

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Design da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como requisito à obtenção do título de Doutor em Design.

Orientador: Prof. Dr. Fábio G. Teixeira

Porto Alegre

2021

CIP - Catalogação na Publicação

Detanico, Flora Bittencourt
Método e Repositório BIOsign: sistematização
biomimética para aplicação dos princípios de solução
da natureza no processo de desenvolvimento de produtos
/ Flora Bittencourt Detanico. -- 2021.
238 f.
Orientador: Fábio Gonçalves Teixeira.

Tese (Doutorado) -- Universidade Federal do Rio
Grande do Sul, Escola de Engenharia, Programa de
Pós-Graduação em Design, Porto Alegre, BR-RS, 2021.

1. Design bio-inspirado. 2. Biomimética. 3.
Técnicas criativas. 4. Princípios de Solução da
natureza. 5. Processo de desenvolvimento de produto.
I. Teixeira, Fábio Gonçalves, orient. II. Título.

Elaborada pelo Sistema de Geração Automática de Ficha Catalográfica da UFRGS com os
dados fornecidos pelo(a) autor(a).

MÉTODO E REPOSITÓRIO BIOSIGN: SISTEMATIZAÇÃO BIOMIMÉTICA PARA APLICAÇÃO DOS PRINCÍPIOS DE SOLUÇÃO DA NATUREZA NO PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS

Esta Tese foi julgada adequada para a obtenção do Título de Doutor em Design, e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Design da UFRGS.

Porto Alegre, 28 de abril de 2021.

Prof. Dr. Fábio Gonçalves Teixeira

Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Design da UFRGS

Banca Examinadora:

Orientador: **Prof. Dr. Fábio Gonçalves Teixeira**

Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Prof. Dr. André Ogliari

Universidade Federal de Santa Catarina – Examinador Externo

Prof. Dr. Régio Pierre da Silva

Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Examinador Interno

Prof. Dra. Tânia Koltermann da Silva

Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Examinador Interno

Prof. Dr. Fernando Batista Bruno

Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Examinador Interno

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal do Rio Grande do Sul e ao programa de Pós-Graduação em Design, por oferecerem as condições necessárias à elaboração da pesquisa, bem como pela oportunidade de aprendizado e desenvolvimento de novos conhecimentos.

Ao professor e orientador Fábio Gonçalves Teixeira, pela confiança, suporte e instrução ao longo de todo o processo, incentivando e enriquecendo o desenvolvimento deste trabalho.

Aos membros da banca examinadora, professores André, Fernando, Tânia e Régio, pelas sugestões e contribuições que levaram à qualificação desta pesquisa.

Aos colegas e amigos, que me acompanharam ao longo da pesquisa e contribuíram para o seu desenvolvimento, especialmente ao mestrando Vinícius Beltramin e ao doutorando Pablo Ermida Corrêa.

Aos meus pais, André e Laline, e minha irmã, Ana, pelos seus exemplos de vida, comprometidos em dar sempre o melhor de si, em buscar constantemente novos desafios e aprendizados.

À Nova Acrópole e aos meus mestres de filosofia, Paula, Fabiano e Luzia Helena, pela inspiração permanente na busca sincera do conhecimento.

Ao meu marido e querido companheiro, Samuca. Agradeço pelo seu amor, apoio e compreensão em todos os momentos.

RESUMO

DETANICO, F. B. **Método e Repositório BLOsign: sistematização biomimética para aplicação dos princípios de solução da natureza no processo de desenvolvimento de produtos.** 2021. Tese (Doutorado em Design) – Escola de Engenharia/Faculdade de Arquitetura, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS

No contexto do processo de desenvolvimento de produto, a etapa conceitual comporta o uso de diferentes métodos criativos, dentre os quais, a analogia com a natureza, ou biomimética. A biologia, por sua vez, oferece um extenso campo de informações potenciais, as quais, se sistematizadas, podem facilitar o acesso aos seus princípios de solução para aplicação no projeto de produto. A partir da investigação aprofundada da literatura sobre os métodos bio-inspirados existentes, foram identificadas as suas lacunas e pontos fracos, culminando com uma lista de requisitos a serem atendidos. A metodologia proposta para o desenvolvimento da pesquisa foi a *Design Science Research*, cuja abordagem é orientada ao desenvolvimento de projetos de artefatos, pois tem como objetivo prescrever e desenvolver conhecimentos para a concepção e elaboração de sistemas com foco em solucionar problemas. A partir do conhecimento gerado ao longo do trabalho, foi possível projetar e desenvolver os artefatos: um artefato-método e um artefato-instanciação, denominados Método e Repositório BLOsign, respectivamente. Os artefatos propostos estimulam e facilitam o uso dos princípios de solução da natureza na concepção de novos produtos, reduzindo o tempo e o esforço dos projetistas em assimilar e transpor as soluções naturais para os sistemas técnicos. Através do processo de decomposição funcional e da analogia com a natureza, o método BLOsign propõe o exercício de abstração, o que tende a minimizar as barreiras à criatividade, possibilitando a geração de soluções alternativas inovadoras. Por outro lado, a sistematização através do uso de um banco de dados de princípios de solução (Repositório BLOsign), tende a reduzir a subjetividade e a imprecisão na busca pelo conhecimento dos sistemas naturais. A quantidade e detalhamento das informações contidas no repositório faz dele uma ferramenta ampla e robusta, capaz de conduzir os usuários a soluções de projeto mais precisas. Os resultados obtidos com o desenvolvimento dos artefatos indicam que o objetivo geral foi atingido, pois, conforme apurado no processo de avaliação, os mesmos satisfazem as necessidades de projeto e os requisitos dos usuários.

Palavras-chave: Design bio-inspirado, Biomimética, Técnicas criativas, Princípios de Solução da natureza, *Functional Basis*, Processo de desenvolvimento de produto, Design Science Research

ABSTRACT

DETANICO, F. B. **BIOsign Method and Repository: biomimetic systematization for the use of nature's solution principles in the product development process.** 2021.

Tese (Doutorado em Design) – Escola de Engenharia/Faculdade de Arquitetura, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS

In the context of the Product Development Process, the conceptual stage involves the use of different creative methods, among which, the analogy with nature, or biomimetics. Biology, in turn, offers an extensive field of potential information, which, if systematized, can facilitate access to its solution principles for application in product design. From the in-depth investigation of the literature on existing bio-inspired methods, their gaps and weaknesses were identified, culminating in a list of requirements. The proposed methodology for the development of the research was Design Science Research, whose approach is oriented to the development of artifact projects, as it aims to prescribe and develop knowledge for the conception and elaboration of systems focused on solving problems. From the knowledge generated throughout the research, it was possible to design and develop the artifacts: an artifact-method and an artifact-instantiation, called BIOsign Method and Repository, respectively. The proposed artifacts stimulate and facilitate the use of nature's solution principles in the design of new products, reducing the time and effort of designers to assimilate and "translate" natural solutions into technical systems. Through the functional decomposition process and the analogy with nature, the BIOsign method proposes the exercise of abstraction, which minimizes barriers to creativity, enabling the generation of innovative alternative solutions. On the other hand, the systematization through the use of a filled of solution principles database (BIOsign Repository), minimizes subjectivity and imprecision in the search for knowledge of natural systems. The amount and detail of the information contained in the repository makes it a broad and robust tool, capable of leading users to more qualified design solutions. The results obtained with the development of the artifacts indicate that the general objective was achieved, because, as determined in the evaluation process, they satisfy the design needs and the requirements of the users.

Keywords: *Bio-inspired Design, Biomimetics, Creative Techniques, Nature`s Solution Principles, Functional Basis, Product development process, Design Science Research*

“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”. (VINCI, 2004, p. 96)

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Exemplos de aplicação biomimética	18
Figura 2: Representação do processo de desenvolvimento de produtos	26
Figura 3: Etapas do processo de criação.....	29
Figura 4: Etapas da modelagem funcional dentro do projeto conceitual.....	32
Figura 5: Funções dos produtos	33
Figura 6: Funções elementares para representar ações em sistemas técnicos.....	34
Figura 7: Desenvolvimento da estrutura de funções do produto	36
Figura 8: Estratégia para resolução do problema	37
Figura 9: Comparações entre taxonomia de funções de engenharia	39
Figura 10: Desenvolvimento de princípios de solução para as funções.....	43
Figura 11: Constituição de um princípio de solução	43
Figura 12: O projeto conceitual e acessos às bases do conhecimento.....	44
Figura 13: Portadores para princípio físico da alavanca.....	45
Figura 14: Categorias dos fenômenos biológicos (hierarquia de abstração).....	52
Figura 15: Tipos de similaridade nas analogias	53
Figura 16: Relações entre categorias e tipos de similaridade nas analogias	54
Figura 17: Analogia entre funções do produto e da natureza	55
Figura 18: Esquema de inter-relações entre o produto e a natureza	56
Figura 19: Taxonomia dos princípios de solução da natureza	58
Figura 20: Esquema do processo de utilização da ferramenta proposta.....	59
Figura 21: Esboço de interface da ferramenta	59
Figura 22: Sugestão de interface para a ferramenta proposta	60
Figura 23: Etapas da metodologia Design Science Research	62
Figura 24: Etapas da revisão sistemática.....	69
Figura 25: Etapas da revisão sistemática e resultados numéricos encontrados	72

Figura 26: Esquema dos cinco passos da metodologia sistemática <i>Biologically Inspired Design</i>	78
Figura 27: Síntese das abordagens de geração conceitual.....	83
Figura 28: o modelo de causalidade SAPPPhIRE	87
Figura 29: Diretriz genérica	87
Figura 30: Diretrizes SAPPPhIRE.....	89
Figura 31: Recursos de busca na versão 3.0 do Idea Inspire.....	90
Figura 32: representação de um sistema no Idea Inspire 3.0	91
Figura 33: Modelos SBF.....	96
Figura 34: uma das telas do sistema Biologue	97
Figura 35: Campos de pesquisa de problemas de projeto e solução biológica.....	98
Figura 36: Fluxo do recurso para identificação de palavras chaves via wordnet .	104
Figura 37: Método de identificação de palavras chave biologicamente significativas que correspondem a palavras-chave de engenharia	105
Figura 38: Interface plataforma Asknature com indicação filtros busca	112
Figura 39: Taxonomia Biomimicry	115
Figura 40: Etapas da metodologia biomimética (Biomimicry Institute)	116
Figura 41: Mapa mental de conscientização do problema	135
Figura 42: Fluxograma do método proposto	144
Figura 43: Relação entre subfunção, efeito físico, princípio físico e princípio de solução.....	148
Figura 44: Taxonomia - Categoria Ação.....	149
Figura 45: Taxonomia - Categoria Objeto da Ação	150
Figura 46: Taxonomia - Categoria Dispositivo	150
Figura 47: Taxonomia - Princípio Físico.....	151
Figura 48: Taxonomia - Meio.....	151
Figura 49: Taxonomia - Categoria Tempo	152
Figura 50: Taxonomia biomimética final consolidada	154

Figura 51: Template com descrição da relação causal.....	155
Figura 52: Exemplo de um fenômeno biológico usando o Template.....	156
Figura 53: Template.....	156
Figura 54: Banco de dados inicial.....	160
Figura 55: Princípio de solução da natureza ilustrado.....	161
Figura 56: Adaptações no banco de dados original	163
Figura 57: Repositório Biomimético com a interface finalizada	164
Figura 58: Exemplo de Modelagem Funcional (Cafeteira).....	165
Figura 59: Template de pesquisa	165
Figura 60: Exemplo de uso do Template	165
Figura 61: Seleção de filtros de pesquisa na categoria Ação	166
Figura 62: Seleção de filtros de pesquisa na categoria Objeto da Ação.....	167
Figura 63: Seleção de filtros de pesquisa na categoria Meio	167
Figura 64: Seleção de soluções da natureza para o problema pesquisado.....	168
Figura 65: Detalhamento do dispositivo da Matriz extracelular - lâmina basal	168
Figura 66: Detalhamento do dispositivo "Poros nucleares"	169
Figura 67: Exemplo de pesquisa orientada pela solução.....	170
Figura 68: Pesquisa da marca Biosign no INPI	176
Figura 69: Fluxograma com as etapas do Método BIOsign.....	177
Figura 70: Formulário para inclusão de novos princípios de solução	180
Figura 71: Intersecção entre os domínios do conhecimento	182

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Taxonomia dos métodos criativos	31
Quadro 2: Funções típicas dos projetos mecânicos.....	35
Quadro 3: Categorias de fluxos, básicos, sub-básicos e complementos.....	39
Quadro 4: Categorias de funções, funções básicas e sinônimos	42
Quadro 5: Planejamento metodológico da Tese	67
Quadro 6: Amostragem da lista de artigos encontrados na revisão sistemática.....	75
Quadro 7: Artigos selecionados do grupo de autores Nagel, Stone, McAdams	76
Quadro 8: Funções do Tesouro Engenharia-para-Biologia	80
Quadro 9: Fluxos do Tesouro Engenharia-para-Biologia	81
Quadro 10: Artigos selecionados do grupo de autores Chakrabarti.....	85
Quadro 11: Artigos selecionados do grupo de autores Goel, Helms, Vattam	92
Quadro 12: Artigos selecionados do grupo de autores Shu e Cheong.....	100
Quadro 13: Amostragem de sinônimos da Engenharia para a Biologia.....	101
Quadro 14: Artigos selecionados dos autores Vincent <i>et al.</i>	105
Quadro 15: Lista dos Parâmetros de Engenharia (PE) da TRIZ	107
Quadro 16: Lista dos Princípios Inventivos (PI) da TRIZ	108
Quadro 17: Matriz de contradições BioTRIZ	108
Quadro 18: Formulário preenchido conforme método recomendado	110
Quadro 19: Lista das vantagens e desvantagens Dane, AskNature e Bio-Search .	120
Quadro 20: Síntese das ferramentas e métodos bio-inspirados (continua)	126
Quadro 21: Síntese das ferramentas e métodos bio-inspirados (continuação)	127
Quadro 22: Fatores de análise e comparação entre os métodos bio-inspirados ..	129
Quadro 23: Síntese dos fatores comparativos entre os métodos bio-inspirados..	134
Quadro 24: Requisitos de usuário e requisitos de projeto.....	141
Quadro 25: Comparação do artefato com os demais métodos bio-inspirados.....	172
Quadro 26: Avaliação do artefato segundo os requisitos.....	174

LISTA DE SIGLAS

BID: Biological Inspired Design (projeto bio-inspirado)

CAD: Computer Aided Design (projeto assistido por computador)

DbA: Design-by-analogy

PDP: Processo de desenvolvimento de Produto

PSN: Princípios de Solução da Natureza

PE: Parâmetro de Engenharia (TRIZ)

PI: Princípio inventivo (TRIZ)

SBF: Structure - Behavior - Function (Estrutura - Comportamento - Função)

TRIZ: Teoria da resolução Inventiva de Problemas

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	17
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DA PESQUISA.....	17
1.2 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA.....	21
1.3 PROBLEMA DE PESQUISA	21
1.4 HIPÓTESE DE PESQUISA.....	22
1.5 OBJETIVO GERAL.....	22
1.6 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	22
1.7 JUSTIFICATIVA E CONTRIBUIÇÕES	22
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	25
2.1 PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO	25
2.1.1 Processo Criativo no Projeto Conceitual do Produto.....	27
2.1.2 Modelagem funcional	32
2.1.3 Functional Basis.....	37
2.1.4 Princípios de Solução	42
2.2 PRINCÍPIOS DE SOLUÇÃO DA NATUREZA.....	45
2.2.1 Biomimetismo e soluções análogas	46
2.2.2 Taxonomia dos princípios de solução da natureza.....	54
3. METODOLOGIA.....	61
4. FERRAMENTAS E MÉTODOS BIOMIMÉTICOS: REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA.....	68
4.1 FASE DE INICIALIZAÇÃO	68
4.2 FASE DE APLICAÇÃO E EXTRAÇÃO	73
4.3 FASE DE ANÁLISE DOS ESTUDOS	75
4.3.1 Modelos Funcionais (Nagel, Stone, McAdams).....	76
4.3.2 Idea-Inspire (Chakrabarti).....	85
4.3.3 Dane e Biologue (Goel, Helms, Vattam).....	91

4.3.4 Natural Language (Shu e Cheong).....	99
4.3.5 BioTRIZ (Vincent).....	105
4.3.6 Ask Nature (Benyus).....	111
4.4 FASE DE SÍNTESE DOS ESTUDOS.....	116
4.5 CONSIDERAÇÕES SOBRE A REVISÃO SISTEMÁTICA.....	135
5. PROJETO DOS ARTEFATOS.....	139
5.1 IDENTIFICAÇÃO DOS ARTEFATOS E CONFIGURAÇÃO DAS CLASSES DE PROBLEMAS	139
5.2 PROPOSIÇÃO DE ARTEFATOS PARA RESOLUÇÃO DO PROBLEMA	140
5.3 DEFINIÇÃO DOS REQUISITOS DE PROJETO	142
6. DESENVOLVIMENTO DOS ARTEFATOS.....	143
6.1 ELABORAÇÃO DO ARTEFATO-MÉTODO	143
6.2 INTEGRAÇÃO DAS TAXONOMIAS EXISTENTES.....	145
6.3 TEMPLATE PARA RECONHECIMENTO E EXTRAÇÃO DOS PRINCÍPIOS DE SOLUÇÃO DA NATUREZA	155
6.4 FONTE DE DADOS PARA EXTRAÇÃO DOS PRINCÍPIOS DE SOLUÇÃO DA NATUREZA.....	157
6.5 INVESTIGAÇÃO, INTERPRETAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DOS PRINCÍPIOS DE SOLUÇÃO DA NATUREZA ATRAVÉS DO TEMPLATE E DA TAXONOMIA	158
6.6 DETALHAMENTO E ILUSTRAÇÃO DOS PRINCÍPIOS DE SOLUÇÃO DA NATUREZA	160
6.7 QUALIFICAÇÃO DA INTERFACE DO REPOSITÓRIO BIOMIMÉTICO	162
6.8 PROCESSO B: MÉTODO DE APLICAÇÃO DO ARTEFATO PELO USUÁRIO	164
7. AVALIAÇÃO DO ARTEFATO	171
8. EXPLICITAÇÃO DAS APRENDIZAGENS.....	176

9. CONSIDERAÇÕES FINAIS	181
9.1 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	181
9.2 CONCLUSÕES	183
9.3 GENERALIZAÇÃO PARA UMA CLASSE DE PROBLEMAS	186
9.4 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	186
REFERÊNCIAS	188
APÊNDICE A	196
APÊNDICE B.....	199
APÊNDICE C	203
ANEXO A.....	224

1. INTRODUÇÃO

A partir dos anos 2000, a Biomimética tem se destacado como uma das principais áreas de pesquisa que auxilia na inovação de produtos (LEPORA; VERSCHURE; PRESCOTT, 2013). Diversas são as tecnologias desenvolvidas na indústria, na engenharia e no design, a partir dos princípios de solução da natureza. Apesar do ser humano estar em contato com a natureza há milhares de anos, a compreensão e decodificação de seus sistemas é um longo caminho, do qual ainda há muito a ser percorrido.

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DA PESQUISA

Dentro do processo de desenvolvimento de produto, a fase conceitual constitui uma das principais responsáveis pela inovação e evolução dos produtos (EPPINGER; ULRICH, 2008). Durante essa etapa conceitual, é realizada a geração de soluções alternativas, cujo objetivo é explorar as possibilidades de conceitos de produtos que respondam às necessidades dos usuários. Segundo Back *et al.* (2008), o processo criativo e geração de alternativas depende da capacidade de inspiração dos projetistas, porém pode apoiar-se em métodos e ferramentas que estimulem a criatividade.

Segundo Baxter (2011), a utilização de métodos criativos é de grande importância para a geração de concepções inovadoras. Dentre os mais utilizados, está o método criativo da analogia, caracterizado pela identificação e transferência de propriedades de um objeto a outro, de um domínio a outro do conhecimento. As analogias são realizadas por meio de associações, relacionando aspectos como proximidade, semelhança, contraste ou causa-efeito. Em todos os casos, as analogias sugerem a exploração de novas funções, novas configurações e novas aplicações de um produto (BAXTER, 2011).

Dentre as diversas aplicações da analogia, está a biomimética, método baseado na analogia com a natureza, que consiste na investigação dos sistemas naturais como repositório de conhecimentos para aplicação na inovação de produtos (BENYUS, 1997). Os conhecimentos oriundos da área da biologia, bem como a análise de formas, estruturas, organismos e processos naturais, podem levar a soluções técnicas inovadoras e polivalentes (PAHL *et al.*, 2005). A natureza, através de bilhões de anos de evolução e adaptação, é fonte de estratégias de funcionamento e sobrevivência, de soluções práticas, econômicas e eficientes (BENYUS, 1997).

Ao longo do tempo, percebeu-se que aplicar princípios de solução da natureza para resolução de problemas de projeto de engenharia fornece grandes perspectivas de

avanço tecnológico (BENYUS, 1997). A transferência de soluções e princípios de projeto de sistemas naturais para objetos técnicos são, por exemplo, estruturas leves de construção com cascas, colmeias, tubos, barras e tecidos, os quais oferecem múltiplas aplicações na indústria mecânica e construção civil (PAHL *et al.*, 2005). Alguns exemplos de aplicação são apresentados por Arnarson (2011) na área de transporte, engenharia e energia: inspiração no pássaro Kingfisher para aprimoramento da aerodinâmica dos trens japoneses, tecnologias autolimpantes inspiradas nos princípios da planta de lótus, aumento da performance das turbinas de aviões e hélices de ventiladores inspirados na forma das nadadeiras das baleias (Figura 1).

Figura 1: Exemplos de aplicação biomimética



Fonte: Arnarson (2011)

Historicamente, segundo Lepora, Verschure e Prescott (2013), o termo "biomimética" foi inicialmente utilizado na década de 1950 por Otto Schmitt. Depois disso, Jack Steel, da força aérea dos Estados Unidos, usou o termo "biônica" com o sentido de copiar ideias da natureza para aplicação na tecnologia de produtos, que foi popularizado pelo livro de Daniel Halacy, em 1965. Outra terminologia amplamente utilizada é "bio-inspiração", referindo-se ao método de projeto baseado em referências e princípios naturais. No artigo "*The state of art in biomimetics*", os autores acima citados trazem o tema da biomimética como um paradigma crescente para o desenvolvimento de novas tecnologias, que poderão significar um grande impacto científico, social e econômico em um futuro breve. As pesquisas nesta área têm crescido exponencialmente nos últimos 25 anos. De 1995 a 2011, foram publicados aproximadamente 18.000 artigos científicos em biomimética (LEPORA; VERSCHURE; PRESCOTT, 2013).

Segundo Helms, Vattam e Goel (2009), apesar de os projetistas usarem a biologia como fonte de inspiração por centenas de anos, ainda não foi estabelecido um processo normativo específico para a prática do projeto inspirado na natureza. É

considerado um processo empírico, que depende da experiência pessoal de cada profissional. Segundo Kruiper et al. (2018), a biomimética não é utilizada com a amplitude e frequência que poderia, pois os processos são pouco automatizados e normalmente levam muitos meses para passar de um problema específico a um protótipo funcional. Na busca por uma aplicação mais sistemática da biomimética, são necessárias ferramentas computacionais que integrem grandes quantidades de conhecimento biológico em uma determinada estrutura cuja metodologia seja adequada ao design.

Como resposta a essa deficiência, foram surgindo, nos últimos anos, ferramentas e metodologias com objetivo de sistematizar o processo de analogia entre sistemas naturais e sistemas técnicos. Dentre as ferramentas e processos bio-inspirados já desenvolvidos, se encontram livros e catálogos, programas computacionais e modelos cognitivos de representação do conhecimento. Contudo, tais abordagens ainda não atendem, com a eficiência desejada, o processo de identificação, compreensão, abstração e aplicação das estratégias biológicas. Entre os principais fatores que levam à incompletude dos métodos existentes, está a inabilidade em auxiliar e guiar o projetista durante o processo de realização de analogias, principalmente no que concerne ao tratamento de informações e geração de abstrações. Outro fator de dificuldade apresentado é a linguagem complexa utilizada, que dificulta a transmissão do conhecimento entre diferentes domínios (FERNANDES, 2016).

Segundo Arlitt et al. (2012), diversos estudos foram realizados para entender os processos envolvidos no design bio-inspirado, mas o campo ainda é relativamente jovem e pouco compreendido. No artigo *"Draft: applying designer feedback to generate requirements for an intuitive biologically inspired design tool"*, os autores realizam uma avaliação das reações dos designers ante às ferramentas bio-inspiradas atualmente disponíveis, com o intuito de elucidar as necessidades e carências, na busca por qualificar os suportes e ferramentas futuras.

Para a melhor apropriação do tema, foi realizada uma investigação inicial a respeito dos métodos bio-inspirados existentes e suas aplicações. Autores como Julian Vincent, Janine Benyus, Robert Stone, Daniel McAdams, Amaresh Chakrabarti, Ashok Goel, Swaroop Vattam, Michael Helms, L. H. Shu e Jacquelyn Nagel¹ desenvolveram diferentes metodologias visando a transposição do conhecimento da natureza para o projeto de produto. Contudo, essas proposições parecem ainda distantes de atender com agilidade e eficácia as necessidades dos usuários. A grande

¹ Os autores citados possuem vasta bibliografia a respeito do tema do design bio-inspirado. Seus artigos e trabalhos de pesquisa serão referenciados oportunamente mais à frente, no item 4.3.

quantidade de procedimentos, as dificuldades de linguagem e entendimento são alguns dos fatores que tornam essas metodologias excessivamente complexas e distantes de uma aplicação mais direta e intuitiva, que garanta agilidade na identificação de soluções e efetividade na transferência de conhecimento (CHAKRABARTI *et al.*, 2017). A investigação da literatura, realizada na fase inicial desta pesquisa, permitiu identificar lacunas importantes nas ferramentas biomiméticas existentes:

- Dificuldade de acesso à maior parte das ferramentas, pois são difíceis de encontrar ou ainda possuem acesso restrito mediante pagamento.
- As ferramentas mais completas são pouco intuitivas, complexas e de difícil entendimento. O projetista necessitaria fazer curso ou treinamento para conseguir utilizar a ferramenta.
- Algumas ferramentas oferecem soluções vagas e trazem resultados demasiadamente amplos, o que dificulta a aplicação direta da solução biológica no problema de projeto, pois carecem de filtros e maior detalhamento.
- Algumas ferramentas oferecem um grande número de resultados, porém pouco relevantes, além de não possuírem o nível desejado de detalhamento (CHAKRABARTI *et al.*, 2017). A maioria dos métodos trabalha apenas com mecanismos de busca pelo campo da função e poderia explorar outros atributos como material, meio e princípio físico, para refinar as buscas.
- Carência de banco de dados consistente da biologia onde buscar as necessidades de projeto. Informações são esparsas e falta repositório. Esforço em identificar e modelar as informações biológicas para que possam ser úteis. (GOEL *et al.*, 2011).
- Faltam suportes digitais como áudios, imagens e vídeos. As ferramentas desenvolvidas são autônomas e não suportam o compartilhamento de sistema web (CHAKRABARTI *et al.*, 2017).
- Esforço de abstração, pois a função de um sistema biológico pode estar muito literal ou fixa, o que não permite enxergar diferentes aplicações do mesmo dispositivo.
- Problemas de linguagem para compreender e transpor o conhecimento entre os domínios da biologia e do design. A linguagem utilizada é frequentemente distante do domínio de conhecimento específico do

designer, o que se torna difícil para quem não é biólogo. (CHAKRABARTI *et al.*, 2017)

- Necessidade de complementação constante do banco de dados, considerando adição de dados por seus usuários (CHAKRABARTI *et al.*, 2017)

O vasto campo de informações biológicas disponível na natureza permanece em grande parte inexplorado. A maioria dos sistemas e banco de dados biomiméticos existentes contém menos de 25 entradas completas e o tempo para criar uma nova entrada leva em torno de 100 horas (KRUIPER *et al.*, 2018). Faz-se necessária uma ferramenta que apoie os designers no processo biomimético e facilite o acesso às soluções da natureza. Para que sejam devidamente aplicadas na resolução dos problemas técnicos, as informações biológicas precisam estar disponíveis no momento certo e na forma correta, além de estarem expressas em uma linguagem clara e acessível ao designer (SARTORI; PAL; CHAKRABARTI, 2010).

Diante desse contexto e limitações, surge a necessidade de identificar as reais expectativas e carências das equipes de projeto, no que se refere à realização de analogias entre o projeto de produtos e a natureza. Durante o processo de transposição de conhecimentos do domínio dos sistemas naturais para os sistemas técnicos, há espaço e oportunidade para a inserção de métodos e ferramentas biomiméticas capazes de promover o entendimento, a abstração e a aplicação dos princípios de solução da natureza no processo de desenvolvimento de produtos.

1.2 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA

A presente pesquisa delimita-se no domínio de conhecimento da biomimética, especialmente no que diz respeito aos seus métodos e ferramentas. Quando organizados e classificados, os princípios de solução da natureza se tornam mais acessíveis ao designer, que pode encontrar neles novas alternativas de solução para os problemas de projeto. Reconhecendo as lacunas e limitações dos recursos existentes atualmente na biomimética, identificados através da revisão inicial da literatura, é possível propor o problema, a hipótese e o objetivo enfocados no presente trabalho.

1.3 PROBLEMA DE PESQUISA

Como sistematizar os princípios de solução da natureza para realizar a transferência de conhecimentos para a etapa criativa do processo de desenvolvimento de produto?

1.4 HIPÓTESE DE PESQUISA

Uma aplicação sistemática da biomimética, que integre grandes quantidades de conhecimento da biologia, em uma determinada estrutura cuja metodologia seja adequada ao design, pode promover a aplicação dos princípios de solução naturais no processo de desenvolvimento de produto.

1.5 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral desta tese é propor um método de busca e um repositório biomiméticos, capazes de promover o entendimento, a abstração e a aplicação dos princípios de solução da natureza no processo de desenvolvimento de produtos.

1.6 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para alcançar o objetivo geral da tese, deverão ser atingidos os seguintes objetivos específicos:

- Investigar os métodos e ferramentas bio-inspirados existentes para reconhecer seus procedimentos, identificar suas lacunas e verificar sua eficácia na transposição do conhecimento da natureza para o produto;
- Propor um método de extração e processamento dos dados da biologia para oportunizar o reconhecimento e a transposição dos seus princípios de solução para viabilizar a aplicação direta no processo de desenvolvimento de produto.
- Integrar as estruturas de conhecimento e classificação existentes para propor uma Taxonomia robusta e completa, que sirva como constructo e modelo na elaboração do método e do repositório biomiméticos;
- Classificar as informações provindas da natureza dentro de um banco de dados/repositório, organizado com base na Taxonomia integrada;
- Elaborar o repositório biomimético, juntamente com o método para sua aplicação;
- Avaliar o método e o repositório biomiméticos durante o processo de projeto para verificar sua aplicabilidade dentro dos parâmetros estabelecidos.

1.7 JUSTIFICATIVA E CONTRIBUIÇÕES

Na indústria, os produtos são planejados com metas de conquista de consumidores e, para isso, não basta a otimização de fatores técnicos, mas a integração de fatores como a consciência ambiental, a ergonomia e usabilidade, a acessibilidade e a estética dos produtos. Muitos destes aspectos podem ser aprimorados através da ferramenta biomimética, sugerida neste trabalho de pesquisa, visto que se propõe a trazer as referências funcionais da natureza, contribuindo diretamente com o trabalho de profissionais na área da engenharia, arquitetura e design, na busca por uma estrutura de vida mais sustentável.

Leonardo da Vinci (2004) dizia que, apesar da grande genialidade do ser humano, este nunca descobrirá uma invenção mais bela ou mais econômica que a da natureza. As observações e experimentos descritos em seus diários, dentre os quais é possível encontrar esboços de submarinos, asa-delta, tanques de guerra, pontes e dezenas de peças mecânicas, são claros exemplos de sua inspiração nos modelos naturais.

Como exemplo, a dissertação de Roner Salvador (2003), intitulada “Metodologia biônica em dobradiças de móveis”, traz algumas situações de aplicação direta dos sistemas naturais ao produto. Neste caso, o autor realiza um estudo sobre as diferentes formas de dobradiças e mecanismos de junção nos seres vivos e, segundo ele, aprender com os elementos de junção presentes na natureza é muito útil ao desenvolvimento de novos conceitos de união, fixação e montagem de produtos industriais. A busca por princípios que facilitem a montagem e desmontagem minimiza custos, gera menos resíduos e amplia a capacidade de produção.

Os sistemas biológicos possuem vantagens que devem ser aprendidas e transportadas para o campo do design (CHAKRABARTI *et al.*, 2017):

- utilizam quantidades mínimas de energia e recursos
- adaptáveis a condições externas variáveis
- ambientalmente sustentáveis
- sistemas inteligentes de autorregulação
- são capazes de auto-organização, usando processos como síntese, reprodução e sucessão

A relevância desta pesquisa, contudo, não se restringe ao desenvolvimento e otimização da produção, pois se propõe a estimular uma mentalidade de integração e cooperação entre o ambiente natural e o ambiente industrial. Esta mentalidade conciliadora acaba por refletir-se em mudanças culturais e comportamentais, levando a sociedade por um caminho de conscientização da sabedoria presente na natureza

e do quanto há para aprender com ela. Os temas aqui tratados, portanto, também podem ser úteis no âmbito do ensino, desenvolvendo com os alunos de graduação uma nova mentalidade de criação e produção, o que tende a se propagar na medida em que esses estudantes se tornam novos profissionais atuantes no mercado.

Através da nova ferramenta proposta, pretende-se estimular e facilitar o uso dos princípios de solução da natureza na concepção de novos produtos, reduzindo o esforço do projetista em assimilar e traduzir as soluções naturais para os sistemas técnicos. Além disso, pretende auxiliar o designer a superar algumas barreiras à criatividade, como hábitos, fixação funcional e mentalidade prática (BACK, 2008). Desta forma, durante a fase conceitual do desenvolvimento de produtos, podem ser geradas melhores soluções alternativas.

O referencial teórico sobre o processo criativo e sobre a biomimética devem contribuir para o maior entendimento e experimentação destas etapas de projeto. A elaboração do banco de dados dos princípios de solução da natureza (PSN) visa ainda aumentar a probabilidade de obtenção de mais e melhores ideias, pelo aumento na quantidade e qualidade de conhecimento e informações.

Através da utilização do método e do repositório biomiméticos, pretende-se também reduzir a subjetividade e imprecisão na busca pelo conhecimento dos sistemas naturais. A ferramenta está orientada por metodologia que estabelece a analogia entre os domínios do conhecimento da natureza e do design. Por outro lado, a ferramenta proposta visa combinar atributos procedimentais de um método sistemático com a fluidez dos métodos intuitivos, buscando melhor compreensão e usabilidade pelos projetistas. Apesar do método da analogia estar classificado dentre os métodos intuitivos, muitas das metodologias biomiméticas desenvolvidas criam complexos e extensos procedimentos, o que afasta o projetista da relação intuitiva com a natureza.

Importante mencionar que este trabalho faz parte de uma investigação extensa e continuada do grupo de pesquisa VID, dentro da pós graduação em Design da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Juntamente com os trabalhos de Priscila Zavadil Pereira (2016), Samuel Sebben Plentz (2011), Alexandre Monteiro de Barros (2017), Pablo Ermida Corrêa (2017) e Flora Detanico (2011) já realizados, esta pesquisa visa contribuir diretamente na qualificação do processo criativo dentro do PDP.

Outra importante contribuição é a realização do desenvolvimento da pesquisa orientado pela metodologia da *Design Science Research*. A abordagem desta metodologia é destinada à elaboração de projetos de artefatos, pois tem como objetivo prescrever e desenvolver conhecimentos para a concepção de sistemas com foco em solucionar problemas.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Para o desenvolvimento da pesquisa e alcance do objetivo proposto, é necessário levantar o estado da arte dos atuais métodos e ferramentas biomiméticos utilizados, identificando os pontos fracos e lacunas a serem melhoradas. Ao mesmo tempo, é necessário investigar o contexto do projeto conceitual, onde se inserem os métodos criativos. Durante o processo de desenvolvimento de produto, a modelagem funcional merece maior atenção, especialmente na compreensão da categorização das funções para relacioná-las diretamente com os princípios de solução da natureza. A estrutura de conhecimento da Functional Basis e a Taxonomia dos princípios de solução da natureza (DETANICO, 2011) também são temas relevantes a serem abordados.

Os resultados obtidos com a revisão inicial da literatura sobre os temas citados acima seguem descritos nos itens 2.1 e 2.2 deste capítulo.

2.1 PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO

Neste item, são revisados os conteúdos referentes ao processo de projeto de produto, especialmente à fase conceitual e ao método da analogia, o qual constitui base fundamental para as ferramentas biomiméticas. Os temas aqui abordados são importantes como contextualização para a presente pesquisa e visam explicitar diretrizes para a elaboração do método biomimético proposto.

A Sociedade Americana de Designers Industriais (IDSA) define o design industrial como “o serviço profissional de criação e desenvolvimento de conceitos e especificações que otimizam a função, o valor, a aparência dos produtos e sistemas para mútuo benefício, do utilizador e do produtor” (EPPINGER; ULRICH, 2008). Desta forma, o design tem como objetivo a criação de novos conceitos de produtos, capazes de resolver problemas e prevenir custos a longo prazo. Segundo Birkeland (2002), os designers são potenciais agentes de mudança, pois as suas decisões podem impedir, alterar, orientar ou influenciar as decisões futuras dos outros profissionais envolvidos no processo de produção.

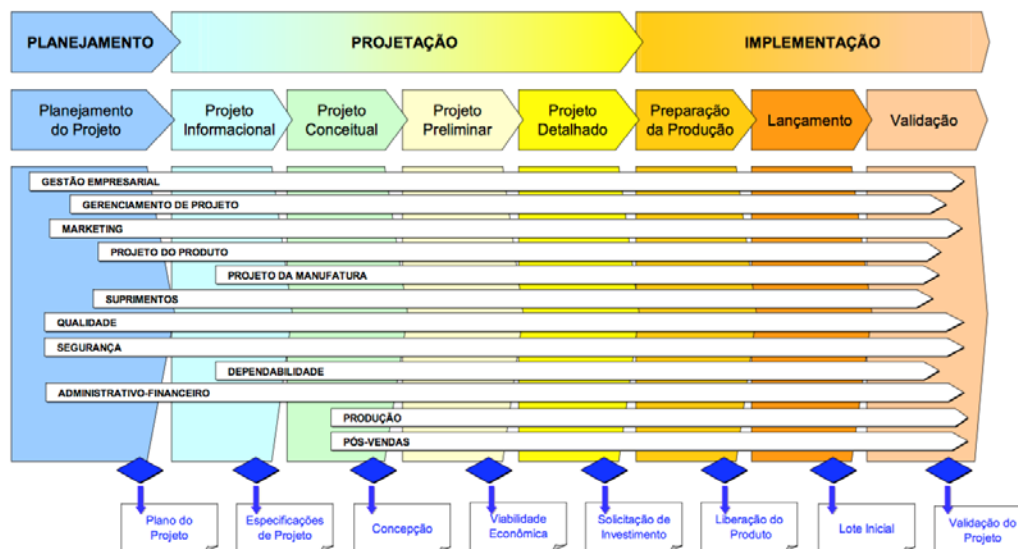
Desenvolvimento de produto é um conceito amplo e pode ser entendido como a transformação de informações e identificação da demanda (aspectos como a pesquisa de mercado), a produção em si e o próprio uso do produto, incluindo também o descarte ou desativação do mesmo. O produto é entendido como um objeto 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; senão produtos que podem ser obtidos com melhorias e modificações de outros já existentes (BACK *et al.*, 2008).

Toda essa atividade de projeto, pensada e planejada, consiste em um processo. No design de produtos, esse processo possui um alto grau de complexidade, o que demanda uma metodologia eficaz para orientar a racionalização de toda a sequência do trabalho até a concepção do produto. Segundo Basseto (2004), 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. Algumas metodologias com esse propósito foram elaboradas por Baxter (2011), por Pahl e Beitz (1988), por Ulrich e Eppinger (2008) e por Romano (2003), sendo esta última adotada com modelo de referência para o presente trabalho.

Conforme Romano (2003), o processo de desenvolvimento integrado de produtos pode ser compreendido através de três macro fases, decompostas em oito fases, como descrito na Figura 2.

Figura 2: Representação do processo de desenvolvimento de produtos



Fonte: Romano (2003)

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 “projetação” 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 (BASSETO, 2004).

Visto que o foco do presente trabalho está direcionado ao processo criativo, é necessário compreender mais detalhadamente as características da etapa do projeto conceitual, dentro do processo de desenvolvimento de produto.

2.1.1 Processo Criativo no Projeto Conceitual do Produto

A criatividade, no processo de projeto, é um dos fatores de grande importância para que sejam desenvolvidos produtos inovadores e competitivos. Por muito tempo a criatividade foi vista como uma característica de poucas pessoas, como um dom intrínseco ao indivíduo. Porém, esta visão foi sendo modificada na medida em que se percebeu que os projetistas poderiam desenvolver soluções criativas quando devidamente capacitados e suportados para esse processo (BASSETO, 2004).

Alencar (1996) aborda a criatividade como um fenômeno complexo que contempla a interação dinâmica das pessoas envolvidas, como as características da personalidade, as habilidades de pensamento e o meio, nos quais os valores e normas da cultura podem interferir. O ambiente de projeto deve estimular a autoconfiança, a persistência, a coragem de correr riscos e de resolver problemas, permitindo aos designers reconhecerem suas potencialidades.

Diversos aspectos estão relacionados à criatividade no indivíduo. Priscila Pereira (2016) faz uma síntese, a partir de outros autores, destes aspectos, representados em quatro principais grupos: 1. Motivação (é afetada pela capacidade de concentração na tarefa, a disposição ao risco, sentir-se valorizado, ter alguma experiência em relação à tarefa, conhecimento, positividade e autodeterminação); 2. Inteligência (capacidade de organizar informações, tomada de decisão, concentração, processamento de informação, capacidade de resolver problema); 3. Capacidades essenciais (fluência, flexibilidade, originalidade, elaboração de ideias); 4. Características desejáveis (abertura a novas experiências, questionamento, tolerância, autoconfiança, persistência, dedicação, abertura à imaginação).

Através de alguns estudos empíricos, os autores Dorst e Cross (2001) observaram que os designers não costumam tratar do processo de projeto como uma tarefa

objetiva e um problema fechado, mas interpretam a tarefa de acordo com seu ambiente de projeto, recursos e capacidades. Ademais, o processo de desenvolvimento de projeto corresponde a uma iteração constante de análise, síntese e avaliação processual entre o espaço do problema e o espaço da solução.

Segundo Dorst e Cross (2001), a abordagem de co-evolução do problema-solução permite ao designer adotar diferentes estratégias: 1. Design orientado ao problema; 2. Design orientado à solução; 3. Design orientado à informação ou 4. Design orientado ao conhecimento. Embora exista uma sequência de procedimentos, as atividades são alteradas ao longo do processo criativo, pois há uma iteração entre a obtenção de dados, a identificação de requisitos e os estágios de síntese e de avaliação.

Complementando a abordagem de co-evolução problema-solução, surge o conceito de *Design Thinking*, descrito como um tipo de pensamento abduutivo, que busca formar hipóteses explicativas, de natureza exploratória e reflexiva. Algumas características importantes relativas a este pensamento projetual, resumidas por Priscila Pereira (2016), são:

- A identificação pessoal do designer com o produto/serviço a ser projetado, pelo seu caráter motivacional, trazendo as experiências pessoais para a interpretação dos espaços do problema e da solução;
- A capacidade de redefinir o problema, com base nas possíveis soluções pensadas no início do projeto e na reinterpretação de experiências prévias retidas na memória, associada à perspectiva da reflexão na ação;
- A flexibilidade na construção dessas relações de experiências pessoais com fatores situacionais do projeto, que ocorrem baseadas em operações mentais.

Back *et al.* (2008) descreve o processo de criação conforme mostra a Figura 3, organizado nas etapas de Preparação, Esforço Concentrado, Afastamento, Visão, Seleção de Ideias e Revisão. São etapas fundamentais, que iniciam com a formulação clara do problema, passam pela escolha das fontes de informação, pelo uso dos métodos criativos, os quais possibilitam a geração de alternativas, até a seleção das melhores ideias, submetendo-as a avaliações de viabilidade.

Figura 3: Etapas do processo de criação



Fonte: Adaptado de Back et al. (2008)

As fontes de inspiração para o design podem vir de diferentes origens. Estímulos externos podem conter elementos que acionem as informações armazenadas na memória do designer, estimulando a criatividade. Com esse intuito, foram desenvolvidos muitos métodos e técnicas criativas, cujo objetivo é estimular a fluência e a flexibilidade na geração de ideias. Essas ferramentas incentivam a criatividade e apoiam a imaginação, a intuição, a análise e a interpretação, buscando desenvolver novas perspectivas para solucionar problemas de projeto (TSCHIMMEL, 2011).

Segundo Alves, Campos e Neves (2007), as técnicas criativas são “formas heurísticas de acelerar o processo criativo”, pois promovem maior interação entre os componentes de uma equipe de criação, distribui e “uniformiza a criatividade de

todos”, evitando que o sucesso do projeto dependa apenas daquelas pessoas consideradas naturalmente criativas.

Kumar (2013) organizou 101 métodos criativos, visando auxiliar os processos que buscam a inovação. Seu modelo é ilustrado através de quatro quadrantes (pesquisa, análise, síntese e realização) e prevê um processo não linear e iterativo. Kumar (2013) distingue sete modos de atividade para projetos de inovação e, para cada um deles, sugere um conjunto de técnicas criativas a serem adotadas.

Esses métodos são classificados de diferentes formas na literatura e, segundo Back *et al.* (2008), podem ser agrupados em dois 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 (2004), os métodos intuitivos estão associados à imaginação, inspiração, iluminação e, a partir deles, pode surgir inesperadamente uma ideia, 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 ideias 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.

Carvalho (2007) sugere a inclusão de mais um grupo de métodos criativos: os heurísticos, pois argumenta que a divisão apenas entre intuitivos e sistemáticos não destaca, suficientemente, as características interessantes de alguns métodos existentes. Segundo o autor, os métodos heurísticos são aqueles baseados em regras criadas a partir da experiência (conhecimento acumulado) e procuram fazer uso da programação e do computador para resolver problemas. A organização nas três categorias se dá da seguinte forma (CARVALHO, 2007):

- Métodos Intuitivos: *Brainstorming*, Questionários e *Checklists*, 635, *Lateral thinking*, *Synectics*, Galeria
- Métodos Sistemáticos: Busca direta, Análise de valor, Método morfológico, Análise e Síntese funcional, Analogia sistemática
- Métodos Heurísticos: Algoritmos, Programas, a mais parte dos métodos da TRIZ

A escolha do método mais adequado para cada situação pode ser definido com base nos critérios indicados na taxonomia dos métodos criativos (Quadro 1), de Samuel Plentz (2011):

Quadro 1: Taxonomia dos métodos criativos

ACÇÃO UTILIZADA NA TÉCNICA CRIATIVA	CARACTERÍSTICAS DO PROBLEMA	PERFIL TÉCNICO DOS PARTICIPANTES	EXIGÊNCIA DE FERRAMENTAL	TEMPO DE EXECUÇÃO DA TÉCNICA	QUANTIDADE DE PARTICIPANTES
Análise	Problemas multidimensionais	Generalista	Recurso visual	Indeterminado	Um
Associação	Adição de valor	Especialista	Matriz	Determinado	Mais de um
Associação genérica	Problema sujeito à inércia mental	Misto	Caixa morfológica	Até 30 minutos	Até seis
Relação com campos do conhecimento			Acesso à internet	30 minutos	Seis
			Fichas de papel	30 a 50 minutos	Mais de seis
Combinação	Aperfeiçoamento do projeto				
Decomposição	Necessidade de inovação				
Proposição de situações	Controle de processos e aprendizado				
Ideais	Redução de custos				
Irreais	Necessidade de identif. de falhas				
Representação	Atendimento de todas as condições do problema				
Questionamento					
Aplicação de princípios pré-estabelecidos					

Fonte: (PLENTZ, 2011)

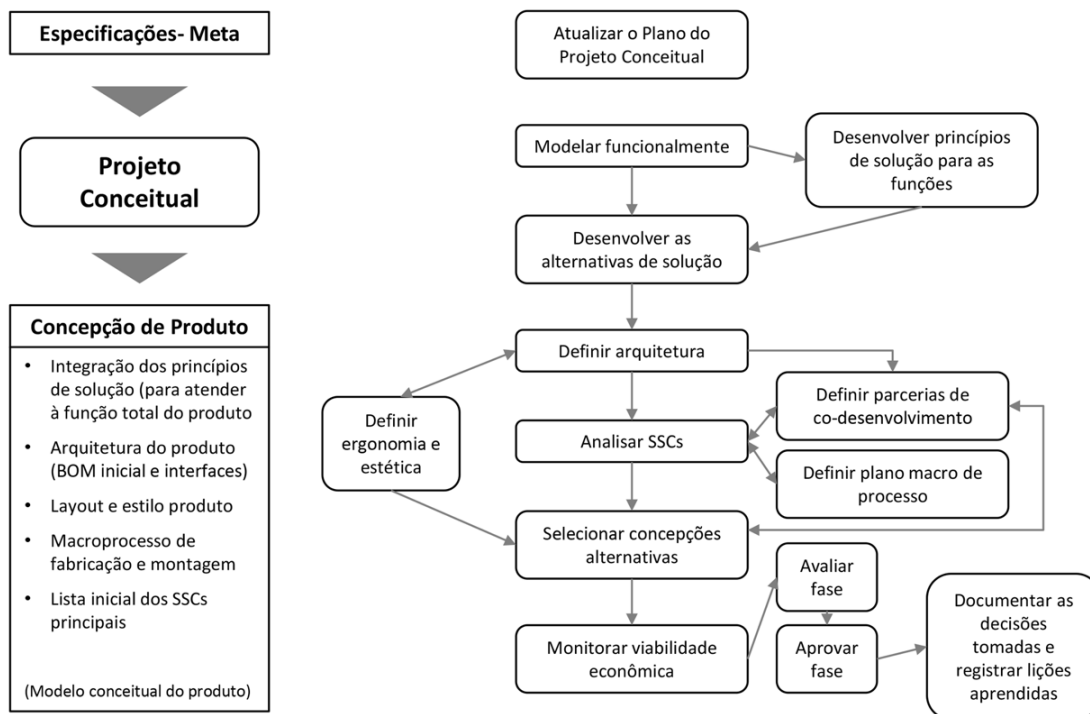
Dentro dos métodos de analogia no design (DbA – *Design-by-analogy*), há diferentes fontes de inspiração, que variam desde conceitos do domínio da biologia, significados da representação do problema de projeto, mapeamento semântico de domínios análogos, entre outros. Essas abordagens expressam o uso da transferência linguística e semântica, explícitas ou implícitas, como fundamento para o raciocínio analógico (PEREIRA, 2016)

Segundo Benami e Jin (2002) as analogias são formadas quando o designer encontra uma conexão entre conceitos, em seguida recupera, na sua memória, as informações sobre os conceitos e, finalmente, transforma a informação para fazer sentido no domínio do problema. Portanto, para formar analogias efetivas, os projetistas devem ter conhecimento suficiente tanto do domínio do problema quanto do domínio da solução. Mesmo assim, as analogias são difíceis de recuperar da memória e por isso o auxílio através de ferramentas é fundamental.

Dentre as fontes de inspiração mais recorrentes no campo das analogias, encontra-se a analogia com a natureza ou a biomimética, foco de estudo do presente trabalho, a qual será abordada em maior profundidade no item 2.2.1, mais à frente. Os princípios de solução da natureza podem ser encontrados por diferentes vias, dependendo do que o designer busca para o projeto do produto em questão.

Segundo Basseto (2004), a etapa conceitual do projeto do produto visa encontrar novas soluções e, para isso, primeiramente, passa pela fase de abstração, na qual é desenvolvida a estrutura funcional do produto. Na fase seguinte, de síntese, são definidas as atuações do produto 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. A Figura 4 explicita todas essas tarefas e etapas do projeto conceitual (ROZENFELD *et al.*, 2006).

Figura 4: Etapas da modelagem funcional dentro do projeto conceitual



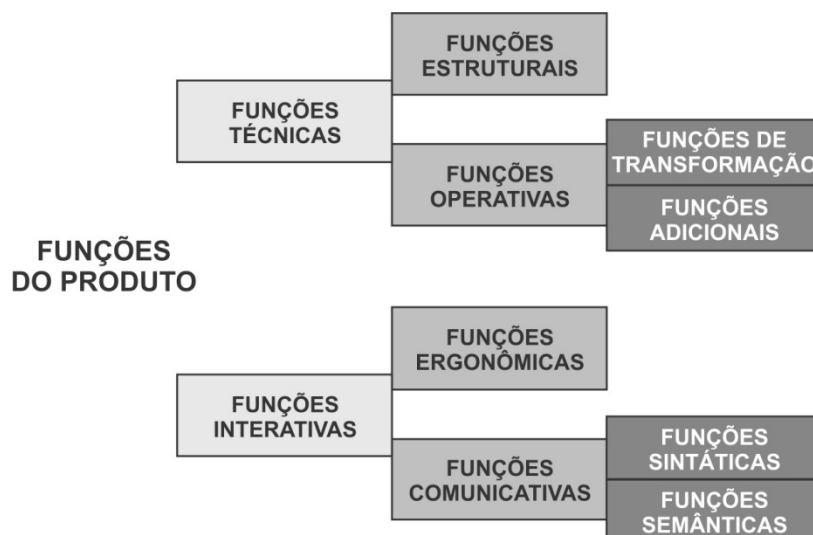
Fonte: Adaptado de Rozenfeld *et al.* (2006)

2.1.2 Modelagem funcional

Uma das etapas mais importantes no desenvolvimento conceitual de um produto é a sua modelagem e decomposição funcional. Essa etapa retrata o produto através de suas funções, as quais descrevem as capacidades desejadas ou necessárias a serem desempenhadas pelo produto, de acordo aos seus objetivos e especificações (PAHL; BEITZ, 1988). A modelagem funcional se configura como um processo de abstração, o que significa definir o produto a partir de suas funções, iniciando pela função global e chegando até subfunções mais elementares (ROZENFELD *et al.*, 2006).

Modelar funcionalmente um produto é importante para auxiliar na abstração do mesmo, permitindo que ele seja representado por meio das suas funções, tanto as realizadas externamente ao produto como as que ocorrem internamente, pelas suas partes. As funções descrevem as capacidades desejadas ou necessárias que permitirão ao produto desempenhar seus objetivos e especificações. Elas podem ser classificadas como mostra a Figura 5 (ROZENFELD et al., 2006).

Figura 5: Funções dos produtos



Fonte: Adaptado de Rozenfeld et al. (2006)

Um produto é definido pelas suas funções e a descrição funcional do mesmo resultará na função global. A função global pode ser decomposta em várias descrições de funções e, desenvolvendo essa decomposição funcional, chegar-se-á às chamadas funções elementares. Segundo Koller (1985 *apud* Back et al., 2008), essas funções elementares possuem o número limitado de 24, para cobrir as ações sobre energia, material e informação. A Figura 6 ilustra essa proposição de Koller, sendo 12 funções elementares e 12 inversas (BACK et al., 2008).

No livro *The Mechanical Design Process*, Ullman (2010) também sugere uma lista de funções que geralmente fazem parte dos projetos de produtos mecânicos (Quadro 2).

Figura 6: Funções elementares para representar ações em sistemas técnicos

FUNÇÃO	REPRES.	FUNÇÃO INVERSA	REPRES.
Emittir: abastecer, alimentar, fornecer, suprir		Absorver: amortecer, aterrar, consumir, dissipar, gastar	
Transmitir: conduzir, levar, transferir		Isolar: barrar, blindar, bloquear, cobrir, fechar, impedir, proteger	
Agrupar: abraçar, abranger, amontoar, aproximar, concentrar, condensar, comprimir, empilhar, espremer, juntar, unir		Dispersar: borrifar, espalhar, decompor, desagregar, distribuir	
Guiar: alinhar, arrastar, centrar, conduzir, dirigir, endireitar e posicionar		Não guiar: divergir, dobrar	
Transformar: alterar, condensar, congelar, converter, destilar, derreter, evaporar, fundir, liquefazer, modificar, imantar, solidificar		Retrotransformar	
Ampliar: acelerar, acrescentar, aquecer, aumentar, dilatar, distender, elevar, encher, erguer, esticar, estufar, inflar, levantar		Reduzir: atrasar, baixar, contrair, descer, diminuir, encolher, minguar	
Mudar a direção: derivar, desviar, dobrar, endireitar, flexionar, girar, inclinar, inverter, quebrar		Mudar a direção	
Retificar: alisar, aplainar, bloquear		Oscilar: agitar, alternar, balançar, embalar, sacudir	
Ligar: acionar, acoplar, agarrar, amarrar, comutar, conectar, engatar		Interromper: cortar, desarmar, desatar, desligar, obstruir, reter	
Misturar: combinar, dissolver, dosar, modular		Separar: classificar, decantar, decompor, depurar, destilar, extrair, filtrar, peneirar, sedimentar, selecionar	
Unir: aglomerar, amarrar, amontoar, encaixar, incluir, juntar, rebitar, soldar, somar		Dividir: bifurcar, britar, cisalhar, cortar, derivar, desagregar, desintegrar, desmontar, fracionar, quebrar, ramificar, repartir, serrar	
Acumular: abastecer, acrescentar, armazenar, carregar, depositar, encher, gravar, registrar		Desacumular: consumir, extrair, gastar, vazar	

Fonte: Adaptado de Koller (1985 apud Back et al., 2008)

Na busca pela definição da estrutura funcional do produto, a modelagem deve partir de uma análise das especificações-meta e passar por algumas etapas, são elas (ULLMAN, 2010):

- Analisar as especificações-meta do produto;
- Identificar as funções do produto;
- Estabelecer a função global;

- Estabelecer estruturas funcionais alternativas;
- Selecionar a estrutura funcional.

Quadro 2: Funções típicas dos projetos mecânicos

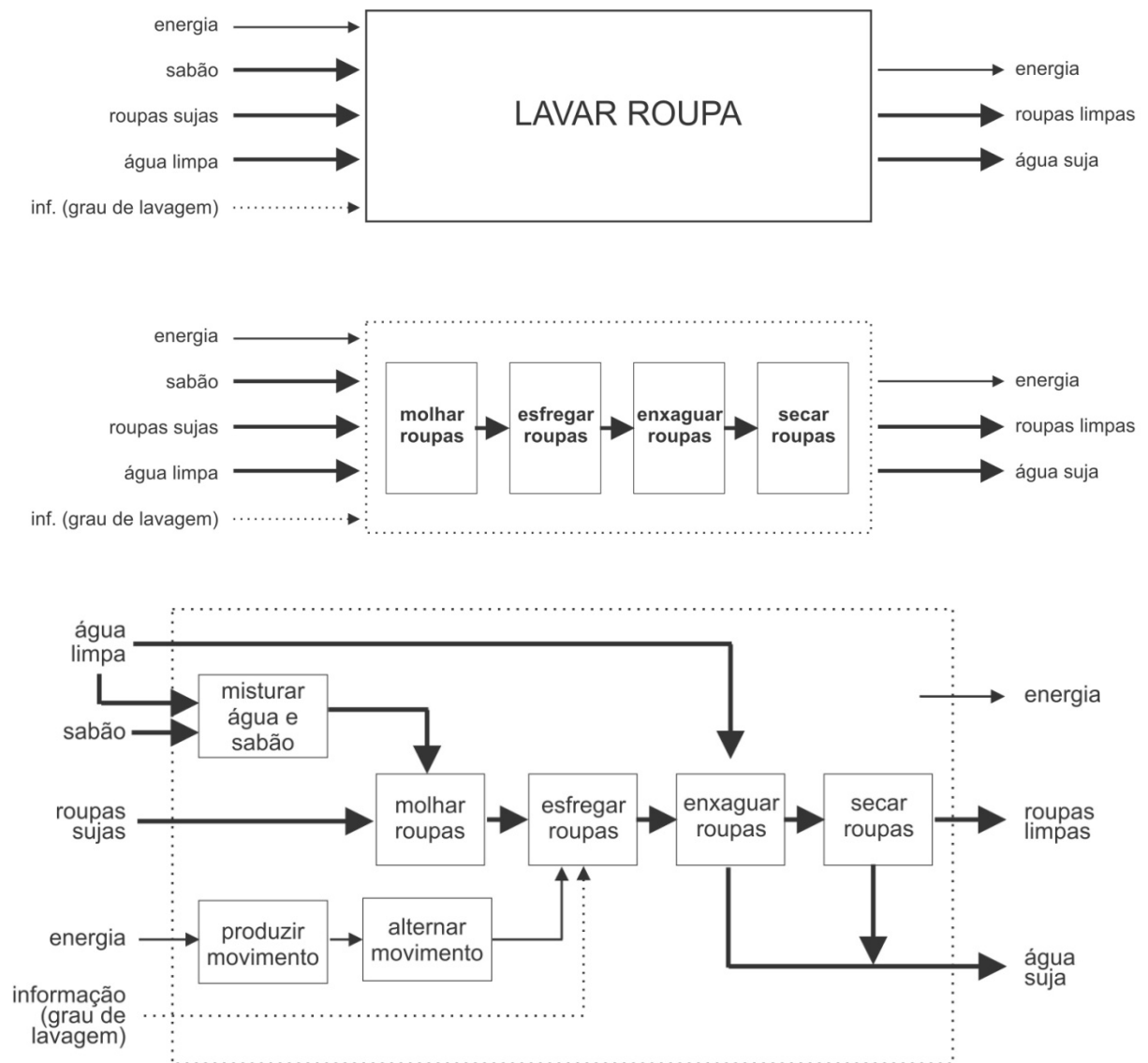
Absorver/Remover	Dissipar	Lançar
Atuar	Conduzir	Retificar
Amplificar	Segurar	Rotacionar
Montar/desmontar	Aumentar/Diminuir	Assegurar
Mudar	Interromper	Proteger
Canalizar ou Guiar	Juntar/separar	Iniciar/parar
Limpar ou Revogar	Levantar	Dirigir
Coletar	Limitar	Armazenar
Conduzir	Localizar	Abastecer
Controlar	Mover	Transformar
Converter	Orientar	Traduzir
Emparelhar	Posicionar	Verificar
Direcionar	Proteger	

Fonte: Adaptado de Ullman (2010)

Segundo Rozenfeld *et al.* (2006), é possível definir uma função por meio de um predicado composto por um verbo e um substantivo, tal como “lavar roupa”, “abrir janela”. Para a modelagem funcional, é possível utilizar as chamadas estruturas ou árvores de funções, nas quais se tem uma descrição que relaciona o sistema técnico e a física do problema por meio de fluxos básicos de energia, materiais e sinais. Conforme indicado na Figura 7, uma estrutura de funções é normalmente obtida pela decomposição da função total em funções de menor complexidade.

Para exemplificar a construção de uma estrutura funcional, será tomada como exemplo uma máquina destinada a lavar roupas. Como entradas do sistema, há roupa suja (material), sabão (material), água limpa (material), energia (energia) e o grau de lavagem requerido (sinal). Como saída do sistema há roupas limpas (material), água suja (material) e energia (energia), esta última em forma de calor, vibração, etc. O procedimento seguinte é a decomposição desta função total em funções com nível de complexidade menor, o que facilita a busca pelas soluções, além de proporcionar um melhor entendimento do problema de projeto. No último fluxo da mesma Figura 7, está indicado o desdobramento da função global em subfunções (ROZENFELD *et al.*, 2006):

Figura 7: Desenvolvimento da estrutura de funções do produto



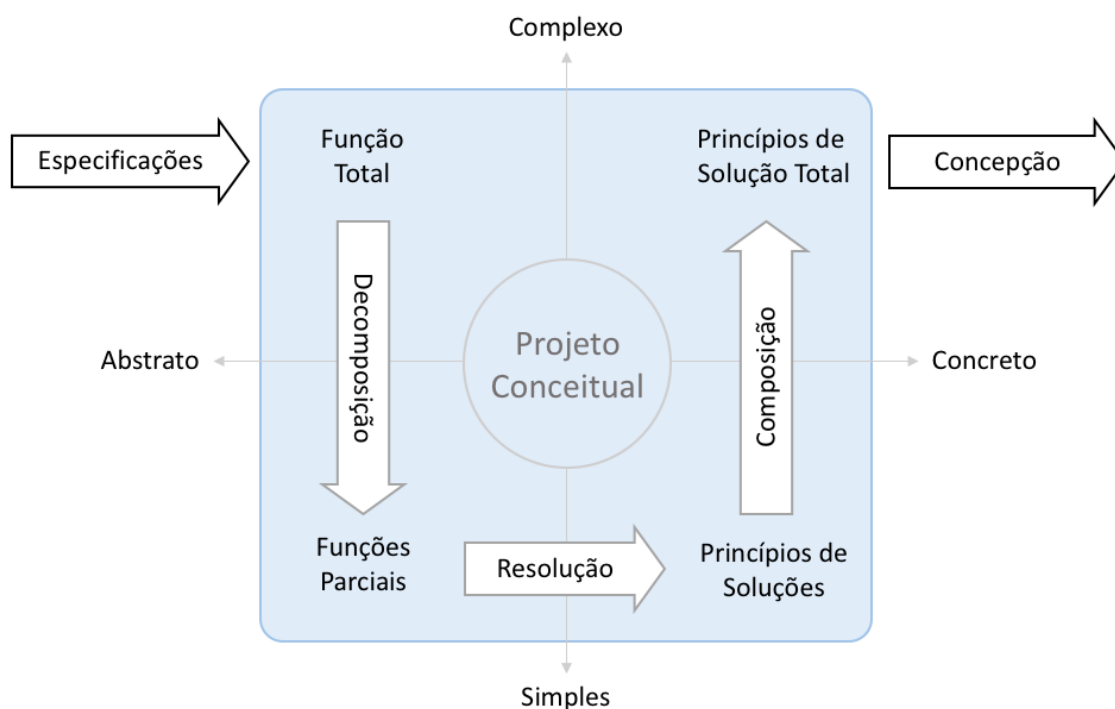
Fonte: (ROZENFELD et al., 2006)

As estruturas de funções devem conter todos os fluxos de energia, material e sinal envolvidos e devem garantir a compatibilidade entre as funções adjacentes. Nesta abordagem, a função principal do produto é decomposta hierarquicamente em subfunções, sendo que, quando todas elas são executadas, a função total do produto é realizada.

Após realizada a decomposição funcional do produto, é iniciada a busca por princípios de solução, correspondentes a cada subfunção elencada. A combinação destes princípios permitirá a geração de várias alternativas de concepção do produto, dentre as quais uma ou mais poderão ser selecionadas. Para cada uma

dessas alternativas geradas, deverá ser proposta uma arquitetura de componentes e conexões. As concepções geradas a partir do desenvolvimento da arquitetura passam por um processo de seleção até que seja escolhida a concepção que melhor atende ao escopo do produto. A última etapa envolve o monitoramento da viabilidade econômica, o registro de decisões tomadas e lições aprendidas (ROZENFELD *et al.*, 2006). A Figura 8 indica as estratégias para a resolução do problema através da decomposição funcional.

Figura 8: Estratégia para resolução do problema



Fonte: Adaptado de Rozenfeld *et al.* (2006)

2.1.3 Functional Basis

A falta de controle no vocabulário aplicado pelo projetista para descrever os conceitos de design culmina no uso de diversos termos para identificar um mesmo significado. A ambiguidade e redundância na multiplicidade de termos dificulta o processamento das informações e, conseqüentemente, compromete a clareza da interpretação e a automatização do processo de design. Portanto, para auxiliar o designer na modelagem funcional, foi criada a *Functional Basis*, como linguagem universal ou taxonomia de funções, que oferece um vocabulário controlado para a representação de modelos funcionais para produtos (HIRTZ *et al.*, 2002).

Desenvolvida com base no domínio da engenharia mecânica e eletromecânica, a *Functional Basis* é um padrão de linguagem de funções que permite aos designers descreverem a função geral de um produto como um conjunto de funções simples, ao mesmo tempo que indica a conectividade entre elas. Os autores Stone e Wood (2000) desenvolveram a *Functional Basis* após comparar diversas taxonomia anteriores, especialmente dos autores Pahl e Beitz (1988), Hundal (1990) e Altshuller, (2007) conforme ilustra a Figura 9.

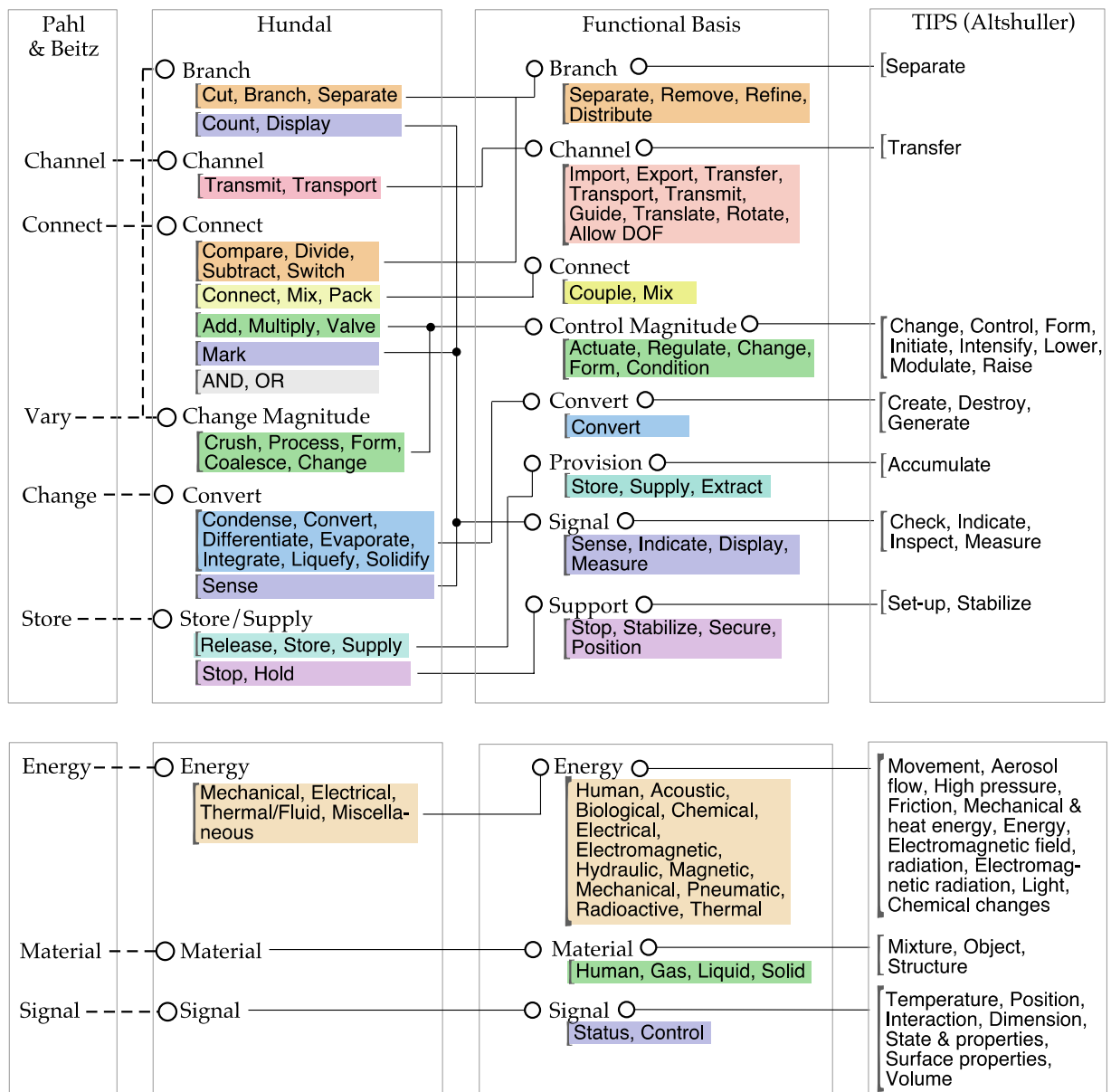
Pahl e Beitz sugerem funções e fluxos de forma global, enquanto Hundal se dedica a detalhá-los. Segundo Stone e Wood (2000), algumas funções de Hundal são redundantes e portanto foram removidas da *Functional Basis*. Por outro lado, foram integradas as descrições funcionais do *Theory of Inventive Problem Solving* (TIPS) e reorganizadas segundo as novas categorias da *Functional Basis*. De forma geral, a *Functional Basis* pode ser considerada uma linguagem universal para projeto, pois incorpora taxonomias anteriores e oferece um conjunto consistente de fluxos e funções, com definições claras e sem redundâncias.

Um dos aspectos essenciais no processo da modelagem funcional é a representação de todas as entidades ou fluxos que terão entradas e saídas em cada função. Todos os problemas de design lidam com três fluxos básicos: Energia, Material e Informação, sendo este último melhor representado como Sinal. A *Functional Basis* desenvolveu uma representação formal dos fluxos através de uma pesquisa aprofundada em diferentes campos do conhecimento, dentre eles as ciências naturais e físicas, chegando ao vocabulário expresso no Quadro 3 (STONE; WOOD, 2000).

A taxonomia da *Functional Basis* organizou os fluxos em classes e subclasses. Os fluxos, portanto, além de organizados nas classes principais (Material, Sinal e Energia) são divididos em básicos e sub-básicos e seguidos de complementos. O grau de detalhamento dos fluxos depende do tipo de projeto e das necessidades do usuário, podendo atender a uma função mais genérica ou mais específica. Os complementos da classe Energia são ainda divididos em Analogia por Esforço ou Analogia por Fluxo, pois identificam variáveis importantes para análises mais detalhadas do produto (STONE; WOOD, 2000).

Da mesma forma que os Fluxos, as Funções que conformam a taxonomia da *Functional Basis* foram definidas a partir de estudos de métodos anteriores, bem como análise de patentes e outras fontes de literatura (Quadro 4). A primeira coluna lista as oito classes de função, as quais são detalhadas na coluna seguinte como funções básicas. A terceira coluna indica funções válidas apenas quando utilizadas com o fluxo apropriado e a última coluna dispõe de uma lista de sinônimos para as funções básicas (STONE; WOOD, 2000).

Figura 9: Comparações entre taxonomia de funções de engenharia



Legend:
 ○ Class
 □ Basic category

Fonte: (STONE; WOOD, 2000)

Para explicar o uso da *Functional Basis*, os autores descrevem a metodologia de aplicação da mesma junto da modelagem funcional de um produto, a qual consiste em três etapas principais (STONE; WOOD, 2000):

1. **Gerar o modelo Caixa Preta:** significa gerar uma representação gráfica da função do produto com fluxos de entrada/saída. A Função geral do produto deve ser expressa em forma de objeto-verbo. Os fluxos de

entrada e saída são mais facilmente estabelecidos após o desenvolvimento de um conjunto de necessidades do cliente. Em geral, as necessidades do cliente apenas identificam fluxos de entrada e saída, mas não só fluxos internos ao produto. Os fluxos podem ser inicialmente listados de maneira mais geral e refinados à medida que os conceitos do projeto de desenvolvem.

2. **Criar as cadeias de funções para cada fluxo de entrada:** para cada fluxo de entrada, desenvolver uma cadeia de subfunções (expressa na forma de verbo-objeto). Pensar em cada operação do fluxo desde a entrada até a saída do produto.
 - a) **Expressar as subfunções:** as cadeias de funções devem ser expressas no vocabulário padrão da *Functional Basis*.
 - b) **Ordenar as cadeias de funções em linha do tempo:** ordenar as subfunções com critério de dependência, identificando o que ocorre em paralelo ou de forma sequencial.
3. **Agregar as cadeias de funções dentro do Modelo funcional:** Unir todas as cadeias de funções em um único modelo, gerando as conexões e interligações devidas.

O resultado da aplicação da metodologia é um ou mais modelos funcionais de um produto expressado na linguagem universal da *Functional Basis*. A partir do modelo funcional, os produtos e suas representações funcionais podem ser diretamente comparados, famílias de produtos podem ser identificadas, funções priorizadas e analogias de componentes podem ser geradas (STONE; WOOD, 2000).

Segundo Hirst *et al.* (2002), a *Functional Basis* representa uma importante contribuição para a área do design, pois a formalização da linguagem funcional facilita o processo de modelagem tanto para a educação, quanto para a aplicação profissional e industrial. Além disso, os modelos funcionais podem ser elaborados com diferentes níveis de precisão, possibilitando a abstração desejável para novos projetos e, ao mesmo tempo, o detalhamento suficiente para *redesign* ou documentação de produtos existentes.

Quadro 3: Categorias de fluxos, básicos, sub-básicos e complementos

Class	Basic	Sub-basic	Complements		
Material	Human		Hand, foot, head ,etc.		
	Gas				
	Liquid				
	Solid				
Signal	Status	Auditory	Tone, Verbal		
		Olfactory			
		Tactile	Temperature, Pressure, Roughness		
		Taste			
		Visual	Position, Displacement		
	Control				
Class	Basic	Sub-basic	Bond graph based complement		
			Effort analogy	Flow analogy	
Energy	Human		Force	Motion	
	Acoustic		Pressure	Particle velocity	
	Biological		Pressure	Volumetric flow	
	Chemical		Affinity	Reaction rate	
	Electrical		Electromotive force	Current	
	Electromagnetic	Optical		Intensity	Velocity
		Solar		Intensity	Velocity
	Hydraulic		Pressure	Volumetric flow	
	Magnetic		Magnetomotive force	Magnetic flux rate	
	Mechanical	Rotational		Torque	Angular velocity
		Translational		Force	Linear velocity
		Vibrational		Amplitude	Frequency
	Pneumatic		Pressure	Mass flow	
	Radioactive		Intensity	Decay rate	
Thermal		Temperature	Heat flow		
Usage & Degree of Specification					
<i>Class only</i> Least Specific▼					
	<i>Basic or Sub-basic + Class</i> More Specific▼				
	<i>Basic or Sub-basic + Complement</i>			Most Specific▼	
Overall increasing degree of specification ▢►					

Fonte: (STONE; WOOD, 2000)

Quadro 4: Categorias de funções, funções básicas e sinônimos

Class	Basic	Flow restricted	Synonyms	
Branch	Separate		Switch, Divide, Release, Detach, Disconnect, Disassemble, Subtract,	
		Remove	Cut, Polish, Sand, Drill, Lathe	
	Refine		Purify, Strain, Filter, Percolate, Clear	
	Distribute		Diverge, Scatter, Disperse, Diffuse, Empty Absorb, Dampen, Dispel, Resist, Dissipate	
Channel	Import		Input, Receive, <i>Allow</i> , Form Entrance, <i>Capture</i>	
	Export		Discharge, Eject, Dispose, Remove	
	Transfer			
		Transport		Lift, Move
		Transmit		Conduct, Convey
	Guide			Direct, Straighten, Steer
		Translate		
Rotate			Turn, Spin	
	Allow DOF		Constrain, Unlock	
Connect	Couple		Join, Assemble, <i>Attach</i>	
	Mix		Combine, Blend, Add, Pack, Coalesce	
Control Magnitude	Actuate		Start, Initiate	
	Regulate		Control, <i>Allow</i> , <i>Prevent</i> , Enable/Disable, Limit, Interrupt, Valve	
	Change		Increase, Decrease, Amplify, Reduce, Magnify, Normalize, Multiply, Scale, Rectify, Adjust	
		Form		Compact, Crush, Shape, Compress, Pierce
	Condition			
Convert	Convert		Transform, Liquefy, Solidify, Evaporate, Condense, Integrate, Differentiate, Process	
Provision	Store		Contain, Collect, Reserve, <i>Capture</i>	
	Supply		Fill, Provide, Replenish, Expose	
	Extract			
Signal	Sense		Perceive, Recognize, Discern, Check, Locate	
	Indicate		Mark	
	Display			
	Measure		Calculate	
Support	Stop		Insulate, Protect, <i>Prevent</i> , Shield, Inhibit	
	Stabilize		Steady	
	Secure		<i>Attach</i> , Mount, Lock, Fasten, Hold	
	Position		Orient, Align, Locate	

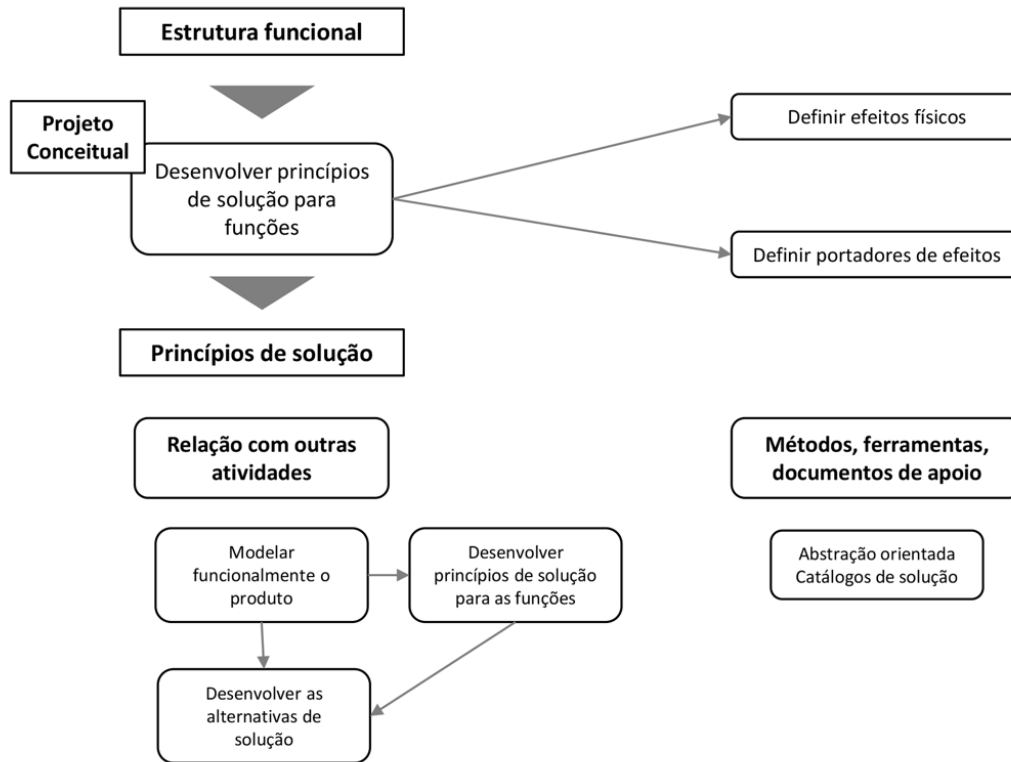
Fonte: (STONE; WOOD, 2000)

2.1.4 Princípios de Solução

Em resposta à criação da estrutura funcional do produto, e dando continuidade ao processo de geração de alternativas, é necessário realizar a passagem do abstrato ao concreto, da função à forma. A cada uma das funções da estrutura funcional definida na etapa anterior podem ser atribuídas um ou mais princípios de solução. Segundo Rozenfeld et al. (2006), é possível definir um princípio de solução como a

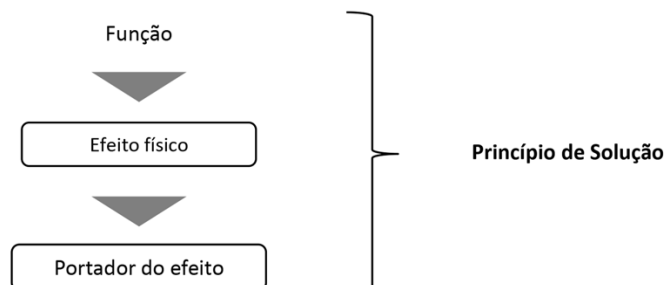
combinação de um princípio físico com um portador de princípio físico, conforme Figura 10 e Figura 11.

Figura 10: Desenvolvimento de princípios de solução para as funções



Fonte: Adaptado de Rozenfeld et al. (2006)

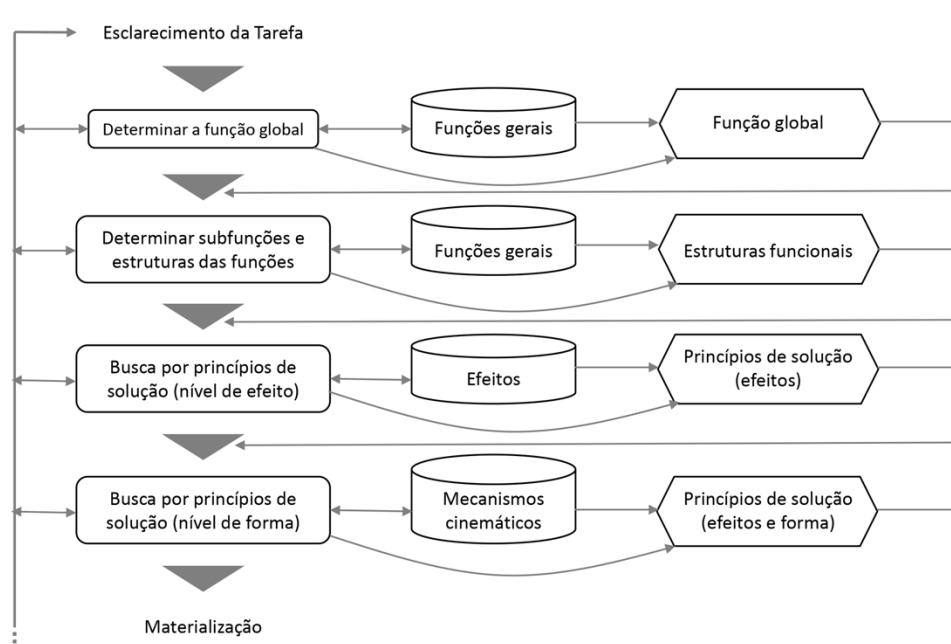
Figura 11: Constituição de um princípio de solução



Fonte: Adaptado de Rozenfeld et al. (2006)

Segundo Wilhelms (2005), o projeto conceitual progride a partir dos requisitos até as funções; das funções para as subfunções e, por fim, das subfunções para os princípios de solução. Os princípios de solução devem ser combinados para gerar uma síntese conceitual, a qual é alcançada através da combinação de mecanismos e efeitos. A Figura 12 é uma representação das etapas do projeto conceitual, indicando a contribuição dos princípios de solução.

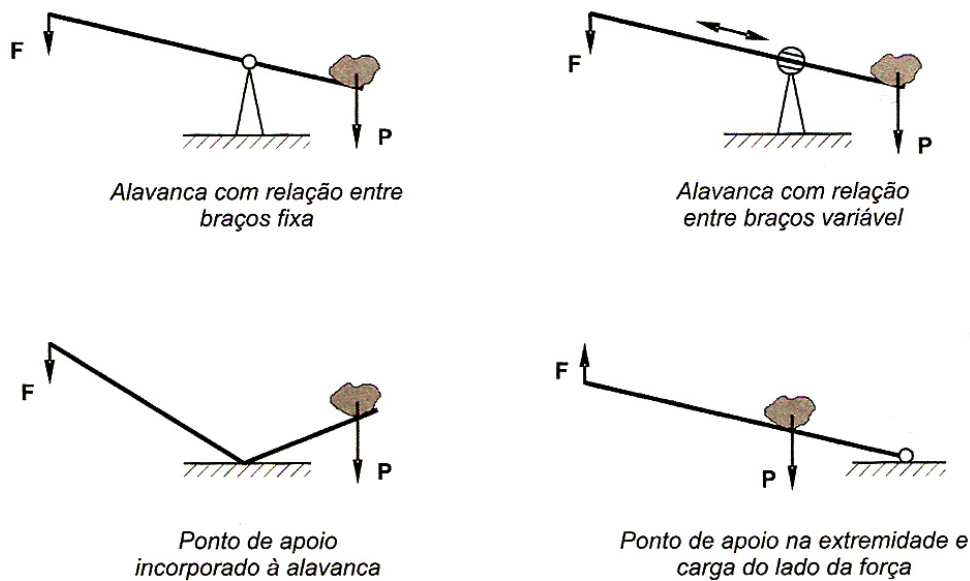
Figura 12: O projeto conceitual e acessos às bases do conhecimento



Fonte: Adaptado de Wilhelms (2005)

Os sistemas físicos na natureza comportam-se de acordo com princípios físicos, químicos e biológicos regidos por leis da natureza. Assim, esses sistemas desenvolvem princípios físicos, químicos e biológicos capazes de realizar funções sobre o ambiente que o cercam. Algumas vezes mais de um princípio físico é necessário para cumprir uma determinada função. Por exemplo, a função "Ampliar força" (Figura 13) pode ser atendida pelo princípio da alavanca, da cunha, princípios hidráulicos ou eletromagnéticos. O portador do princípio físico, por sua vez, deve representar qualitativamente o sistema ou o meio que desempenhará a função desejada. Ele deve conter informações a respeito dos elementos que compõem o sistema, bem como das relações entre esses elementos (ROZENFELD *et al.*, 2006).

Figura 13: Portadores para princípio físico da alavanca



Fonte: (ROZENFELD et al., 2006)

Segundo Rozenfeld et al. (2006), as informações relacionadas aos elementos que constituem o princípio de solução incluem: tipo de elemento, quantidade, forma, posição, movimentos e atributos de material. Ao mesmo tempo em que representa as formas aproximadas dos elementos, o princípio de solução não deve fazer referência às suas dimensões, nem mesmo aos materiais específicos a serem utilizados, apenas aos atributos do mesmo, como ductibilidade, rigidez e transparência.

Os princípios de solução poderão ser obtidos por meio de banco de dados ou catálogos. Ainda assim, para auxiliar na busca de ideias para os princípios de solução é possível utilizar métodos criativos, como os abordados no item 2.1.1, dentro da fundamentação teórica sobre o processo criativo no projeto de produto

2.2 PRINCÍPIOS DE SOLUÇÃO DA NATUREZA

Dentro do projeto conceitual do produto e da geração de alternativas, faz-se necessária a definição dos princípios de solução, os quais devem atender adequadamente cada subfunção do produto. A proposta deste trabalho é investigar a área do conhecimento da biomimética, como fonte de princípios de solução da natureza, o que auxilia o projetista na difícil tarefa de realizar a transposição dos conhecimentos desde o domínio da biologia para a aplicação no domínio do design.

A natureza apresenta um extenso campo de conhecimento para o ser humano e sua engenhosidade pode contribuir para o processo criativo de projeto. De acordo com Hsuan-an (2002), muitas formas e fenômenos naturais, tais como nuvens, movimentos de areias em desertos e percursos de rios, são regidos por algum tipo de padrão, mesmo que ainda desconhecido. A ciência da Teoria do Caos explica que, dentro da aleatoriedade e da irregularidade aparentes apresentadas pelas formas naturais, está oculta certa ordem, caracterizando uma aparência livre, espontânea e, na verdade, nada de aleatória, pois há nelas sempre um padrão baseado em algum princípio organizacional.

Segundo Albert Einstein, em Cartas a Solovine:

Satisfaz-me o mistério da eternidade da vida e o mais leve indício da maravilhosa estrutura da realidade, juntamente com o esforço sincero para compreender uma parte, mesmo que ínfima, da razão que se manifesta na natureza (EINSTEIN, 1949, p. 5).

Segundo Doczi (1990), em todas as criações naturais encontra-se uma unidade e uma ordem comum. Essa ordem pode ser percebida em proporções que se repetem continuamente, assim como no padrão de crescimento dinâmico das coisas, pela união de opostos complementares. Quando são examinados profundamente o padrão de uma flor, de uma concha e de um ser humano, é possível descobrir uma forma de perfeição. Outra referência sobre a expressão inteligente das leis da natureza está descrita nos diários de Leonardo da Vinci:

A natureza não quebra a própria lei, pois é levada pela necessidade lógica de sua lei, que é inerente a ela. A necessidade é a mestra e guia da natureza, sua eterna controladora e lei. Na natureza, não existe um efeito sem causa; compreenda a causa e você não terá necessidade do experimento (DA VINCI, 2004, p. 19).

2.2.1 Biomimetismo e soluções análogas

Na busca por soluções de concepção para o produto, um dos métodos criativos mais utilizados é o da analogia com a natureza. A Biomimética, ou o design bio-inspirado, é uma abordagem orientada para aplicar as lições da natureza nos problemas de projeto humanos. Dedicar-se ao estudo das soluções naturais, decodificando

geometrias e mecanismos, na busca das melhorias no campo da funcionalidade, da estética e da eficiência energética.

Depois de investigar um extenso número de pesquisas, Janine Benyus (1997) documentou e integrou seus estudos em *Biomimicry - Innovation Inspired by Nature*. O conceito de Biomimetismo, trazido pela autora, vai além da simples imitação da forma biológica, pois inclui o conceito de replicação do comportamento dos organismos naturais. A definição de Benyus a respeito do campo de estudo da Biomimética está reproduzida a seguir:

- 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 medida: Usar o padrão ecológico para julgar a relevância e a validade das inovações. Após bilhões de anos de evolução, a natureza aprendeu o que funciona, o que é mais apropriado e o que perdura.
- Natureza como mentora: Nova forma de observar e avaliar a natureza. Preocupar-se não no que se pode extrair da natureza, mas no que se pode aprender com ela.

Segundo Benyus (1997), em uma sociedade acostumada a dominar ou "melhorar" a natureza, imitá-la de forma respeitosa é uma abordagem radicalmente nova, uma verdadeira revolução. Ao contrário da revolução industrial, a revolução biomimética 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 de 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:

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 (DA VINCI, 2004, p. 96).

Ao olhar com profundidade para a natureza, percebe-se 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 multifreqüencial do morcego. 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 (BENYUS, 1997).

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 (BENYUS, 1997):

- 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 alcança o poder dos limites

Segundo o biólogo John Todd (2000 *apud* Wahl, 2006), a ecologia da Terra possui um conjunto de instruções que precisam ser urgentemente decodificadas para posterior emprego 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* Wahl, 2006) foram os primeiros pesquisadores a oferecer uma lista de princípios de design ecológico. A proposta inicial são nove 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 se opor 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

Essa lista de preceitos do design ecológico reflete a visão holística e participativa que alicerça 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 (WAHL, 2006).

Outros princípios para guiar o design de produtos são desenvolvidos também por Janine Benyus (1997) e Edwin Datschefski (2002), dois nomes indissociáveis da evolução do Biomimetismo, os quais estão expostos a seguir.

Janine Benyus:

- 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

Edwin Datschefski:

- 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.

Segundo Isenmann (2003), economistas e engenheiros utilizam com frequência as analogias biológicas, fundamentalmente a partir de organismos (analogia com a evolução, com o crescimento fractal, com o cérebro), na busca por solucionar fenômenos socioeconômicos. 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 é de fato algo novo ou apenas um condicionamento do senso comum.

Há mais de 500 anos, Da Vinci parece ter previsto certa tendência do homem em percorrer um caminho orientado pelo objetivo de aumentar sua capacidade de controle e manipulação da natureza, em vez de aprender e integrar-se a ela: "aqueles que tomarem partido de qualquer estandarte que não seja o da natureza – a mestra de todos os mestres – trabalharão em vão". Apesar da advertência de Da Vinci, 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 (WAHL, 2006).

A abordagem científica, predominante a partir do século XVIII, gerou uma separação dos seres humanos da sua natureza biológica, tornando-os 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 (WAHL, 2006).

O conhecimento possui uma característica dual, visto que nele reside um grande poder, o qual pode ser direcionado para diferentes fins. Benyus questiona:

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?
(BENYUS, 1997)

Esta não é uma preocupação infantil, pois uma das mais expressivas 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.

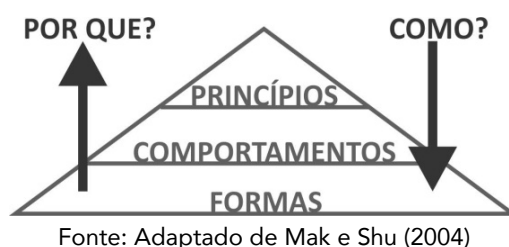
Talvez aquilo que o homem realmente necessite não seja uma mudança tecnológica, mas uma mudança interna de mentalidade, que lhe permita estar atento às lições da natureza. (BENYUS, 1997)

Segundo Benyus (1997), 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 real possibilidade de perder um quarto de todas as espécies nos próximos trinta anos, a biomimética torna-se mais do que simplesmente uma nova forma de olhar a natureza. Torna-se uma corrida e um resgate.

Segundo Wahl (2006), 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 coparticipante dependente dos processos naturais. Tais mudanças 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.

Apesar de restrita, a atuação do designer também pode contribuir para uma sociedade mais sustentável, apropriando-se das ferramentas da Biomimética, conhecendo-as em profundidade e aplicando-as na concepção de produtos de menor impacto ambiental. Segundo os autores Mak e Shu (2004), embora os fenômenos biológicos tenham sido utilizados desde sempre como inspiração para a concepção, eles não tem sido sistematicamente utilizados a partir de um projeto de necessidades. Um método generalizado é necessário para identificar o uso dos fenômenos biológicos relevantes para um determinado problema de engenharia de forma objetiva.

Figura 14: Categorias dos fenômenos biológicos (hierarquia de abstração)



O artigo *Abstraction of Biological Analogies for Design*, dos mesmos autores, descreve os esforços para determinar os fatores que afetam a extração de analogias relevantes para aplicar a um problema de engenharia. É importante diferenciar uma correspondência analógica, que simplesmente relata a existência e conhecimento do fenômeno análogo, de uma transposição análoga, necessária para o desenvolvimento de um conceito em engenharia, baseado em um fenômeno biológico, que é o foco da biomimética. Uma das dificuldades da biomimética é essa extração de analogias relevantes do fenômeno biológico, que possam ser livremente aplicadas aos problemas de projeto na área do design. As descrições do fenômeno biológico apresentadas neste estudo podem ser classificadas em três categorias (Figura 14), que se organizam hierarquicamente da seguinte maneira (MAK; SHU, 2004):

- Forma: descrições que apresentam apenas referência a formas biológicas, sem entrar no mérito do por que essa forma existe ou como ela funciona. A descrição identifica que ação é feita e quem está realizando a ação;
- Comportamento: descrições que apresentam formas biológicas e os seus correspondentes processos. A mesma descrição identifica que ação é feita, quem está realizando a ação e como está sendo realizada a ação;

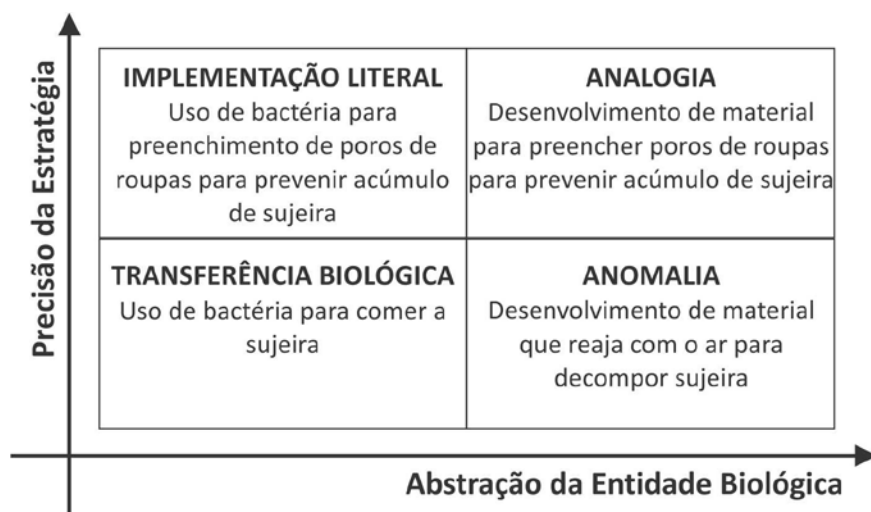
- Princípio: fenômeno que apresenta os princípios subjacentes. Em geral, a descrição de um princípio inclui as razões pelas quais um fenômeno acontece na natureza.

Quatro tipos de relações de similaridade são observados entre os conceitos gerados e os fenômenos biológicos apresentados. São elas (MAK; SHU, 2004):

- Implementação literal: a estratégia implementada é a mesma apresentada, porém os mesmos agentes biológicos do fenômeno de referência foram utilizados no conceito gerado, sem abstração;
- Transferência Biológica: não implementa a estratégia apresentada, porém transfere o agente biológico do fenômeno para outra estratégia;
- Analogia: implementa o princípio estratégico derivado do fenômeno apresentado, porém não transfere o agente biológico;
- Anomalia: aparentemente não há nenhuma similaridade com o fenômeno biológico.

Chega-se à conclusão de que descrições orientadas pela forma resultam em implementações mais literais do fenômeno biológico, enquanto descrições orientadas por princípios resultam em semelhança de estratégias. As descrições orientadas por comportamento, por sua vez, também podem resultar em boas semelhanças de estratégia de solução. A Figura 15 e Figura 16 ilustram as relações descritas acima. O potencial do design biomimético é pleno quando é possível abstrair a estratégia usada em um fenômeno biológico e implementá-la de um modo não condicionado ao literal (MAK; SHU, 2004).

Figura 15: Tipos de similaridade nas analogias



Fonte: Adaptado de Mak e Shu (2004)

Figura 16: Relações entre categorias e tipos de similaridade nas analogias



Fonte: Adaptado de Mak e Shu (2004)

2.2.2 Taxonomia dos princípios de solução da natureza

O campo dos conhecimentos naturais abarca desde os fenômenos biológicos dos seres vivos, até a diversidade de fenômenos químicos e físicos. O tema é amplo e carece de definições claras, o que dificulta a transposição destes conhecimentos para o campo da engenharia e do design. Para o cumprimento do objetivo de elaboração de um método biomimético, faz-se necessário adotar uma taxonomia que oriente e estruture as informações e, para tanto, foi adotada a taxonomia dos princípios de solução da natureza, desenvolvida pela pesquisadora deste trabalho, na dissertação de mestrado (DETANICO, 2011).

Segundo Prieto-Díaz (2003) e Hildenise Ferreira Novo (2007), uma taxonomia pode ser compreendida como a estrutura e formulação das categorias de um sistema, uma construção teórica resultante de um processo investigativo contínuo. Historicamente, o termo taxonomia foi, pela primeira vez, empregado por Carolus Linnaeus, nas suas pesquisas relativas à biologia, durante o século XVIII. Foi ele quem classificou os seres vivos em *Filos*, *classes*, *ordens*, *famílias*, *gênero* e *espécies*, hierarquizando-os e dividindo-os.

Segundo Amabis e Martho (1996), taxonomia vem dos radicais gregos *taxon*, (categoria ou grupo) e *nomos* (conhecimento), sendo amplamente utilizada na área da biologia como ferramenta de classificação e nomenclatura dos seres vivos. Há registros da busca pela organização dos seres vivos desde Aristóteles, no séc. IV a.C., que iniciou pela classificação dos animais, seguido por seu discípulo Teofrasto (372 a.C. – 287 a.C.), o qual se dedicou à classificação das plantas. Essas classificações vêm como resposta à necessidade de agrupar os organismos de acordo a características comuns, buscando compreender a variedade e multiplicidade da natureza.

A taxonomia em questão (DETANICO, 2011) tem como objetivo a compreensão e categorização dos princípios de solução da natureza e foi desenvolvida a partir da

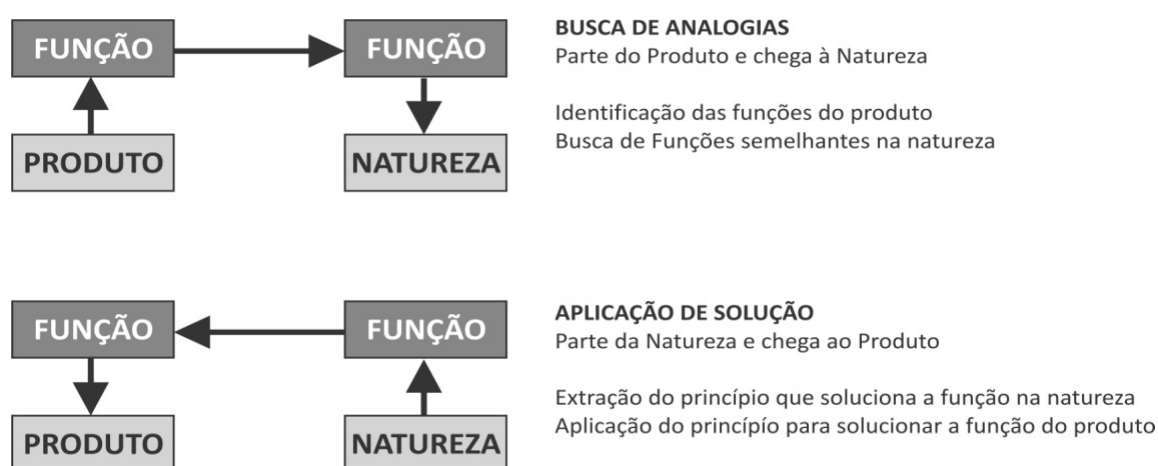
integração de três principais domínios do saber: 1. o processo de desenvolvimento de produto, 2. os princípios de solução da natureza e 3. a teoria de classificação do conhecimento.

A compreensão do processo de desenvolvimento de produto esclareceu o contexto de inserção do problema de pesquisa, identificando os elementos mais importantes a serem desenvolvidos na metodologia do trabalho para alcançar o objetivo proposto. Através da investigação do processo de geração de alternativas conceituais, foi possível identificar a importância da característica “função” de um produto, a partir da qual se deu a busca pelos princípios de solução adequados para responder ao problema de projeto levantado.

Igualmente importante foi a compreensão do detalhamento desta “função global” e do seu desmembramento em funções menores. Percebeu-se que as “macro funções” podem ser descritas com um arranjo de “micro funções”. Desta forma, é possível chegar a funções básicas ou elementares. Koller (1985 *apud* Back *et al.*, 2008), apresentou 24 dessas funções elementares, destinadas a sistemas técnicos. A partir de seu estudo, aliado à amostra retirada dos princípios naturais, foram lançadas as funções elementares da taxonomia apresentada neste trabalho.

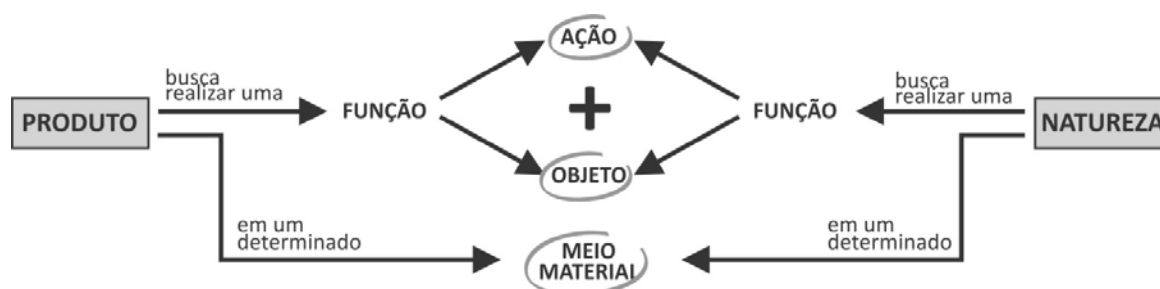
Seguindo essa linha de raciocínio, os princípios naturais devem ser organizados segundo as funções que exercem, pois é através delas que o designer vai buscar referências para o projeto de produto. Sendo assim, o critério “Função” é orientador da organização da informação dentro da taxonomia (Figura 17 e Figura 18).

Figura 17: Analogia entre funções do produto e da natureza



Fonte: (DETANICO, 2011)

Figura 18: Esquema de inter-relações entre o produto e a natureza



Fonte: (DETANICO, 2011)

Segundo os autores Kruijer *et al.* (2018), as informações provenientes das pesquisas biológicas podem ser recuperadas não apenas em termos de funções técnicas, cujo objetivo é a execução de uma ação, mas também através de suas propriedades (internas ou externas, pertencentes a um sistema) e o ambiente onde se desenvolvem, seus efeitos e interações. Os resultados do processo biomimético decorrentes da combinação das informações de diferentes categorias (função, propriedades, ambiente) podem ser mais eficazes, pois há mais precisão nas informações encontradas para atender com maior direcionamento o problema de projeto levantado.

Dependendo das variáveis do contexto/ambiente/meio, o mesmo sistema pode desempenhar diferentes funções. Um exemplo é a bexiga natatória de um peixe, a qual permite a sua flutuação na água. Porém, ao mesmo tempo, se configura como uma estrutura celular tubular, que ajuda na detecção da pressão da água, sendo ainda utilizada, em alguns casos, para auxiliar na produção e audição de sons. As inter-relações entre os componentes dos sistemas biológicos são complexas devido à multifuncionalidade inerente à maioria deles (KRUIPER *et al.*, 2018).

Por isso, as transferências das soluções biológicas para os sistemas técnicos não podem ser feitas de maneira óbvia e direta, já que envolvem a coparticipação e interação de diferentes aspectos. Desta forma, a taxonomia dos princípios de solução da natureza abarca não apenas ações, mas outras categorias que auxiliam na identificação e classificação dos mesmos, possibilitando diferentes arranjos na busca pela solução mais adequada ao design.

Importante mencionar a obra "Vida: a ciência da biologia" (SADAVA *et al.*, 2009), que serviu como base de dados do campo de conhecimento dos fenômenos naturais para a elaboração da taxonomia. O resultado do trabalho de sistematização desenvolvido se encontra na Figura 19. A taxonomia foi organizada segundo seis

categorias fundamentais, as quais seguem explicadas em seguida (DETANICO, 2011):

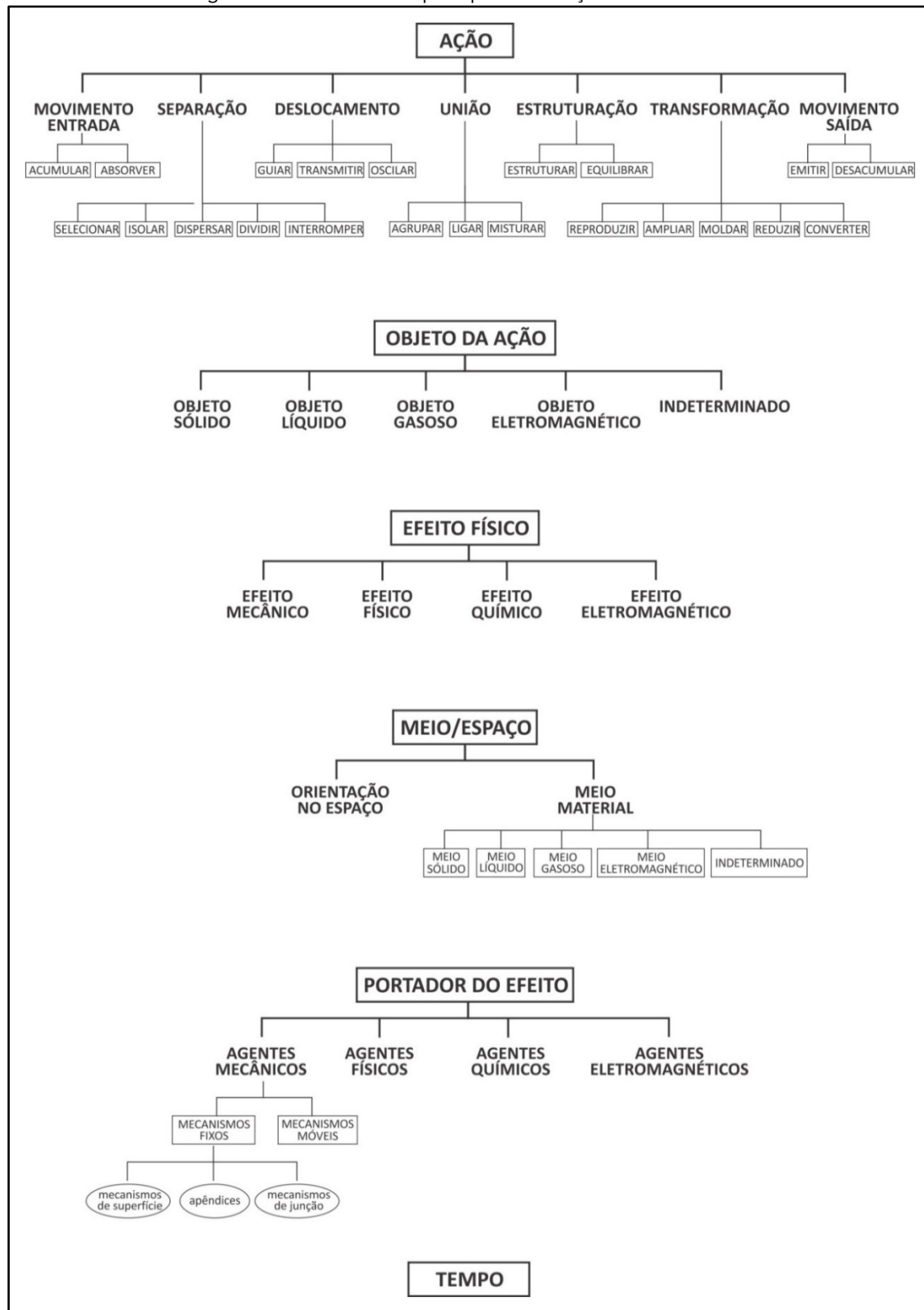
- **Categoria Ação:** A categoria Ação é formada por algumas funções que podem ser consideradas elementares, decorrentes das funções globais originais. A organização proposta tem como base as 24 funções elementares definidas por Koller (1985 *apud* Back *et al.*, 2008), que se referia a cobrir as ações sobre energia, material e informação em sistemas técnicos.
- **Categoria Objeto da Ação:** Quando é realizada a busca por uma ação, o projetista também precisa definir o objeto/matéria sobre o qual ela incide. Desta forma, tem-se uma função completa: ação + objeto da ação, ou verbo + substantivo.
- **Categoria Meio/Espaço:** se refere à posição em que o objeto se encontra com relação ao entorno ou a outro objeto (orientação espacial) e classifica a matéria segundo a condição que esta se apresenta, os chamados “estados físicos da matéria” (meio material).
- **Categoria Efeito Físico:** A categoria Efeito Físico é o resultado direto da Função + o dispositivo (portador do efeito) e pode ser subdividida em quatro diferentes tipos de princípios físicos: mecânico, químico, físico e eletromagnético.
- **Categoria Portador do Efeito:** A categoria Portador do Efeito se refere precisamente aos dispositivos responsáveis pela ocorrência do fenômeno. Conforme Rozenfeld *et al.* (2006), o princípio de solução só existe quando se integra um princípio físico (físico, químico, mecânico ou eletromagnético) e um mecanismo portador do princípio em questão.
- **Categoria Tempo:** A categoria Tempo pode ser compreendida como duração ou definição de um momento específico.

A etapa seguinte da criação da taxonomia dos princípios de solução da natureza (DETANICO, 2011) foi a elaboração da sua aplicação através de ferramenta de apoio ao designer, durante a fase do projeto conceitual, a qual segue em forma de esquema na Figura 20.

Para facilitar a compreensão das etapas do processo de utilização da ferramenta, segue um exemplo de pesquisa de informação, esboçando as interfaces da etapa de “seleção de filtros de pesquisa” e a “tabela dos princípios de solução”. A primeira delas é composta por três filtros de busca: Ação, Objeto e Meio Material, sendo que a Ação ainda se desdobra nas suas subcategorias. O procedimento é ilustrado, passo

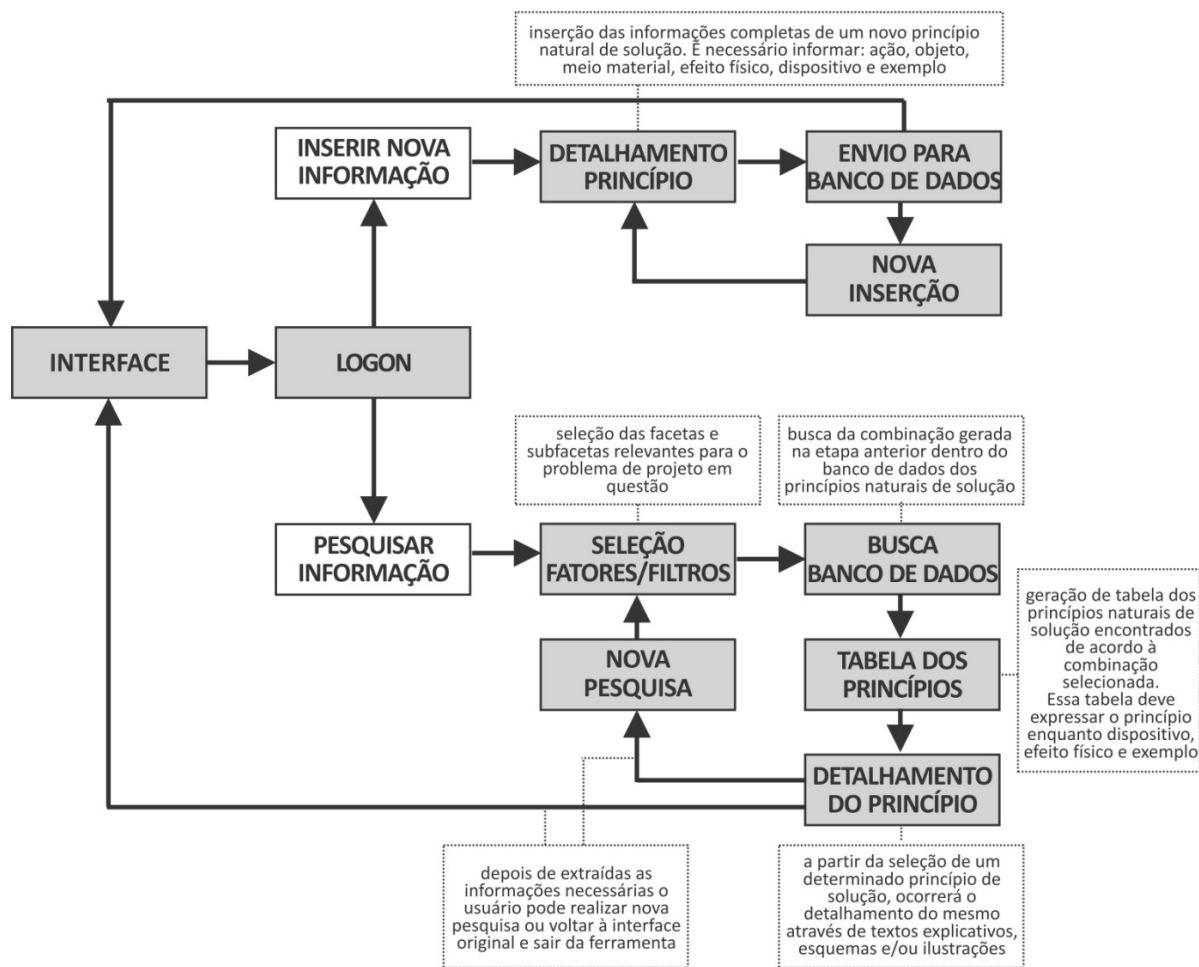
a passo, desde a seleção de filtros até a geração da tabela com os princípios naturais de solução correspondentes à combinação realizada (Figura 21 e Figura 22).

Figura 19: Taxonomia dos princípios de solução da natureza



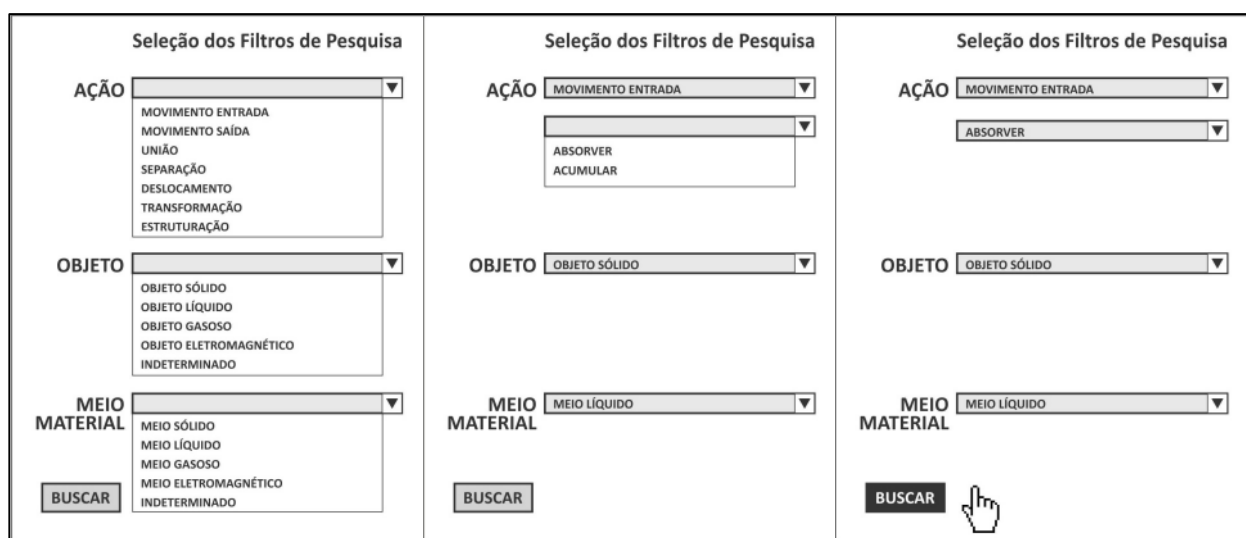
Fonte: (DETANICO, 2011)

Figura 20: Esquema do processo de utilização da ferramenta proposta



Fonte: (DETANICO, 2011)

Figura 21: Esboço de interface da ferramenta



Fonte: (DETANICO, 2011)

Figura 22: Sugestão de interface para a ferramenta proposta

Resultado da Pesquisa

Critérios de seleção
Princípios de Solução

AÇÃO	OBJETO	MEIO	DISPOSITIVO	EFEITO FÍSICO	EXEMPLO
MOV. ENTRADA ABSORVER	OBJETO SÓLIDO	MEIO LÍQUIDO	Complexo Golgi	Por fusionamento de membrana	<u>Complexo de Golgi</u>
MOV. ENTRADA ABSORVER	OBJETO SÓLIDO	MEIO LÍQUIDO	Estômatos	Penetração por difusão	<u>eudicotiledôneas e monocotiledôneas</u>
MOV. ENTRADA ABSORVER	OBJETO SÓLIDO	MEIO LÍQUIDO	pigmentos acessórios	compatibilidade da molécula com os comprimentos de onda do espectro eletromagnético incidido	<u>organismos fotossintéticos</u>

Fonte: (DETANICO, 2011)

3. METODOLOGIA

A natureza desta pesquisa pode ser definida como aplicada, visto que objetiva gerar conhecimentos para aplicação prática, dirigidos à solução de problemas específicos (PRODANOV; FREITAS, 2013) na geração de alternativas durante o desenvolvimento do projeto de produtos. Sob o ponto de vista de abordagem do problema, a pesquisa caracteriza-se como qualitativa, pois busca a interpretação dos fenômenos e atribuição de significados, juntamente com a revisão da literatura, como fontes diretas de coleta de dados (PRODANOV; FREITAS, 2013).

Quanto aos seus objetivos, a pesquisa passa por uma etapa inicial exploratória, cuja finalidade é trazer mais informações sobre o assunto investigado, possibilitando sua definição e delineamento (PRODANOV; FREITAS, 2013). Esta fase visa proporcionar maior entendimento sobre o processo e a prática de projeto conceitual, inspirado nos princípios de solução da natureza. Nesta pesquisa, essa etapa foi realizada através de revisão sistemática da literatura a respeito dos métodos bio-inspirados existentes, suas lacunas e limitações na transposição do conhecimento da natureza para o produto.

A etapa seguinte, com caráter mais explicativo, consiste na investigação dos princípios de solução da natureza propriamente ditos. Para isso, foram realizados registros, análises, classificações e interpretações dos fenômenos, passando pelo estudo comparado entre as taxonomias existentes até a compreensão e extração das soluções da biologia para aplicação no projeto de produto.

Para desenvolver as etapas seguintes da pesquisa, foi necessário buscar uma metodologia mais específica, com abordagem orientada ao desenvolvimento de projetos de artefatos e a geração de soluções para problemas existentes, o que é comum em pesquisas nas áreas de design, gestão, engenharia ou arquitetura. Adotou-se, portanto, a *Design Science Research*, metodologia de pesquisa introduzida pelo americano Herbert Simon, em seu livro *As ciências do artificial*, publicado em 1969. Diferentemente das metodologias tradicionais, que se concentram em explorar, descrever e explicar os fenômenos naturais ou sociais, a *Design Science Research* tem objetivo de prescrever e de desenvolver conhecimentos para a concepção e elaboração de sistemas com foco em solucionar problemas (DRESCH; LACERDA; ANTUNES JR., 2014).

A partir do entendimento do problema, a *Design Science Research* busca construir e analisar artefatos que permitam transformar situações, alterando suas condições para estados mais desejáveis. Seu uso nas pesquisas tende a diminuir o distanciamento entre teoria e prática. Há diversos métodos formalizados para a condução das

pesquisas fundamentadas na Design Science. Como síntese, os autores DRESCH, LACERDA & JÚNIOR (2014) propõem 12 etapas principais (Figura 23).

Figura 23: Etapas da metodologia Design Science Research



Fonte: Adaptado de Dresch, Lacerda e Antunes Jr. (2014)

As 12 etapas do método proposto estão explicadas a seguir, descrevendo como devem ser abordadas e desenvolvidas ao longo desta pesquisa:

1. Identificação do problema: surge do interesse do pesquisador em encontrar novas respostas e soluções para um problema. Nesta etapa, é necessário que o problema esteja bem compreendido e definido objetivamente, bem como justificado em termos de importância e relevância. O resultado ou saída desta etapa é o problema de pesquisa formalizado (DRESCH; LACERDA; ANTUNES JR., 2014).

Nesta tese, o problema foi identificado a partir de revisão inicial da literatura, bem como do interesse do pesquisador em sistematizar os princípios de solução da natureza para utilizá-los com eficácia no processo criativo do projeto de produtos. A questão de pesquisa formalizada está descrita no capítulo da introdução, nos tópicos da contextualização, delimitação e justificativa.

2. Conscientização do problema: Nesta etapa, o pesquisador deve compreender as categorias, causas e contexto do problema. Além disso, devem ser consideradas as funcionalidades do artefato, seus requisitos e a performance esperada. Algumas abordagens possíveis são a estrutura sistêmica e a teoria das restrições. A saída desta etapa é a formalização das faces do problema, considerando suas fronteiras (ambiente externo) e os requisitos necessários para que o artefato seja capaz de solucionar o problema (DRESCH; LACERDA; ANTUNES JR., 2014).

Neste trabalho, a conscientização do problema foi realizada a partir de uma revisão inicial da literatura, explicitada junto à introdução (capítulo 1) e complementada pelas considerações sobre a revisão sistemática (item 4.5). Para auxiliar na delimitação do problema, foi fundamental a elaboração de um mapa mental (Figura 41), que identifica o principal artefato proposto como um repositório biomimético, capaz de fornecer as informações processadas necessárias para a fase criativa do desenvolvimento de produto (PDP). O foco é a transposição eficaz do conhecimento proveniente do domínio da biologia para o domínio do design de produtos. A expectativa resultante é de um artefato acessível, intuitivo, completo, simples e versátil.

3. Revisão sistemática da literatura: consulta às bases de conhecimento existente para auxiliar no melhor entendimento, enquadramento e definição do problema, de seu contexto e fronteiras. Visualizar a situação, ao mesmo tempo, com amplitude e foco (DRESCH; LACERDA; ANTUNES JR., 2014).

Foi realizada uma revisão sistemática da literatura, baseada na metodologia dos autores Ellwanger, Silva e Campos (2014). O objetivo foi aprofundar o conhecimento na área dos métodos bio-inspirados existentes e identificar as lacunas nas ferramentas de aplicação dos mesmos. Para isso, foram utilizados também os resultados do artigo *The state-of-the-art in Biomimetics*, dos autores Lepora, Verschure e Prescott (2013), os quais realizaram a compilação de um extenso banco de dados de publicações de Biomimética dentro do campo da engenharia e áreas correlatas. As etapas de realização da revisão sistemática estão detalhadas no item 4.1. As informações obtidas trouxeram melhor entendimento do contexto e das fronteiras do problema.

4. Identificação dos artefatos e configuração das classes de problemas: a partir da revisão sistemática da literatura, é possível evidenciar artefatos semelhantes (constructos, modelos, métodos, instanciações ou *design propositions*) ao que se está buscando na pesquisa. Isso permite que o pesquisador faça uso de lições adquiridas e construídas por outros estudiosos. Também assegura que a pesquisa que está sendo desenvolvida ofereça uma contribuição relevante (DRESCH; LACERDA; ANTUNES JR., 2014). Nesta pesquisa, a identificação dos artefatos e configuração das classes de problemas estão descritos no item 5.1.

5. Proposição de artefatos para resolução do problema: é um processo essencialmente criativo e o raciocínio abdutivo mostra-se adequado para o desenvolvimento desta etapa. A proposição do artefato deve levar em consideração a adaptação à realidade, o contexto de atuação e a sua viabilidade (DRESCH; LACERDA; ANTUNES JR., 2014).

Nesta etapa, é necessário consolidar os requisitos de projeto e realizar a descrição das características desejadas no desempenho do artefato-método e do artefato-instanciação. A fundamentação teórica deste trabalho apresenta e descreve uma série de métodos bio-inspirados existentes, incluindo uma completa análise comparativa entre eles. O objetivo, neste momento da metodologia, é resgatar a síntese da avaliação realizada na fundamentação teórica, estabelecendo as relações devidas com os requisitos de projeto consolidados. Tais requisitos e características são o delineamento para a proposição dos artefatos como respostas viáveis ao problema de pesquisa. A explanação mais detalhada da proposição de artefatos se encontra no item 5.2.

6. Projeto do artefato: A partir da definição do artefato, realizada na etapa anterior, deve ser iniciada a fase de projeto. Para isso, devem ser considerados: componentes, relações internas de funcionamento, limites e relações com o ambiente externo. Um artefato pode ser entendido como a organização dos componentes do ambiente interno para atingir objetivos em um ambiente externo. Importante descrever todos os procedimentos de construção e avaliação do artefato (DRESCH, LACERDA & JÚNIOR, 2015).

Os artefatos propostos nesta pesquisa devem ser projetados como adaptação do método da modelagem funcional, integrando o uso de princípios biomiméticos, com objetivo de atuar na geração de alternativas no processo de desenvolvimento de produto. Os procedimentos de construção do artefato iniciam pelo Espaço do design (requisitos e possíveis soluções para o problema); passam pelas Camadas do artefato em construção (viabilidade, utilidade, representação e construção do artefato) e

chegam ao Uso do artefato (instanciação piloto do artefato e liberação do artefato para a instanciação).

- REQUISITOS: Informações dos requisitos de projeto são extraídas da etapa anterior;

- VIABILIDADE e UTILIDADE: adaptação de métodos e ferramentas existentes que já demonstram sua viabilidade e utilidade. As adaptações propostas buscam responder satisfatoriamente aos requisitos de projeto, com objetivo de gerar benefícios aos usuários e atingir o bom funcionamento do artefato;

- REPRESENTAÇÃO: Possível representação digital pela versatilidade de uso, bem como pela maior acessibilidade por usuários de diferentes locais. Outra possível representação como ferramenta física, que facilite a interatividade e usabilidade por parte dos designers no manejo da ferramenta;

7. Desenvolvimento do artefato: etapa de elaboração e construção do artefato, na qual podem ser utilizados algoritmos computacionais, representações gráficas, protótipos, entre outros (DRESCH; LACERDA; ANTUNES JR., 2014). Para a elaboração do artefato-método e do artefato-instanciação são necessárias as seguintes ações, detalhadas no capítulo 6:

A. Elaborar o artefato-método;

B. Realizar a integração das taxonomias existentes;

C. Elaborar o método (Template) para reconhecimento e extração dos princípios de solução da natureza;

D. Definir a base de dados para a extração dos princípios de solução da natureza;

E. Investigar, interpretar e classificar os princípios de solução da natureza extraídos da literatura através do Template e da Taxonomia;

F. Associar ilustrações dos princípios de solução da natureza para facilitar a compreensão dos mesmos pelos projetistas;

G. Qualificar a interface do repositório dos princípios de solução da natureza para facilitar a interação com os usuários.

8. Avaliação do artefato: o pesquisador deve observar e medir o comportamento do artefato na solução do problema. Neste momento, os requisitos definidos na conscientização do problema devem ser revisados e comparados com os resultados

apresentados. Essa avaliação pode ser conduzida de diferentes maneiras, através de estudos de campo, monitorando o uso do artefato em diferentes situações, simulações, testes, construção de cenários em torno do artefato para demonstrar sua utilidade, pesquisa-ação ou grupos focais. Importante é promover a interação entre o pesquisador, os usuários e o artefato (DRESCH; LACERDA; ANTUNES JR., 2014). Neste trabalho, em função das limitações de contatos e interações com usuários impostas pela pandemia do covid-19, a avaliação dos artefatos foi realizada através da verificação dos requisitos de projeto e requisitos de usuário atendidos.

9. Explicitação das aprendizagens: após os resultados obtidos, declarar os pontos de sucesso e insucesso da pesquisa (DRESCH; LACERDA; ANTUNES JR., 2014). Explicar e descrever o artefato-método; instruir sobre o funcionamento e aplicação do artefato-instanciação. Incluir fluxogramas e imagens que facilitem a compreensão.

10. Conclusão: expor os resultados obtidos com a pesquisa e indicar as limitações encontradas, as quais podem orientar trabalhos futuros (DRESCH; LACERDA; ANTUNES JR., 2014).

11. Generalização para uma classe de problemas: Deve ser conduzida a partir de um raciocínio indutivo, através do qual o investigador busca generalizar a solução encontrada para uma classe de problemas. Desta forma, o conhecimento gerado em uma situação específica pode ser aplicado em outras situações similares (DRESCH; LACERDA; ANTUNES JR., 2014).

Nesta pesquisa, a generalização está descrita no item 9.3, junto das considerações finais, e consiste em explicitar a amplitude e a versatilidade de aplicação da ferramenta proposta, sugerindo onde, como e por quem podem ser aplicados os artefatos elaborados.

12. Comunicação dos resultados: pode ser realizada através da publicação do trabalho em periódicos, em congressos, seminários, etc. com o intuito de disseminar os resultados obtidos e contribuir para o avanço do conhecimento (DRESCH; LACERDA; ANTUNES JR., 2014). Nesta pesquisa, a comunicação dos resultados ocorre através da conclusão desta tese de doutorado e da provável publicação de artigos, descritos como possibilidades de trabalhos futuros no item das conclusões (9.4)

O Quadro 5 sintetiza as etapas da metodologia *Design Science Research*, relacionando o objetivo específico proposto com os procedimentos metodológicos a serem realizados ao longo da pesquisa.

Quadro 5: Planejamento metodológico da Tese

OBJETIVO ESPECÍFICO	DESIGN SCIENCE RESEARCH	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS
Investigar os métodos e ferramentas bio-inspirados existentes para reconhecer seus procedimentos, identificar suas lacunas e verificar sua eficácia na transposição do conhecimento da natureza para o produto;	1. IDENTIFICAÇÃO DO PROBLEMA 2. CONSCIENTIZAÇÃO DO PROBLEMA	Investigação inicial da literatura para identificação e conscientização do problema de pesquisa
	3. REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA	Realizar revisão sistemática para identificar lacunas e limitações dos métodos e ferramentas bio-inspirados existentes.
	4. IDENTIFICAÇÃO DOS ARTEFATOS E CONFIGURAÇÃO DAS CLASSES DE PROBLEMAS	Análise e comparação dos métodos e ferramentas encontrados a partir da revisão sistemática da literatura, identificando os pontos fracos e as oportunidades. Está descrito no item 5.1.
	5. PROPOSIÇÃO DE ARTEFATOS PARA RESOLUÇÃO DO PROBLEMA	Consolidação dos requisitos de projeto e a descrição das características desejadas no desempenho do artefato-método e do artefato-instanciação. Está descrito no item 5..2.
	6. PROJETO DO ARTEFATO	Projeto dos artefatos propostos (requisitos, viabilidade, utilidade e representação) Justificar as escolhas e detalhar as etapas para sua elaboração.
Propor um método de extração e processamento dos dados da biologia para oportunizar o reconhecimento e a transposição dos seus princípios de solução para viabilizar a aplicação direta no processo de desenvolvimento de produto.	7. DESENVOLVIMENTO DO ARTEFATO	Elaboração do artefato-método e Template para reconhecimento e extração dos princípios de solução da natureza. Descrito nos itens 6.1 e 6.3
Integrar as estruturas de conhecimento e classificação existentes para propor uma Taxonomia robusta e completa, que sirva como constructo e modelo na elaboração do método e do repositório biomiméticos;		Realizar a integração das taxonomias existentes. Descrito no item 6.2
Classificar as informações providas da natureza dentro de um banco de dados/repositório, organizado com base na Taxonomia integrada;		Definição de fonte de dados para extração dos princípios de solução da natureza. Descrito no item 6.4
		Investigação, interpretação e classificação dos princípios de solução da natureza através do Template e da Taxonomia consolidada. Descrito no item 6.5
		Detalhamento e ilustração dos princípios de solução da natureza. Descrito no item 6.6
Elaborar o repositório biomimético, juntamente com o método para sua aplicação;		Qualificação da interface do Repositório Biomimético. Descrito no item 6.7
	Elaboração do método de aplicação do artefato-instanciação pelo usuário	
Avaliar o método e o repositório biomiméticos durante o processo de projeto para verificar sua aplicabilidade dentro dos parâmetros estabelecidos.	8. AVALIAÇÃO DO ARTEFATO	Após a conclusão dos artefatos, definir um instrumento para realizar a avaliação, com objetivo de demonstrar a utilidade dos artefatos em sua aplicação.
	9. EXPLICITAÇÃO DAS APRENDIZAGENS	Explicar e descrever como funciona a ferramenta (complementar ao que já foi exposto no capítulo de desenvolvimento)
	10. CONCLUSÕES 11. GENERALIZAÇÃO PARA UMA CLASSE DE PROBLEMAS	Após os resultados obtidos, declarar os pontos de sucesso e insucesso, indicar as limitações encontradas e sugestões para trabalhos futuros.

Fonte: a autora

4. FERRAMENTAS E MÉTODOS BIOMIMÉTICOS: REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA

Com o objetivo de encontrar as lacunas nos métodos existentes e as oportunidades de qualificação para elaboração de novas ferramentas biomiméticas, foi realizada uma revisão sistemática da literatura, resultando na atualização das informações do estado da arte deste campo de conhecimento.

Segundo Kitchenham (2004), uma revisão sistemática da literatura é um meio de identificar, avaliar e interpretar toda a pesquisa disponível relevante para uma questão de pesquisa específica, ou área temática ou fenômeno de interesse. Revisões sistemáticas exigem um esforço consideravelmente maior do que as revisões tradicionais. Suas principais vantagens são: resumir as evidências existentes relativas a um campo de conhecimento; identificar lacunas, sugerindo áreas para investigação; proporcionar uma estrutura de base para posicionar novas atividades de pesquisa.

A estratégia de busca, definida para a realização desta revisão sistemática, seguiu as orientações dos autores Ellwanger, Silva e Campos (2014) que propõem três etapas fundamentais: Inicialização, Aplicação/Extração, Análise & Síntese, conforme indicado na Figura 24.

4.1 FASE DE INICIALIZAÇÃO

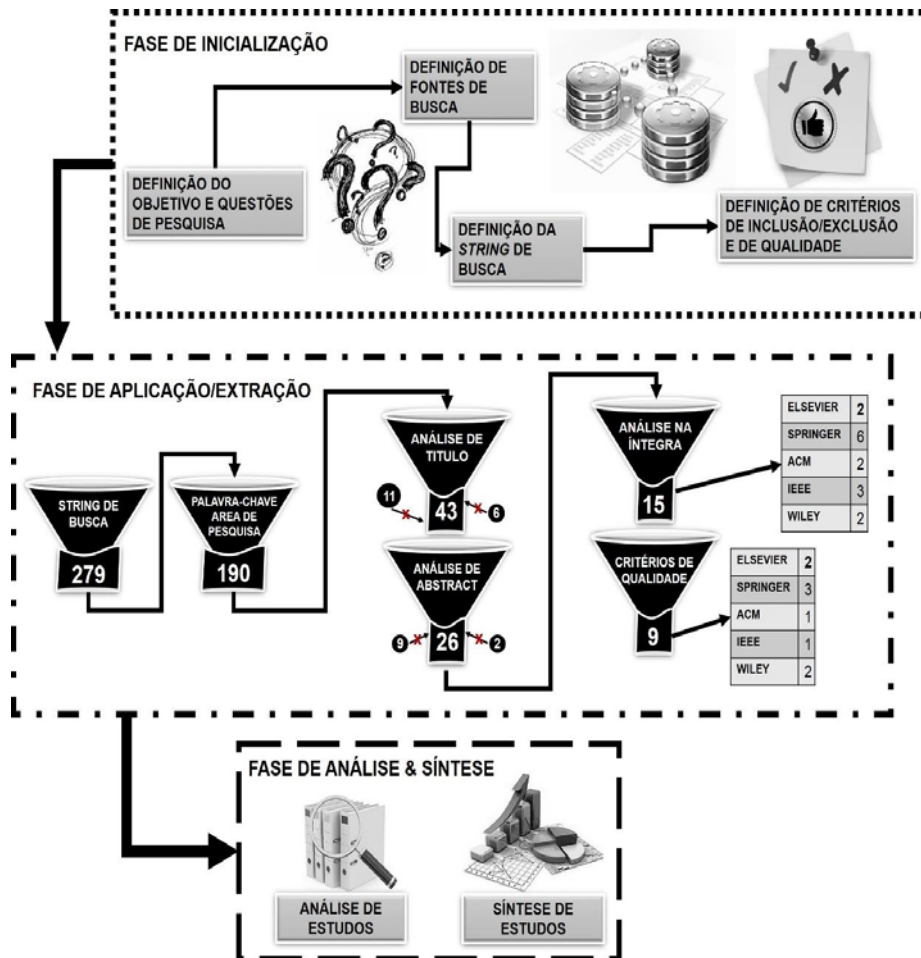
Na fase de Inicialização devem ser definidos: 1. O objetivo da revisão sistemática e as questões de pesquisa que pretendem ser respondidas a partir de sua realização; 2. As fontes de pesquisa; 3. As *strings* de busca; 4. A definição de critérios de inclusão, exclusão e de qualidade utilizados. Em seguida, constam descritas cada uma dessas 4 etapas para a pesquisa proposta.

O objetivo desta revisão sistemática é identificar as lacunas no campo da biomimética, no que se refere à transposição do conhecimento da natureza para o design. Para isso, foram definidas as seguintes questões de pesquisa:

- Quais os métodos e ferramentas biomiméticas existentes?
- Como esses métodos e ferramentas realizam a transposição do conhecimento da natureza para o design?

- Quais as lacunas/gaps que os atuais métodos/ ferramentas apresentam que inibem e restringem o uso da biomimética no processo de desenvolvimento de produtos?
- Como sistematizar a biomimética para que possa ser mais amplamente empregada dentro do processo de desenvolvimento de produtos

Figura 24: Etapas da revisão sistemática



Fonte: (ELLWANGER; SILVA; CAMPOS, 2014)

A respeito da busca das fontes primárias para a pesquisa, a mesma ocorreu através do sistema de bibliotecas da Universidade federal do Rio Grande do Sul (<https://www.ufrgs.br/bibliotecas/pesquisa-2/pesquisa/>). Foram analisadas todas as fontes indicadas pelo sistema segundo alguns critérios, de maneira a definir sua inclusão ou não como fonte desta pesquisa:

- Apresentar periódicos indexados em base de dados
- Apresentar trabalhos completos na área de investigação, especialmente dentro dos campos de design, engenharia e arquitetura.
- Apresentar trabalhos conceituais, estratégicos e sistemáticos na área da biomimética e não apenas aplicações de desenvolvimento de produtos embasadas na analogia com a natureza.
- Permitir buscas avançadas por *strings* mais complexas
- Viabilidade de exportação dos dados de pesquisa em extensões possíveis de serem abertas em aplicativos de revisão bibliográfica (Rayyan)

Para realizar a análise dos critérios acima, foi feita uma busca inicial em cada um dos sites utilizando o termo “biomimética/*biomimetics*”. Uma breve análise nos títulos bem como da quantidade de publicações apresentadas permitiu avaliar se correspondem aos critérios acima mencionados e se a plataforma deve ser incluída como fonte desta pesquisa. As plataformas definidas foram: EMBASE; IEEEExplore; ProQuest Dissertations & Theses Global; Elsevier’s Scopus; Web of Science (Thomson Reuters Web of Knowledge); Science direct.

Nesta primeira busca, foi encontrada uma referência importante para auxiliar na elaboração dos critérios e filtros da revisão sistemática: o artigo *The state-of-the-art in Biomimetics*, dos autores Lepora, Verschure e Prescott (2013). Os autores realizaram a compilação de um extenso banco de dados de publicações de Biomimética dentro do campo da engenharia e áreas correlatas. As *strings* definidas pelos autores para busca foram *Biomimetics, biomimetic, bionics, bionic, biomimicry, bioinspired and bioinspiration*.

Os resultados revelaram uma rápida expansão da Biomimética, passando de dezenas para vários milhares de artigos por ano a partir do início deste século. Os resultados indicam ainda como principais fontes de pesquisa, por apresentar maior número de publicações, IEEE Xplore, Elsevier’s Scopus e Web of Science (Thomson Reuters Web of Knowledge).

A etapa seguinte foi a seleção das *strings* de busca. A identificação de palavras-chave dentro do tema de pesquisa foi realizada a partir de uma revisão bibliográfica inicial. Nesta revisão inicial, foram encontrados termos que se repetem e aparecem como nomenclatura mais utilizada pelos autores atuais. Espera-se que o resultado da pesquisa alie a área do design bio-inspirado com uma estrutura sistematizada, como método ou ferramenta. Portanto, a *string* ficou da seguinte forma:

(Biomimetic OR Biomimicry OR Bionic OR "Biologically inspired design" OR "Bio-inspired design" OR Bioinspiration OR Bioinspired) AND (Method OR Tool OR Methodology OR "Technology transfer")

Em sequência, foram definidos os critérios de inclusão e exclusão, cujo objetivo é refinar a seleção de artigos, para que fiquem aqueles efetivamente relevantes à meta proposta nesta pesquisa.

Critérios de inclusão:

- Artigos, teses e dissertações publicados a partir do ano 2001, quando as publicações da área começam um crescimento exponencial (LEPORA; VERSCHURE; PRESCOTT, 2013)
- Artigos disponíveis para acesso
- Trabalhos que se vinculam às áreas de foco desta pesquisa (design, engenharia, arquitetura, tecnologia)
- Disponibilidade dos trabalhos em língua inglesa, por ser o idioma internacionalmente aceito para trabalhos nesta área e, portanto, o que contempla o maior número de publicações. Disponibilidade dos trabalhos em língua portuguesa por contemplar os trabalhos desenvolvidos por pesquisadores brasileiros.

Critérios de exclusão:

- a indisponibilidade do trabalho em sua íntegra.
- trabalhos que não indiquem no Título, Resumo ou Palavras-chave relação com o tema proposto para pesquisa.
- trabalhos que não façam referência a métodos ou ferramentas dentro do tema proposto (identificáveis através do Título, Resumo e Palavras-chave).
- artigos repetidos (devido a utilização de mais de uma base de consulta)
- trabalhos de um mesmo autor que apresentem títulos diferentes, mas conteúdo igual

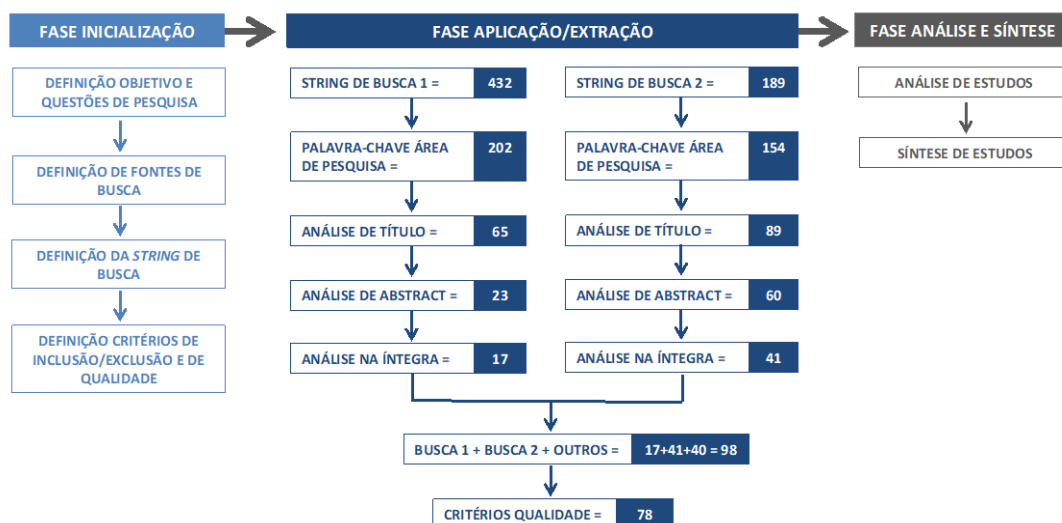
Os critérios de qualidade foram definidos com base nas questões de pesquisa explicitadas junto ao objetivo. Esses critérios servem para hierarquizar os trabalhos selecionados na revisão sistemática, segundo a sua importância e relevância na

contribuição para o objetivo da pesquisa. Para tanto, foi conferido um valor para cada critério, os quais devem ser somados ao final para aferir a relevância de cada trabalho:

- **C1:** Relaciona a biomimética com o processo de desenvolvimento de produto, envolvendo as áreas do design, da arquitetura ou da engenharia? (Valor 1)
- **C2:** Explicita lacunas/gaps na biomimética, que limitam o seu uso no processo de desenvolvimento de produtos? (Valor 2)
- **C3:** Apresenta a biomimética de forma sistematizada para aplicação no processo de desenvolvimento de produtos? (Valor 2, se atingido parcialmente - Valor 4, se atingido completamente)
- **C4:** Faz alguma proposição a respeito da transposição do conhecimento da natureza para o design? (Valor 2, se atingido parcialmente - Valor 4, se atingido completamente)
- **C5:** Apresenta algum método ou ferramenta biomimética? (Valor 3, se atingido parcialmente - Valor 6, se atingido completamente)

A Figura 25 identifica cada uma das etapas de desenvolvimento da revisão sistemática, adaptada a partir dos autores Ellwanger, Silva e Campos (2014) às necessidades da presente pesquisa.

Figura 25: Etapas da revisão sistemática e resultados numéricos encontrados



Fonte: a autora

4.2 FASE DE APLICAÇÃO E EXTRAÇÃO

Esta etapa inicia com as buscas dentro das plataformas, utilizando a *string* definida anteriormente, a qual foi aplicada nos campos Título, Resumo e Palavras-chave. Pequenos ajustes foram necessários para adaptar a *string* original aos critérios de cada fonte de pesquisa. No apêndice A seguem as *strings* finais, já com as extensões decorrentes dos refinamentos das buscas em cada fonte de pesquisa. Os documentos resultantes obtidos foram exportados para serem abertos e analisados com o Rayyan (OUZZANI *et al.*, 2016), programa específico gratuito para cruzamento de dados e filtragem de revisão sistemática.

O somatório das publicações advindas das sete fontes de pesquisa (IEEE, Scopus, Science Direct, ProQuest, Embase e Web of Science) foi 624 documentos. Com base nos critérios de inclusão e exclusão definidos anteriormente, foi iniciado o processo de refinamento da pesquisa.

- Exclusão dos documentos duplicados: restaram 559 publicações;
- Exclusão dos documentos do tipo Conferências: restaram 432 publicações;
- Exclusão ou inclusão por temas e palavras-chave que fogem ou condizem com objetivo da pesquisa, respectivamente: restaram 202 publicações
- Análise dos títulos: restaram 65 publicações;
- Análise dos resumos: restaram 23 publicações
- Exclusão dos trabalhos que não estavam disponíveis gratuitamente: restaram 17 publicações para análise na íntegra

Diante de um número reduzido de artigos e da ausência de alguns autores relevantes da área, voltou-se à busca original, alterando as *strings*, incluindo novos termos e modificando alguns dos critérios de inclusão e exclusão. Foi observado que a inclusão de apenas artigos de livre acesso para download eliminou uma grande parte de trabalhos interessantes, os quais não estavam disponíveis na plataforma em questão, porém que podem ser encontrados em outras plataformas diferentes. Outro critério modificado foi da exclusão de artigos de Conferências, pois acabaram sendo eliminados excelentes trabalhos que poderiam contribuir com a pesquisa. A nova *string* definida foi:

"systematic technology transfer from biology to engineering" OR "Bio-inspired design method" OR "bionic design method" OR "biomimetic design method" OR "bio-inspired tool" OR "biomimetic tool" OR "bionic tool"

Após refeita a busca em todas as bases de dados anteriores, chegou-se a 189 artigos. Os resultados foram trabalhos mais focados no objetivo da pesquisa, além de autores conhecidos dentro da área do design bio-inspirado.

- Exclusão dos documentos duplicados: restaram 154 publicações;
- Como o número de artigos resultantes foi pequeno, dedicou-se diretamente à análise dos títulos: restaram 89 publicações;
- Análise dos resumos: restaram 60 publicações
- Exclusão dos trabalhos que não estavam disponíveis gratuitamente em nenhuma das fontes de pesquisa: restaram 41 publicações para análise na íntegra.

A unificação dos resultados provenientes das duas *strings* de busca alcançou 58 artigos (17 da primeira e 41 da segunda). A partir de então, foi possível iniciar a leitura completa e análise na íntegra desses artigos, aplicando sobre os mesmos os critérios de qualidade. Na medida em que os artigos selecionados foram sendo estudados, estes levaram a outras referências, igualmente importantes e relevantes para o objetivo da pesquisa. Desta forma, a revisão bibliográfica sistemática se estendeu aos autores referenciados nos artigos selecionados, ampliando o número total de documentos para análise na íntegra de 58 para 98.

Com o intuito de organizar as publicações, foi elaborada uma tabela completa que inclui os 98 artigos selecionados. Além da descrição dos títulos e autores, a tabela inclui os critérios de qualidade, o que possibilitou classificar cada publicação segundo sua relevância para a pesquisa. Conforme o somatório dos valores conferidos a cada um dos critérios de qualidade, as publicações foram classificadas da seguinte forma:

- 0 a 6 pontos: classificados como FRACOS (20 artigos)
- 7 a 10 pontos: classificados como MÉDIOS (26 artigos)
- 11 a 17 pontos: classificação como ÓTIMOS (52 artigos)

Os lista completa dos artigos classificados como MÉDIOS e ÓTIMOS se encontra no apêndice B. As informações do Quadro 6 foram extraídas da lista geral para demonstrar os campos e critérios de organização considerados.

Quadro 6: Amostragem da lista de artigos encontrados na revisão sistemática

	ARTIGOS SELECIONADOS	AUTORES	CATEG.	C1	C2	C3	C4	C5	SOMA
BUSCA 1	User requirements for analogical design support tools: Learning from practitioners of bio-inspired design	Töre Yargın, Gülşen Moroşanu Firth, Roxana Crilly, Nathan	MÉDIO	1	2	2	2	0	7
BUSCA 1	Sustainable design by systematic innovation tools (TRIZ, CAI, SI, and biomimetics)	Yoo, S.-H.	MÉDIO	1	2	0	4	0	7
BUSCA 1	Methodology for product design based on the study of bionics	Junior, Wilson Kindlein Guanabara, Andréa Seadi	MÉDIO	1	0	4	4	0	9
BUSCA 2	Biomimetics: Structure-Function Patterns Approach	Cohen, Yael Helfman Reich, Yoram Greenberg, Sara	ÓTIMO	1	2	4	4	0	11
BUSCA 2	Developing Sustainable Innovative Products for the Bottom of the Pyramid by Biomimetic Design Concepts	Chen, J.L. Lee, C.-L. Y., Umeda S., Kondoh S., Takata	MÉDIO	1	0	4	4	0	9
BUSCA 2	Research on function based method for bio-inspiration knowledge modeling and transformation	Gu, C.-C. Hu, J. Peng, Y.-H.	ÓTIMO	1	2	4	4	0	11
BUSCA 2	Eco-innovation by TRIZ and biomimetics design	L. Chen, J. C. Hung, S.	MÉDIO	1	0	2	2	3	8
OUTROS	Biomimicry: nature's design process versus the designer's process	K. J. Rossin	ÓTIMO	1	2	4	4	6	17
OUTROS	BOOK: Biologically inspired design	Goel, McAdams, Stone	ÓTIMO	1	2	4	4	3	14
OUTROS	Idea Inspire 3.0—A Tool for Analogical Design	Chakrabarti	ÓTIMO	1	2	4	4	6	17

Fonte: a autora

4.3 FASE DE ANÁLISE DOS ESTUDOS

Os 78 artigos selecionados com relevância Médio e Ótimo foram, então, estudados em detalhe, o que possibilitou a identificação da presença reiterada de alguns pesquisadores. A existência de uma sequência de publicações do mesmo grupo de autores indica pesquisas mais longas e aprofundadas sobre o tema do design bio-inspirado, o que significa resultados mais relevantes para responder aos objetivos desta tese, bem como proposições consistentes de métodos e ferramentas biomiméticas. Dentre os autores que se destacam estão Chakrabarti (4 artigos), Goel, Helms e Vattam (14 artigos), Nagel, Stone e McAdams (8 artigos), Shu e Cheong (13 artigos) e Vincent e Bogatyrev (4 artigos).

Foi também pertinente incluir o trabalho desenvolvido pelo instituto Biomimicry, fundado por Janine Benyus. Apesar de não ter aparecido na seleção da revisão sistemática, a maioria dos autores da área fazem referência à plataforma Asknature, do instituto Biomimicry, como uma das principais fontes para projetos bio-inspirados.

Os demais trabalhos selecionados pela revisão sistemática (35 artigos), representam esforço isolados e não podem ser considerados como métodos consolidados. Porém

tornam-se úteis para complementar a análise, já que em muitos deles são expostas as aplicações dos métodos em questão, inferindo pontos positivos e negativos no uso dos mesmos.

A etapa seguinte se caracterizou por analisar os artigos de cada grupo de pesquisadores na busca por compreender suas proposições e aprender a utilizar as ferramentas biomiméticas sugeridas. É essencial investigar as bases e propósitos metodológicos das ferramentas para compreender como atendem às necessidades dos diferentes passos delineados no processo biomimético (FAYEMI *et al.*, 2015) Desta forma, é possível mapear os pontos positivos e, por outro lado, identificar as limitações de cada método biomimético proposto. As contribuições dos artigos foram resumidas em fichas de leitura e esquematizadas através de diagramas/figuras, quando possível.

4.3.1 Modelos Funcionais (Nagel, Stone, McAdams)

O modelo de ferramenta bio-inspirada, desenvolvido através de modelos funcionais, foi investigado a partir de uma série de artigos, indicados no Quadro 7, abaixo:

Quadro 7: Artigos selecionados do grupo de autores Nagel, Stone, McAdams

	ARTIGOS SELECIONADOS	AUTORES	ANO	CATEG.
BUSCA 2	Automated retrieval of non-engineering domain solutions to engineering problems	Stroble, J.K.; Stone, R.B.; McAdams, D.A.; Goeke, M.S.; Watkins, S.E.; R., Roy; E., Shehab	2009	ÓTIMO
BUSCA 2	Applying designer feedback to generate requirements for an intuitive biologically inspired design tool	Arlitt, R.; O'halloran, B.M.; Novak, J.; Stone, R.B.; Tumer, I.Y.	2012	ÓTIMO
BUSCA 2	Methods for supporting bioinspired design	Glier, M.W. Tsenn, J. Linsey, J.S. McAdams, D.A.	2011	ÓTIMO
BUSCA 2	Function-based, biologically inspired concept generation	Nagel, J.K.S. Nagel, R.L. Stone, R.B. McAdams, D.A.	2010	ÓTIMO
BUSCA 2	Modeling the Cellular Level of Natural Sensing with the Functional Basis for the Design of Biomimetic Sensor Technology	K. Stroble, J.; E. Watkins, S.; Stone, R.B.; McAdams, D.A.; H. Shu, Li	2008	ÓTIMO
OUTROS	AN ENGINEERING-TO-BIOLOGY THESAURUS FOR ENGINEERING DESIGN	Nagel, Stone, McAdams	2010	ÓTIMO
OUTROS	Exploring the Use of Functional Models in Biomimetic Conceptual Design	Robert L. Nagel , Prem A. Midha, Andrea Tinsley, Robert B. Stone, Daniel A. McAdams L. H. Shu	2008	MÉDIO
OUTROS	Systematic Design of Biologically-Inspired Engineering Solutions	Jacquelyn Kay Nagel	2010	ÓTIMO

Fonte: a autora

A partir da investigação realizada, foi possível compreender que o método de Nagel (2010) se propõe a integrar os domínios da engenharia e da biologia através da representação e abstração funcional, buscando otimizar o esforço dos projetistas no desenvolvimento de soluções bio-inspiradas. As técnicas e ferramentas propostas pela autora tem por objetivo: 1. Identificação de soluções biológicas relevantes baseadas na função; 2. Tradução de sistemas biológicos de interesse identificados;

3. Representação funcional de informações biológicas para uso em projetos de engenharia; 4. Conceituação de projetos biomiméticos de engenharia.

A representação e abstração funcional reduz a tendência dos designers a se fixarem em uma solução particular, pois, quando vistos funcionalmente, os sistemas biológicos operam de maneira similar aos sistemas de engenharia. A representação funcional dos sistemas biológicos tem as seguintes vantagens (NAGEL, J. K. S. et al., 2010):

- Abordagem sistemática para estabelecer e representar funcionalidade;
- Funcionalidade, morfologia ou estratégia capturada em diferentes níveis;
- Identificação de características que podem ser imitadas por sistemas técnicos;
- Criatividade na geração de conceitos;
- Arquivamento e transmissão de informações.

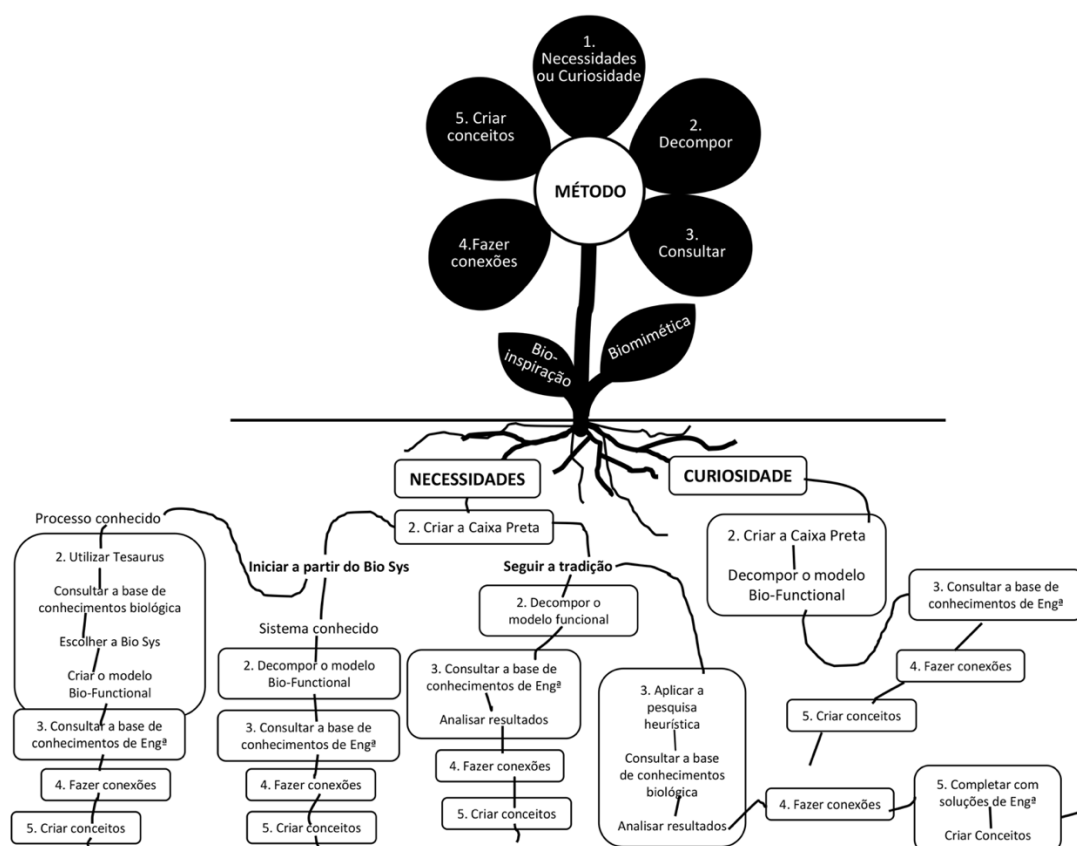
A metodologia proposta por Nagel, Stone e McAdams (2010) pode ser usada diretamente como um processo para identificar soluções bio-inspiradas, ou integrada dentro de outras metodologias igualmente baseadas em funções. Uma representação pictórica do método está na Figura 26. A flor é usada para demonstrar que a metodologia é um processo orgânico, que possui raízes interativas e que deve ser vista como um conjunto de diretrizes, não como uma sequência rígida.

O princípio funcional não é o único aspecto biológico que pode ser imitado. Morfologia (forma), comportamento (estratégia), material, processo de fabricação ou qualquer combinação destes podem ser imitados. Para utilizar esses critérios nos projetos bio-inspirados foi criada uma ferramenta flexível para projeto de engenharia que categoriza informações biológicas baseadas em função, material, sinal e energia. A ferramenta resultante é um tesouro de Engenharia-para-Biologia, contendo termos biológicos integrados à estrutura da *Functional Basis*, já explicada no item 2.1.3 (NAGEL, J. K. S.; STONE; MCADAMS, 2010).

Muitos dos trabalhos de pesquisa que visam a aplicação de técnicas de modelagem funcional no design bio-inspirado utilizam a *Functional Basis*. Apesar de ter sido inicialmente desenvolvida no contexto de sistemas eletromecânicos, é considerada uma linguagem eficaz para a transferência de soluções de design biológico para o domínio da engenharia (GLIER et al., 2011).

A abordagem de mapeamento da biologia para funções é tratada com a *Functional basis*, que visa expor material, sinal e fluxo de energia que executam as funções do sistema natural. A terminologia biológica, no entanto, representa uma das principais dificuldades para interpretar os sistemas naturais e realizar sua transposição adequada ao domínio da engenharia.

Figura 26: Esquema dos cinco passos da metodologia sistemática *Biologically Inspired Design*



Fonte: Adaptado de Nagel, J.K. (2010)

A primeira dificuldade foi encontrar os princípios biológicos mais adequados para responder a cada princípio da engenharia, já que a natureza oferece um grande número de possibilidades. Outro elemento desafiador foi a carência de conhecimento específico na área da biologia, o que torna demorado o processo de compreensão de cada princípio biológico e consequentemente de sua abstração para transpor ao campo da engenharia (NAGEL, J. K. S.; STONE; MCADAMS, 2010).

A identificação dos termos do tesouro de Engenharia-para-Biologia foi alcançada através de pesquisas em um livro da área biológica. Os termos foram escolhidos pela sua relevância, que foi identificada pela frequência de uso. Os substantivos também foram considerados pela frequência em que apareceram. Os termos identificados como mais relevantes foram analisados e integrados ao grupo sinal, material ou

energia. Todas as funções biológicas potenciais foram pesquisadas no dicionário Oxford American e no dicionário de termos biológicos de Henderson antes de serem incluídas no tesouro (NAGEL, J. K. S.; STONE; MCADAMS, 2010).

Nos Quadros 8 e 9, consta o tesouro Engenharia-para-Biologia, indicando funções e fluxos, respectivamente, como compilação dos termos biológicos e sinônimos para os termos da engenharia (NAGEL, J. K., 2010).

Segundo Nagel (2010), a estrutura do tesouro de Engenharia-para-Biologia foi moldada para se ajustar ao conhecimento e ao propósito dos designers. Visa aumentar a eficiência na transposição das informações biológicas para um contexto de engenharia, porém não se configura como uma lista completa de todos os termos biológicos possíveis. Ou seja, o tesouro foi idealizado como um trabalho em desenvolvimento que, lenta e progressivamente, preenche a lacuna da terminologia entre os dois domínios com base nas contribuições de uma comunidade de pesquisadores e profissionais. Termos correspondentes biológicos às funções e fluxos da *Functional basis* são mostrados no lugar dos termos correspondentes da engenharia original. Sinônimos e conceitos relacionados aos termos da *Functional Basis* são agrupados em níveis de classe, secundário e terciário.

No artigo *Function-based, biologically inspired concept generation* (NAGEL, J. K. S. et al., 2010), os autores explicam o processo de mapeamento de termos biológicos para transpor ao domínio de engenharia, a seleção de categorias apropriadas, as escalas para modelagem e a metodologia para gerar um modelo funcional.

Sobre a definição das categorias, a dificuldade fundamental na modelagem da biologia ocorre com a compreensão dos múltiplos pontos de vista de um sistema natural. Os organismos biológicos possuem três saídas para interagir com um ambiente em mudança: fisiologia, morfologia e comportamento. Um organismo biológico adaptará nova funcionalidade (fisiologia) ou estrutura (morfologia), ou aprenderá um novo comportamento para obedecer às ações instintivas de proteger, reproduzir e sustentar. Desta forma, quatro categorias biológicas são propostas (NAGEL, J. K. S. et al., 2010):

- Fisiologia: as funções e atividades vitais dos organismos (perguntar-se: o que?);
- Morfologia: a forma/estrutura de um organismo e as associações entre suas partes (perguntar-se: como?);
- Comportamento: as respostas de um organismo para estímulos internos ou externos (perguntar-se por quê?);

- Estratégia: comportamento genérico que é exibido entre várias categorias biológicas para alcançar objetivos diferentes (perguntar-se por quê?).

Quadro 8: Funções do Tesouro Engenharia-para-Biologia

Primary	Secondary	Tertiary	Biological Function Correspondents	
Branch	Separate		Bleaching, meiosis, <i>react</i> , flower, replicate, segment, <i>electrophoresis</i> , dialysis, denature, free, detach, release	
		Divide	Division, prophase, anaphase, cleave, cytokinesis, mitosis	
		Extract		
	Remove	Deoxygenate, filtrate, deamination, liberate, expulsion, evacuate, shed		
	Distribute		Circulate, diffusion, exchange, disperse, scatter, spread, spray	
Channel	Import		<i>Absorb</i> , attract, consume, inhale, intake	
	Export		<i>Bind</i> , block, breakdown, excrete, inactivate, <i>repel</i>	
	Transfer		Migrate, transfer	
		Transport	Circulate, conduct, diffuse, pump, shift, displace, fly, swim, jump, bounce	
		Transmit	Communicate, <i>transduce</i>	
	Guide		Orient, position, slide, tunnel	
		Translate	<i>Synthesize</i> , transcribe	
		Rotate	Oscillate, spin, turn, swivel, roll	
Allow DOF		Articulate		
Connect	Couple		Recombination, mate, build, phosphorylate, bond, synthesis, latch, lock, extend, link, overlap, <i>stretch</i>	
		Join	<i>Bind</i> , adhere, bond, fuse	
		Link	Clamp, <i>activate</i> , <i>bind</i> , project	
	Mix		Blend, <i>contract</i> , exchange, fragment	
Control	Actuate		<i>Activate</i> , induce, trigger	
Magnitude	Regulate		<i>Electrophoresis</i> , gate, organogenesis, respire, sustain, preserve, remain, stabilize, maintain, regulate, metaphase	
		Increase	<i>Pinocytosis</i> , <i>grow</i> , expand, multiply	
		Decrease	Compress, coil, divide, fold, shorten, <i>wrap</i> , hyperpolarize	
	Change		<i>Pinocytosis</i> , <i>degrade</i> , alter, <i>bind</i> , catalyze, <i>contract</i> , hydrolysis, inflammation of, twist, <i>mutate</i> , radiate, charged, slip, acclimatize, alternate, fluctuate	
		Increment		
		Decrement	Decarboxylation, <i>constrict</i>	
		Shape	Elongate, <i>stretch</i> , attach, <i>spread</i>	
		Condition	Osmosis, <i>constrict</i>	
	Stop		Clog, extinguish, halt, interphase, seal, suspend	
	Prevent		Constrain, obstruct	
	Inhibit		Cover, destroy, inhibit, repress, <i>repel</i> , <i>surround</i>	
Convert	Convert		Polymerize, <i>synthesize</i> , burn, gluconeogenesis, metabolize, <i>grow</i> , <i>transduction</i> , fermentation, glycolysis, hydrolyze, hydrolysis, respiration, ionize, decompose, <i>degrade</i> , <i>develop</i> , <i>mutate</i> , <i>photosynthesize</i> , digest	
Provision	Store		Conserve, <i>hold</i> , <i>convert</i> , deposit, <i>photosynthesize</i>	
		Contain	<i>Absorb</i>	
	Collect	<i>Absorb</i> , catch, breakdown, concentrate, digest, reduce		
	Supply		Feed, lactate	
Signal	Sense	Detect	Detect, locate, see, smell	
		Measure	Observe, monitor, gauge, watch	
	Indicate		Fluoresce, communicate, <i>react</i> , mark	
		Track		
	Display			
Process		Learn		
Support			<i>Develop</i> , <i>wrap</i>	
	Stabilize		Homeostasis, cling, <i>hold</i> , <i>bind</i> , <i>connect</i>	
	Secure		<i>Surround</i> , envelope	
	Position			
Overall increasing degree of specification ↗				

Fonte: (NAGEL, J. K., 2010)

Quadro 9: Fluxos do Tesouro Engenharia-para-Biologia

Primary	Secondary	Tertiary	Biological Flow Correspondents	
Material	Human		Being, <i>body</i>	
	Gas		Oxygen, nitrogen, chlorine	
	Liquid		Acid, chemical, water, <i>blood, solution</i> , base, buffer, fluid, plasma	
	Solid	Object		Fiber, <i>body</i> , substrate, microfilament, microtubules, structure, chain, <i>organ</i> , nucleus, <i>tissue</i> , muscle, cilia, flagella, tube, vein, heart, plant, ribosome, somite, apoplast, stem, kidney, egg, ovary, leaf, embryo, bacteria, chloroplast, carbon, sperm, glucagons, adipose, angiosperm, meristems, mineral, dirt, stoma, shoot, seed, capillary, receptors, hair, bone, tendon, neuron, sporangium, photoreceptors, mechanoreceptors, chromosome, petiole, lysosome, archaea, cone, strand, centriole, spore, zygote, sulfur, lipoprotein, nephron, hyphae, plasmodesma, conifer, plasmid, plastid, xylem, pigment, sperm, hippocampus, phloem
			Particulate	Cytokinin, pyruvate, nicotine, opium, glycerol, carotenoid, GIP, ATP, urea, <i>RNA</i> , tRNA, mRNA, <i>DNA</i> , glucagon, parathormone, cryptochromes, <i>ligand</i> , promoter, gene, exon, intron, molecule, <i>enzyme, lipid, hormone</i>
			Composite	<i>Enzyme</i> , virus, ribosome, prokaryote, macromolecule, polymerase, nucleotide, polypeptide, organelle, symplast, mesophyll, brood, codon, messenger, <i>DNA, RNA</i> , cytoplasm, <i>organ, tissue</i>
	Mixture	Gas-gas		Air
		Liquid-liquid		<i>Hormone</i> , melatonin, thyroxine, calcitonin, thyrotropin, estrogen, somatostatin, cortisol, glucagon, adrenocorticotropin, testosterone, auxin, insulin, intracellular fluid, extracellular fluid, spinal fluid, poison, urine, peptide, <i>solution, steroid</i>
		Solid-solid		Adenosine, glomerulus, blastula, monosaccharide, membrane, phosphate, ribosome, centrosomes
		Solid-liquid		Algae, synapse, peptidoglycan, cell, glia, phytochrome, retina, protein, repressor, hemoglobin, <i>blood</i> , membrane, bacterium
	Signal	Status		Change, variation, lateral, swelling, catalyzed, translation, exposed, active, separated, cycle, formation, reaction, redox, deficient, saturated, diffusion, broken, hybridization, orientation, resting, cue, magnetic, volume, under, organized, fruiting, fatty, anaphase, metaphase, prophase, conjugation, osmolarity, senescence, signal, allele
			Auditory	Sound
			Olfactory	Smell
Tactile			Pain	
Taste			Gustation	
Visual			Length, shortened, long, color, dark, full, double	
Control			Place, inhibit, release, excrete, development, match, induce, digest, integrate, translation, transduction, equilibrium, grown, splice, capture, distribute, phosphorylation	
		Analog	Binding, center, synthesis, photosynthesis	
	Discrete	Flower, translocation		
Energy	Human			
	Acoustic		Echolocation, sound wave	
	Chemical		Calorie, metabolism, glucose, glycogen, <i>ligand</i> , nutrient, starch, fuel, sugar, mitochondria, <i>lipid, gibberellin</i>	
	Electrical		Electron, potential, feedback, charge, field	
	Electromagnetic	Optical		Light, infrared
		Solar		Light, sun, ultraviolet light
	Hydraulic		Pressure, osmosis, osmoregulation	
	Magnetic		Gravity, field, wave	
	Mechanical			Muscle contraction, pressure, tension, stretch, depress
		Rotational		
		Translational		
Pneumatic		Pressure		
Thermal		Temperature, heat, infrared, cold		
Overall increasing degree of specification ><				

Fonte: (NAGEL, J. K., 2010)

Outra característica que auxilia na transposição da informação biológica é a escala biológica, pois lida com a quantidade de detalhes necessários para a representação adequada do sistema natural. Os modelos computacionais biológicos vão desde o nível atômico, passam pelo molecular, celular, tecidos, organismos, populações até o comportamento. Embora a escala biológica possa ser vista como uma restrição no modelo, é possível derivar múltiplas conexões para o campo da engenharia a partir de um mesmo modelo biológico, considerando-o em diferentes escalas (NAGEL, J. K. S. et al., 2010).

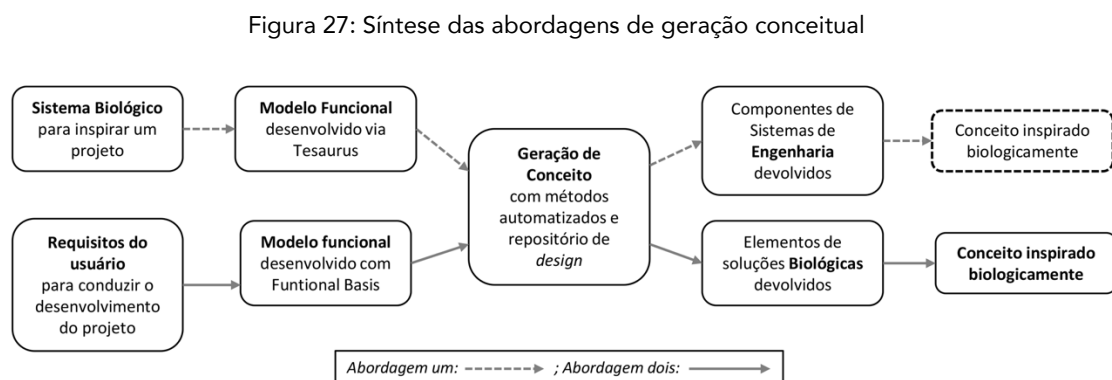
Com base na experiência dos autores em criar modelos funcionais de sistemas naturais foi elaborada a seguinte metodologia geral com objetivo de representar funcionalmente os sistemas biológicos (NAGEL, J. K. S. et al., 2010):

1. Identificar uma referência adequada (por exemplo, livro de biologia) para o sistema biológico de interesse, de preferência fontes atuais de informação para garantir que o modelo represente a compreensão mais atual da estratégia, comportamento, fisiologia e morfologia do sistema biológico em questão.
2. Ler a visão geral do sistema biológico para entender a funcionalidade principal do sistema:
 - a) Tomar notas que captem a essência do sistema biológico;
 - b) Prestar atenção às indicações relativas à categoria e escala;
 - c) Consultar o tesouro engenharia-para-biologia para comparar os fluxos biológicos com os fluxos encontrados em sistemas projetados.
3. Definir a questão de projeto que o modelo funcional pretende responder. Essa questão de projeto, colocada sobre o sistema biológico, deve direcionar o projetista à uma resposta.
4. Definir a categoria do modelo funcional, para considerar o sistema biológico de diferentes pontos de vista (4 categorias) e determinar qual delas melhor auxilia a responder à questão de projeto.
5. Definir a escala desejada do modelo.
 - a) Modelar a caixa preta para o sistema biológico, definindo a funcionalidade geral com o léxico da *Functional Basis*;
 - b) Investigar o que ocorre na escala biológica desejada para obter a funcionalidade da caixa preta;
 - c) Ler sobre o sistema biológico, observando os eventos simultâneos e

paralelos que ocorrem para obter a funcionalidade da caixa preta.

6. Desenvolver um modelo funcional do sistema biológico usando a linguagem de modelagem da *Functional Basis*, dentro dos limites estabelecidos pela questão de projeto, categoria biológica e escala biológica.
 - a) Usar o tesouro engenharia-para-biologia para escolher as funções mais adequadas para representar com precisão o sistema biológico.
 - b) Certificar-se de que funções implícitas como *transferir*, *transmitir* e *guiar*, sejam adicionadas ao modelo entre as principais atividades biológicas.
 - c) Não misturar a função da estrutura de suporte com a principal funcionalidade de interesse dentro do modelo funcional (por exemplo, o caule de um girassol transporta nutrientes e água do solo para a cabeça para produzir frutos e não deve ser misturado com o caule como um suporte para o girassol).
 - d) Usar um software que permita a reorganização rápida de blocos para tornar esse processo mais rápido.
7. Verificar/confirmar duplamente o modelo funcional em relação à questão do projeto e ao modelo da caixa preta (por exemplo, pedir a um biólogo que revise o modelo na categoria e escala biológica desejadas). Alguns termos familiares aos engenheiros podem ser usados em um contexto diferente na descrição do sistema biológico.

A partir desta metodologia geral, foram elaboradas duas abordagens de geração conceitual, capazes de oportunizar a sistematização dos projetos bio-inspirados, conforme ilustra a Figura 27 (NAGEL, J. K. S. et al., 2010).



Fonte: Adaptado de Nagel J. K. S. et al. (2010)

A primeira abordagem é uma técnica de geração conceitual que começa com modelos funcionais baseados em sistemas de interesse. Esse método tem sido utilizado para o redesenho ou melhoria de produtos com falhas e também pode ser usada quando a inspiração é tomada inicialmente por uma observação casual de um sistema biológico. Para atender às expectativas do cliente, ao seguir a primeira abordagem, o projetista inspira-se em outro domínio, neste caso a biologia, para descobrir como o produto pode ser melhorado. As etapas desta primeira abordagem são as seguintes (NAGEL, J. K. S. *et al.*, 2010):

1. Gerar um modelo funcional do sistema biológico de interesse;
2. Consultar um repositório de design para princípios de solução para cada par de função-fluxo no modelo funcional biológico;
3. Revisar os componentes de engenharia selecionados pelo gerador de conceitos automatizado que responde às mesmas funções que o sistema biológico;
4. Gerar conceitos combinando princípios de soluções identificados por meio das consultas no repositório de design;
5. Continuar com o processo de projeto conceitual e/ou proceder com a incorporação e detalhamento do projeto.

A segunda abordagem de geração de conceito que leva a soluções bio-inspiradas inicia nas necessidades do cliente, as quais são traduzidas em funcionalidades. Um modelo de caixa preta e um modelo funcional são desenvolvidos e usados para consultar um repositório, através do qual o designer encontra soluções biológicas que respondam às funções elicitadas da modelagem funcional do produto. As etapas desta abordagem são descritas abaixo (NAGEL, J. K. S. *et al.*, 2010):

1. Crie um modelo funcional conceitual do sistema de engenharia desejado com base no mapeamento das necessidades do cliente para os fluxos;
2. Use um gerador de conceito automatizado para consultar possíveis soluções para cada par função-fluxo no modelo funcional conceitual;
3. Revise soluções de engenharia e biológicas recuperadas pelo gerador de conceito automatizado;
4. Explore soluções biológicas de inspiração para as funcionalidades;
5. Identifique novas soluções de engenharia para funções que são inspiradas pela biologia ou, se nenhuma for identificada, escolha soluções alternativas do gerador de conceito automatizado;

6. Continue com o processo de design conceitual e/ou prossiga para o projeto detalhado.

Seguindo a primeira abordagem, um modelo funcional biológico pode impulsionar a geração de conceitos. Soluções de engenharia em um repositório de design mapeiam a funcionalidade de sistemas biológicos modelados. Na segunda abordagem, um modelo funcional é gerado a partir das necessidades do usuário; quando um repositório de design é consultado com essas funções, soluções biológicas podem ser retornadas como opções em potencial. Essa segunda abordagem coloca o processo de conexão do projeto dentro do domínio biológico e exige que o projetista analise cada um dos resultados biológicos para uma possível inspiração (NAGEL, J. K. S. et al., 2010).

Como orientações para trabalhos futuros, são mencionados os seguintes aspectos: Descobrir novos termos para popular o tesouro, provenientes de diferentes fontes; Encontrar termos menos óbvios para popular e enriquecer o tesouro a partir do estudo de textos mais aprofundados e específicos da biologia; Integrar os termos do tesouro no software de geração conceitual, o que vai ampliar e qualificar a busca por estratégias e fenômenos biológicos (NAGEL, J. K. S.; STONE; MCADAMS, 2010).

4.3.2 Idea-Inspire (Chakrabarti)

O autor indiano Amaresh Chakrabarti, em conjunto com outros pesquisadores de universidades canadenses, americanas e alemãs (indicados no Quadro 10) dedicaram-se ao desenvolvimento do modelo SAPPPhIRE, com objetivo de sistematizar o conhecimento dos sistemas biológicos para auxiliar na geração de ideias e soluções de projeto.

Quadro 10: Artigos selecionados do grupo de autores Chakrabarti

	ARTIGOS SELECIONADOS	AUTORES	ANO	CATEG.
BUSCA 1	A methodology for supporting "transfer" in biomimetic design	Sartori, Julian Pal, Ujjwal Chakrabarti, Amaresh	2010	ÓTIMO
OUTROS	Idea Inspire 3.0—A Tool for Analogical Design	Chakrabarti	2017	ÓTIMO
OUTROS	A functional representation for aiding biomimetic and artificial inspiration of new ideas	AMARESH CHAKRABARTI, PRABIR SARKAR, B. LEELAVATHAMMA, B.S. NATARAJU	2005	ÓTIMO
OUTROS	Biocards and Level of Abstraction	Lenau, Torben Anker; Keshwani, Sonal; Chakrabarti, Amaresh; Ahmed-Kristensen, Saeema	2015	ÓTIMO

Fonte: a autora

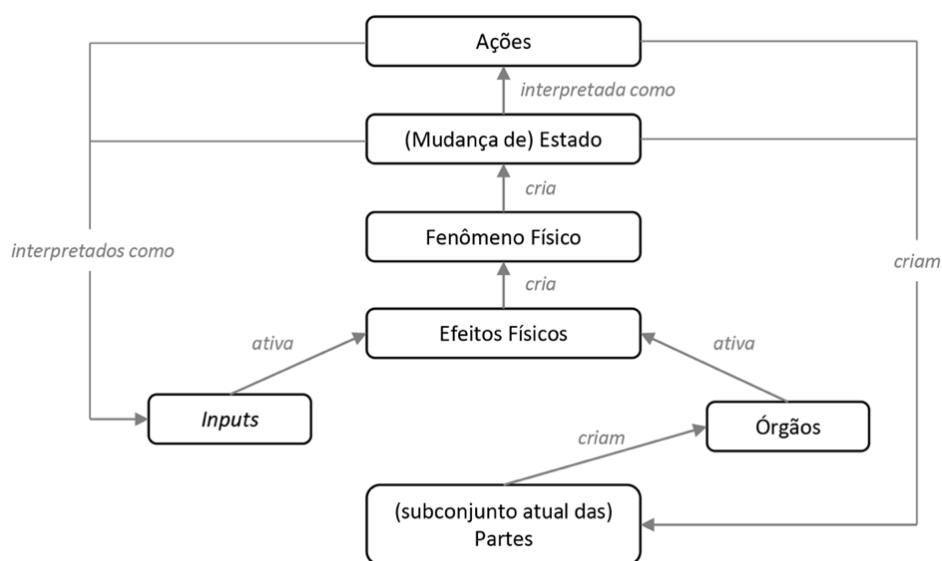
O modelo SAPPhIRE foi desenvolvido para capturar a funcionalidade dos sistemas em geral, que utilizam fenômenos físicos para atingir seus objetivos. Foi originalmente desenvolvido para apoiar o design de produtos, fornecendo descrições causais de sistemas biológicos e técnicos como estímulos para inspirar soluções para problemas de projeto. Consiste nos seguintes constructos (SARTORI; PAL; CHAKRABARTI, 2010):

- Partes: um conjunto de componentes físicos e interfaces que constituem o sistema de interesse e seu ambiente;
- Fenômeno físico: uma interação entre o sistema e seu ambiente;
- Estado: uma propriedade do sistema (ou seu ambiente) envolvida em uma interação;
- Princípio físico: um princípio da natureza que subjaz e conduz uma interação;
- Dispositivo: um conjunto de propriedades e condições do sistema e seu ambiente necessário para uma interação entre eles;
- Entrada: uma variável física que cruza o limite do sistema e é essencial para uma interação entre o sistema e seu ambiente;
- Ação: uma descrição abstrata ou interpretação de alto nível de uma interação entre o sistema e seu ambiente.

As relações estabelecidas entre os construtos são: *Partes* de um sistema criam *Dispositivos*, que são os requisitos estruturais para um *Princípio Físico*. Um *Princípio Físico* é ativado por várias *Entradas* e cria um *Fenômeno Físico*, o que gera *Mudança de Estado* do sistema. As *Mudanças de Estado* são interpretadas como *Ações*, como novas *Entradas*, ou como mudanças que criam ou ativam *Partes* (SARTORI; PAL; CHAKRABARTI, 2010) (Figura 28).

Segundo Sartori, Pal e Chakrabarti (2010), uma das principais vantagens do método SAPPhIRE é a capacidade de relacionar estrutura, comportamento e função (SBF) de uma maneira lógica, incluindo diversos níveis de abstração. Além disso, tem o potencial de organizar informações hierarquicamente, o que permite a modelagem de sistemas biológicos complexos. Os mesmos autores propõem duas diretrizes para a abordagem biomimética. A primeira é chamada de "diretriz genérica" (Figura 29) e foi desenvolvida para atender às etapas essenciais do projeto bio-inspirado (SARTORI; PAL; CHAKRABARTI, 2010).

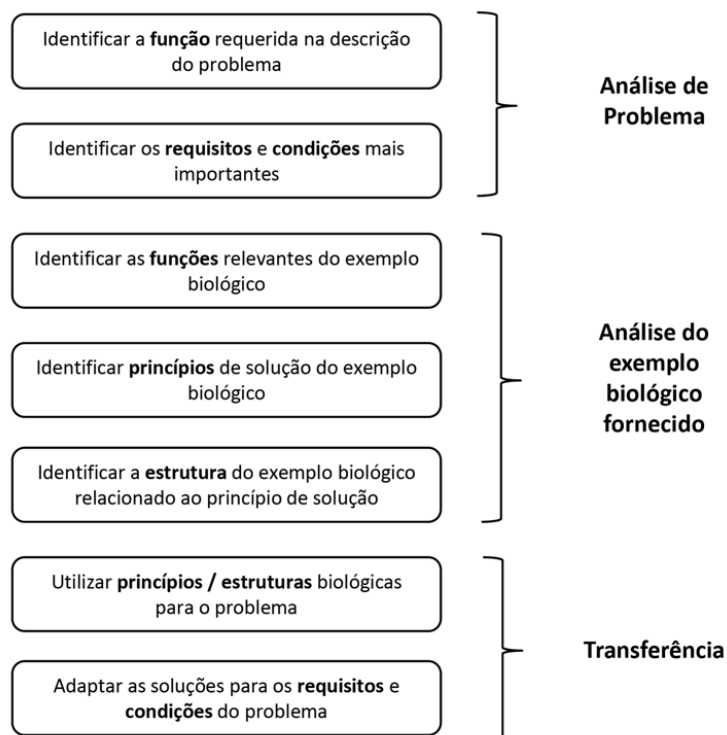
Figura 28: o modelo de causalidade SAPPPhIRE



Fonte: Adaptado de Sartori, Pal, Chakrabarti (2010)

A segunda diretriz proposta por Sartori, Pal e Chakrabarti (2010) é aquela que envolve a aplicação do modelo SAPPPhIRE, orientada para cumprir com as mesmas etapas da “diretriz genérica”, porém com diretrizes mais específicas (Figura 30).

Figura 29: Diretriz genérica



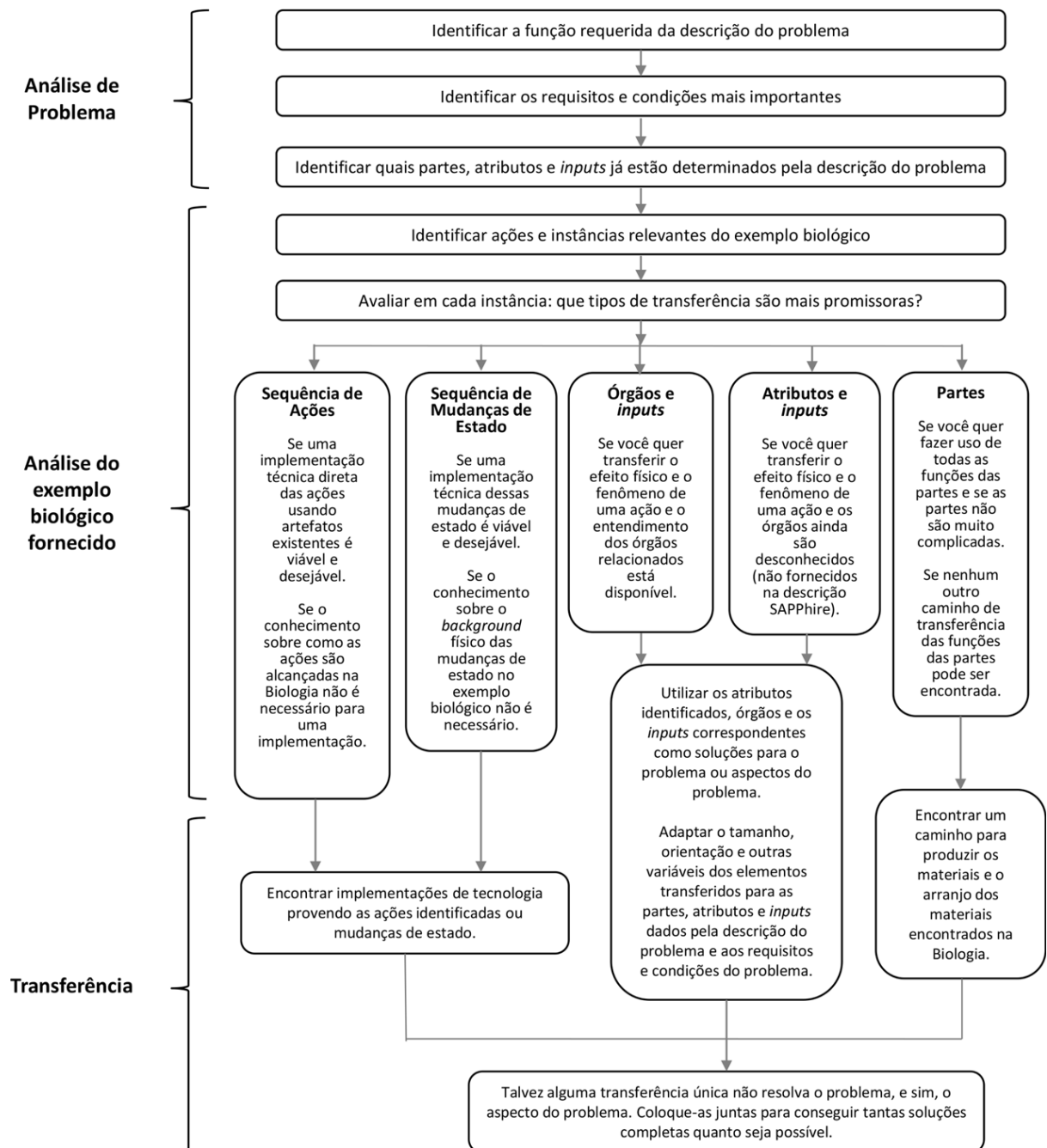
Fonte: Adaptado de Sartori, Pal, Chakrabarti (2010)

Durante a etapa de análise dos exemplos biológicos, há que definir que tipo de transferência é mais promissora. O modelo SAPPPhIRE trata do aspecto da funcionalidade em vários níveis de abstração. São identificadas cinco classes que descrevem como a transferência biomimética pode ser realizada nesses níveis de abstração (SARTORI; PAL; CHAKRABARTI, 2010):

- Copiar partes: copiar partes é a tentativa de imitar um sistema biológico como ele é. Os mesmos materiais são usados e organizados no sistema técnico da mesma forma que na biologia. A cópia é restrita pela complexidade das estruturas biológicas. Pode ocorrer apenas no nível molecular no desenvolvimento de materiais, por exemplo, com base na auto-organização, e nos casos em que os sistemas biológicos usam partes de seu ambiente que também podem ser usadas pela tecnologia, por exemplo, a água. A transferência com nível mais baixo de abstração. Pode-se argumentar que copiar partes não é nem mesmo uma transferência, porque nenhuma abstração está envolvida se nenhum dos atributos for alterado. Então o próprio sistema biológico poderia ser usado em vez de sua cópia.
- Transferência de dispositivos: envolve equipar um sistema técnico com dispositivos iguais ou muito semelhantes aos do seu análogo biológico. Uma transferência em nível de dispositivo resulta na transferência de todos os princípios físicos, fenômenos e mudanças de estado relacionadas aos dispositivos em foco. Um dispositivo geralmente será transferido de um sistema biológico para obter uma ação análoga da instância SAPPPhIRE em foco, usando o princípio físico, o fenômeno e as mudanças de estado resultantes dessa instância.
- Transferência e atributos: envolve equipar um sistema técnico com atributos iguais ou semelhantes como seu análogo biológico. Atributos são uma classe mais genérica do que dispositivos: todos os dispositivos são atributos, mas nem todos os atributos são dispositivos. Uma transferência de atributo só é bem-sucedida se o dispositivo para a mudança de estado desejada estiver entre os atributos transferidos.
- Transferir uma mudança de estado: envolve a implementação de uma mudança de estado de um sistema biológico por meios técnicos, a fim de alcançar uma ação análoga.
- Transferência resultante: muitas instâncias do SAPPPhIRE não requerem uma transferência para que ocorram no sistema técnico. Esse pode ser o

caso porque os dispositivos correspondentes já foram transferidos nos instantes anteriores ou por causa da presença usual dos dispositivos no contexto esperado dos elementos transferidos. Além disso, a entrada pode já ser fornecida pelas instâncias descritas e transferidas anteriormente nessa sequência de ações necessárias.

Figura 30: Diretrizes SAPPPhIRE



Fonte: Adaptado de Sartori, Pal, Chakrabarti (2010)

Figura 31: Recursos de busca na versão 3.0 do Idea Inspire

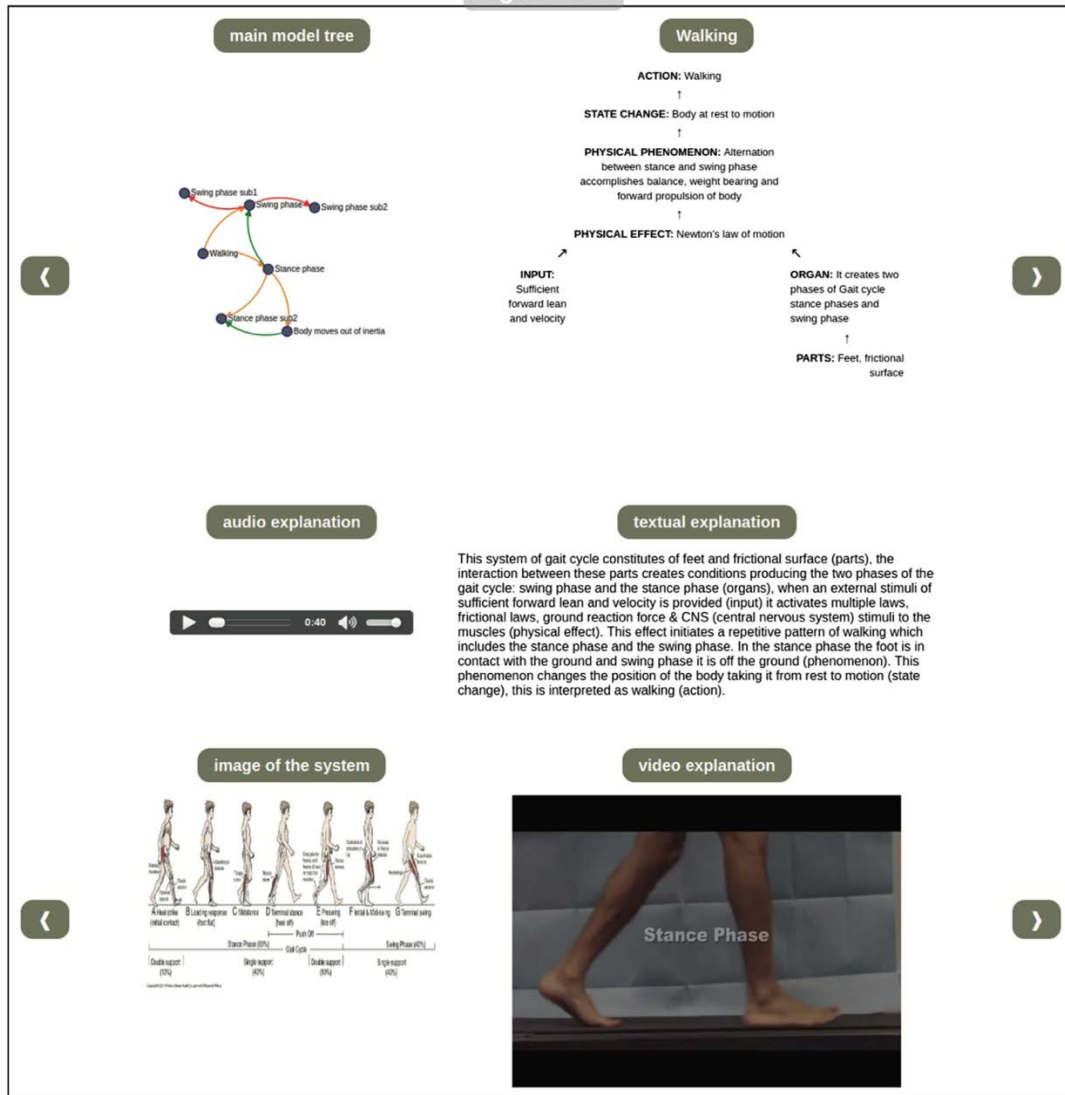
SOLVE A PROBLEM

<p>What action should be achieved?</p> <p>VERB NOUN ADJECTIVE</p> <p><input type="text" value="move"/> <input type="text" value="Action-noun"/> <input type="text" value="Action-adjective"/></p> <p>What parameters undergo change/need to be changed? Select of the Physical quantities If others, please specify</p> <p style="text-align: right;">_____ ▾ <input type="text" value="State change"/></p> <p>What is the input to the desired system (energy, material, signal)?</p> <p>NOUN ADJECTIVE</p> <p><input type="text" value="force"/> <input type="text" value="input"/></p> <p>What law of nature should drive the desired system? If others, please specify</p> <p style="text-align: right;">_____ ▾ <input type="text" value="Please Specify"/></p> <p>State the components of the desired system?</p> <p>NOUN ADJECTIVE</p> <p><input type="text" value="motor"/> <input type="text" value="components"/></p> <p><input type="button" value="SUBMIT"/></p>	<p>How?</p> <p>The results are:</p> <ul style="list-style-type: none"> muscles protraction of wing shoulder lock slow fibres Body moves out of inertia Swing phase sub2 Anode Interaction of magnetic fields Rope movement Mechanism of Muscle Contraction Muscle contraction Sustained muscle contraction Action Potential Generation Octopaminergic Neurons in firefly Nitric oxide synthetase Cuticle Layer Swing phase Swing phase sub1 Swash plate Single phase induction motor Centrifugal switch Initiation of the motor Revolute pair Peristaltic pump Rotation of movable member Pump fluid Drive shaft Throtte Valve Block and Tackle System Cylinder block Stator Current leads voltage Magnetic flux produced Mechanical power generated Power transmission to rotor Rotation of rotor Axial piston pump Alternator Rotor increased velocity of bird soaring with no net gain Elevation of albatross wing Fuel Jet Internal Organ Protection Release of acetylcholine <p>View Models? (Select any one and click "OK")</p> <p style="text-align: right;"><input type="button" value="SELECT ANY SYSTEM"/> ▾ <input type="button" value="OK"/></p>
---	--

Fonte: (CHAKRABARTI *et al.*, 2017)

Experiências na validação do software indicam um potencial substancial para a abordagem bio-inspirada, embora um maior desenvolvimento esteja em andamento na extensão do número de entradas nas bases de dados, ampliando as estratégias para buscas mais completas (CHAKRABARTI *et al.*, 2005). Testes preliminares da ferramenta indicaram que há necessidade de treinamento do usuário antes da utilização da mesma (CHAKRABARTI *et al.*, 2017).

Figura 32: representação de um sistema no Idea Inspire 3.0



Fonte: (CHAKRABARTI et al., 2017)

4.3.3 Dane e Biologue (Goel, Helms, Vattam)

Ashok Goel, professor e pesquisador indiano, coordenador do laboratório de design & inteligência no instituto de tecnologia da Geórgia (EUA), em conjunto com outros pesquisadores afins, vem desenvolvendo um extenso trabalho na área de design bio-inspirado, que resultou na elaboração de algumas ferramentas biomiméticas, como o modelo Biologue e o aplicativo DANE (*Design by analogy to nature engine*). Alguns dos artigos mais relevantes seguem listados no Quadro 11.

Os autores Helms, Vattam e Goel (2009) observaram que o processo de design bio-inspirado segue dois caminhos distintos: por um lado, parte da solução em direção ao problema e, por outro, parte do problema em direção à solução. No artigo

“Biologically inspired design: process and products”, os autores descrevem as duas abordagens.

Quadro 11: Artigos selecionados do grupo de autores Goel, Helms, Vattam

	ARTIGOS SELECIONADOS	AUTORES	ANO	CATEG.
BUSCA 2	On the benefits of digital libraries of case studies of analogical design: Documentation, access, analysis, and learning	Goel, Ashok K. Shu, L.H. Zhang, Gongbo Wiltgen, Bryan Zhang, Yuqi Vattam, Swaroop Yen, Jeannette	2015	MÉDIO
BUSCA 2	Biologically inspired design: A new paradigm for AI research on computational sustainability?	Goel, A.K.	2015	ÓTIMO
BUSCA 2	An information-processing theory of interactive analogical retrieval	Vattam, S.S. Goel, A.K.	2014	ÓTIMO
BUSCA 2	Cognitive, collaborative, conceptual and creative: Four characteristics of the next generation of knowledge-based CAD systems: A study in biologically inspired design	Goel, A.K. Vattam, S. Wiltgen, B. Helms, M.	2012	ÓTIMO
BUSCA 2	An Information-processing account of creative analogies in biologically inspired design	Ashok K. Goel, Swaroop Vattam, Michael Helms, & Bryan Wiltgen	2011	MÉDIO
BUSCA 2	Semantically annotating research articles for interdisciplinary design	Vattam, S.S. Goel, A.K.	2011	ÓTIMO
BUSCA 2	A content account of creative analogies in biologically inspired design	Vattam, S.S. Helms, M.E. Goel, A.K.	2010	ÓTIMO
BUSCA 2	Biologically inspired design: process and products	Helms, M.; Vattam, S.S.; Goel, A.K.	2009	ÓTIMO
OUTROS	BOOK: Biologically inspired design	Goel, McAdams, Stone	2014	ÓTIMO
OUTROS	Problem-Driven and Solution-Based Design Twin Processes of Biologically Inspired Design	Michael E. Helms, Swaroop S. Vattam & Ashok K. Goel; Jeannette Yen & Marc Weissburg	2008	ÓTIMO
OUTROS	Biological Solutions for Engineering Problems: A Study in Cross-Domain Textual Case-Based Reasoning	Swaroop S. Vattam and Ashok K. Goel	2013	ÓTIMO
OUTROS	Adaptive Evolution of Teaching Practices in Biologically Inspired Design	Jeannette Yen, Michael Helms, Ashok Goel, Craig Tovey and Marc Weissburg	2014	ÓTIMO
OUTROS	DANE: Fostering Creativity in and through Biologically Inspired Design	Swaroop Vattam, Bryan Wiltgen, Michael Helms, Ashok K. Goel, Jeannette Yen	2010	ÓTIMO
OUTROS	Biologically Inspired Design: A Tool for Interdisciplinary Education	Jeannette Yen and Marc J. Weissburg; Michael Helms; Ashok K. Goel	2011	ÓTIMO

Fonte: a autora

A abordagem orientada pela solução inicia por um fenômeno biológico interessante, que inspira a busca de possíveis aplicações em projetos, conforme as seguintes etapas (HELMS; VATTAM; GOEL, 2009):

1. Identificação da solução biológica: identificar o fenômeno de interesse
2. Definição da solução biológica: aprofundar a compreensão do fenômeno (decomposição funcional)
3. Extração do princípio: abstrair a solução através de um princípio de solução
4. Reenquadramento da solução: transpor a função biológica para a função de artefatos.
5. Pesquisa do problema

6. Definição do problema [1][2]
7. Aplicação do princípio

A abordagem orientada pelo problema tem início em um problema de projeto, que motiva a busca por uma analogia biológica, conforme as seguintes etapas (HELMS; VATTAM; GOEL, 2009):

1. Definição do problema
2. Reenquadramento do problema
3. Busca pela solução biológica
4. Definição da solução biológica
5. Extração do princípio
6. Aplicação do princípio

A partir de uma experiência prática realizada com um grupo de alunos do curso introdutório de design bio-inspirado, os autores Helms, Vattam e Goel (2009) perceberam que o processo de projeto biomimético, na prática, é muito dinâmico, e inclui diversos movimentos para reformular e aprofundar a compreensão dos problemas e das soluções. A estrutura de organização em etapas, descrita acima, se concentrou principalmente na abordagem orientada pelo problema, que foi enfatizada na instrução em sala de aula, embora a primeira abordagem, orientada pela solução, tenha surgido na prática.

Abaixo, seguem descritas, com maior detalhamento, as etapas que conformam a abordagem orientada pelo problema (HELMS; VATTAM; GOEL, 2009):

1. Definição do problema: definir o problema para permitir uma busca significativa por analogias biológicas. Funções são tipicamente representadas por verbos. O uso de substantivos não é sugerido, pois pode indicar que uma solução já está em mente, e não abre espaço para outras possíveis soluções. No entanto, o uso de adjetivos tem potencial, pois podem descrever as qualidades desejadas da solução, por exemplo, flexível, transparente, etc. Duas técnicas podem ser empregadas:
 - a) Decomposição funcional: na medida em que a definição do problema é realizada, situações aparentemente simples tornam-se complexas, envolvendo muitas vezes funções múltiplas e integradas. A decomposição funcional define uma função global e a decompõe em subfunções.

- b) Otimização funcional: a otimização funcional define uma função ou conjunto de funções em termos de um problema ou equação de otimização. Em seguida, os designers analisam possíveis novas soluções, medindo o desempenho em relação aos critérios de otimização. Abstraindo a este nível, os projetistas podem transferir mais facilmente os requisitos de engenharia para soluções biológicas (e vice-versa).
2. Reenquadramento do problema: nesta etapa, é necessário reformular, resignificar ou "biologizar" o problema. Isto é feito através da redefinição de problemas em termos biológicos, muitas vezes sob a forma de uma pergunta. Por exemplo: "Como as soluções biológicas realizam a função desejada?"
3. Pesquisa por analogias Biológicas: são sugeridas quatro técnicas/estratégias para busca da solução biológica relevante:
- a) Ampliar restrições: se o problema é muito específico, ampliar o espaço de pesquisa. Por exemplo "manter o frio" pode ser ampliado para "termorregulação";
 - b) Campeões de adaptação: encontrar um organismo ou sistema que sobrevive no mais extremo do problema a ser explorado. Por exemplo, para "manter o frio" pesquisar por animais que sobrevivem em climas de extremo calor, como o deserto ou o clima equatorial;
 - c) Variações em uma família de soluções: pesquisar como diferentes organismos enfrentam e resolvem o mesmo problema de maneiras diferentes;
 - d) Multifuncionalidade: pesquisar por organismos ou sistemas que resolvam vários problemas ao mesmo tempo.
4. Definição da solução biológica: realizar a decomposição funcional do sistema biológico selecionado, semelhante à utilizada na definição do problema.
5. Extração do princípio: encontrar uma solução neutra para a formulação dos princípios identificados e remover as restrições estruturais e ambientais possíveis.
6. Aplicação do princípio: realizar a transposição do princípio de solução encontrado na biologia para o novo domínio, o que envolve interpretação e adaptações.

No artigo "*Cognitive, collaborative, conceptual and creative — Four characteristics of the next generation of knowledge-based CAD systems: a study in biologically inspired design*", os autores Goel et al. (2012) tratam do desenvolvimento e da implantação de um sistema CAD (*Computer-aided design*), baseado em conhecimento, para dar suporte ao design bio-inspirado. Neste contexto, são levantadas algumas questões importantes (GOEL et al., 2012):

- A representação funcional desempenha papel fundamental, tanto para a organização do conhecimento biológico, quanto para a colaboração e comunicação entre biólogos e designers;
- O número de sistemas biológicos é muito grande. As questões de escala, complexidade e generalidade precisam ser abordadas para fornecer suporte a aplicativos versáteis;
- O design bio-inspirado é fundamentalmente analógico. Porém ferramentas atuais para acessar, mapear, abstrair e transferir informações de fontes biológicas para problemas de projeto podem fornecer um ponto de partida para ajudar os projetistas;
- A geração de ideias no design bio-inspirado requer, muitas vezes, a descoberta e o entendimento de informações biológicas relevantes, que estejam disponíveis em um banco de dados. Os designers, muitas vezes, se deparam com informações em excesso ou pouco relevantes para o problema que estão enfrentando;
- A definição do problema no design bio-inspirado pode ser mal estruturada e mal compreendida, especialmente por profissionais de diferentes domínios do conhecimento como biólogos e designers.

Com base nessas premissas, os autores Goel et al. (2012) desenvolveram o sistema DANE (*Design by Analogy to Nature Engine*) e o modelo Biologue. Considerando que a natureza oferece o maior banco de dados de sistemas sustentáveis do mundo, a solução proposta pelos autores é elaborar uma biblioteca digital biológica, organizada através de mecanismos de pesquisa que permitam acesso on-line pelos projetistas.

O Biologue é um sistema de catalogação de citações sociais que permite aos usuários coletar, organizar, compartilhar e anotar artigos acadêmicos com modelos da SBF (*structure, behavior, function*). Os usuários podem publicar citações de artigos encontrados na internet ou em bancos de dados on-line, o que permite aos designers

o compartilhamento das informações que consideram úteis em seus projetos (VATTAM; GOEL, 2011).

Segundo os autores Vattam e Goel (2011), a ontologia SBF fornece um vocabulário para expressar e organizar o conhecimento em Estrutura (S) - configuração de componentes e conexões – Comportamento (B) – comportamentos pretendidos – e Funções (F) – causas e processos internos que culminam na função do sistema. Ao permitir que os usuários anotem artigos com modelos SBF, o Biologue fornece um mecanismo de busca avançada que inclui pesquisa baseada em recursos como função, princípio físico, ambiente operacional, etc., derivados da ontologia da SBF (Figura 33).

Figura 33: Modelos SBF

Modelo Estrutural	Modelo Comportamental	Modelo Funcional
Propriedades	Estados	Estado inicial
Valores	Transições	Estado objetivo
Conexões	Tipos de transição	Estímulo externo
Elementos estruturais	- Por função	Tipos de função
- Componentes	- Por estado	- Realização
- Substâncias	- Por transição	- Manutenção
- Substâncias	- Por estímulo externo	- Preventivo
	- Por princípio	
	- Por conexão estrutural	

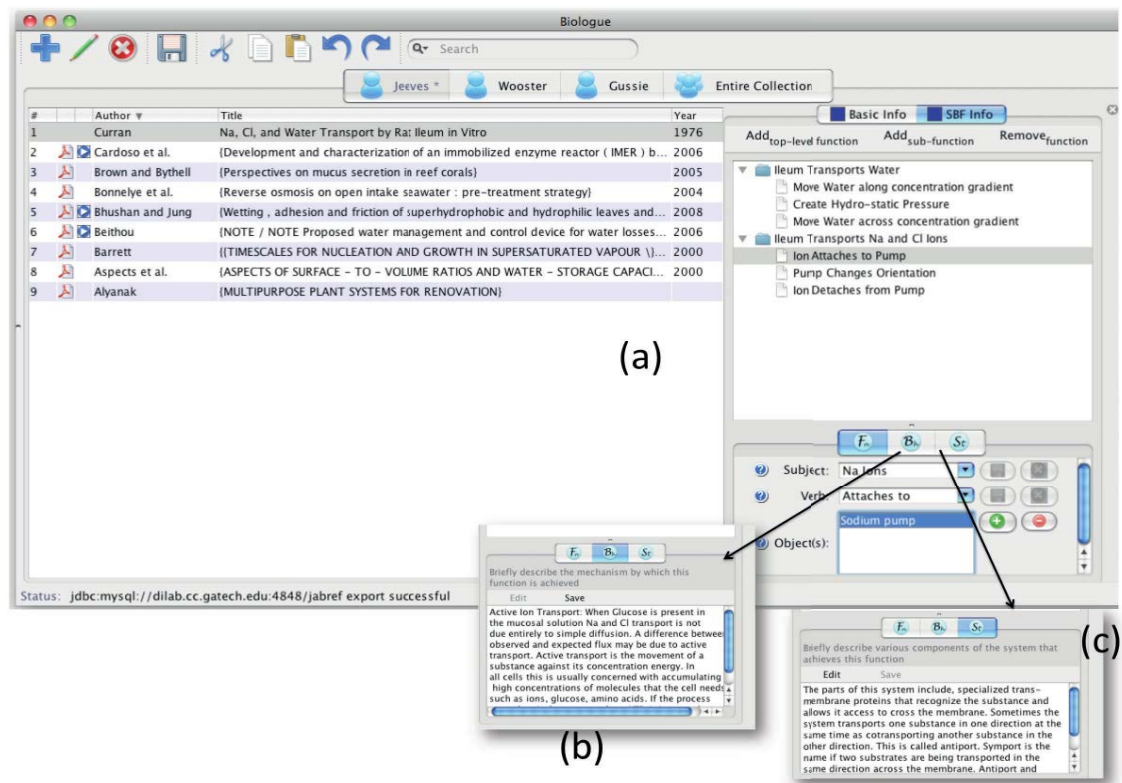
Fonte: Adaptado de Vattam e Goel (2011)

A semelhança desses recursos com os tradicionalmente procurados pelos projetistas, no contato direto com a natureza, possibilita a recuperação de informações mais direcionadas e focadas na resolução das necessidades dos designers (HELMS; VATTAM; GOEL, 2009). Além disso, o mecanismo de pesquisa do Biologue, não apenas retorna uma lista de artigos relevantes, mas também os modelos SBF associados a eles (Figura 34). Em seguida, os modelos SBF fornecem uma representação adicional, que pode ajudar o designer a compreender o artigo com mais profundidade (VATTAM; GOEL, 2011).

A tela extraída do Biologue indica, na janela principal (a), a lista dos artigos biológicos que compõem o banco de dados. As duas janelas menores (b) e (c), ilustram as interpretações a respeito do comportamento e da estrutura que possibilitam determinada função (sistema SBF). O Biologue implementa um recurso de preenchimento automático para incentivar a reutilização e minimizar a proliferação

de tags geradas pelo usuário, além de uma interface simples que permite arrastar e soltar para vincular um tag a outro. (VATTAM; GOEL, 2013).

Figura 34: uma das telas do sistema Biologue

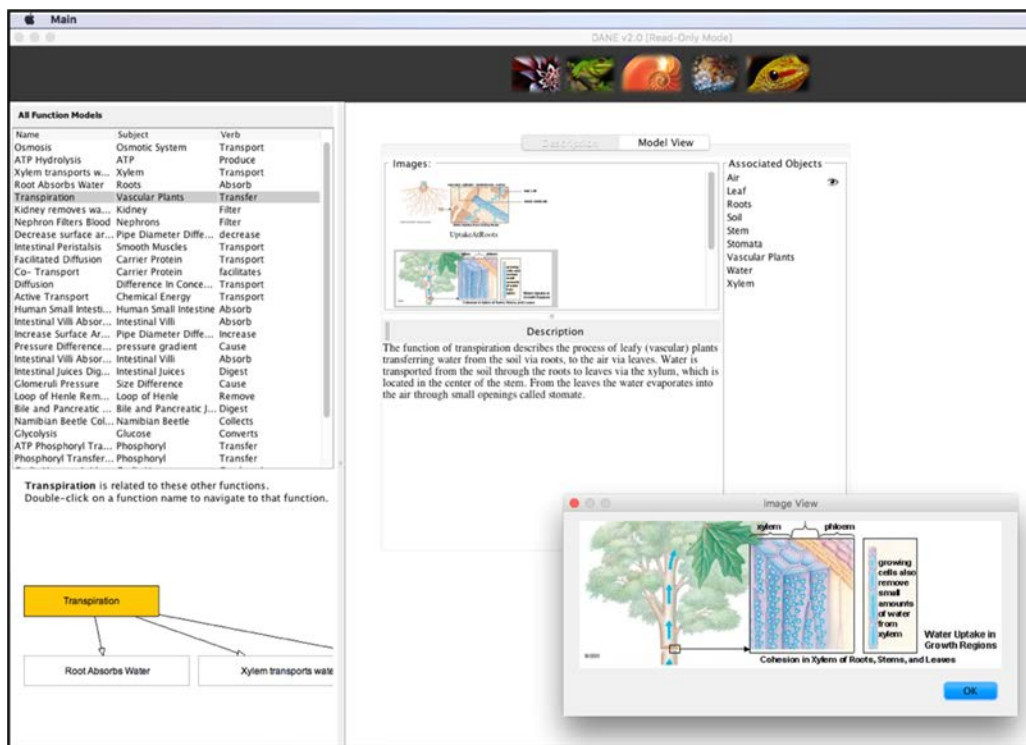


Fonte: (VATTAM; GOEL, 2011)

O DANE é um aplicativo simples com acesso disponível através de download pelo site <http://dilab.cc.gatech.edu/dane> (Figura 35). O sistema está diretamente vinculado a um servidor, onde se encontra a base de dados. A ferramenta foi desenvolvida com objetivo de facilitar o processo do design bio-inspirado, através de algumas características (GOEL *et al.*, 2012):

- auxilia os projetistas a encontrarem sistemas biológicos que possam ser relevantes para um determinado problema de projeto;
- auxilia os projetistas a entender o funcionamento dos sistemas biológicos para extrair e transferir os princípios apropriados para o design;
- capacita projetistas e equipes de projeto a construir e inserir modelos funcionais de sistemas biológicos e de engenharia no DANE.

Figura 35: Campos de pesquisa de problemas de projeto e solução biológica



Fonte: uso do aplicativo DANE

O método DANE suporta a adição de novas soluções ao banco de dados, porém este configura-se como um procedimento complexo e difícil, o que acaba inibindo a participação dos usuários. Outro ponto negativo do sistema SBF é a sua incompletude e inadequação enquanto representação hierárquica, que se dá por algumas razões (CHAKRABARTI *et al.*, 2017):

- O banco de dados da ferramenta é preenchido por um grupo de alunos que têm pouca experiência com sistemas biológicos, ou representações da SBF, para realizar uma decomposição eficiente do sistema e construir modelos ricos em conhecimento.
- Um modelo hierárquico não é suficiente para representar um sistema biológico altamente complexo, no qual os eventos ocorrem sequencialmente e simultaneamente, em vários níveis sistêmicos, para alcançar a funcionalidade pretendida.

Segundo Arlitt *et al.* (2012), o DANE se diferencia de outras ferramentas bio-inspiradas por apresentar ao projetista uma variedade de modelos, figuras, diagramas e descrições das soluções da natureza. Em pesquisa com um grupo de alunos, os autores observaram que, no geral, a ferramenta é fácil de usar, pois as informações são bem organizadas e altamente detalhadas. Porém a maioria dos alunos comentou que o DANE tem um número muito limitado de “verbos”, que são

as principais referências para encontrar informações relevantes, o que restringe a exploração de novas ideias para os problemas de projeto. Da mesma forma, a maioria dos alunos indicou que é necessária uma biblioteca maior de informações para que essa ferramenta seja eficaz. Também foi sugerido usar mais fotografias dos sistemas naturais, pois é difícil compreender os conceitos biológicos sem visualizá-los.

4.3.4 Natural Language (Shu e Cheong)

Os autores L. H. Shu e H. Cheong, juntamente com outros pesquisadores, indicados no Quadro 12, dedicaram-se ao desenvolvimento de uma Linguagem Natural para auxiliar na geração de conceitos biomiméticos.

No artigo *Towards biomimetic concept generation*, Vakili e Shu (2001) realizam uma compilação de algumas vantagens apresentadas pelos sistemas naturais, com base nas considerações de outros pesquisadores:

- Uso eficiente de materiais e energia: os organismos biológicos geralmente usam a quantidade mínima de energia e materiais necessários para a sobrevivência;
- Alta tolerância: sistemas vivos podem operar em diferentes condições. A tolerância está relacionada à capacidade que um organismo possui de se adaptar às variações de seu ambiente.
- Adaptável: Seja através da aprendizagem, evolução ou sucessão, os sistemas biológicos se adaptam a diferentes situações. Adaptabilidade à mudança de condições é a chave para a sobrevivência;
- Ambientalmente sustentável: sistemas biológicos, como ecossistemas naturais, sobrevivem reciclando materiais e energia;
- Independente e autorregulável: Os organismos possuem um tipo de inteligência própria para reagir aos estímulos externos e se autocontrolarem.
- Precisão: a síntese biológica é muito precisa, embora exija o mínimo de energia, maquinário e controle em relação à maioria dos métodos de síntetização feitos pelo ser humano;
- Diversidade: o mundo biológico oferece um enorme escopo de soluções e adaptações, apesar de poucas serem documentadas.
- Adequação: Os sistemas biológicos estão sempre bem adaptados ao ambiente;

- Automontagem: Através de mecanismos como síntese, reprodução e sucessão, os sistemas biológicos criam e recriam tecidos automaticamente.

Quadro 12: Artigos selecionados do grupo de autores Shu e Cheong

	ARTIGOS SELECIONADOS	AUTORES	ANO	CATEG.
BUSCA 2	Retrieving causally related functions from natural-language text for biomimetic design	Cheong, H. Shu, L.H.	2014	ÓTIMO
BUSCA 2	Using templates and mapping strategies to support analogical transfer in biomimetic design	Cheong, H. Shu, L.H.	2013	ÓTIMO
BUSCA 2	Biologically inspired design	Shu, L.H. Ueda, K. Chiu, I. Cheong, H.	2011	ÓTIMO
BUSCA 2	A natural-language approach to biomimetic design	Shu, L.H.	2010	ÓTIMO
BUSCA 2	Supporting biomimetic design through categorization of natural-language keyword-search results	Ke, J. Wallace, J.S. Shu, L.H.	2009	ÓTIMO
BUSCA 2	Translating terms of the Functional Basis into biologically meaningful keywords	Cheong, H. Stone, R.B. Shu, L.H. McAdams, D.A.	2008	ÓTIMO
BUSCA 2	Using descriptions of biological phenomena for idea generation	Mak, T.W. Shu, L.H.	2008	MÉDIO
BUSCA 2	Biomimetic design through natural language analysis to facilitate cross-domain information retrieval	Chiu, I. Shu, L.H.	2007	ÓTIMO
OUTROS	Towards biomimetic concept generation	V. Vakili, L.H. Shu*	2001	ÓTIMO
OUTROS	Design problem solving with biological analogies: A verbal protocol study	Hyunmin Cheong, Gregory M. Hallihan, L.H. Shu	2012	MÉDIO
OUTROS	Natural Language analysis for biomimetic design	I. Chiu and L.H. Shu	2004	ÓTIMO
OUTROS	Generalizing the Biomimetic Design Process	L.H. Shu	2004	MÉDIO
OUTROS	Use of Biological phenomena in Design by Analogy	T. W. Mak and L.H. Shu	2004	MÉDIO

Fonte: a autora

Os mesmos autores (VAKILI; SHU, 2001) apresentam estratégias para encontrar analogias potenciais em fenômenos biológicos, incluindo a busca funcional em múltiplos níveis de organização. Para encontrar ideias de design na natureza, é preciso primeiro definir os requisitos do sistema artificial e, em seguida, encontrar um sistema na natureza que execute uma função semelhante. Uma abordagem para geração de conceito biomimético é, primeiramente, abstrair o sistema, indicando suas funções, e então encontrar um sistema biológico para ser usado como um modelo, que desempenha funções similares. A função geral pode ainda ser dividida em subfunções menos complexas, o que facilita a busca por princípios de solução que respondam a cada uma delas. As perguntas a seguir podem ajudar a encontrar os melhores paralelos na natureza:

- O que o sistema realiza?
- Em que o sistema se diferencia?
- Como o sistema desempenha sua função?
- Sob que condições o sistema opera?
- Que tipos de relacionamentos existem entre os requisitos funcionais?

O processo para encontrar analogias adequadas na natureza deve seguir as etapas elencadas abaixo. Em seguida, o Quadro 13 indica o processo de identificação dos sinônimos para as palavras-chave da engenharia para a biologia (VAKILI; SHU, 2001):

1. Selecionar a fonte de informação inicial dos fenômenos biológicos: Como ponto de partida, foi escolhido o livro "Vida: a ciência da biologia" (SADAVA *et al.*, 2009) por sua característica abrangente, abarcando diferentes níveis organizacionais da biologia, do nível molecular à biosfera;
2. Identificar sinônimos para as palavras-chave funcionais da engenharia: Alguns sinônimos para as palavras-chave foram gerados usando um dicionário de sinônimos on-line (<https://www.merriam-webster.com>);
3. Identificar uma ponte adequada entre as palavras-chave funcionais da engenharia (e seus sinônimos) e os fenômenos biológicos: O glossário do livro foi identificado como uma ponte adequada. O glossário define termos biológicos e geralmente inclui palavras-chave funcionais ou seus sinônimos;
4. Procurar por palavras-chave e sinônimos correspondentes (no glossário);
5. Identificar e encontrar mais detalhes sobre as questões biológicas relevantes.

Essa abordagem permite que os designers identifiquem analogias a partir de textos em linguagem natural, contendo informações biológicas (SHU, 2010; SHU *et al.*, 2011). Um dos desafios está em identificar palavras-chave biologicamente significativas, que sejam correspondências úteis às palavras-chave de engenharia, relevantes para solucionar os problemas de projeto (SHU *et al.*, 2011; SHU; CHIU, 2007).

Quadro 13: Amostragem de sinônimos da Engenharia para a Biologia

PALAVRA-CHAVE ENGENHARIA	SINÔNIMOS	COMBINAÇÃO COM FONTE BIOLÓGICA (glossário do livro)	DEFINIÇÃO DOS TERMOS NO GLOSSÁRIO
RENOVAR	REFORMAR	Telófase	A fase final da mitose ou meiose, durante a qual os cromossomos se tornaram difusos, os envelopes nucleares se reformam e os nucléolos começam a reaparecer nos núcleos filhos
	REPARAR	Reparar Excisão	A remoção do DNA danificado e sua substituição pelos nucleotídeos apropriados. Muitas vezes, várias bases de cada lado da base danificada são removidas pela ação de uma endonuclease. Em seguida, uma DNA polimerase acrescenta as bases corretas de acordo com o modelo ainda presente no outro filamento do DNA. A DNA ligase catalisa a vedação do cordão reparado
	CORRIGIR	Corrigir Incompatibilidade	Quando uma única base no DNA é transformada em uma base diferente, ou a base errada é inserida durante a replicação do DNA, há uma incompatibilidade no emparelhamento de bases com a base na fita oposta. Um sistema de correção remove a base incorreta e insere a correta para o emparelhamento com o fio oposto.

Fonte: adaptado de Vakili e Shu (2001)

Com referência na abordagem biomimética de Helms, Vattam e Goel (2009), orientada pelo problema, Shu et al. (2011) complementam as etapas finais do processo, correspondentes à busca pela analogia biológica, avaliação e aplicação das mesmas:

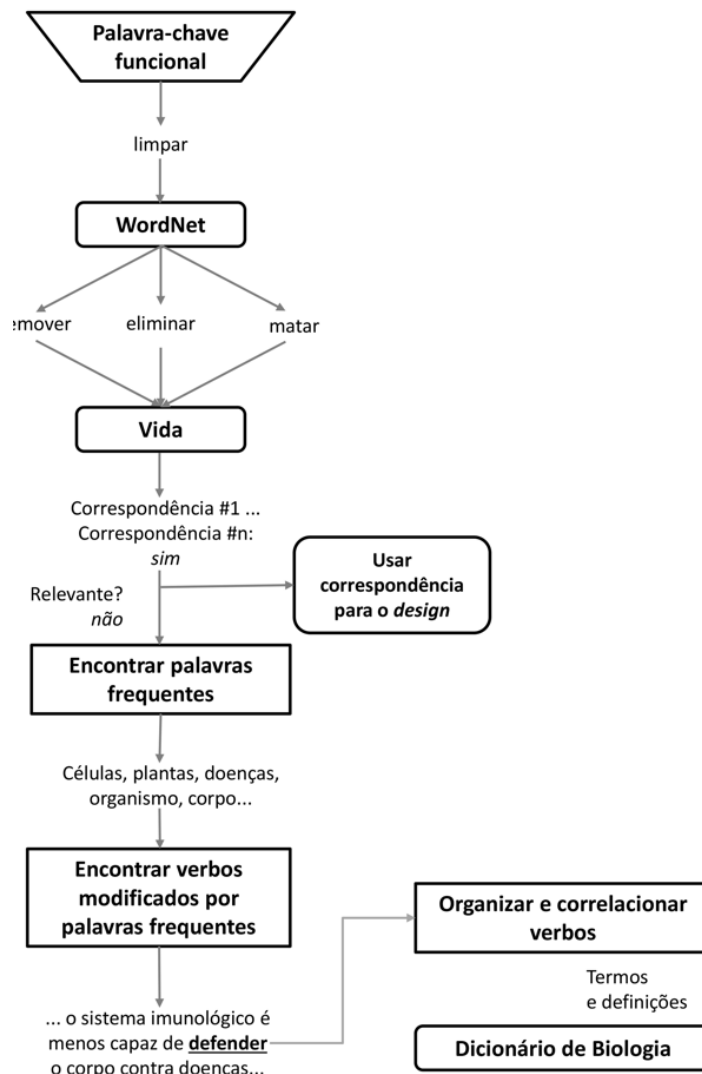
- **Busca por analogias biológicas:**
 - Perguntar diretamente aos biólogos: é um dos caminhos mais óbvios e diretos para identificação de potenciais analogias, porém a dificuldade desta opção é ter acesso direto aos biólogos, além de que estes podem ser tendenciosos e limitados em relação às suas áreas de especialização, não oferecendo variedade de soluções nem conseguindo responder às necessidades em questão;
 - Pesquisar em base de dados: a vantagem desta opção é que a pesquisa se torna mais objetiva e os resultados mais focados em atender às necessidades do projeto. A desvantagem é que os resultados da pesquisa ficam limitados ao conteúdo do banco de dados.
 - Busca baseada na Linguagem-natural: neste caso, a informação biológica já está disponível no formato de linguagem-natural (em textos e artigos), podendo ser pesquisados diretamente por fenômenos relevantes. Evita a tarefa subjetiva e extensa de catalogar todos os fenômenos biológicos.
 - Fontes de pesquisa: um exemplo é o livro “Vida: a ciência da biologia”, pois além da facilidade de compreensão, os textos de nível introdutório tendem a ser gerais e abrangem uma ampla gama de níveis organizacionais.
 - Palavras-chave de pesquisa: As palavras-chave usadas para procurar analogias biológicas são verbos que descrevem o efeito pretendido, ou função das soluções desejadas. O recurso lexical WordNet foi usado para identificar palavras-chave relacionadas (Figura 36).
- **Avaliação das analogias biológicas:** Na abordagem de pesquisa por Linguagem-natural, a avaliação de analogias biológicas afeta a própria seleção de quais as estratégias são consideradas relevantes nos fenômenos biológicos.

- Categorização dos resultados da pesquisa: objetivo de sintetizar e resumir os resultados da pesquisa. Um possível problema é a quantidade e a qualidade das correspondências que podem resultar da busca. Dependendo da palavra-chave, pode haver facilmente uma quantidade incontável de correspondências. O método mais promissor é classificar pelo sujeito agindo no verbo da palavra-chave e/ou pelo objeto que a palavra-chave verbo atua.
- Avaliação e seleção das analogias biológicas: descrições textuais de fenômenos biológicos que descrevem princípios e comportamentos, além de formas, tendem a ser mais facilmente usadas pelos estudantes. Além disso, descrições textuais de fenômenos biológicos que contêm relações causais têm maior probabilidade de servir como analogias úteis para problemas de design. Relações causais geralmente explicam como as funções são alcançadas por comportamentos.
- **Aplicação das analogias biológicas** (categorias de dificuldades experimentadas pelos alunos)
 - Tipos de similaridade:
 - Implementação literal: neste caso, as entidades biológicas não são abstraídas, mas usadas diretamente, com a mesma estratégia entre o domínio origem e o domínio finalidade;
 - Transferência biológica: significa transferir as entidades biológicas para o domínio da solução, mas sem aplicar a estratégia apresentada no domínio da biologia;
 - Anomalia: significa não transferir nem as entidades nem as estratégias do fenômeno biológico;
 - Analogia: significa aplicar com precisão a estratégia do fenômeno biológico ao conceito de projeto sem transferir as entidades biológicas.
 - Erros adicionais observados no design biomimético: Problemas vagamente definidos; Baixa compatibilidade entre problema e solução; Excesso de simplificação de funções complexas; Simplificação dos problemas de otimização; Fixação das soluções.
 - Ferramenta de mapeamento de analogia
 - Modelos funcionais para ampliar a compreensão

No artigo *Translating terms of the Functional Basis into biologically meaningful keyword* (CHEONG *et al.*, 2008), os autores desenvolveram um método para identificar as palavras-chave biologicamente significativas que correspondem a palavras-chave de engenharia. Foi aplicado esse método para adaptar a *Functional Basis* ao domínio da biologia, substituindo os termos da engenharia por termos adequados à biologia, retirados da obra "Vida: a ciência da biologia" (Figura 37).

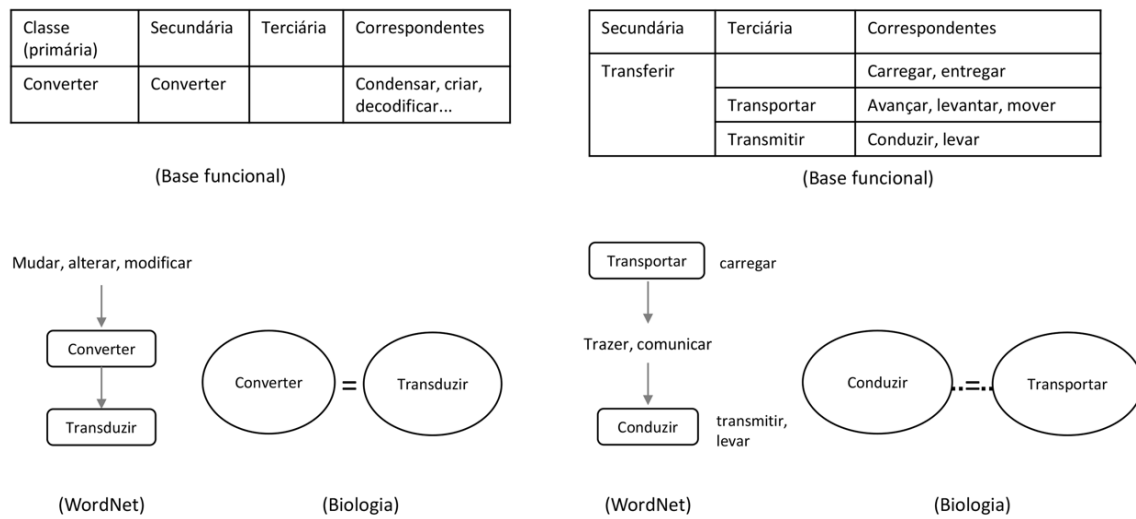
Trabalhos futuros, de aprimoramento do sistema, podem conduzir à busca por analogias em múltiplos níveis de organização, bem como ao uso de fontes mais abrangentes de fenômenos biológicos. Outro ponto que reduz a eficácia do método é o escasso conhecimento dos designers sobre o campo da biologia, o que limita a geração de analogias relevantes para o projeto de produto.

Figura 36: Fluxo do recurso para identificação de palavras chaves via wordnet



Fonte: Adaptado de Shu *et al.* (2011)

Figura 37: Método de identificação de palavras chave biologicamente significativas que correspondem a palavras-chave de engenharia



Fonte: (CHEONG et al., 2008)

4.3.5 BioTRIZ (Vincent)

O autor Julian Vincent e sua equipe de pesquisa, na universidade de Bath, Reino Unido, desenvolveu o BioTRIZ (VINCENT et al., 2006), adaptação do sistema russo de soluções de problemas de engenharia (TRIZ) para o domínio da biomimética. Os artigos investigados estão listados na tabela abaixo Quadro 14:

Quadro 14: Artigos selecionados dos autores Vincent et al.

	ARTIGOS SELECIONADOS	AUTORES	ANO	CATEG.
OUTROS	Putting Biology into TRIZ: A Database of Biological Effects	Vincent	2005	ÓTIMO
OUTROS	Biomimetics: its practice and theory	Julian F. V. Vincent, Olga A. Bogatyreva, Nikolaj R. Bogatyrev, Adrian Bowyer and Anja-Karina Pahl	2006	ÓTIMO
OUTROS	Systematic technology transfer from Biology to Engineering	Julian F.V. Vincent and Darrell L. Mann	2002	ÓTIMO
OUTROS	TRIZ Evolution Trends in Biological and Technological Design Strategies	N. R. Bogatyrev, O. A. Bogatyreva	2009	ÓTIMO

Fonte: a autora

BioTRIZ é uma ferramenta para solução de problemas que emprega os princípios inventivos da biologia, promovendo a tradução e integração entre os sistemas naturais e a tecnologia (BOGATYREV; BOGATYREVA, 2009). Com o objetivo de adaptar a estrutura da TRIZ para a biomimética, foi necessário disponibilizar informações biológicas dentro da estrutura da TRIZ, catalogando e classificando os efeitos das ações e mecanismos de funcionamento dos sistemas naturais (VINCENT et al., 2006):

- Encontrar padrões na solução de problemas na tecnologia (o sistema TRIZ original);
- Encontrar padrões na solução de problemas em biologia (desenvolvimento de um sistema modificado, BioTRIZ);
- Tornar esses padrões compatíveis dentro de uma nova TRIZ biomimética geral.

Segundo os autores Bogatyrev e Bogatyreva (2009), em todo problema há um conflito conceitual ou funcional do tipo: *"Deve ser mais forte, mas não pode ser mais pesado"* ou *"Deve ser à prova d'água, porém ao mesmo tempo poroso"*. Portanto, foi possível aproveitar a estrutura de matriz de contradições da TRIZ, adaptando-a para incorporar dados biológicos e o pensamento biomimético. Inicialmente, foram projetadas matrizes de contradições auxiliares, para estruturas e ambientes biológicos e para causas e limites de ações. Isso permite dividir as informações naturais em partes e responder aos componentes primários da TRIZ de "função", "efeito" e "conflito". A Matriz elaborada é, portanto, de cinco dimensões e leva em conta os seguintes aspectos (VINCENT *et al.*, 2005):

- Um objeto e suas partes;
- O objetivo final da ação;
- O ambiente em que o objeto opera;
- Os limites e causas da ação;
- Os recursos e sistemas auxiliares envolvidos.

Foram analisados aproximadamente 500 fenômenos biológicos, respondendo a mais de 270 funções, pelo menos três vezes cada, em diferentes níveis de hierarquia. O estudo totalizou em cerca de 2.500 conflitos e suas resoluções em biologia, classificadas por níveis de complexidade. Para processar essa grande quantidade de informações, foi estabelecida uma estrutura lógica orientada por seis campos de operação: *"as coisas (substância, estrutura) fazem as coisas (requer energia, informação) em algum lugar (espaço, tempo)"*. Esses seis campos operacionais reorganizam a classificação da TRIZ, tanto dos recursos usados para gerar as declarações de conflitos, quanto dos princípios inventivos (BOGATYREV; BOGATYREVA, 2009):

- Substância: adicionar, remover ou mudar as propriedades de um material (Parâmetros de engenharia: 1, 2, 23, 26);
- Estrutura: adicionar, remover ou reagrupar as partes de uma estrutura (Parâmetros de engenharia: 13, 29, 32, 36);
- Energia: mudar a fonte ou o campo de energia (Parâmetros de engenharia: 10, 11, 14, 17, 18, 19, 20, 21, 22);
- Informação: mudar as interações ou regulagens de um sistema ou de seus elementos (Parâmetros de engenharia: 24, 27, 28, 30, 31, 33, 34, 35, 37, 38);
- Espaço: mudar a posição e/ou a forma do sistema ou de suas partes (Parâmetros de engenharia: 3, 4, 5, 6, 7, 8, 12);
- Tempo: mudar a velocidade de um processo ou a ordem das ações (Parâmetros de engenharia: 9, 15, 16, 35, 39).

Os Quadro 15 e Quadro 16, a seguir, apresentam, respectivamente, os 39 parâmetros de engenharia (PE) e os 40 princípios inventivos (PI), que compõem o método da TRIZ (ALTSCHULLER, 2007):

Quadro 15: Lista dos Parâmetros de Engenharia (PE) da TRIZ

1	Peso do objeto móvel	21	Potência
2	Peso do objeto estacionário	22	Perda de energia
3	Comprimento do objeto móvel	23	Perda de substância
4	Comprimento do objeto estacionário	24	Perda de informação
5	Área do objeto móvel	25	Perda de tempo
6	Área do objeto estacionário	26	Quantidade de substância
7	Volume do objeto móvel	27	Confiabilidade
8	Volume do objeto estacionário	28	Precisão de medição
9	Velocidade	29	Precisão de fabricação
10	Força	30	Fatores prejudiciais atuando sobre o objeto
11	Tensão / Pressão	31	Fatores prejudiciais realizados pelo objeto
12	Forma	32	Manufaturabilidade
13	Estabilidade de compressão	33	Conveniência de uso
14	Resistência	34	Mantenabilidade
15	Tempo de ação do objeto em movimento	35	Adaptabilidade
16	Tempo de ação do objeto estacionário	36	Complexidade do objeto
17	Temperatura	37	Complexidade de controle
18	Brilho	38	Nível de automação
19	Energia gasta por um objeto em movimento	39	Capacidade / Produtividade
20	Energia gasta por um objeto estacionário		

Fonte: Adaptado de Altschuller (2007)

Quadro 16: Lista dos Princípios Inventivos (PI) da TRIZ

1	Segmentação	21	Aceleração
2	Extração	22	Converter prejuízo em benefício
3	qualidade localizada	23	Retroalimentação
4	Assimetria	24	Mediação
5	Consolidação	25	Auto serviço
6	Universalidade	26	Cópia
7	Aninhamento	27	Descarte
8	Contrapeso	28	Substituição de sistemas mecânicos
9	Compensação prévia	29	Construção pneumática ou hidráulica
10	Ação prévia	30	Filmes flexíveis de membranas finas
11	Amortecimento prévio	31	Materiais porosos
12	Equipotencialidade	32	Mudança de cor
13	Inversão	33	Homogenização
14	Recurvação	34	Rejeição e regeneração de partes
15	Dinamicidade	35	Transformar propriedades
16	Ação parcial ou extensiva	36	Mudança de fase
17	Transição para nova dimensão	37	Expansão térmica
18	Vibração mecânica	38	Oxidação acelerada
19	Ação periódica	39	Ambientes inertes
20	Continuidade da ação útil	40	Materiais compostos

Fonte: Adaptado de Altschuller (2007)

Considerando que os parâmetros de engenharia se agrupam nas 6 categorias fundamentais da BioTRIZ (substância, estrutura, energia, informação, espaço e tempo), como explicado anteriormente, os 40 princípios inventivos são distribuídos na matriz do Quadro 17 (CUNHA, 2015).

Quadro 17: Matriz de contradições BioTRIZ

CAMPOS DE OPERAÇÃO A SEREM MELHORADOS	CAMPOS DE OPERAÇÃO CAUSADORES DE PROBLEMAS					
	SUBSTÂNCIA	ESTRUTURA	TEMPO	ESPAÇO	ENERGIA	INFORMAÇÃO
SUBSTÂNCIA	13,15,17, 20, 31, 40	1, 2, 3, 15, 24, 26	15, 19, 27, 29, 30	1, 5, 13, 15, 31	3, 6, 9, 25, 31, 35	3, 25, 26
ESTRUTURA	1, 10, 15, 19	1, 15, 19, 24, 34	1, 2, 4	10	1, 2, 4	1, 3, 4, 15, 19, 24, 25, 35
TEMPO	1, 3, 15, 20, 25, 38	1, 2, 3, 4, 6, 15, 17, 19	2, 3, 11, 20, 26	1, 2, 3, 4, 7, 38	3, 9, 15, 20, 22, 25	1, 2, 3, 10, 19, 23
ESPAÇO	3, 14, 15, 25	2, 3, 4, 5, 10, 15, 19	1, 19, 29	4, 5, 14, 17, 36	1, 3, 4, 15, 19	3, 15, 21, 24
ENERGIA	1, 3, 13, 14, 17, 25, 31	1, 3, 5, 6, 25, 35, 36, 40	3, 10, 23, 25, 35	1, 3, 4, 15, 25	3, 5, 9, 22, 25, 32, 37	1, 3, 4, 15, 16, 25
INFORMAÇÃO	1, 6, 22	1, 3, 6, 18, 22, 24, 32, 34, 40	2, 3, 9, 17, 22	3, 20, 22, 25, 33	1, 3, 6, 22, 32	3, 10, 16, 23, 25

Fonte: Adaptado de Vincent et al. (2006)

Os autores mencionam que os seis campos de operação reorganizam e condensam a matriz de contradições original de 39x39 em uma versão 6x6. Essa nova matriz BioTRIZ reflete melhor a rota biológica para a resolução de conflitos (VINCENT *et al.*, 2006).

Para utilizar a ferramenta, há que completar os campos descritos abaixo. Quanto mais campos forem preenchidos, mais específicos serão os resultados. Deixar o formulário completamente em branco retorna todos os registros na base de dados. Como exemplo de aplicação, o resultado de uma pesquisa por "fatores de crescimento de células" é demonstrado a seguir (VINCENT *et al.*, 2005):

- Nome do autor: "Adrian Bowyer";
- Descrição da entidade: Peixe teleóste (ação das barbatanas e cauda no controle do movimento);
- Pelo menos uma referência: R. McNeill Alexander Locomoção de animais, Blackie, Glasgow;
- A função da entidade: Mover, Locomoção;
- Nível de organização da entidade (molécula, organela, célula, tecido, órgão, sistema de órgãos, indivíduo, organização social): indivíduo;
- Meio em que a entidade desempenha essa função: água (líquido).

A sequência para resolução de problemas é a seguinte (VINCENT *et al.*, 2006):

- Definir o problema da maneira mais geral, porém precisa. É essencial evitar direções específicas de pensamento ou solução prematura do problema. Deve-se também evitar uma terminologia especial, porque inevitavelmente confina o espaço de pensamento à esfera existente. Em seguida, listar as propriedades e funções desejáveis e indesejáveis;
- Analisar e compreender o problema e assim descobrir os principais conflitos ou contradições. Os conflitos técnicos são então identificados na matriz TRIZ e listados. Encontrar a analogia funcional na biologia ou ir para a matriz de conflito biológico;
- Comparar as soluções recomendadas pela biologia e TRIZ. Encontrar as soluções comuns para campos biológicos e de engenharia. Listar os princípios técnicos e biológicos assim recomendados;
- Com base nessas soluções comuns, construir uma ponte entre o projeto natural e o técnico. Para tornar os sistemas técnicos e biológicos compatíveis, fazer uma lista de suas composições gerais recomendadas;

- Para criar uma tecnologia completamente nova, adicionar aos princípios básicos da TRIZ alguns elementos técnicos puros ou biológicos puros.

O autor Ronnie da Cunha (2015) realizou, em sua dissertação de mestrado, a verificação da adequabilidade do método BioTRIZ na aplicação da biomimética, através de testes com diferentes equipes de projeto. O Quadro 18 ilustra o formulário preenchido por uma das equipes, a qual seguiu o método conforme recomendado.

Quadro 18: Formulário preenchido conforme método recomendado

CICLO	PROBLEMA	PROPR. E FUNÇÕES DESEJÁVEIS	PROPR. E FUNÇÕES NÃO DESEJÁVEIS	CONFLITOS	PARÂMETROS EM CONFLITO	COs	PIs	PIs UTILIZADOS
1	DINÂMICO	PORTÁTIL	GRANDE E PESADO	VOLUME X PESO	8 – VOL. DO OBJETO EM MOVIMENTO X 1 – PESO DO OBJETO EM MOVIMENTO	ESPAÇO X SUBSTÂNCIA	3, 14, 15, 25	15
2	ESTÁTICO	REPOUSO	PESADO	ESTÁVEL X PESO	13 – ESTABILIDADE DA COMPOSIÇÃO X PESO DO OBJETO PARADO	ESTRUTURA X SUBSTÂNCIA	1, 10, 15, 19	15
3	DINÂMICO	PORTÁTIL	RIGIDEZ	FLEXÍVEL X RÍGIDO	35 – ADAPTABILIDADE/ VERSÁTILIDADE X 14 – RESISTÊNCIA	INFORMAÇÃO X ENERGIA	1, 3, 6, 22, 32	1
4	DESLIZA SEM DIFICULDADES OU INTERRUPTÕES	DOBRÁVEL	FORÇA EXTERNA	DOBRÁVEL X RESISTÊNCIA	10 – FORÇA X 14 – RESISTÊNCIA	ENERGIA X ENERGIA	3, 5, 9, 22, 25, 32, 37	5, 32
5	ADAPTÁVEL; QUE SE COMPORTE DENTRO DO AMBIENTE DESEJADO	COMPACTO	VOLUME	FORMA X VOLUME	12 – FORMA X 7 – VOLUME DO OBJETO PARADO	ESPAÇO X ESPAÇO	4, 5, 14, 17, 36	14, 17

Fonte: Cunha (2015)

A BioTRIZ é um método que sugere soluções para características conflitantes e desafiadoras, o que significa um grande potencial de qualificação no processo de projeto. No entanto, para sua efetiva aplicação, é necessária a racionalização do problema, juntamente com a habilidade de transitar entre abstrações de conceitos específicos e genéricos e conseguir sintetizar criativamente os princípios indicados pelo método (CUNHA, 2015). A interface da ferramenta, e sua interação com o usuário, não é amigável e expressa complexidade. Os próprios autores dizem que o

sistema foi planejado para ser funcional, mas não foi pensado em termos estéticos (VINCENT *et al.*, 2005).

4.3.6 Ask Nature (Benyus)

Segundo Shu *et al.* (2011), Janine Benyus popularizou a noção de que os seres humanos podem buscar nos fenômenos biológicos soluções para projetar produtos e processos sustentáveis. Ela fundou o Instituto Biomimcry, um centro de pesquisas biomiméticas que mantém o desenvolvimento de um banco de dados on-line de soluções da natureza, disponível em www.asknature.org.

O AskNature é um banco de dados gratuito e publicamente disponível de informações e resumos biológicos. A maioria das informações são extraídas de periódicos científicos. Biólogos treinados são responsáveis por gerar praticamente todas as páginas de informações da plataforma (Figura 38). O fato de serem informações fornecidas de forma gratuita para o público tornou o AskNature uma ferramenta muito mais usada do que outras que são acessíveis apenas para usuários selecionados (DELDIN; SCHUKNECHT, 2014).

Para organizar as informações biológicas, foi criado um sistema de classificação chamado de taxonomia biomimética (

Figura 39) elaborado a partir de funções. A função é uma importante via de interpretação das informações biológicas, além de servir como ponte de ligação entre o domínio da engenharia e do design. Identificar uma função pode ser um componente chave para abordar o design biomimético (HELMS; VATTAM; GOEL, 2009; VATTAM; GOEL, 2011).

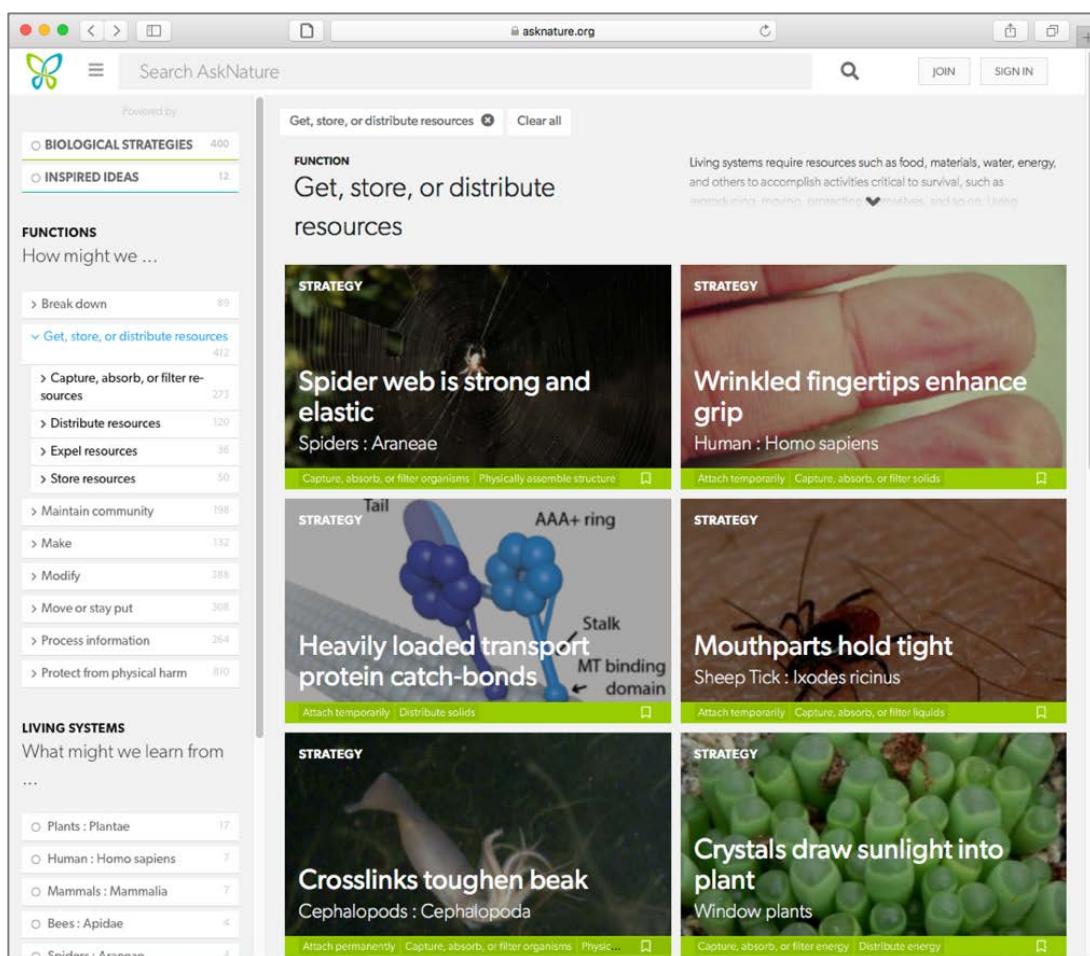
A taxonomia se estrutura através de três níveis de categorias: "Grupo" (8 grupos), "Subgrupo" (30 subgrupos) e "Função" (162 funções). Em seguida, as "Estratégias individuais" representam o próximo nível dentro da hierarquia, o mais detalhado.

- Grupo (manter integridade física)
- Subgrupo (Proteger de fatores bióticos)
- Função (proteger de animais)
- Estratégia (protuberâncias em nano escala)

O AskNature consiste em vários componentes: páginas de estratégias biológicas, estudos de caso de produtos biomiméticos, um mecanismo de busca e uma rede social. Atualmente, a plataforma conta com aproximadamente 1700 estratégias biológicas, soluções de determinados organismos ou ecossistemas que atendem a desafios funcionais. Toda estratégia consiste em:

- Título cuidadosamente elaborado;
- Frase curta explicando a essência da estratégia biológica;
- Lugar da estratégia dentro da taxonomia biomimética;
- Resumo científico;
- Ideias de aplicações biomiméticas e/ou links para páginas de produtos biomiméticos;
- Links para referências científicas por meio do Google Acadêmico ou Scirus;
- Fotografias e/ou ilustrações de como a estratégia funciona;
- Informação básica da história natural;
- Links para vídeos que contextualizam determinada estratégia;
- Links para especialistas e/ou laboratórios científicos.

Figura 38: Interface plataforma Asknature com indicação filtros busca



Fonte: www.asknature.org

Segundo Deldin e Schuknecht (2014), o nível de abstração depende da combinação da perspectiva do pesquisador biólogo original, da interpretação da equipe do AskNature, do nível de detalhamento científico conhecido e da estrutura do banco de dados. A pesquisa na plataforma AskNature pode ser feita através de dois caminhos: por um mecanismo de busca tradicional, que é mais utilizado, ou pelo navegador da taxonomia.

A metodologia Biomimética proposta pela equipe do *Biomimicry institute* se baseia na *Espiral do Design Biomimético*. O *Biomimicry Design Spiral* é uma ferramenta visual que descreve as seis etapas mais importantes que uma equipe de design deve seguir ao buscar soluções biomiméticas (Figura 40). Cada uma das etapas segue descrita a seguir:

1. **DEFINIR O DESAFIO:** O objetivo desta etapa é compreender o que seu artefato precisa fazer, para quem e em que contexto. Assim que houver uma boa compreensão das questões envolvidas, é necessário selecionar um desafio específico para focar.
2. **BIOLOGIZAR:** Analisar as funções essenciais e o contexto em que se insere a solução de projeto. Renomeá-las em termos biológicos, para que você possa “pedir conselhos à natureza”, como por exemplo:
 - a) Pergunta de design: Como podemos manter os edifícios bem arejados no verão?
 - b) Pergunta biologizada: Como a natureza regula a temperatura em climas quentes?
 - c) Pergunta de design: Como podemos reduzir o escoamento de águas pluviais e inundações nas cidades?
 - d) Pergunta biologizada: Como a natureza gerencia o excesso de água?
3. **DESCOBRIR:** Procurar por modelos naturais (organismos e ecossistemas) que abordam as mesmas funções e contexto da solução de projeto. Esta etapa se concentra na pesquisa e coleta de informações, identificando as estratégias utilizadas que suportam a sobrevivência e sucesso dos organismos. Observar diversas espécies, ecossistemas e escalas para aprender como a natureza se adapta às funções e contextos relevantes para o seu desafio. Nesta etapa, pode ser consultada a plataforma Asknature.
4. **ABSTRAIR:** Estudar cuidadosamente os recursos ou mecanismos essenciais que tornam as estratégias biológicas bem-sucedidas. Utilizar uma linguagem simples para escrever como os recursos funcionam, sem depender de termos biológicos.
5. **IMITAR AS LIÇÕES DA NATUREZA:** Procurar por padrões e relações entre as

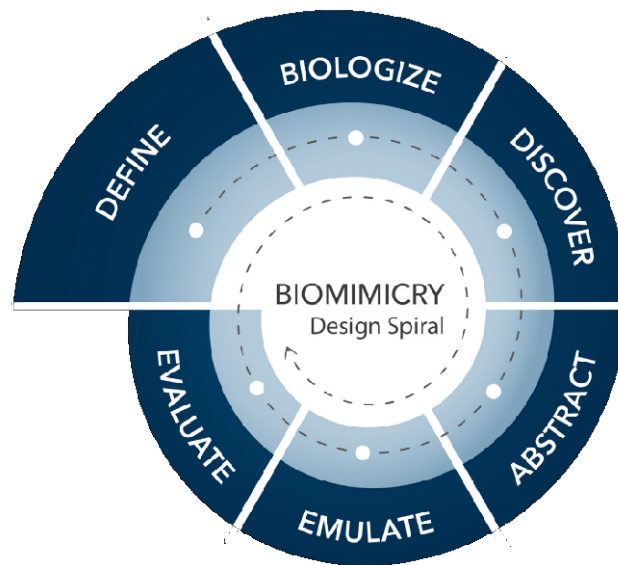
estratégias encontradas e aprimorar as principais lições que devem informar sua solução. Desenvolver conceitos de projeto baseados nessas estratégias.

6. **AVALIAR FORMA E FUNÇÃO:** Avaliar os conceitos de projeto sob a perspectiva do quanto respondem aos critérios e restrições do desafio de projeto, considerando a viabilidade técnica e o modelo de negócio. Refinar as etapas anteriores, conforme necessário, para produzir uma solução viável.

Segundo pesquisa realizada entre alunos, os autores Arlitt *et al.* (2012) observaram que o AskNature foi identificado como um dos métodos bio-inspirados mais fáceis de usar e mais úteis para a geração de conceitos de design. Isto foi, em parte, devido à grande quantidade de informações fornecidas no banco de dados. Por outro lado, a maioria dos estudantes afirmou que o AskNature precisava de informações mais detalhadas. Em comparação com o DANE, o AskNature tem entradas curtas, com informações limitadas, o que facilita encontrar inspirações biológicas potenciais, mas dificulta o desenvolvimento de novos conceitos de projeto.

Apesar de ser intuitivo, de fácil acesso e manuseio, o método Asknature possui alguns pontos fracos. Dentre eles, se encontra um banco de dados limitado, que restringe as possibilidades de soluções para os problemas de projeto. Outro ponto negativo relevante é um mecanismo de busca bastante vago, através do qual será improvável que o visitante inclua um termo exatamente como está descrito nas estratégias. Isso gera frustração e o visitante pode desistir da busca. O ideal seria ter um campo com sugestões pré-definidas, ou então uma lista de sinônimos. Além disso, o nível de detalhamento das soluções biológicas é muito baixo e simplificado. A plataforma também não permite a interferência dos usuários com inclusão de novos sistemas biológicos, o que poderia enriquecer o banco de dados (CHAKRABARTI *et al.*, 2017).

Figura 40: Etapas da metodologia biomimética (Biomimicry Institute)



Fonte: toolbox.biomimicry.org

4.4 FASE DE SÍNTESE DOS ESTUDOS

Após concluída a etapa de análise dos métodos e ferramentas bio-inspiradas existentes, é possível obter um panorama geral. O AskNature (DELDIN; SCHUKNECHT, 2014) fornece acesso interativo a uma biblioteca digital de estratégias de projeto indexadas através de funções (<https://asknature.org>), enquanto os sistemas IDEA-Inspire (CHAKRABARTI *et al.*, 2005) e DANE (GOEL *et al.*, 2012) fornecem acesso às bibliotecas digitais de sistemas biológicos (<http://dilab.cc.gatech.edu/dane/>). Shu (2010), por sua vez, descreve uma técnica de Linguagem-natural para acessar artigos de biologia relevantes para um problema de projeto, através de um banco de dados. Nagel (2014) apresenta um Tesouro de mapeamento de funções para transposição entre o domínio da biologia e da engenharia. Por fim, Vattam & Goel (2013) propõem o Biologue, que é uma ferramenta interativa e colaborativa de artigos de biologia e um mecanismo de busca relevante para um problema de projeto a partir de uma base de dados.

A investigação dessas ferramentas bio-inspiradas mencionadas, realizada no capítulo anterior, permite estabelecer relações e comparativos. Desta forma, é possível mensurar as qualidades e os pontos fracos de cada sistema, os quais visam auxiliar no levantamento de requisitos de projeto para a nova ferramenta a ser elaborada. Alguns autores como (FU *et al.*, 2014), (ARLITT *et al.*, 2012), (GLIER *et al.*, 2011) e (FAYEMI *et al.*, 2015) realizaram um trabalho minucioso de avaliação e comparação das ferramentas durante o processo de aplicação em projetos, inferindo resultados

e conclusões úteis para o objetivo deste capítulo. O intuito deste capítulo é compilar as informações obtidas nas pesquisas dos autores acima citados, integrando as análises realizadas anteriormente. Desta forma, é possível chegar em conclusões sobre os critérios relevantes na avaliação de um método biomimético eficaz e quais os pontos fracos que ainda precisam ser supridos por uma nova ferramenta.

Segundo Fayemi *et al.* (2015), em síntese, a grande quantidade de métodos bio-inspirados existentes podem ser identificados a partir de apenas duas abordagens: Orientada pelo problema ou Orientada pela solução. Os métodos orientados pela solução iniciam na definição de um sistema biológico que executa uma determinada função. Neste caso, o processo está focado em abstrair o sistema biológico para que o designer possa usar o modelo funcional para inspirar um conceito de projeto de engenharia. A outra abordagem, contudo, inicia pelo problema e pressupõe que exista um comportamento/função específico que o projetista deseja cumprir. O processo, neste caso, está focado em determinar os sistemas biológicos que precisam ser considerados para inspiração. Dentre os métodos que seguem esta última abordagem (orientada pelo problema), encontram-se quatro caminhos principais (FAYEMI *et al.*, 2015):

- Método da BioTRIZ: baseado no sistema da TRIZ, de Altshuller e adaptado para atender às necessidades da biomimética. Os 40 princípios inventivos compõem uma matriz de contradições orientada pelos seis campos de operação (substância, estrutura, tempo, espaço, energia e informação)
- Método Design Spirals: enfatiza os valores e benefícios práticos do design bio-inspirado e é articulado em torno de várias ferramentas, como a taxonomia biomimética (ferramenta de transferência que permite traduzir um problema técnico em um problema biológico), Asknature (Banco de dados de fenômenos biológicos articulado em torno das funções da taxonomia biomimética) e os *Life principles* (ferramenta de busca de referências baseada em estratégias da natureza).
- Métodos baseados em palavras-chave, Linguagem-natural: objetivo de associar semanticamente algumas funções da engenharia a palavras-chave na biologia, facilmente acessível através de algoritmo de busca. Os autores Chiu e Shu incorporaram o Wordnet à ferramenta para superar a grande quantidade de correspondências irrelevantes. No entanto, esse método, mesmo com uma pesquisa semiautomática, necessita de uma filtragem manual dos resultados, o que pode ser lento e desafiador.
- Métodos baseados em Modelagem funcional: objetivo de converter o conhecimento biológico em soluções de projeto através da modelagem funcional do produto, utilizando a taxonomia da *Functional Basis*. Funções

biológicas são implementadas em um banco de dados e podem ser selecionadas como analogias aos sistemas de engenharia procurados pelos projetistas. Os bancos de dados se propõem em oferecer potenciais soluções da natureza para designers com pouca ou nenhuma formação biológica. Chakrabarti e seu grupo de pesquisa desenvolveram o IDEA-INSPIRE, um software que utiliza a estrutura SAPPhIRE para identificar diferentes níveis de abstração dos sistemas biológicos. Com semelhante abordagem, os autores Goel, Vattam, Helms, entre outros, elaboraram um sistema CAD denominado DANE. Ambas as ferramentas foram desenvolvidas em torno de bancos de dados personalizados, que dependem diretamente da adição de novas informações, que exigem tempo e esforço, pois o nível de detalhamento necessário para analisar cada sistema biológico é longo e complexo.

Segundo Vattam e Goel (2013), as pesquisas sobre métodos computacionais e ferramentas para apoiar o BID podem ser categorizadas em apenas três abordagens amplas. A primeira abordagem utiliza bibliotecas digitais de modelos funcionais de sistemas biológicos. Por exemplo, o sistema DANE, que fornece acesso a uma biblioteca digital funcionalmente indexada de modelos SBF de sistemas biológicos. A dificuldade dessa abordagem é o abastecimento do banco de dados, pois é preciso conhecimento, tempo e esforço para construir uma biblioteca desse tipo.

A segunda abordagem utiliza técnicas de mineração de texto (Modelo Linguagem-natural – Shu e Cheong), incluindo heurísticas de nível de sintaxe personalizadas e aprimoradas por tesouro de Engenharia-para-Biologia (Nagel). Essa técnica pode estar sujeita às limitações usuais da pesquisa baseada em palavras-chave e sua eficácia ainda está sendo explorada. A terceira abordagem usa indexação semântica para acessar informações biológicas. Por exemplo, o AskNature é um popular portal da Web que fornece acesso a uma biblioteca digital de artigos de biologia funcionalmente indexada (VATTAM; GOEL, 2013).

No artigo *Applying Designer Feedback to Generate Requirements for an Intuitive Biologically Inspired Design Tool*, os autores analisam e comparam a usabilidade das ferramentas biomiméticas. Segundo suas pesquisas, foram identificadas três ferramentas BID que geralmente estão disponíveis para designers para facilitar a inspiração da natureza do design. Essas ferramentas incluem DANE, AskNature e Function-Based BID (Bio-Search) (ARLITT *et al.*, 2012).

Uma quarta ferramenta também é mencionada, o IDEA-INSPIRE, que utiliza verbos, substantivos e adjetivos para definir o problema e suas restrições. A ferramenta

disponibiliza um banco de dados, através do qual o designer pode buscar informações provenientes de sistemas naturais e artificiais, a partir de uma abordagem orientada pela solução. No momento que uma solução é selecionada, o IDEA-INSPIRE envia dados escritos, diagramas, pictogramas e vídeo sobre o sistema escolhido. Porém essa ferramenta não seguiu nas análises comparativas dos autores por não estar publicamente disponível, ficando apenas as anteriormente citadas (ARLITT *et al.*, 2012).

A respeito do sistema DANE, o mesmo adota uma representação *Structure – Behavior - Function* (SBF) para catalogar sistemas biológicos, o que oferece um método útil para compreender os mecanismos complexos da natureza e auxilia o projetista a encontrar uma solução relevante ao problema técnico. A pesquisa no banco de dados pode ser realizada através de *nome*, *assunto* ou *verbo*. Já o AskNature é um site colaborativo de código aberto que convida especialistas de diversas origens para contribuir e aprender com uma biblioteca de sistemas e processos biológicos. Para encontrar uma estratégia que auxilie a resolver os problemas técnicos, os projetistas podem procurar por uma função desejada ou terminar a pergunta "Como a Natureza ...?" (ARLITT *et al.*, 2012).

O método *Function-based BID* (Bio-Search), por sua vez, inicia com uma lista de requisitos de engenharia, orientada pelo cliente e passa por um processo sistemático para desenvolver o modelo funcional, correlacionando fluxos e gerando uma cadeia de funções. A etapa seguinte do método utiliza o tesouro Engenharia-para-Biologia para converter as funções do domínio da engenharia para as funções biológicas. A ferramenta utiliza o processamento de Linguagem-natural para pesquisar em um texto/livro por frases relevantes, através de correspondências exatas de palavras-chave, de uma derivação dela ou uma correspondência parcial. A partir da pesquisa das palavras, cabe ao designer filtrar e encontrar a frase específica em que está interessado. A partir de então, o designer lê as frases selecionadas e tenta desenvolver uma analogia da natureza que pode usar para ajudar a resolver o problema em questão (ARLITT *et al.*, 2012).

Analisando a usabilidade das três ferramentas junto de um grupo de alunos de graduação e pós-graduação em engenharia, foi possível traçar importantes comparações. Ao longo de dez semanas, cada técnica BID foi formalmente apresentada aos alunos, os quais receberam problemas de projeto para os quais deveriam encontrar soluções através da aplicação das ferramentas BID estudadas (ARLITT *et al.*, 2012).

Foi possível observar que o método de pesquisa do AskNature é mais direcionado, enquanto o Bio-Search fornece apenas um campo para digitar uma *string* de pesquisa. A disponibilidade de ajuda dentro do aplicativo também mostrou uma

diferença significativa entre AskNature e Bio-Search. Na facilidade de navegação, tanto o DANE quanto o AskNature tiveram desempenho significativamente melhor que o Bio-Search, provavelmente devido à pesquisa direcionada versus interfaces de pesquisas abertas. O baixo desempenho do Bio-Search pode ter sido, em parte, devido ao número de resultados de pesquisas irrelevantes que o usuário deve analisar manualmente. Em termos de acessibilidade, o AskNature teve um desempenho significativamente melhor que o Bio-Search e o DANE. Esses dados, combinados com os comentários dos alunos, indicam fortemente que a plataforma Java usada pela Bio-Search e pelo DANE causou problemas significativos de acessibilidade. Os alunos não indicaram nenhum problema de acessibilidade com o AskNature (ARLITT *et al.*, 2012).

Segundo os autores (ARLITT *et al.*, 2012), os alunos comparam a usabilidade das três ferramentas, fazendo comentários positivos e negativos (Quadro 19). Em seguida, elencam uma série de sugestões de melhorias:

Quadro 19: Lista das vantagens e desvantagens Dane, AskNature e Bio-Search

	VANTAGENS	DESvantagens
DANE	Figuras e diagramas detalhados (modelo FBS)	Muito poucos exemplos (necessita de mais diversidade)
	Fácil de usar (busca por funções)	Falta descrição de como a função é realizada
	Disponibiliza informações detalhadas (como, o que, porque)	Obrigatoriedade de fazer download do programa
	Ajuda a compreender os diferentes níveis de detalhamento	interface lenta e longo tempo de carregamento
	Estimula a pensar "fora da caixa"	entradas incompletas
ASKNATURE	Fácil de pesquisar (busca por função, produto)	Falta detalhamento
	Muitas informações (várias entradas)	Necessita grande quantidade de tempo de pesquisa
	Disponibiliza ideais biomiméticos aplicadas	Falta descrição de como a função é realizada
	disponibiliza referências	Nem sempre conduz a uma solução
	Muitas informações do contexto biológicas	faltam ferramentas de visualização (modelos)
	Bom visual de cada tópico	Pobre pesquisa de funções
	Muitas funções	Carência de assessoria técnica
	entradas incompletas	
BIO SEARCH	Grande quantidade de informações	Resultados carecem de significado, profundidade e contexto
	Pesquisar por termos (funções)	Pobre organização dos resultados
	Grande variedade de informações	Sem diagramas
	Disponibiliza referências	Falta de amplitude (simples caixa de texto)
	ferramenta embasada na web	Sem informação sobre funcionalidade
		Não explica o sistema

Fonte: Adaptado de Arlitt *et al.* (2012)

- Base de dados mais extensa;
- Base de dados mais completa, com maior nível de detalhamento dos sistemas naturais (*how, what, why* – significado, profundidade e contextualização);

- Agilidade do aplicativo/software: evitar interfaces lentas e longos tempos de espera para carregamento;
- Fluidez e agilidade na aplicação do método, não requerendo uma grande quantidade de tempo do projetista;
- Conduzir sempre o designer para uma solução;
- Melhorar layout e interface da ferramenta;
- Facilitar sistema de busca da ferramenta (pesquisar por diferentes filtros: funções, produtos, etc.);
- Mais quantidade de fotografias, gráficos e desenhos;
- Deixar mais claro como inserir as informações para obter os resultados;
- Excesso de informação irrelevante;
- Disponibilizar exemplos e referências;
- Tornar mais fácil o manuseio e usabilidade da ferramenta;
- Estimular e facilitar o processo de abstração, para evitar fixação (pensar fora da caixa);
- Facilitar acesso à ferramenta, sem necessidade de download;
- Proporcionar instruções claras para uso da ferramenta.

A respeito dos métodos SBF, como o DANE, Chakrabarti *et al.* (2017) explicam que o sistema suporta a adição de novas soluções de projeto, no entanto não é um procedimento fácil e apresenta algumas lacunas:

- O banco de dados da ferramenta é preenchido por alunos que têm pouca ou nenhuma experiência com sistemas biológicos ou representações SBF para realizar uma decomposição eficiente do sistema, bem como tornar as descrições das soluções mais completas;
- Um modelo hierárquico não é suficiente para representar um sistema biológico altamente complicado, no qual os eventos ocorrem sequencialmente e simultaneamente, em vários níveis sistêmicos para alcançar a funcionalidade pretendida;
- O fato de ser uma ferramenta autônoma reduz o potencial de compartilhamento de soluções de projeto com outras fontes de pesquisas biomiméticas, perdendo a oportunidade de multiplicação de conhecimento;

- Com relação aos resultados do uso da ferramenta, não são específicos para atender ao problema de projeto e, portanto, comprometem a relevância; as representações não possuem o nível desejado de detalhes sistêmicos; exceto no Idea-Inspire, suporte digital como áudio, imagens e vídeos são praticamente inexistentes.

O artigo *Methods for supporting bioinspired design* (GLIER et al., 2011) apresenta um estudo de caso em que os métodos da BioTRIZ, da Modelagem funcional e da busca por palavras-chave foram ensinadas em um workshop para estudantes que se propunham a projetar um produto com métodos bio-inspirados.

A BioTRIZ foi ensinada como uma metodologia que se desenvolve em cinco etapas (GLIER et al., 2011):

1. Defina o problema de maneira geral, porém precisa. É essencial evitar direções específicas de pensamento ou solução prematura do problema. Em seguida, liste as propriedades e funções desejáveis e indesejáveis;
2. Analise e compreenda o problema e, assim, descubra os principais conflitos ou contradições. Os conflitos técnicos são então identificados na matriz TRIZ e listados. Encontre a analogia funcional na biologia ou vá para a matriz de conflitos biológicos;
3. Compare as soluções recomendadas pela biologia e TRIZ. Encontre as soluções comuns para campos biológicos e de engenharia. Liste os princípios técnicos e biológicos assim recomendados;
4. Com base nessas soluções comuns, construa uma ponte entre o projeto natural e o técnico. Para tornar os sistemas técnico e biológico compatíveis, faça uma lista de suas composições gerais recomendadas;

O método da Modelagem funcional foi ensinada em suas sete etapas (GLIER et al., 2011):

1. Identifique uma referência adequada (por exemplo, um livro de biologia) para o sistema biológico de interesse;
2. Leia a visão geral do sistema biológico para entender a funcionalidade principal do sistema;
3. Defina o problema de projeto que o modelo funcional pretende responder;
4. Defina a categoria do modelo funcional;

5. Defina a escala do modelo funcional;
6. Desenvolva um modelo funcional do sistema biológico usando a linguagem de modelagem de base funcional dentro dos limites estabelecidos pelo problema de projeto, categoria e escala biológica;
7. Verifique e/ou valide novamente o modelo funcional em relação ao problema de projeto e ao modelo de caixa preta.

O método da busca por palavras-chave está relacionado a uma ferramenta de pesquisa de Linguagem-natural. Depois de criar um modelo funcional, os termos da *Functional Basis* podem ser usados com o tesouro Engenharia-para-Biologia. Esses termos podem ser pesquisados em um mecanismo de pesquisa convencional, como o Google ou em um banco de dados mais direcionado, como o AskNature. Essa ferramenta de pesquisa pode ser útil quando usada em conjunto com a modelagem funcional. Ao vincular termos funcionais gerais com termos biológicos específicos, as ferramentas de pesquisa de palavras-chave ajudam os designers a encontrarem fontes relevantes de inspiração biológica para seu problema de projeto (GLIER et al., 2011).

As ferramentas citadas acima foram então aplicadas em um estudo de caso para avaliar sua eficácia. Com a aplicação da BioTRIZ, os estudantes, de forma geral, tiveram sucesso para gerar ideias de projeto. Seguindo o procedimento claro do método, todos os estudantes puderam encontrar princípios inventivos aplicáveis ao seu problema. As maiores dificuldades se apresentaram depois de terem encontrado os princípios inventivos, pois alguns alunos pararam e não chegaram a gerar soluções a partir deles. Os alunos comentaram que o método é simples e fácil de implementar, contudo, a originalidade nos projetos gerados está diretamente relacionada ao tempo e esforço aplicados no método. Outra vantagem do método é sua versatilidade para aplicação em diferentes disciplinas (GLIER et al., 2011).

Ao contrário da BioTRIZ, o método do Modelo funcional foi empregado corretamente por apenas um número pequeno de alunos. O maior desafio enfrentado foi criar um modelo funcional útil, pois, aparentemente, a maioria dos alunos não estava familiarizada com a modelagem funcional para projetos de engenharia. Os alunos que não compreenderam a modelagem funcional apresentaram mais dificuldade em gerar termos de pesquisa de palavras-chave biológicas, as quais produzam fontes úteis de inspiração biológica. Outro ponto relevante observado foi que os alunos sentiram falta de visualizar melhor o conceito enquanto pesquisavam e, frequentemente, terminavam com o mesmo conceito do produto original (GLIER et al., 2011).

Apesar dos muitos problemas enfrentados pelos estudantes no uso do método do modelo funcional, alguns alunos conseguiram gerar modelos funcionais úteis e eficazes a partir da analogia com as fontes biológicas. Os autores observaram que as ideias geradas a partir do método da modelagem funcional foram diferentes daquelas que utilizaram a BioTRIZ. Isso demonstra que a modelagem funcional e a BioTRIZ podem ser usadas para complementar uma à outra, em vez de escolher um método ao invés de outro (GLIER *et al.*, 2011).

A BioTRIZ pode ser compreendida como um método de design “*top-down*”, já que oferece, aos projetistas, princípios inventivos amplamente aplicáveis, a partir dos quais é possível gerar soluções específicas. Em contrapartida, o método do modelo funcional pode ser visto como “*bottom-top*”, pois a busca por palavras-chave fornece exemplos de sistemas biológicos que executam funções específicas necessárias para o projeto. Os designers devem, então, abstrair as informações de projeto do sistema biológico para encontrar um princípio de solução amplamente aplicável aos sistemas técnicos (GLIER *et al.*, 2011).

Os autores Fu, Moreno, Yang e Wood (2014) realizaram uma ampla pesquisa na literatura para examinar e comparar as ferramentas e métodos bio-inspirados, buscando informar os potenciais identificados e as lacunas que ainda precisam ser atendidas. Os métodos investigados e comparados foram:

- Biomimicry (método e taxonomia) e AskNature (ferramenta web/computacional): inclui um repositório integral e um sistema on-line conhecido como Asknature, um portal baseado em redes sociais e compartilhamento de conhecimento biológico. A taxonomia biomimicry auxilia na abstração das informações biológicas em termos de funções para aplicação nos sistemas técnicos. Porém, a maioria dos usuários pesquisam no Asknature apenas através de palavras-chave da web, em vez de empregar a taxonomia.
- IDEA-INSPIRE: utiliza um método sistemático para o raciocínio analógico em diferentes níveis de abstração, utilizando inspiração de sistemas naturais e artificiais. O software requer uma descrição direta do problema de projeto em uma das duas formas possíveis: 1. Como um trio verbo-substantivo-adjetivo/adverbo ou 2. Como decomposição do problema em subproblemas. A linguagem de descrição causal SAPPiRE corresponde aos sete constructos elementares que permitem a descrição do sistema: o estado-ação-parte-fenômeno-entrada-dispositivo-efeito foi implementado no IDEA-INSPIRE para permitir pesquisas em diversos níveis de complexidade. Os autores mencionam a necessidade de ampliar

o banco de dados para incluir mais entradas e desenvolver estratégias para pesquisas mais complexas.

- Design biomimético através de Linguagem Natural (método e ferramenta computacional): abordagem que fornece ao projetista palavras-chave úteis para realizar uma busca efetiva no conhecimento biológico disponível. Os autores propõem a combinação dos termos da *Functional Basis* com palavras-chave significativas da biologia. Os autores identificaram algumas dificuldades na utilização de seu método, que são a fixação de frases ou palavras específicas dentro das descrições biológicas e a dificuldade de transferir informações biológicas para o problema-alvo. Eles descobriram que os projetistas precisam de uma direção e estratégias mais explícitas para realizar a transferência analógica.
- Tesouro Engenharia-para-Biologia (ferramenta) e design bio-inspirado baseado em Modelo funcional (método): método que utiliza modelagem funcional e *Functional Basis*. Percebe-se como necessária a exploração de textos biológicos mais especializados que incluam informações mais específicas do que os textos gerais.
- Design by analogy to nature engine (DANE - ferramenta computacional): fornece uma estrutura de acesso a uma biblioteca de casos de projeto contendo modelos de estrutura-comportamento-função (SBF) de sistemas biológicos e de engenharia. Também permite que o designer crie modelos de novos sistemas e os insira na biblioteca. Os resultados da pesquisa são apresentados aos usuários em vários formulários multimídia.
- Método baseado na TRIZ para o design bio-inspirado: uma abordagem particular da TRIZ procura integrar a biomimética de forma sistemática, redefinindo os 39 parâmetros e a matriz de contradições em uma matriz simplificada BioTRIZ.

Uma síntese dos seis métodos abordados seguem nos Quadro 20 e Quadro 21 (FU et al., 2014). Após realizadas as comparações entre os métodos, os autores observaram alguns aspectos que impactam o uso da analogia, os quais devem ser considerados em termos cognitivos e em termos de implementação (FU et al., 2014).

Quadro 20: Síntese das ferramentas e métodos bio-inspirados (continua)

Técnica bioinspirada (método)	Representação	Elementos (características)	Processo	Literatura (fontes)
Biomimética e AskNature	Hierarquia funcional / taxonomia, categorias e estratégias para acessar inspiração biológica	Design dirigido pela função Baseado no repositório de exemplos / estratégias Requer preparação mínima para usar Código aberto	<p>Escopo Definir contexto Identificar função Integrar princípios da vida</p> <p>Descoberta Descobrir modelos naturais Abstrair estratégias biológicas</p> <p>Criação Ideias bioinspiradas por <i>brainstorming</i> Emular princípios de <i>design</i></p> <p>Medição Avaliar usando princípios da vida</p>	Deldin e Schuknecht [33] ⁶
IDEA-INSPIRE	Busca baseada em <i>software</i> e restauração dos sistemas e estratégias naturais e artificiais, fundadas sob o modelo SaPPhiRE (VNA) e/ou modelagem funcional	Requer alguma preparação e aprendizado para formular o problema de <i>design</i> nos termos do modelo SaPPhiRE (trigêmcos VNA) Permite procura por entradas ou pesquisas formais por diferentes níveis de complexidade Baseado no repositório de exemplos / estratégias Requer acesso ao <i>software</i> proprietário	<p>Familiarização Procurar base de dados de sistemas naturais e artificiais Desenvolver familiaridade e intuição para o material</p> <p>Formulação Formular / definir o problema de <i>design</i> no formato trigêmcos verbo-substantivo-adjetivo</p> <p>Formação Prover formação para assistir o <i>software</i> (opcional)</p> <p>Recuperação Receber os resultados da busca do <i>software</i></p> <p>Mapamento Resultados da busca do mapa de soluções para o problema de <i>design</i></p>	Chakrabarti et al. [13]
Design biomimético pela análise de linguagem natural	Método e ferramenta computacional para busca de textos de Biologia existentes para soluções / estratégias relevantes	Função dirigida pelo <i>design</i> Requer acesso ao <i>software</i> proprietário	<p>Seleção Selecionar as palavras-chave funcionais originais baseadas no problema de <i>design</i></p> <p>Expansão Expandir palavras-chave usando hiperônimo, sinônimo e topônimos</p> <p>Busca Textualizar sobre a vida e identificar resultados relevantes Encontrar palavras frequentes Encontrar verbos modificados por palavras frequentes</p> <p>Organização Organizar e correlacionar resultados da busca (verbos)</p> <p>Repetição Repetir a busca por textos sobre Vida</p>	Shu [34] Cheong et al. [17]
Thesaurus Engenharia/Biologia e <i>design</i> inspirado biologicamente pela função	Tradução da Engenharia para Biologia em nível funcional e metodologia para empregar thesaurus no processo de <i>design</i>	Técnica dirigida pela função Requer conhecimento / aprendizado / preparação ou modelagem funcional Método dirige modelagem funcional ou sistema biológico Thesaurus pode ser usado para tradução de Engenharia para Biologia ou de Biologia para Engenharia Código aberto	<p>Identificação Encontrar boas referências para o sistema biológico Verificar a funcionalidade central do sistema biológico Usar thesaurus para a relação de tradução do fluxo biológico para o fluxo engenharia</p> <p>Definição Definir a questão de pesquisa do modelo funcional do sistema biológico Definir a categoria biológica e a escala do modelo funcional</p> <p>Desenvolvimento Desenvolver o modelo funcional do sistema biológico usando base funcional Usar thesaurus para escolher as funções para uma representação realista do sistema</p> <p>Validação Validar o modelo funcional com um especialista em Biologia para o uso / interpretação correta dos termos em relação à questão de pesquisa, categoria e escala</p>	Nagel et al. [22] Nagel et al. [23] Nagel e Stone [24] Nagel et al. [25]

Fonte: Adaptado de FU et al. (2014)

Quadro 21: Síntese das ferramentas e métodos bio-inspirados (continuação)

Técnica bioinspirada (método)	Representação	Elementos (características)	Processo	Literatura (fontes)
DANE	Base de dados para buscas e autoria <i>Cases</i> e modelos de <i>design</i> SBF	<i>Design</i> dirigido SBF Requer conhecimento / aprendizado / preparação da modelagem SBF Baseado no repositório de <i>cases</i> / modelos Requer acesso ao <i>software</i> proprietário	<p>Representação: Representar o problema-alvo do <i>design</i> através de um modelo SBF</p> <p>Recuperação: Buscar e recuperar um sistema de <i>cases</i> adaptável biológica ou ensinhardtamente da livraria de modelos DANE SBF</p> <p>Modificação: Modificar / adaptar o conhecimento de <i>design</i> de <i>cases</i> recuperados</p> <p>Geração: Gerar base de soluções através de novos conhecimentos de <i>design</i></p>	Varram et al. [27]
BioTRIZ (e BEAST)	Solução de estratégia de busca através de TRIZ baseada em Biologia	<i>Design</i> dirigido por conflito / contradição Requer conhecimento / aprendizado / preparação das contradições / conflitos e matrizes TRIZ Código aberto com suporte de <i>software</i> proprietário disponível	<p>Definição: Definir genericamente o problema de <i>design</i> Evitar coerções ou jargões altamente dependentes</p> <p>Análise: Análise / clarificação do problema Identificar conflitos / contradições Usar contradições da matriz TRIZ e identificar analogias funcionais da Biologia</p> <p>Comparação: Comparar Biologia e soluções TRIZ Encontrar soluções comuns para os campos da Biologia e Engenharia</p> <p>Vinculação: Vincular analogias biológicas ao <i>design</i> técnico para criar sistemas compatíveis</p> <p>Desenvolvimento: Desenvolver nova tecnologia através da aplicação dos princípios da TRIZ com técnica para as aplicações biológicas-puras</p>	Vincent e Mann [30] Craig et al. [28] Bogatyrev e Bogatyreva [31] Nix et al. [29]

Fonte: Adaptado de FU et al. (2014)

Fatores cognitivos:

- **Fixação**: aderência cega a um conjunto de conceitos que limitam a abstração e aplicação de uma solução em diferentes domínios;
- **Memória**: a capacidade mental para recuperar informações ou conhecimentos previamente aprendidos;
- **Incubação**: período de maturação do problema até que surja o *insight* da solução;
- **Processo de raciocínio analógico**: as etapas cognitivas e as características que os projetistas empregam quando trabalham para encontrar/recuperar, traduzir/abstrair/transferir e avaliar informações/conhecimentos que estão sendo mapeados de um aplicativo de origem para um aplicativo de destino;

- Modalidade de representação: a forma que um exemplo ou estímulo pode assumir, correspondendo à variedade de percepções sensoriais que podem estar envolvidas no seu processamento;
- Distância analógica: distância conceitual entre a fonte e o alvo da analogia;
- Frequência da analogia: Com que frequência as analogias são encontradas em ambientes de design, ou o quanto os designers estão familiarizados com uma analogia, suas características e seus atributos;
- Experiência: o nível de experiência, treinamento e conhecimento que o projetista possui em relação a um campo, a uma prática ou a uma ferramenta em particular.

Fatores de implementação:

- Acessibilidade: o quanto disponível a ferramenta/método está para a comunidade acadêmica ou para o público em geral, para uso na prática de design, educação ou pesquisa;
- Abordagem baseada no problema: O problema de projeto e as representações associadas servem como ponto de partida para o uso de um método/ferramenta;
- Abordagem baseada na solução: Os fenômenos biológicos servem como ponto de partida para o uso de um método/ferramenta;
- Automatização computacional: O quanto o processo está automatizado ou, ao contrário, o quanto exige de envolvimento e esforço humano para alcançar um resultado;
- Educação: O processo estruturado pelo qual ocorre a aprendizagem de conhecimento, habilidades e compreensão.

O Quadro 22 sintetiza a investigação, por parte dos pesquisadores Fu et al. (2014), a respeito do estado da arte dos métodos e ferramentas biomiméticas, indicando o estágio de desenvolvimento de fatores cognitivos e de implementação. O gráfico indica o quanto cada um dos fatores (cognitivos ou de implementação) é bem abordado em cada método ou o quanto ainda há lacunas e oportunidades de aprimoramento.

Quadro 22: Fatores de análise e comparação entre os métodos bio-inspirados

Método de Design Biologicamente Inspirado / Ferramenta	Fatores Cognitivos								Fatores Implementativos				
	Fixação	Incubação	Modalidade de Representação	Frequência	Distância	Memória	Expertise	Processos Analógicos Racionais	Acessibilidade	Síntese de Automação / Computacional	Aproximação baseada em solução	Aproximação baseada em problema	Memória
Ask Nature / Taxonomia Biomimética	●	●	●	●	●	●	●	●	●	○	●	●	○
IDEA-INSPIRE	●	●	●	●	●	●	●	●	●	○	●	●	○
Aproximação à Biomimética por linguagem natural	●	●	●	●	●	●	●	●	●	○	●	●	●
Thesaurus de Engenharia Biologia	●	●	●	●	●	○	●	●	●	●	●	●	●
DANE	●	●	○	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
BioTRIZ	●	●	●	●	○	●	●	●	●	●	●	●	●

Legenda

● Bem Abordada ● Recentemente Abordada ○ Oportunidade de abordar

Fonte: Adaptado de FU et al. (2014)

Todos os métodos analisados demonstram dificuldades em abordar o fator Memória. As questões abaixo trazem sugestões para auxiliar no desenvolvimento desse fator dentro dos métodos e ferramentas bio-inspirados (FU et al., 2014):

- Todos possuem algum tipo de experiência acumulada com a biologia ao longo da vida - como é possível envolver a memória e as experiências de designers para combinar com fenômenos biológicos?
- Como a memória de longo prazo (experiência anterior com conhecimento biológico) afeta a capacidade do projetista de transferir fenômenos biológicos para projetar aplicações no design?
- Quais são as maneiras pelas quais podem ser codificadas e categorizadas as informações biológicas na memória do designer para aumentar as chances da transferência analógica?
- Como os estilos de aprendizado (visual, auditivo, etc.) afetam a capacidade de abstrair e transferir informações biológicas para um novo domínio?
- As técnicas de transformação para mapeamento de informação biológica auxiliam na transferência analógica?
- Embora muitos dos métodos de design bio-inspirado incluam representações e interpretações funcionais, as analogias biológicas poderiam ser representadas em termos de representações de sistemas de

serviços, de produtos e fenômenos físicos ou princípios físicos de dispositivos, sistemas ou processos existentes?

A incubação também não é um fator tratado explicitamente nos métodos analisados. No entanto, a incubação direcionada e sistematizada poderia ser desenvolvida a partir das seguintes perguntas (FU *et al.*, 2014):

- Em que momento do processo de projeto conceitual as ferramentas bio-inspiradas devem ser usadas para alcançar a maior taxa de sucesso com o raciocínio analógico?
- Deve haver um treinamento do método específico ou sobre como realizar a transferência de informações biológicas para o design?
- Quais são os estágios-chave dos métodos e processos de bio-inspiração para criar tempo de reflexão e tempo para separar os projetistas do problema que está sendo resolvido? Qual a duração desses períodos de incubação? Devem ser introduzidas distrações ou outras atividades para minimizar o nível de estresse intrínseco ao processo de solução de problemas?

Muitas ferramentas requerem familiaridade ou mesmo especialização com estruturas particulares, por exemplo, a ontologia SBF, modelagens funcionais, matrizes TRIZ, ou simplesmente a abstração de um problema de projeto. A experiência de usar os métodos DANE e BioTRIZ exigiram familiaridade com modelos de pensamento relativamente complexos, o que dificultou o uso por parte dos designers que não tinham prática nem conhecimento prévio dos métodos. Uma vez dominadas, no entanto, essas ferramentas são perspicazes e úteis para a solução de problemas. O tesouro Engenharia-para-Biologia exige também algum conhecimento para saber onde e como usar as funcionalidades biológicas, uma vez traduzidas do domínio da engenharia. O AskNature, o IDEA-INSPIRE e a abordagem de Linguagem-natural para o design biomimético exigem pouca experiência prévia para aprender e usar a ferramenta.

Em geral, a maioria dos métodos não leva em consideração o nível de intimidade e experiência do projetista com o método, o que pode ser um aspecto importante a ser explorado pelas novas ferramentas biomiméticas (FU *et al.*, 2014):

- Que tipos de treinamento estão sendo empregados para ajudar os designers a entender o funcionamento da ferramenta? O que é mais eficaz e quanto tempo leva para aprender e manejar determinados métodos e

ferramentas? Como aproveitar os efeitos da interface de uma ferramenta para facilitar o desafio de transferir as informações biológicas para os sistemas técnicos?

- De que maneiras se pode tornar os métodos e ferramentas mais dinâmicos e adaptáveis em relação ao nível de experiência do designer, tanto com a prática de projeto quanto com o domínio da biologia? Pode ser construído um ambiente que se desenvolve em complexidade, em harmonia com o crescente nível de especialização/experiência do designer?
- Como os métodos bio-inspirados podem ser desenvolvidos para se adaptarem à experiência dos designers, ou serem adaptados pelos designers para suas metodologias de projeto preferidas?
- Como os métodos bio-inspirados devem ser implantados entre as organizações de design e do setor, especialmente com relação a diferentes faixas de especialidade, conjuntos de habilidades e históricos educacionais?
- Quais fatores de psicologia social e questões de interface entre psicologia social e engenharia devem ser identificados e estudados para implantar, efetivamente, métodos bio-inspirados?
- Que tipos de estratégias são mais intuitivas para um aprendiz iniciar o uso do método/ferramenta? Quais modalidades de representação de exemplos e estímulos analógicos estão mais abertas ou mais propensas a se fixar?

O fator fixação pode ser melhor explorado pelos métodos bio-inspirados. Quanto maior o número de exemplos oferecidos, maior a probabilidade de sucesso na transferência analógica, o que reduz significativamente a tendência à fixação. Algumas questões importantes (FU *et al.*, 2014):

- Como escolher os melhores fenômenos biológicos para preencher o repositório/taxonomia? Quais são as representações apropriadas de profundidade e granularidade para esses fenômenos?
- Qual é o melhor nível de detalhamento para análise dos estímulos biológicos, visando promover a transferência analógica e reduzir a fixação? Muitos detalhes podem obscurecer a capacidade de abstrair e transferir as informações para um novo domínio, porém a escassez de detalhes pode

levar à perda significativa de informações sobre estruturas, sistemas ou atributos, limitando as possibilidades de soluções.

- Quais processos podem ser desenvolvidos para expandir e refinar analogias biológicas, suas representações e novas descobertas? Os processos podem ser computacionalmente automatizados para capturar e traduzir fontes de informações biológicas?

A respeito do processo de raciocínio analógico e das modalidades de representação, alguns questionamentos são importantes (FU et al., 2014):

- Existem maneiras diferentes de apresentar as informações biológicas para facilitar diferentes tipos de raciocínio analógico?
- Como os métodos bio-inspirados poderiam ser aprimorados, expandidos ou integrados com abordagens de modelagem, visualização, simulação, experimentação e processos de produção?

A acessibilidade e disponibilidade de uso para os projetistas também é um dos fatores importantes para o sucesso de uma ferramenta biomimética. É um assunto difícil, pois esbarra em questões de propriedade intelectual e na controversa fronteira entre a pesquisa acadêmica e os interesses comerciais. Por exemplo, o IDEA-INSPIRE e o BEAST não puderam ser experimentados ou analisados na mesma medida que os outros métodos devido a restrições de acessibilidade (FU et al., 2014).

A automatização computacional pode facilitar os processos do design bio-inspirado, porém ainda é pouco explorada pela maioria dos métodos. Por exemplo, o tesouro de Engenharia-para-Biologia é uma ferramenta analógica altamente eficaz para orientar o designer na direção de termos biológicos relevantes para a funcionalidade procurada, mas não direciona a pesquisa de forma automatizada. No extremo oposto, ferramentas como IDEA-INSPIRE, abordagem de Linguagem-natural para design biomimético e AskNature fornecem uma interface gráfica através da qual o projetista pode inserir termos de busca e recuperar informações biológicas com mais facilidade (FU et al., 2014).

A respeito da orientação pelo problema ou pela solução, nem todos os métodos revisados neste capítulo permitem os dois tipos de abordagem. Essa facilitação integrada pode ser uma consideração para o futuro de todos os métodos bio-inspirados, pois os designers podem se beneficiar de mais flexibilidade e versatilidade no processo de projeto. A maioria dos métodos analisados são abordagens orientadas pelo problema. Os métodos orientados pela solução foram

apenas o AskNature, que permite ao projetista navegar no banco de dados de fenômenos biológicos sem um problema em mente, e o BioTRIZ, que pode fornecer meta-analogias através da navegação dos princípios do TRIZ sem problemas em mente (FU et al., 2014).

Outro fator relevante é a Educação, já que deve ser considerado o treinamento dos designers para que estejam aptos para utilizar as ferramentas, tornando o processo mais ágil e eficaz. Os resultados gerais da pesquisa realizada indicam que há ainda muitas oportunidades de curto e longo prazo a serem exploradas pelos métodos bio-inspirados, na busca por torná-los cada vez mais intuitivos e sincrônicos com a cognição humana (FU et al., 2014).

O Quadro 23 sintetiza as informações mais relevantes da análise dos métodos e ferramentas bio-inspirados, levando em consideração alguns dos fatores abordados pelos autores da revisão sistemática.

Quadro 23: Síntese dos fatores comparativos entre os métodos bio-inspirados

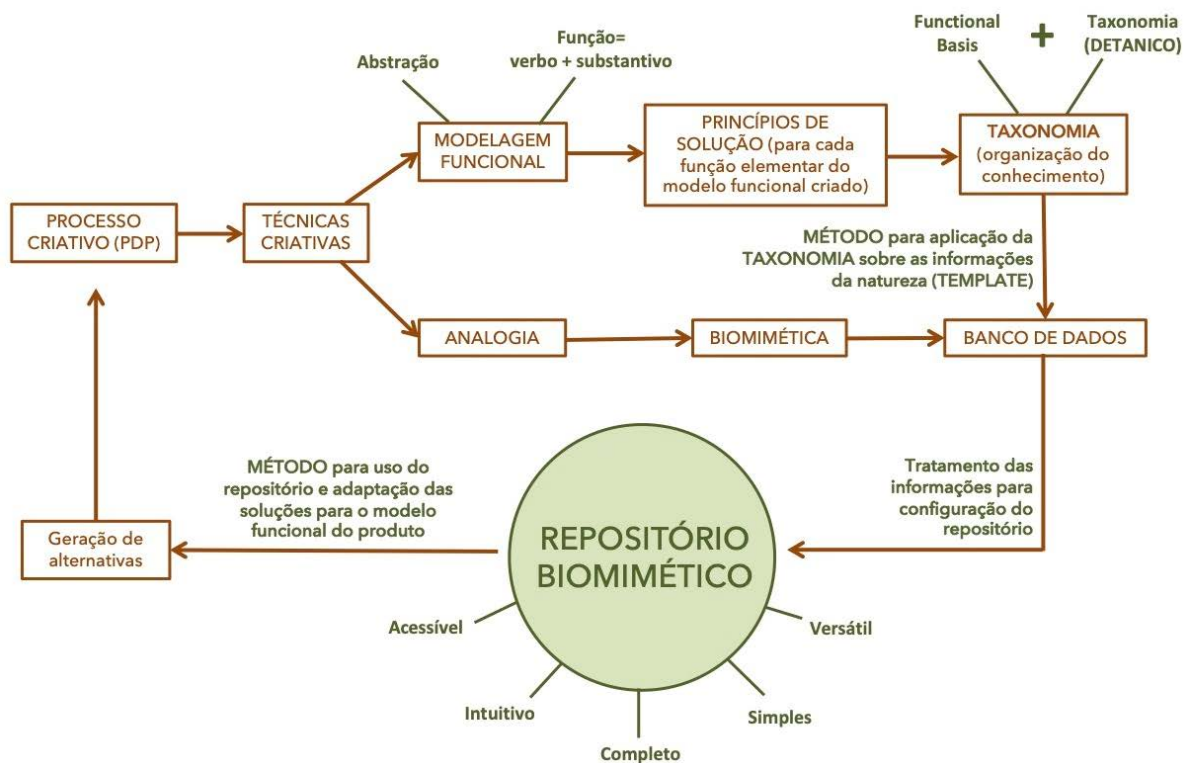
	MÉTODO	AUTORES	abordagem orientada pelo PROBLEMA ou pela SOLUÇÃO?	EXTENSÃO DO MÉTODO (quantas e etapas + sub-etapas)	ARTEFATO	ACESSIBILIDADE (livre ou restrito)	Consistência BANCO DE DADOS	USABILIDADE	OBSERVAÇÕES
1	MODELOS FUNCIONAIS	Nagel, Stone, McAdams	AMBOS	até 14 etapas	Tesouro de engenharia-para-biologia integrado à Funcional Basis	ACESSO LIVRE porém difícil, pois se encontra dentro dos artigos científicos publicados	SEM BANCO DE DADOS	Requer conhecimento / aprendizagem de modelagem funcional e uso do Tesouro	o sistema tem a vantagem de não depender de banco de dados para ser aplicado.
2	IDEA-INSPIRE	Chakrabarti	pelo PROBLEMA	8 etapas	Modelo SAPPPhIRE. (Relação SBF)	ACESSO RESTRITO	Banco de dados pequeno pois depende apenas de especialistas	Necessário treinamento para interpretar o modelo SAPPPhIRE e capacitar os projetistas a realizar as transferências biomiméticas desejadas	O banco de dados é personalizado e depende diretamente da adição de novas informações, que exigem tempo e esforço. O nível de detalhamento necessário para analisar cada sistema biológico é longo e complexo.
					Software IDEA-INSPIRE				
3	DANE	Goel, Helms, Vattam	AMBOS	7 etapas	Modelo BIOLOGUE (sistema de catalogação de artigos relevantes associados à estrutura SBF)	ACESSO RESTRITO	Banco de dados de artigos acadêmicos aberto para compartilhamento e abastecimento por parte dos usuários	Requer conhecimento do sistema SBF	O sistema tem a vantagem de apresentar ao projetista uma variedade de modelos, figuras, diagramas e descrições das soluções da natureza com livre acesso e fácil compreensão. O banco de dados é personalizado e depende diretamente da adição de novas informações, que exigem tempo e esforço. O nível de detalhamento necessário para analisar cada sistema biológico é longo e complexo
					software DANE (mecanismo de pesquisa avançada que inclui pesquisa baseada em recursos como função, princípio físico, ambiente operacional, etc., derivados da ontologia da SBF)	ACESSO LIVRE (software para download no site)	Banco de dados pequeno pois é um procedimento complexo que inibe a participação dos usuários.	Aplicativo simples e fácil de usar, pois as informações são bem organizadas e altamente detalhadas. Não necessita treinamento. Sistema intuitivo.	
4	NATURAL-LANGUAGE	Shu e Cheong	AMBOS	até 14 etapas	WORDNET e Glossário (adaptação da Funcional Basis para Biologia)	ACESSO LIVRE porém difícil de encontrar entre os artigos científicos publicados	SEM BANCO DE DADOS	Requer conhecimento de modelagem funcional do produto e também conhecimentos na área da biologia.	o sistema tem a vantagem de não depender de banco de dados para ser aplicado. O processo de filtragem manual dos resultados pode ser desafiador e demorado
5	BIOTRIZ (adaptação da TRIZ, integrando os sistemas naturais).	Vincent	pelo PROBLEMA	8 etapas	Nova MATRIZ DE CONTRADIÇÕES a partir da análise dos fenômenos biológicos. Reorganização dos 39 parâmetros de engenharia em 6 campos de operação.	ACESSO RESTRITO a compradores e moradores de determinados países	Banco de dados restrito aos 40 PRINCÍPIOS INVENTIVOS extraídos das Patentes da TRIZ	requer conhecimento/aprendizagem	
6	BIOMIMICRY institute e ASKNATURE	Benyus	AMBOS	6 etapas	Método DESIGN SPIRALS	RESTRITO	Banco de dados amplo porém com informações vagas e pouco detalhadas	necessidade de curso/aprendizagem para compreender e aplicar o método	Apesar da facilidade de uso, o AskNature fornece informações vagas e superficiais a respeito dos sistemas naturais
					TAXONOMIA	RESTRITO		necessidade de curso/aprendizagem para compreender e aplicar o método	
				2 etapas	ASK NATURE (plataforma de busca on-line)	ACESSO LIVRE através de publicações, site e cursos		Acesso e manuseio fácil e intuitivo	
					LIFE PRINCIPLES (cartões)	RESTRITO		necessidade de curso/aprendizagem para compreender e aplicar o método	

Fonte: a autora

4.5 CONSIDERAÇÕES SOBRE A REVISÃO SISTEMÁTICA

A partir da fundamentação teórica, foi possível aprofundar a conscientização do problema de pesquisa e identificar com mais clareza suas categorias e conexões, bem como traçar as diretrizes para seguir com o desenvolvimento dos artefatos. O mapa mental da Figura 41 indica o artefato proposto (repositório biomimético), como ferramenta de transferência de tecnologia entre os princípios de solução da natureza (PSN) e a etapa criativa do processo de desenvolvimento de produto.

Figura 41: Mapa mental de conscientização do problema



Fonte: a autora

Dentro do processo criativo, as técnicas, intuitivas ou sistemáticas, desempenham um papel fundamental no auxílio à geração de alternativas para o produto. Para dar sequência ao desenvolvimento desta pesquisa, foram definidas duas principais técnicas a serem combinadas: a analogia e a modelagem funcional. Esta última foi escolhida devido à sua capacidade de decompor um produto através de funções, o que facilita a busca por associações diretas (analogia) com as informações da biologia. Desta forma, é possível estabelecer *analogias* através de *funções*, ponte de conexão entre os domínios da biologia e do design.

A biologia, por sua vez, oferece um extenso campo de informações, difíceis de mapear e, portanto, de replicar. Faz-se necessária a adoção de uma taxonomia ou sistema de classificação para organizar tal conhecimento segundo critérios que facilitem a pesquisa. A fundamentação teórica apresentou a Taxonomia PSN (DETANICO, 2011) cuja origem é a própria biologia e, por outro lado, apresentou a *Functional Basis*, com origem nos projetos de engenharia. Buscando maior amplitude e eficiência na organização das informações, será desenvolvida uma taxonomia híbrida, que integre as anteriormente citadas. Os princípios de solução da natureza, organizados e classificados, podem ficar à disposição do projetista para encontrar novas alternativas para os problemas de projeto.

Após finalizada a revisão sistemática da literatura, analisando e comparando os métodos bio-inspirados existentes, foi possível identificar as dificuldades e limitações dos usuários em realizar a transposição dos princípios de solução da natureza para o projeto de produto. Por um lado, os métodos biomiméticos mais completos e estruturados são complexos e de difícil interação com o usuário. Por outro lado, os métodos mais ágeis e intuitivos, trazem conteúdo pouco relevante para solucionar o problema em questão. O desafio é desenvolver um novo método que unifique um repositório consistente e versátil, com facilidade de acesso e simplicidade de manuseio.

Ao longo da análise realizada, foi possível perceber critérios semelhantes na avaliação dos métodos biomiméticos, os quais seguem compilados e brevemente explicados:

- Abordagem orientada pelo problema ou pela solução: Dentre os métodos analisados, cada um segue uma abordagem diferente, alguns iniciam a busca através da compreensão do problema e outros através da solução. Há alguns métodos (1, 3, 4 e 6)² que permitem a abordagem pelos dois caminhos, sendo mais versáteis em sua aplicação.
- Definição do problema: As ferramentas biomiméticas podem auxiliar na delimitação do problema, o que conseqüentemente tornará mais objetiva e eficaz a sua transposição para o campo da solução no design.
- Extensão do método: Mensurar o número de etapas e sub-etapas a serem cumpridas pelo projetista para chegar à solução desejada traduz o provável grau de dificuldade e demora no uso do método. Os designers

² Os números indicados entre parênteses correspondem ao número do método biomimético no quadro síntese, apresentado anteriormente (Quadro 23).

nem sempre dispõem de muito tempo para a geração de alternativas. Portanto, quanto menor o número de etapas, mais rapidamente será o acesso às soluções. A facilidade e agilidade na consulta por soluções torna a ferramenta mais acessível e requisitada para diferentes tipos de projeto.

- Disponibilidade/Acessibilidade: alguns métodos estão disponíveis através da internet e são fáceis de encontrar em buscas rápidas em navegadores comuns (3 e 6). Outros exigem conhecimentos mais precisos sobre o assunto para serem encontrados (2 e 5). Alguns são de consulta on-line (6), outros oferecem aplicativos para download (3) e outros ainda não oferecem ferramentas concretas (1 e 4), apenas algum artefato metodológico, que depende mais diretamente das capacidades interpretativas do usuário. A disponibilidade também é influenciada pelo acesso gratuito ou pago ao sistema. O custo pode ser mais uma restrição para o uso e disseminação do método.
- Consistência/amplitude do banco de dados: Algumas das ferramentas estudadas estão ligadas à repositórios de soluções da natureza, porém a maioria destes bancos de dados são restritos em quantidade (2 e 3) e/ou detalhamento das soluções (6), sendo de pouca relevância para o designer que procura recursos objetivos para geração de alternativas do produto. O artefato proposto deve ser planejado com o maior número possível de informações da natureza, bem como um detalhamento mínimo para que os sistemas possam ser bem compreendidos e transpostos ao domínio do design.
- Usabilidade: neste item, devem ser levados em conta: 1. A orientação fornecida pela ferramenta sobre como utilizá-la, 2. A disponibilidade de ajuda para dúvidas que surjam durante o uso da ferramenta, 3. A facilidade de navegação e 4. A facilidade de acesso à ferramenta.
- Abstração X Fixação: A transferência entre domínios é dificultada pela tendência à fixação de uma solução aplicada em um contexto particular e facilitada pela abstração de atributos, seja do problema ou da solução. A *função* desempenha um papel fundamental na realização dessa abstração, pois transcende o papel da *forma* e mesmo apenas do *comportamento*, atingindo os *princípios de solução*. Por isso, as taxonomias escolhidas para sistematização do conhecimento utilizam a diretriz da *função* na busca por princípios de solução. Da mesma maneira, foi escolhido o método da modelagem *funcional* para referenciar o desenvolvimento do novo artefato.

- Ferramenta em meio físico ou digital: das ferramentas analisadas, algumas estão integradas em sistemas computacionais e processos automatizados (2, 3, 6). O novo artefato pode ser uma ferramenta mais versátil se for capaz de ser empregada a partir de diferentes plataformas e, ao mesmo tempo, não dependa estritamente de meios digitais.
- Foco de pesquisa: A extensão e qualidade das informações contidas no banco de dados é importante para oferecer opções de soluções para os problemas de projeto, porém, em paralelo, é necessária uma estrutura de seleção, através de filtros, para afunilar e objetivar a pesquisa, evitando sobrecarregar o designer com informações irrelevantes.
- Escala: a escala tem um impacto importante sobre os fenômenos biológicos e pode ser utilizada como meio de organizar e categorizar as informações. A capacidade de escalonamento de um fenômeno está diretamente relacionada com a amplitude de aplicação de uma solução biológica em diferentes contextos.

Todos esses aspectos estão aprofundados e transformados em requisitos de projeto e requisitos de usuários na etapa de projeto do artefato (capítulo 5). Desta forma, são referências importantes no processo de elaboração do novo artefato.

5. PROJETO DOS ARTEFATOS

A etapa de projeto passa por três fases fundamentais, começando pela identificação dos artefatos e configuração das classes de problemas, passando pela proposição de artefatos para resolução do problema e, por fim, a definição dos requisitos de projeto. A seguir, cada uma delas está desenvolvida.

5.1 IDENTIFICAÇÃO DOS ARTEFATOS E CONFIGURAÇÃO DAS CLASSES DE PROBLEMAS

Na presente pesquisa, a partir das informações adquiridas na revisão sistemática da literatura, foi possível identificar seis principais métodos/ferramentas bio-inspirados existentes. Ao mesmo tempo, a revisão sistemática forneceu outros trabalhos de pesquisa focados na comparação entre esses métodos existentes, como é o caso dos artigos *“Draft: applying designer feedback to generate requirements for an intuitive biologically inspired design tool”* (ARLITT et al., 2012), *“Assessment of the Biomimetic Toolset—Design Spiral Methodology Analysis”* (FAYEMI et al., 2015), *“Methods for supporting bioinspired design”* (GLIER et al., 2011) e *“Bio-Inspired Design: An Overview Investigating Open Questions From the Broader Field of Design-by-Analogy”* (FU et al., 2014).

Uma vez que estes autores realizaram testes e avaliações dos métodos/ferramentas bio-inspirados, não é necessário repeti-los, apenas utilizar as informações obtidas nos seus resultados. Combinando esses resultados com as demais contribuições adquiridas na revisão sistemática, é possível definir os critérios para análise e comparação dos métodos bio-inspirados existentes, cujo intuito é levantar pontos fortes e fracos, como oportunidades de aproveitamento ou inovação no processo de elaboração dos novos artefatos.

Como resultado desta etapa, foi identificada a classe de problemas como sendo a geração de alternativas no processo criativo de projeto, dentro da qual se encontram diferentes opções de artefatos metodológicos e instanciações. Segundo Dresch, Lacerda e Júnior (2014), as classes permitem que os artefatos e suas soluções não se limitem a respostas pontuais a certo problema em certo contexto, mas que o conhecimento gerado possa ser generalizado e acessado por outros pesquisadores que buscam respostas a outros problemas da mesma classe, conferindo maior amplitude e versatilidade de aplicação para o artefato.

O novo artefato a ser elaborado deve, portanto, trazer soluções para a geração de alternativas, durante a fase conceitual do processo de projeto, o qual pretende ser desenvolvido em duas etapas. Configura-se, inicialmente, como um artefato-método

(conjunto de passos necessários para desempenhar determinada tarefa) e, posteriormente, como um artefato-instanciação, capaz de operacionalizar e implementar o artefato-método anteriormente elaborado (DRESCH; LACERDA; ANTUNES JR., 2014).

5.2 PROPOSIÇÃO DE ARTEFATOS PARA RESOLUÇÃO DO PROBLEMA

Os artefatos propostos nesta pesquisa podem ser considerados extensões do método da analogia e da modelagem funcional, integrando o uso de princípios biomiméticos, com o objetivo de contribuir na geração de alternativas durante o processo de desenvolvimento de produto. Os procedimentos de construção dos artefatos iniciam pelos requisitos de projeto; passam pela avaliação de viabilidade, utilidade e representação e, por fim, chegam ao uso e implementação.

Nesta etapa, é necessário consolidar os requisitos de projeto e realizar a descrição das características desejadas no desempenho do artefato-método e do artefato-instanciação. Tais requisitos e características são o delineamento para a proposição dos artefatos como respostas viáveis ao problema de pesquisa.

No item 4.4, durante a fase de síntese da revisão sistemática, foi possível compilar as informações obtidas nas pesquisas dos autores citados na fundamentação teórica, o que possibilitou integrar as análises realizadas, estabelecendo relações e comparativos. Desta forma, é possível mensurar as qualidades e os pontos fracos de cada método bio-inspirado, facilitando o levantamento de requisitos de projeto para o desenvolvimento da nova ferramenta. Os critérios explicitados ao final do item 4.4 podem ser convertidos em requisitos do usuário. Portanto, para que o artefato solucione o problema identificado, ele deve:

- Ter versatilidade de abordagem, podendo ser orientada pelo problema ou pela solução;
- Auxiliar o usuário na delimitação do problema, o que facilita a busca pela solução;
- Ter facilidade e poucos obstáculos na consulta por soluções.
- Ter agilidade e rapidez na consulta por soluções.
- Ser fácil de encontrar e ter disponibilidade de acesso, principalmente por meios digitais;
- Oferecer soluções qualificadas e completas;
- Ser de fácil navegação e usabilidade intuitiva;

- Auxiliar o usuário no processo de abstração, para encontrar melhores e mais diversificadas soluções;
- Oferecer uma estrutura organizada para seleção e objetivação das informações;

Quadro 24: Requisitos de usuário e requisitos de projeto

REQUISITO DE USUÁRIO	REQUISITO DE PROJETO
Versatilidade de abordagem	Método que possibilite abordagem orientada pelo problema ou pela solução
	Interface gráfica que permita a interação do usuário
Delimitação do problema	Criação de etapas que auxiliem o projetista na delimitação do problema
Consulta facilitada	Fluidez e simplicidade em realizar cada uma das etapas e sub-etapas propostas
Consulta rápida	Agilidade na aplicação do método. Redução do número de etapas e sub-etapas
Acessibilidade e disponibilidade	Estrutura digital do artefato compatível para acesso via web (consulta on-line ou disponibilidade para download)
	Fácil de encontrar em buscas pelos navegadores mais convencionais da web; sem necessidade de conhecimentos prévios
	Acesso gratuito ao artefato
	O artefato pode ser acessado a partir de diferentes plataformas e, ao mesmo tempo, não depende estritamente de meios digitais.
Soluções qualificadas e completas	Banco de dados extensa, com maior quantidade possível de informações
	Banco de dados com detalhamento das soluções disponíveis, para facilitar a compreensão dos sistemas naturais e, conseqüentemente, sua transposição para o campo do design;
	Disponibilizar exemplos e referências
Fácil navegação e usabilidade intuitiva	Oferecer instruções para orientar o usuário sobre o manuseio da ferramenta
	Disponibilizar ajuda para dúvidas que surjam durante o uso da ferramenta
	Prever maior quantidade de fotografias, gráficos e desenhos
	Ambiente com interface e linguagem claras e objetivas
Processo de Abstração	Incorporar o método da modelagem funcional ao sistema
	Estrutura do artefato baseada na <i>função</i> , pois desempenha um papel fundamental na realização da abstração, já que transcende o papel da <i>forma</i> e mesmo apenas do <i>comportamento</i> , atingindo diretamente os <i>princípios de solução</i>
Estrutura organizada (seleção e objetivação das informações)	Deixar claro como inserir as informações para obter os resultados
	Estrutura de seleção, através de filtros, para afunilar e objetivar a pesquisa, evitando sobrecarregar o designer com informações irrelevantes.

Fonte: a autora

5.3 DEFINIÇÃO DOS REQUISITOS DE PROJETO

A partir do delineamento dos artefatos, que especificou as características e funcionalidades necessárias para a solução da classe de problemas configurada e da definição do escopo, os requisitos de projeto foram extraídos e detalhados, conforme apresentado no Quadro 24.

As partir das informações obtidas nesta etapa, o processo de desenvolvimento dos artefatos pode ser iniciado, buscando atender aos requisitos de projeto identificados.

6. DESENVOLVIMENTO DOS ARTEFATOS

Para atingir os objetivos da pesquisa, é necessário elaborar um artefato-método que oriente e estruture o processo da busca do projetista pelas soluções da natureza e, posteriormente, um artefato-instanciação que sirva como ferramenta de acesso direto para a extração das informações pretendidas. Dentre as categorias de possíveis ferramentas, foi escolhido o modelo de repositório, pois este tem como característica o armazenamento, a oferta e recuperação de ideias de projeto, exemplos e relatos de experiências (CELIK; MAGOULAS, 2016).

Para o desenvolvimento do artefato-método e do artefato-instanciação, algumas etapas são fundamentais. Ao longo do presente capítulo, cada uma delas está elaborada e detalhada.

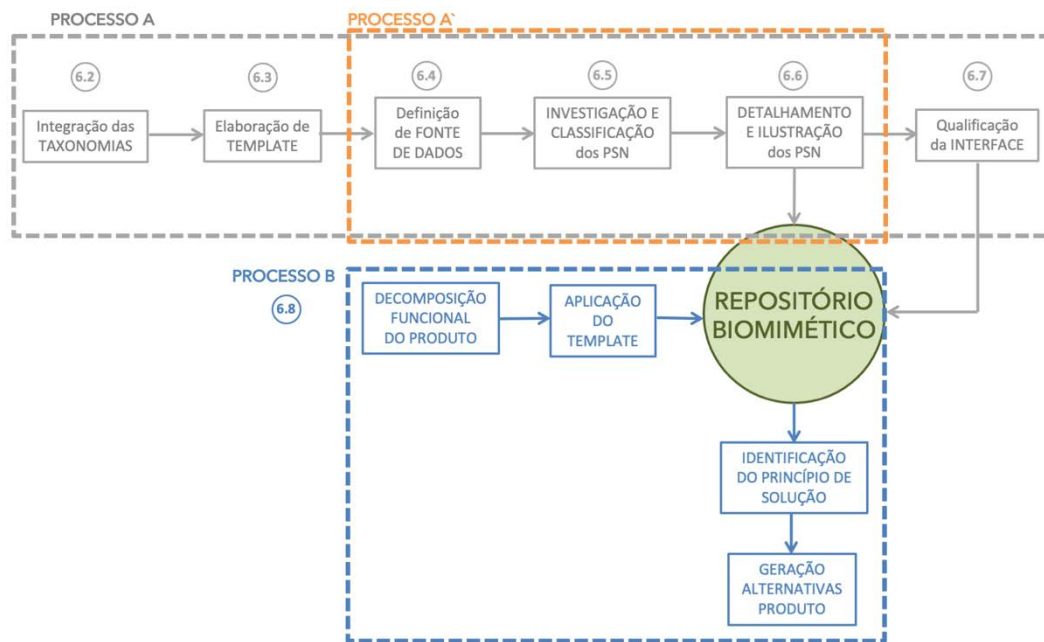
6.1 ELABORAÇÃO DO ARTEFATO-MÉTODO

Como primeira etapa do desenvolvimento, faz-se necessária a estruturação do artefato-método, que visa orientar dois processos principais:

- **Processo A**: esse processo descreve as etapas necessárias para a elaboração do Repositório Biomimético (artefato-instanciação). Além disso, pode ser utilizado como base para futuras inserções por parte de outros pesquisadores que queiram contribuir com o crescimento do banco de dados dos princípios de solução da natureza;
- **Processo B**: esse processo descreve o trajeto pelo qual deve passar o pesquisador para ter acesso ao banco de dados dos princípios de solução da natureza (contidos no Repositório Biomimético), dispondo assim de alternativas para a resolução de problemas na fase conceitual do projeto de produto.

Para estruturar cada um desses processos, diversas etapas são necessárias. O fluxograma a seguir (Figura 42) ilustra a sequência de ações que compõem o método. O Processo A pode ser compreendido em sua totalidade (na cor cinza) ou então parcialmente, apenas para futuras inserções de novas informações dentro do Repositório já consolidado (indicado na cor laranja como processo A`):

Figura 42: Fluxograma do método proposto



Fonte: a autora

O processo A descreve as fases de elaboração e desenvolvimento do Repositório Biomimético. A primeira necessidade que se apresenta é a elaboração de uma Taxonomia, uma estrutura organizada do conhecimento para posterior classificação dos princípios de solução da natureza, o que torna também viável o acesso organizado a essas informações (descrito no item 6.2). Após a estruturação da Taxonomia, a etapa seguinte consiste na elaboração de um Template de fácil consulta para orientar a pesquisa e extração de dados diretamente nas fontes da biologia (descrito no item 6.3).

Há que definir, na sequência, qual será a fonte de informações da biologia, consistente e confiável o suficiente para servir como base para o Repositório Biomimético (descrito no item 6.4). A etapa seguinte consiste em um extenso trabalho de investigação da fonte bibliográfica, interpretação e compreensão dos fenômenos naturais para poder classificá-los segundo os critérios da Taxonomia (descrito no item 6.5).

Após classificadas as informações dentro das categorias e identificados os princípios de solução, a fase seguinte é o detalhamento e ilustração de cada um dos fenômenos para que possam ser melhor compreendidos pelos usuários que estiverem em busca de soluções (descrito no item 6.6). Por fim, o repositório necessita de uma interface amigável, linguagem clara e operacionalização objetiva para que seja de fácil usabilidade (descrito no item 6.7).

Para o caso de futuras inserções no banco de dados, os pesquisadores podem seguir o mesmo método descrito acima, porém sem a necessidade de realizar as etapas 1, 2 e 6, visto que as mesmas servem apenas para a construção da estrutura inicial do repositório. Desta forma, o pesquisador que quiser inserir novos princípios de solução no sistema deve definir a fonte da biologia, investigar a funcionalidade do fenômeno, classificá-lo dentro da taxonomia e, por fim, incluir o máximo possível de informações, detalhamento e ilustrações.

Já o Processo B do método proposto inicia com a elaboração do Modelo Funcional do produto que está em fase de criação no PDP e passa pela definição de um Template com os campos que sejam os próprios filtros para refinar a busca dentro do Repositório. Por fim, o esforço do projetista é realizar a compreensão dos fenômenos naturais apresentados pelo Repositório e fazer a transposição dos princípios de solução para o campo do design, para que sejam empregados como alternativas de solução para o problema de projeto do produto (descrito no item 6.8).

6.2 INTEGRAÇÃO DAS TAXONOMIAS EXISTENTES

A Taxonomia PSN (Figura 19) foi desenvolvida a partir do domínio da Biologia com o objetivo de organizar o conhecimento dos princípios de solução da natureza. Já a *Functional Basis* (Quadro 2 e Quadro 3) foi elaborada desde o campo da engenharia, com o intuito de organizar o conhecimento dos sistemas técnicos. A integração dessas taxonomias tem o objetivo de abarcar as duas áreas de conhecimento (biologia e engenharia), servindo como ponte para a transposição de informações. Ambas têm em comum a funcionalidade como eixo organizacional dos princípios físicos e, portanto, esse será o ponto de partida para a realização da sua integração.

Como mencionado na fundamentação teórica, a estrutura da *Functional Basis* já sofreu, ao longo do tempo, adaptações de outros autores. Em especial, foi desenvolvido o Tesouro Engenharia-para-Biologia (Quadro 06 e 07) dos autores Nagel, Stone e McAdams (2010), que utiliza a estrutura inicial da *Functional Basis*, porém inclui algumas terminologias próprias da biologia dentro de cada uma das categorias. Com o intuito de avançar nos resultados e aproveitar a bagagem de conhecimentos já desenvolvidos, optou-se por agregar a base de dados deste último à estrutura da nova Taxonomia.

Outra referência importante proveniente da revisão sistemática da literatura, a qual complementa a Taxonomia PSN é a Taxonomia Biomimicry (Figura 39), a qual foi também incluída nesta integração. O resultado esperado da união destas três

diferentes fontes é uma taxonomia mais ampla e robusta, capaz de organizar o conhecimento proveniente da biologia e facilitar o acesso às suas soluções para aplicação no processo de projeto.

O trabalho de integração iniciou pela organização das categorias, tomando sempre como ponto de partida a Taxonomia PSN. Optou-se por manter as suas categorias fundamentais, por estarem diretamente alinhadas com os princípios de solução da natureza. As suas sub categorias, no entanto, foram modificadas e ampliadas, para incluir outros aspectos identificados no Tesouro Engenharia-para-Biologia e na Taxonomia Biomimicry.

O Tesouro apresenta três níveis de subdivisões na categoria de "Funções", o que torna o sistema bem detalhado, porém, ao mesmo tempo, mais complexo. Na tentativa de tornar a consulta à taxonomia um processo ágil e rápido optou-se por incorporar algumas subfunções de terceiro nível no segundo nível hierárquico, tornando o Tesouro mais semelhante à *Functional Basis* original. Essa decisão se deu especialmente por não terem sido identificadas diferenças relevantes entre algumas das categorias indicadas.

A Taxonomia Biomimicry, por sua vez, apresenta três níveis de filtros para a organização das informações. O primeiro e o segundo nível se referem a "Funções", se comparado ao Tesouro, ou a "Ações", se comparado à Taxonomia PSN. No primeiro nível (*Group*) são ações mais gerais e no segundo nível (*Sub-group*) são ações mais específicas e bem direcionadas ao domínio da biologia. O terceiro nível, denominado "*Function*", considera um detalhamento ainda maior dos fenômenos da natureza, considerando fatores como "tempo", "objeto da ação", "meio material" e "efeito físico".

O trabalho de integração das taxonomias focou em reunir o maior número de termos apresentados em cada uma delas, garantindo que a taxonomia final possa abarcar as três anteriores quase que em suas totalidades. Desta forma, todos os termos empregados na Taxonomia Biomimicry foram integrados e complementaram a Taxonomia final dos princípios de solução da natureza.

Após a consolidação da categoria Função/Ação, o desafio foi unificar as categorias "Energia, Material e Sinal", provenientes da *Functional Basis* com as categorias "Objeto da Ação, Efeito físico, portador do efeito, Meio e Tempo" provindas da Taxonomia PSN. Para isso, foi necessário rever os conceitos fundamentais da engenharia, para esclarecer o sentido e significado de cada termo e empregá-los com a maior coerência possível na taxonomia.

Segundo Pahl e Beitz (2005), quando se analisam sistemas técnicos (instalação, equipamento, máquina, aparelho, subconjunto ou componente) fica evidente que

eles servem a um processo técnico, onde Energia, Material e Sinal são transferidos e/ou modificados. É possível compreender cada um destes aspectos como:


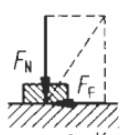
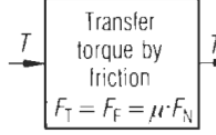
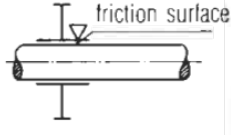
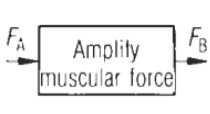
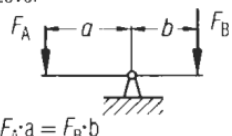
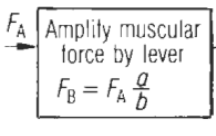

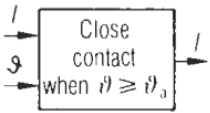

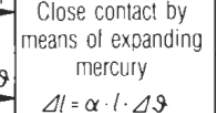
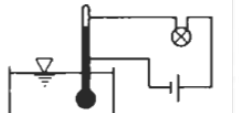
- MATERIAL: Gás, Fluido, sólido, pó, etc. Matéria-prima, corpo-de-prova, objeto de tratamento, produto, componente. Características de peso, cor, estado.
- ENERGIA: Mecânica, térmica, elétrica, química, óptica, nuclear, corrente elétrica, calor, etc.
- SINAL: em qualquer instalação, há informações a serem processadas. Grandeza mensurável, indicação, impulso de comando, dados, informações, etc.

Para encontrar uma solução para um problema técnico envolvendo conversão de energia, material e sinal é necessário compreender o sistema como uma relação entre Entrada e Saída. E toda a função apresenta uma relação geral entre Entrada e Saída de um sistema, com a finalidade de cumprir uma tarefa. As funções podem ser descritas através da união de um verbo com um substantivo (exemplo: aumentar pressão, transferir torque, reduzir rotação) e derivadas dos fluxos de conversão de energia, material e sinal específicos da tarefa. A função global de um produto pode ser desdobrada em subfunções, às quais correspondem sub-tarefas dentro da tarefa global. A interligação compatível e lógica das subfunções na função global conduz à estrutura funcional do produto (PAHL *et al.*, 2005).

Segundo Pahl e Beitz (1988), a elaboração de uma estrutura funcional facilita a descoberta de soluções porque simplifica a pesquisa geral, determinando soluções para cada subfunção a serem encontradas separadamente. Cada uma das subfunções pode ser representada como uma "caixa preta". Geralmente, subfunções são atendidas por fenômenos físicos, químicos ou biológicos, predominando os primeiros quando se trata da área da engenharia mecânica e design e produtos. No domínio do design de produto, praticamente todas as soluções se utilizam de fenômenos físicos e, portanto, neste trabalho, essa expressão será utilizada para abarcar todo o campo dos fenômenos, inclusive os químicos e biológicos.

Processos físicos são baseados em Efeitos físicos, que podem ser descritos quantitativamente através das leis da física, que coordenam entre si as grandezas envolvidas. Quando os efeitos físicos estão relacionados a funções/subfunções são considerados Princípios Físicos. Estes últimos, por sua vez, quando aliados a dispositivos, com características geométricas e materiais, geram Princípios de Solução. A Figura 43, a seguir, ilustra a relação entre subfunção, efeito físico, princípio físico e princípio de solução (PAHL; BEITZ, 1988).

Figura 43: Relação entre subfunção, efeito físico, princípio físico e princípio de solução

Sub-function	Physical effect (independent of solution)	Physical principle (Subfunction and physical effect)	Solution principle (Physical principle and form design features)
	<p>Friction</p>  $F_F = \mu \cdot F_N$	 $F_T = F_F = \mu \cdot F_N$	
	<p>Lever</p>  $F_A \cdot a = F_B \cdot b$	 $F_B = F_A \cdot \frac{a}{b}$	
	<p>Expansion</p>  $\Delta l = \alpha \cdot l \cdot \Delta \vartheta$	 $\Delta l = \alpha \cdot l \cdot \Delta \vartheta$	

Fonte: (PAHL; BEITZ, 1988)

Apenas a combinação do princípio físico com as características geométricas (superfícies e movimento) e material permite o surgimento do Princípio de solução. As características geométricas são o arranjo de superfícies (ou espaços) e a escolha de movimentos. As superfícies variam de acordo a tipo, forma, posição, tamanho e quantidade. Os movimentos são determinados por tipo, natureza, direção, magnitude e quantidade (PAHL; BEITZ, 1988).

Com base nesses conceitos pesquisados na literatura, foi possível reavaliar alguns termos presentes na estrutura da taxonomia e ajustá-los para responderem melhor à linguagem do domínio do design de produto. O resultado da taxonomia, após realizadas as conciliações segue na Figura 44, Figura 45, Figura 46, Figura 47, Figura 48 e Figura 49.

Figura 44: Taxonomia - Categoria Ação

AÇÃO		<i>Functional Basis</i>	exemplos/sinônimos
<i>BRANCH</i>			
SEPARAR	<i>Separate</i>	ISOLAR	Cortar, abafar, impedir, deter, repelir, afastar, apartar, reter bifurcar, quebrar, decompor, despedaçar, fragmentar, partir, segmentar, desagregar Destacar, Refinar purificar, filtrar, limpar, polir, esticar, coar, lapidar, depurar, Destruir, arrancar, subtrair, desacoplar, cortar, perfurar, torneiar, apagar Dissipar, ramificar, divergir, espalhar, disseminar, alastrar, dispersar, difundir, fracionar
	<i>Divide</i>	DIVIDIR	
	<i>Extract</i>	SELECIONAR	
	<i>Remove</i>	REMOVER	
	<i>Distribute</i>	DISTRIBUIR	
<i>CHANNEL</i>			
DESLOCAR	<i>Import</i>	MOV. ENTRADA	Importar, Penetrar, Capturar, Sugar, Receber, Aceitar, introduzir, inalar, atrair, consumir, ingerir, absorver, assimilar, Carregar Exportar, Expelir, descarregar, disparar, desembocar, liberar, ejetar, excretar, repelir, desprender, Descarregar, Saltar, mudar de posição, Penetrar, Locomover, Deslizar Mover, deslocar, erguer, levantar, suspender, elevar, carregar Conduzir, guiar, transferir, comunicar Girar, virar, torcer, torneiar, rodar, Vibrar, Pulsar, balançar, variar, alternar, agitar, tremer
	<i>Export</i>	MOV. SAÍDA	
	<i>Transfer/Translate</i>	TRANSLADAR	
	<i>Transport</i>	TRANSPORTAR	
	<i>Transmit/Guide</i>	TRANSMITIR	
	<i>Rotate</i>	ROTACIONAR	
		OSCILAR	
<i>Allow degree of freedom (AOF)</i>			
<i>CONNECT</i>			
CONECTAR	<i>Couple (Join e Link)</i>	VINCULAR	Agrupar, acoplar, prender, amarrar, atar, colar amontoar, anexar, afixar, ligar, aderir, fechar, alcançar Fundir, combinar, adicionar, mesclar, aglutinar
	<i>Mix</i>	MISTURAR	
<i>CONTROL MAGNITUD</i>			
CONTROLAR MAGNITUDE	<i>Actuate</i>	ATIVAR	Gerar, iniciar, começar, induzir, atuar, estimular, impulsionar, incitar, provocar, germinar Parar, Suspender, impedir, inibir, repelir, adormecer, fechar, desligar, Liberar, destrancar, morrer Controlar, limitar/permitir, ajustar, dosar, acertar regular passagem, regular abertura Flutuar Crescer, acelerar, intensificar, reforçar, aumentar, acrescentar, alargar, alongar, amplificar, dilatar, estender retardar, conter, restringir, diminuir, encolher, reprimir, comprimir, condensar, encurtar, Contrair adaptar, endireitar, delinear, formar, modelar, realçar, metamorfosear, manipular Refletir, duplicar, copiar, imitar
	<i>Stop/Prevent/Inhibit</i>	DESATIVAR	
	<i>Regulate</i>	REGULAR TEMPERATURA	
	<i>Regulate</i>	REGULAR FLUXO	
	<i>Regulate</i>	REGULAR DENSIDADE	
	<i>Increase/Increment</i>	AMPLIAR	
	<i>Decrease/Decrement</i>	REDUZIR	
<i>Shape/Condition</i>	MOLDAR REPRODUZIR		
<i>CONVERT</i>			
CONVERTER			processar, queimar, respirar, decompor, fermentar, degradar, morrer, digerir, amolecer, respirar
<i>PROVISION</i>			
PROVER	<i>Store/Contain/Collect</i>	ARMAZENAR	Reservar, guardar, acumular, conservar, manter, arquivar, estocar, coletar, conter Abastecer, alimentar, prover, produzir, aprovisionar, suprir
	<i>Supply</i>	FORNECER	
<i>SUPPORT</i>			
SUPORTAR	<i>Stabilize/Position</i>	ESTRUTURAR	Sustentar, Fortalecer, consolidar, solidificar, equilibrar, estabilizar, formar, constituir, construir Resistir, Fixar, firmar, imobilizar, suportar, apoiar, bloquear, conter, agarrar, pegar, prender, capturar Envolver, envelopar, empacotar, defender, resguardar, abrigar, preservar, cobrir, acolher
	<i>Secure</i>	SEGURAR	
		PROTEGER	
<i>SIGNAL</i>			
INFORMAR	<i>Sense/Detect</i>	DETECTAR	perceber, observar, captar, Aferir, levantar, calcular, mensurar, estabelecer, definir Atrair, Comunicar, marcar, assinalar, mostrar, display
	<i>Measure/Track</i>	MEDIR	
	<i>Display/Indicate</i>	INDICAR	
	<i>Process</i>		

Fonte: a autora

Figura 45: Taxonomia - Categoria Objeto da Ação

OBJETO DA AÇÃO		exemplos/sinônimos
GÁS	GÁS PURO	CO ₂ , O ₂ , Nitrogênio
	MISTURA GÁS-GÁS	Vento, Ar, gases, ambiente, clima
LÍQUIDO	LÍQUIDO PURO	Água
	MISTURA LÍQUIDO-LÍQUIDO	Néctar, seiva, solutos, fluídos
SÓLIDO	CORPO SÓLIDO	Animais, Plantas, Fungos, Gelo, organismo, ninho, corpo, caule, raiz, músculo, membrana
	PARTÍCULA SÓLIDA	Micróbios, bactéria, célula, fibras, vírus, gametas, cílios, flagelos, amido, carboidrato
	MISTURA SÓLIDO-SÓLIDO	Sujeira, polímero, solo
MISTURA SÓLIDO-LÍQUIDO		Nutrientes, Toxinas, Substâncias, compostos orgânicos, floema, alimento, teia de aranha
SINAL		informação, visão, audição, toxidade
ENERGIA		FOGO, Radiação nuclear???
	ACÚSTICA	Som, ruído, ondas sonoras
	QUÍMICA	Reações químicas
	ELÉTRICA	Luz, cargas elétricas, íons
	ELETROMAGNÉTICA - ÓPTICA, SOLAR, ETC	Luz solar, impulso nervoso
	HIDRÁULICA	
	MAGNÉTICA	atração da gravidade
	MECÂNICA	movimento do corpo;
	PNEUMÁTICA	
TÉRMICA		

Fonte: a autora

Figura 46: Taxonomia - Categoria Dispositivo

DISPOSITIVO			exemplos/sinônimos
AGENTE BIOLÓGICO			Células, neurônios, genes, bolor
AGENTE QUÍMICO			Enzimas, proteínas, luciferina, moléculas de sinalização
AGENTE FÍSICO	SÓLIDO	RÍGIDO	placa celular, elementos traqueais, anéis, galhos, carapaça, esqueleto, cutícula
		FLEXÍVEL	caule, epiderme, parede celular, estômago, membrana, vacúolo contrátil/retrátil
		ARTICULADO	Sistema fasciculado de raízes, mão humana, pernas, patas, anéis, bico, cílios, flagelos
	LÍQUIDO	citoplasma	
	GÁS		

Fonte: a autora

Figura 47: Taxonomia - Princípio Físico

PRINCÍPIO FÍSICO		exemplos/sinônimos
PRINCÍPIO BIOLÓGICO		decomposição, homeostasis, reprodução, crescimento, fermentação, depósito e secreção, morte, divisão celular, revestimento ceroso, mutação, fotossíntese
PRINCÍPIO QUÍMICO		reações químicas, processos celulares, corrosão, hidrólise, mudança de cor, impregnação por substância hidrofílica (suberina), impregnação de lignina (polímero), emissão sinais químicos, bioluminescência,
PRINCÍPIO FÍSICO	ACÚSTICO	Transferência, Isolamento acústico, Interferência Tensão, Sobrecarga, diferencial carga elétrica, impulsos elétricos Transferência, Reflexão Transferência, <i>Flutuação, Submersão, Pressão, Fluxo de Massa, osmose, difusão, deslocamento de fluidos, armazenamento óleo</i> Aderência, Transferência, Gravitropismo Filtragem, corte, rompimento, brotamento, Ampliação de superfície, Ampliação/redução de forma (alargamento /estreitamento), Aderência, empacotamento, engrossamento, adelgamento, entrelaçamento, inflamento, adesão, afrouxamento, revestimento Transferência, princípio da alavanca, impulsão por rotação e alongamento, giro e ancoragem, movimento chicote Cisalhamento, Arrasto, Curvar, Ruptura, Deformação, Colisão, Ramificação, Deslizamento, invaginação, alargamento, encurtamento, expansão, enfileiramento, rede, sanfona, atrito, compressão, abertura e fechamento, Turbulência, Oscilação, Transferência, emparelhamento, interferência, perfuração, bater repetidamente, abertura e fechamento de canais Compressão, Regulação de gás, bombeamento de fluido, sucção, troca gasosa Choque térmico, Derretimento, Isolamento térmico, queda de temperatura, aumento de temperatura
	ELÉTRICO	
	ELETROMAGN.	
	ÓPTICO	
	SOLAR	
	HIDRÁULICO	
	MAGNÉTICO	
	MECÂNICO	
	ROTACIONAL	
	TRANSLACIONAL	
VIBRACIONAL		
PNEUMÁTICO		
TÉRMICO		

Fonte: a autora

Figura 48: Taxonomia - Meio

MEIO	exemplos/sinônimos
GASOSO	aéreo, atmosfera, vento
LÍQUIDO	citoplasma, sangue, água, seiva
MISTURA SÓLIDO LÍQUIDO	mangue, lama, sedimento arenoso marinho
SÓLIDO	planta, solo, tecidos vegetais, caule, raiz, entre células, paredes celulares
INDIFERENTE	

Fonte: a autora

Figura 49: Taxonomia - Categoria Tempo

TEMPO	exemplos/sinônimos
DURAÇÃO	Permanente, Temporário, Longo, Curto
FREQUÊNCIA	Repetidamente, intervalos de tempo
VELOCIDADE	Rapidamente, Lentamente, Acelerado

Fonte: a autora

Nas figuras acima (Figura 44, Figura 45, Figura 46, Figura 47, Figura 48 e Figura 49) estão indicadas as categorias, subcategorias e diversos exemplos que se enquadram em cada uma delas, como sinônimos e termos afins, os quais auxiliam na clareza de identidade e delimitação de cada subcategoria. Para isso, foi realizada uma busca por sinônimos que se enquadram em cada campo, o que facilita o trabalho posterior de classificação dos princípios de solução dentro da taxonomia. Para a pesquisa de sinônimos, foram traduzidos os termos em inglês provenientes das taxonomias anteriores (*Functional Basis* e Tesouro Engenharia-para-biologia), utilizando o tradutor do Google (<https://translate.google.com/?hl=pt-BR&tab=TT>), juntamente com o suporte do dicionário on-line de sinônimos (<https://www.sinonimos.com.br>).

Importante explicar algumas das escolhas realizadas, advindas do processo de tradução e integração das taxonomias. A categoria Ação absorveu as informações da categoria "Function" do Tesouro/*Functional Basis*; a categoria Objeto da Ação, absorveu da categoria "Material" e "Energy"; a categoria Meio Ambiente, da categoria "Material"; a categoria Princípio Físico, da categoria "Energy"; a categoria Dispositivo absorveu as informações diretamente dos conceitos da bibliografia de Pahl e Beitz (1988) e, por fim, a categoria Tempo, não encontrou correspondente em nenhuma das demais. Outras observações importantes a respeito das adaptações realizadas dentro da categoria Ação:

- Na categoria **Branch**, todos os subitens foram unificados em uma mesma lista com o intuito de simplificar a busca no sistema ou banco de dados. A existência de subníveis torna a busca mais lenta e complexa. Mantiveram-se as cinco categorias da *Functional basis*, sem alteração de sentido, apenas adaptando o vocabulário para a tradução mais adequada.
- Na categoria **Channel**, foram unificadas as categorias *Transmit* e *Guide* em Transmitir; e as categorias *Translate* e *Transfer* em Transladar. Não foram encontradas correspondências para a categoria *Allow degree of freedom (AOF)*. Por outro lado, foi encontrada na natureza uma categoria que a *Functional Basis* não contempla: Oscilar/Vibrar.

- Na categoria **Conect**, com o mesmo objetivo de tornar o uso da taxonomia mais acessível, abdicou-se dos subitens de *Couple*, ficando apenas Vincular e Misturar, diferenciando as situações de conexão quando os elementos mantêm as suas características individuais (Vincular) ou quando se misturam de forma homogênea (Misturar), deixando de serem reconhecidos separadamente.
- Na categoria **Control Magnitud**, houve o maior número de alterações para adaptar a taxonomia da *Functional basis* para a taxonomia PSN, visto que os sistemas naturais nem sempre respondem à mesma lógica dos sistemas técnicos. Para tanto, as subcategorias *Stop*, *Prevent* e *Inhibit* ficaram todas relacionadas com Desativar; *Increase* e *Increment* ficaram contidas em Ampliar e *Decrease* e *Decrement* em Reduzir. *Shape* e *Condition* ficaram dentro da categoria Moldar. Já a categoria Regular foi dividida em Regular temperatura, Regular fluxo e Regular densidade para descrever melhor os sistemas da natureza. A categoria Reproduzir foi identificada como fenômeno da natureza, apesar de não ter encontrado correspondente da *Functional Basis*.
- Na categoria **Provision**, foram unificadas *Contain*, *Collect* e *Store* em Armazenar.
- Na categoria **Support**, foram unificadas *Stabilize* e *Position* em Estruturar. A categoria Proteger foi encontrada como fenômeno da natureza, porém não encontrou correspondente da *Functional Basis*.
- Na categoria **Signal**, *Sense* e *Detect* foram integradas na categoria Detectar; *Measure* e *Track*, na categoria Medir. Não foi possível encontrar correspondente para *Process* nos fenômenos da natureza.

Após a integração das estruturas de conhecimento do domínio da engenharia (Tesouro, *Functional Basis* e conceitos de Pahl e Beitz) com as estruturas de conhecimento da biologia (Taxonomia PSN e Taxonomia Biomimicry), o resultado é uma Taxonomia com estrutura ampla, versátil e robusta, que abrange e dialoga com ambos os domínios de conhecimento.

O passo seguinte consiste em verificar a aplicabilidade da taxonomia consolidada através da realização da extração dos princípios de solução da natureza a partir de alguma fonte biológica (descrito no item 6.5). Nesta verificação, é importante avaliar se a Taxonomia contempla a grande maioria dos fenômenos apresentados pela natureza ou se é necessário acrescentar novas categorias/subcategorias. Neste processo, também deve ser avaliada a relevância da existência de algumas das categorias/subcategorias inicialmente previstas.

Para realizar a extração dos princípios de solução da natureza a partir de uma fonte biológica, além da Taxonomia, é necessário um método ou Template que oriente o processo. O item 6.3 a seguir está destinado à elaboração deste Template. Após o uso integrado de ambos (Template e Taxonomia) na elaboração do banco de dados, foram realizadas algumas mudanças e adaptações (inclusões/exclusões) na Taxonomia, o que levou à sua conformação final de categorias e subcategorias. O trabalho que seguiu foi de aperfeiçoamento visual na interface, visando sintetizar as informações e ao mesmo tempo facilitar a compreensão e usabilidade por parte dos pesquisadores (Figura 50):

Figura 50: Taxonomia biomimética final consolidada



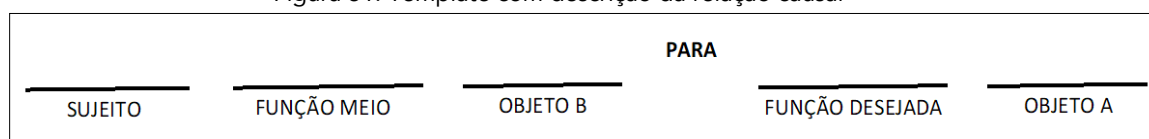
Fonte: a autora

6.3 ELABORAÇÃO DE TEMPLATE PARA RECONHECIMENTO E EXTRAÇÃO DOS PRINCÍPIOS DE SOLUÇÃO DA NATUREZA

Para a verificação e consolidação da Taxonomia foi necessário realizar a extração de alguns princípios de solução da natureza para popular as suas categorias e avaliar se estava abrangente o suficiente para servir como método de organização do conhecimento na área. Para tanto, é fundamental o apoio de um método objetivo para o reconhecimento dos princípios de solução em meio ao extenso campo de informações oferecidos nas fontes da biologia.

A revisão sistemática da literatura permitiu acesso a um *template* de relação causal para apoiar o raciocínio analógico e auxiliar os projetistas na extração de informações-chave a partir de descrições textuais de fenômenos biológicos, desenvolvido pelos autores Cheong e Shu (2013). O *template* se destina a ajudar os designers a esclarecer como uma função meio, seu sujeito e objeto associados, estão relacionados a uma função fim desejada (Figura 51).

Figura 51: Template com descrição da relação causal

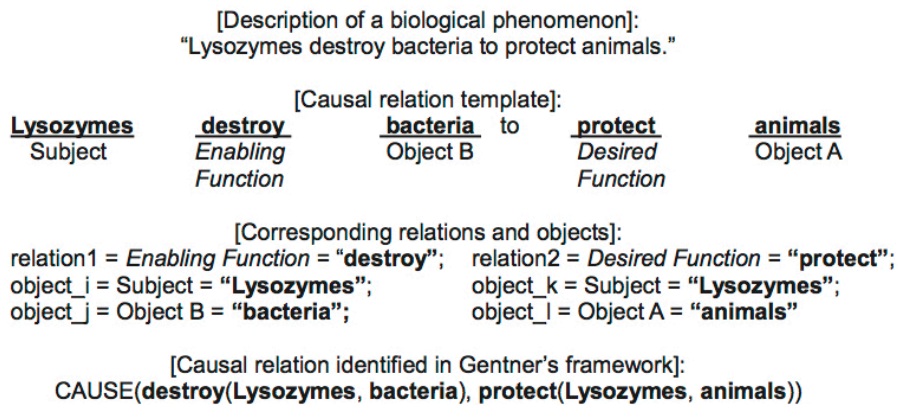


Fonte: Adaptado de Cheong e Shu (2013)

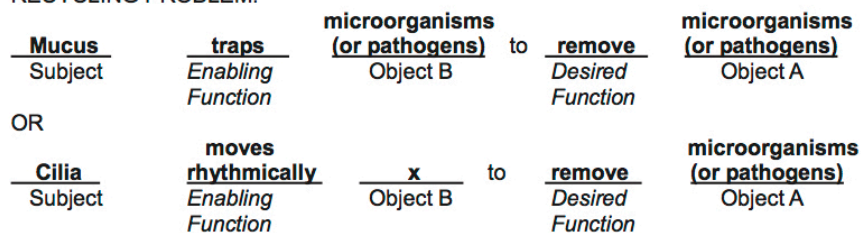
Uma vez identificada a relação causal relevante, as instruções de mapeamento um-para-um destinam-se a orientar os projetistas no mapeamento de objetos de um fenômeno biológico para objetos correspondentes em soluções potenciais de projeto (CHEONG; SHU, 2013). Segue um exemplo na Figura 52.

A integração deste *template* com os conceitos dos princípios de solução (dispositivo + princípio físico) torna possível a elaboração de um método para identificação e extração das soluções da natureza. A partir da definição das categorias da Taxonomia, é possível adaptar o *template* original dos autores Cheong e Shu (2013), direcionando-o para atender aos objetivos da atual pesquisa. O resultado é o *Template* indicado na Figura 53.

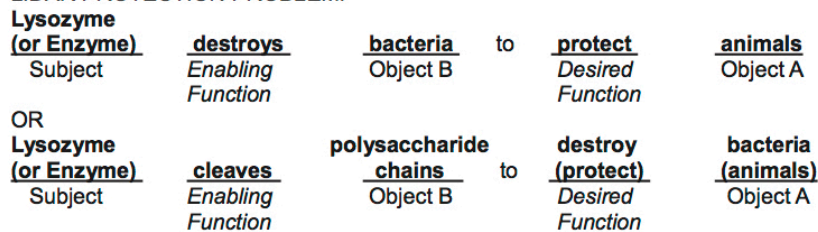
Figura 52: Exemplo de um fenômeno biológico usando o Template



RECYCLING PROBLEM:

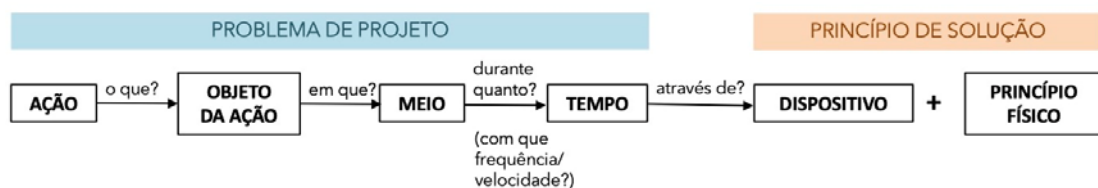


LIDAR PROTECTION PROBLEM:



Fonte: (CHEONG; SHU, 2013)

Figura 53: Template



Fonte: a autora

O Template elaborado está dividido em duas áreas: Problema de Projeto e Princípio de solução. Através de perguntas específicas ("qual a ação?", "sobre que objeto?", "em que meio?", "durante quanto tempo?", "através de que dispositivo e princípio físico?") podem ser preenchidas as lacunas que levam ao encadeamento das

informações. Alguns exemplos que podem esclarecer o uso do Template são descritos a seguir:

Qual a ação? REMOVER

Sobre que objeto? RESÍDUOS

Em que meio? SÓLIDO

Com que velocidade? Em quanto tempo? RAPIDAMENTE

Através de que dispositivos? NÉFRON

Através de que princípio físico? POR FILTRAÇÃO

Qual a ação? SELECIONAR

Sobre que objeto? NUTRIENTES

Em que meio? LÍQUIDO

Com que velocidade? Em quanto tempo? -

Através de que dispositivos? FLAGELOS

Através de que princípio físico? POR BATIMENTO E SUCCÃO

6.4 DEFINIÇÃO DE FONTE DE DADOS PARA EXTRAÇÃO DOS PRINCÍPIOS DE SOLUÇÃO DA NATUREZA

Para a elaboração do artefato-instanciação (repositório biomimético) é necessário definir uma fonte de conhecimento qualificada, que ofereça uma ampla e consistente gama de princípios de solução. A busca direta na natureza é certamente o processo mais genuíno, com a fonte mais segura e consistente de todas. Porém esse tipo de pesquisa em loco leva tempo, necessita de experimentos que podem demorar anos para a descoberta de um único princípio de solução.

Como são diversas as pesquisas já realizadas na área da biomimética, com muitas informações coletadas, analisadas e testadas ao longo dos anos, optou-se pelo uso de uma fonte bibliográfica de referência. Desta forma, é possível chegar a um maior número de princípios de solução em um menor tempo e disponibilizar um banco de dados consistente aos pesquisadores do design.

A partir da revisão sistemática realizada, foi possível encontrar alguns livros de referência na área da biologia, tais como "Vida: a ciência da biologia" (SADAVA et al., 2009), "Biology demystified" (LAYMAN, 2003) e "Biology" (RAVEN et al., 2017).

Porém, a presença mais significativa em pesquisas na área do design bio-inspirado foi da obra “*Vida*”, citada por diversos autores, como Chen e Hung (2017), Chen e Chen (2014), Ke, Wallace e Shu (2009), Cheong e Shu (2013), Cheong, Shu, Stone e McAdams (2008), Stroble et al. (2009), Vakili e Shu (2001) e Goel et al. (2014).

Segundo os autores Ke, Wallace e Shu (2009), “*Vida*” é uma obra de referência para os cursos universitários de biologia, e se adequa aos propósitos do design bio-inspirado. Os motivos são, primeiramente, o fato de ser de fácil compreensão, mesmo para quem não tem conhecimento na área da biologia e, em segundo lugar, o livro é abrangente, abarcando diversos níveis de organização da natureza, desde o molecular até os ecossistemas. Outra vantagem deste livro é que existe uma versão digital que facilita as buscas por palavras-chave.

Importante ressaltar que essa fonte foi escolhida para a construção do Repositório Biomimético inicial, porém que, ao longo do tempo, outros pesquisadores podem agregar novas fontes de pesquisa de fenômenos naturais, incrementando o banco de dados do sistema.

6.5 INVESTIGAÇÃO, INTERPRETAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DOS PRINCÍPIOS DE SOLUÇÃO DA NATUREZA ATRAVÉS DO TEMPLATE E DA TAXONOMIA

Esta etapa consiste em um extenso trabalho de investigação sobre a fonte bibliográfica definida (*Vida*: a ciência da biologia), interpretação e compreensão dos fenômenos naturais para poder ordená-los e classificá-los segundo às categorias da Taxonomia e à estrutura do Template.

O livro é composto de três volumes, 54 capítulos e 1228 páginas, descrevendo diversos fenômenos da biologia. Há diversos infográficos ao longo da obra, que sintetizam e facilitam o entendimento dos sistemas naturais pelo pesquisador. Por unir texto e imagens, o infográfico atua em duas zonas distintas do cérebro humano: o lado direito, responsável por entender e interpretar figuras; e o lado esquerdo, que é focado na escrita e no raciocínio lógico.

Desta forma, o processo de pesquisa e interpretação dos fenômenos naturais foi apoiado pelos infográficos, extraído dos mesmos as informações correspondentes ao princípio de solução, orientado pelo Template para atender aos problemas de projeto. O índice do livro também serve como referência para sequenciar a pesquisa. As etapas realizadas para leitura e compreensão da funcionalidade dos sistemas biológicos são as seguintes:

1. Tomar notas que captem a essência do sistema;
2. Aplicar o Template de relação causal para identificar o dispositivo e o princípio físico responsáveis por desempenhar a função identificada;
3. Consultar a Taxonomia para comparar as categorias existentes com a funcionalidade do sistema biológico;
4. Investigar em maior profundidade o sistema biológico, observando os eventos simultâneos e paralelos que ocorrem;
5. Após mapeado o princípio de solução, incluir suas categorias e características no repositório biomimético.

Durante a análise da fonte biológica, as notas registradas foram feitas inicialmente à mão. Com o auxílio do Template de relação causal, as informações foram posteriormente transcritas para uma planilha digital, preenchida com os dados brutos, provindos diretamente da biologia (Figura 54). A etapa seguinte consistiu em associar as informações biológicas extraídas do livro com as categorias da Taxonomia, realizando a transposição do conhecimento da linguagem da biologia para a linguagem do design. Esse processo de “tradução” e classificação significou um trabalho interpretativo longo e exigente.

Os primeiros 70 princípios de solução mapeados foram utilizados como amostragem. O intuito foi testar a estrutura da Taxonomia e avaliar se a mesma contempla a grande maioria dos fenômenos apresentados pela natureza ou se é necessário acrescentar novas categorias/subcategorias. Neste processo, também foi avaliada a relevância da existência de algumas das categorias/subcategorias inicialmente previstas na Taxonomia. Após um trabalho minucioso sobre a estrutura da Taxonomia, algumas mudanças (inclusões/exclusões) foram realizadas e chegou-se à conformação final de categorias e subcategorias apresentada no item 6.2.

Quando da investigação mais aprofundada de cada sistema biológico, foram observados eventos simultâneos e paralelos que levaram ao descobrimento de novos princípios de solução. Em muitos casos, foi necessário seguir com a pesquisa em outras fontes, especialmente na web, para encontrar maiores subsídios que auxiliassem na compreensão do fenômeno. Desta forma, para cada princípio de solução foi acrescentado um campo com exemplos e outro campo com observações complementares.

Figura 54: Banco de dados inicial

AÇÃO	OBJETO DA AÇÃO	OBJETO DA AÇÃO	MEIO	TEMPO	DISPOSITIVO	DISPOSITIVO	PRINCÍPIO FÍSICO	PRINCÍPIO FÍSICO	EXEMPLO	PG	FIGU	OBSERVAÇÃO
LIVRO 2: EVOLUÇÃO, DIVERSIDADE E ECOLOGIA												
Selecionar	PARTÍCULA SÓLIDA	partículas sólidas	líquido		AGENTE FÍSICO/SÓLID	bico com borda serrilhada	PRINCÍPIO FÍSICO/MEI	seleção por filtragem	flamingos	512	não	http://www.revi
Remover	CORPO SÓLIDO	couro	sólido		AGENTE FÍSICO/SÓLID	bico forte	PRINCÍPIO FÍSICO/MEI	rasgar e despelar	abutre	512	não	http://www.revi
Moldar	CORPO SÓLIDO	ninho	sólido		AGENTE FÍSICO/SÓLID	bico forte alongado e fin	PRINCÍPIO FÍSICO/MEI	perfuração da madeira	pica-pau	512	não	http://www.revi
Transmitir	SINAL	informação	gasoso		AGENTE FÍSICO/SÓLID	bico longo e rígido	PRINCÍPIO FÍSICO/MEI	bater repetidamente	comunicação c	512	não	http://www.revi
Dividir	MISTURA SÓLIDO-LÍQUIDO	nutrientes	sólido		AGENTE FÍSICO/SÓLID	bico rígido	PRINCÍPIO FÍSICO/MEI	compressão (quebra sement	Tendilhão	512	não	http://www.revi
Mov. Entrada	CORPO SÓLIDO	pássaro	líquido	rapidame	AGENTE FÍSICO/SÓLID	bico longo e afiado	PRINCÍPIO FÍSICO/HID	submersão (mergulho rápid	garça	512	não	http://www.revi
Vi Dividir	CORPO SÓLIDO	presas	gasoso		AGENTE FÍSICO/SÓLID	bico forte, curvo e afiad	PRINCÍPIO FÍSICO/MEI	perfuração e corte	aves de rapina	512	não	http://www.revi
Remover	MISTURA LÍQUIDO-LÍQUIDO	néctar	sólido		AGENTE FÍSICO/SÓLID	bico longo e levemente c	PRINCÍPIO FÍSICO/PNE	sucção	beija-flor	512	não	http://www.revi
Remover	CORPO SÓLIDO	frutos	gasoso		AGENTE FÍSICO/SÓLID	bico grande com abertur	PRINCÍPIO FÍSICO/MEI	corte	tucano	512	não	http://www.revi
Mov. Entrada	MISTURA SÓLIDO-LÍQUIDO	alimento	líquido		AGENTE FÍSICO/SÓLID	papo	PRINCÍPIO BIOLÓGICO	fermentação	galo	532	sim	
Mov. Entrada	MISTURA SÓLIDO-LÍQUIDO	alimento	líquido		AGENTE FÍSICO/SÓLID	estômago	PRINCÍPIO BIOLÓGICO	fermentação	ser humano	532	sim	
Transmitir	SINAL	informação	sólido		AGENTE BIOLÓGICO	neurônios	PRINCÍPIO FÍSICO/ELE	por impulsos elétricos	transmissão de	538	sim	
Indicar	CORPO SÓLIDO	informação de disp	líquido		AGENTE FÍSICO/SÓLID	cauda	PRINCÍPIO QUÍMICO	alteração de forma/cor	peixe cauda de	553	sim	
Indicar	PARTÍCULA SÓLIDA	microrganismos	líquido		AGENTE QUÍMICO	moléculas de sinalizaçã	PRINCÍPIO QUÍMICO	emissão de sinais químicos	bactérias (no e	564	sim	
Transladar	PARTÍCULA SÓLIDA	bactéria	líquido		AGENTE FÍSICO/SÓLID	filamentos axiais / filame	PRINCÍPIO FÍSICO/MEI	impulso por meio de rotaçã	procariontos	566	sim	
Transladar	PARTÍCULA SÓLIDA	procariontos aquátic	líquido		AGENTE FÍSICO/SÓLID	vesículas	PRINCÍPIO FÍSICO/PNE	por regulação de gás	procariontos aq	566	não	movimento de
Transmitir	SINAL	informação	líquido		AGENTE QUÍMICO	moléculas de sinalizaçã	PRINCÍPIO QUÍMICO	emissão de sinais químicos	bioluminescên	567	não	https://pt.wiki
Indicar	SINAL	disponibilidade para	gasoso		AGENTE BIOLÓGICO	órgãos bioluminescente	PRINCÍPIO FÍSICO/ELE	emissão de luz	bioluminescên	567	não	https://pt.wiki
Indicar	SINAL	através para presa	líquido		AGENTE QUÍMICO	enzimas	PRINCÍPIO FÍSICO/ELE	emissão de luz	bioluminescên	567	não	https://pt.wiki
Mov. Saída	ENERGIA ELETROMAGNÉTIC	luz	gasoso		AGENTE QUÍMICO	luciferina	PRINCÍPIO QUÍMICO	perda de energia através da	vagalume	567	não	https://pt.wiki
Segurar	PARTÍCULA SÓLIDA	bactéria	sólido		AGENTE FÍSICO/SÓLID	corpo cilíndrico espiralad	PRINCÍPIO FÍSICO/MEI	giro e ancoragem à parede c	bactéria caus	572	sim	
Reproduzir	PARTÍCULA SÓLIDA	cianobactérias	líquido		AGENTE BIOLÓGICO	heterocistos	PRINCÍPIO FÍSICO/MEI	por quebra/desprendiment	cianobactérias	573	sim	
Proteger	CORPO SÓLIDO	corpo	líquido		AGENTE BIOLÓGICO	célula hospedeira (fagóc	PRINCÍPIO BIOLÓGICO	endossimbiose	vírus, bactéri	585	sim	https://brasile
Mov. Saída	MISTURA SÓLIDO-LÍQUIDO	toxinas	líquido		AGENTE FÍSICO/SÓLID	corpo	PRINCÍPIO FÍSICO/MEI	multiplicação e rompimento	bactérias	579	não	
Proteger	PARTÍCULA SÓLIDA	vírus	líquido		AGENTE BIOLÓGICO	genes	PRINCÍPIO BIOLÓGICO	mutação	vírus	582	não	
Regular densida	PARTÍCULA SÓLIDA	diatomáceas	líquido		AGENTE FÍSICO/SÓLID	carapaça (frústula)	PRINCÍPIO FÍSICO/HID	armazenamento de óleo. Req	diatomáceas	587	não	
Estruturar	CORPO SÓLIDO	corpo	líquido		AGENTE FÍSICO/SÓLID	carapaças	PRINCÍPIO BIOLÓGICO	secreção de células de carbol	foramíníferos	587	sim	
Reproduzir	ENERGIA ELETROMAGNÉTIC	luz solar	líquido		AGENTE FÍSICO/SÓLID	escamas (floreescências n	PRINCÍPIO FÍSICO/ELE	por reflexã	coccolitóforo	587	sim	
Estruturar	PARTÍCULA SÓLIDA	célula	sólido		AGENTE FÍSICO/SÓLID	membrana	PRINCÍPIO FÍSICO/MEI	por invaginação e criação de	célula eucariót	588	sim	

Fonte: a autora

Seguindo com o processo de leitura dos sistemas naturais a partir da literatura de referência, o resultado alcançado foi a geração de um banco de dados consistente, com mais de 660 princípios de solução mapeados. Pela extensão e complexidade de execução desta fase do trabalho, foi necessário contar com o apoio de outro pesquisador na equipe ao longo de aproximadamente 18 meses de trabalho.

6.6 DETALHAMENTO E ILUSTRAÇÃO DOS PRINCÍPIOS DE SOLUÇÃO DA NATUREZA

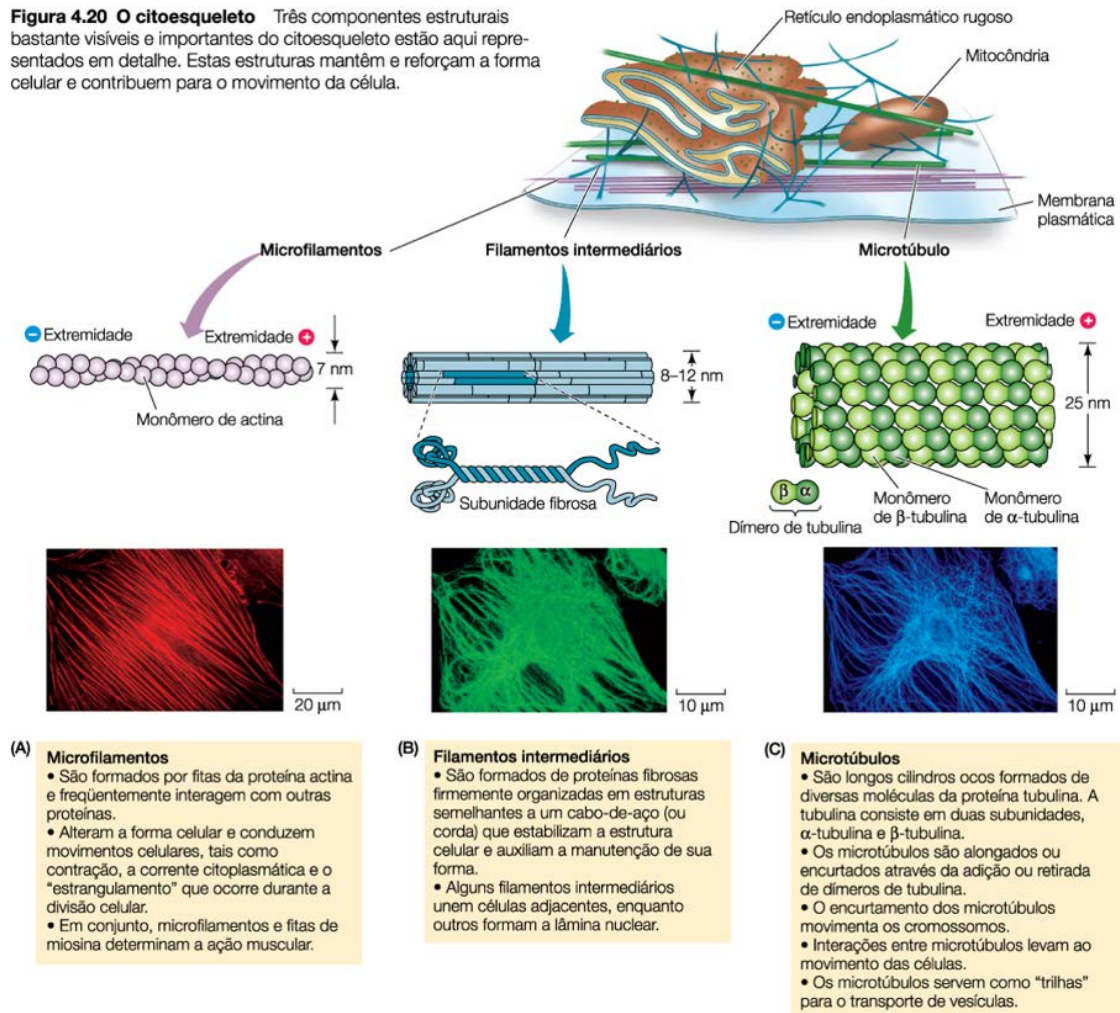
Após concluída a primeira fase de captação das informações biológicas a partir da literatura de referência, foram revisitados cada um dos princípios de solução listados no banco de dados com o objetivo de aprofundar o detalhamento e anexar as ilustrações pertinentes. Gravuras e imagens auxiliam na interpretação e compreensão dos fenômenos da natureza, ampliando a capacidade imaginativa e a versatilidade de aplicações dos mesmos. Para disponibilizar maiores detalhes ao projetista interessado, o objetivo é indexar ao repositório biomimético as ilustrações dos princípios de solução para que sejam de rápido e fácil acesso ao pesquisador.

Através de contato direto junto à Editora Grupo A, foi possível obter acesso à versão digital da obra "Vida: a ciência da biologia" (SADAVA et al., 2009) no portal virtual e fazer o download das ilustrações contidas no livro. O trabalho realizado foi selecionar, recortar e organizar o material para que seja de fácil busca e acesso pelo pesquisador que pretende ter maiores informações a respeito do fenômeno

biológico em questão. Como exemplo de um princípio de solução da natureza ilustrado, segue a Figura 55:

Figura 55: Princípio de solução da natureza ilustrado

Figura 4.20 O citoesqueleto Três componentes estruturais bastante visíveis e importantes do citoesqueleto estão aqui representados em detalhe. Estas estruturas mantêm e reforçam a forma celular e contribuem para o movimento da célula.



Fonte: (SADAVA et al., 2009)

Na planilha digital, junto de cada princípio de solução foi acrescentado um campo com a indicação da página que o fenômeno se encontra, bem como se há ou não alguma ilustração vinculada a ele. Foram selecionadas aproximadamente 170 ilustrações ao total. Algumas delas estão expostas no Anexo A.

6.7 QUALIFICAÇÃO DA INTERFACE DO REPOSITÓRIO BIOMIMÉTICO

O Repositório Biomimético desenvolvido necessita de uma interface amigável, com linguagem clara e operacionalização objetiva para que seja de fácil usabilidade. No processo de elaboração dos procedimentos para o acesso direto do usuário, algumas ações foram realizadas visando facilitar o manuseio da ferramenta, tornando-a mais ágil e intuitiva:

- Foi necessária uma avaliação fina em todos os campos da planilha em Excel, realizada através de revisão gramatical e identificação e exclusão de termos em duplicidade, visando unificar e “limpar” as informações para melhor uso dos filtros de pesquisa;
- A coluna detalhada do Objeto da ação foi retirada e deixada apenas a coluna Objeto da ação com os termos padronizados dentro da Taxonomia, já que estes últimos são diretamente utilizados como filtros da pesquisa pelos princípios de solução;
- Para simplificar o uso e facilitar a navegação, foram retirados alguns campos de pouca relevância, como Tempo, visto que apenas 03 dos 660 princípios tem esse campo preenchido; e Figura, pois o link das ilustrações pode ficar diretamente vinculado na coluna das páginas;
- Foram retiradas as linhas de identificação do volume do livro correspondente (1, 2 ou 3), já que a identificação das páginas já é suficiente para encontrar o princípio de solução dentro da obra “Vida: a ciência da Biologia”;
- As colunas que identificam o Dispositivo e o Princípio físico com os termos genéricos da taxonomia foram retiradas do repositório, pois não são úteis diretamente na busca pela solução para os problemas de projeto.
- As informações complementares contidas na coluna de Observações foram integradas junto às explicações do princípio físico, para tornar o repositório ainda mais simples e compacto.

A Figura 56, a seguir, mostra o banco de dados original e os campos onde foram realizadas as modificações descritas acima. Com a marcação pontilhada em cinza estão os campos que foram excluídos e com as setas vermelhas estão indicadas as colunas selecionadas para seguir no modelo final do Repositório Biomimético.

Figura 56: Adaptações no banco de dados original

AÇÃO	OBJETO DA AÇÃO	OBJETO DA AÇÃO	MEIO	DISPOSITIVO	DISPOSITIVO	PRINCÍPIO FÍSICO	PRINCÍPIO FÍSICO	EXEMPLO	PG	FIGURA	OBSERVAÇÃO
LIVRO 2: EVOLUÇÃO, DIVERSIDADE E ECOLOGIA											
Selecionar	PARTÍCULA SÓLIDA	partículas sólidas	líquido	AGENTE FÍSICO/SÓLIDO	bico com borda serrilhada	PRINCÍPIO FÍSICO/MECÂNICO	seleção por filtragem	flamingos	512	não	http://www.re
Remover	CORPO SÓLIDO	couro	sólido	AGENTE FÍSICO/SÓLIDO	bico forte	PRINCÍPIO FÍSICO/MECÂNICO	rasgar e despelar	abutre	512	não	http://www.re
Moldar	CORPO SÓLIDO	pinho	sólido	AGENTE FÍSICO/SÓLIDO	bico forte alongado e fino	PRINCÍPIO FÍSICO/MECÂNICO	perfuração da madeira	pica-pau	512	não	http://www.re
Transmitir	SINAL	informação	gasoso	AGENTE FÍSICO/SÓLIDO	bico longo e rígido	PRINCÍPIO FÍSICO/MECÂNICO	bater repetidamente	comunicação	512	não	http://www.re
Dividir	MISTURA SÓLIDO-LÍQUIDO	nutrientes	sólido	AGENTE FÍSICO/SÓLIDO	bico rígido	PRINCÍPIO FÍSICO/MECÂNICO	compressão (quebra sement	Tendilhão	512	não	http://www.re
Mov. Entrada	CORPO SÓLIDO	passaro	líquido	AGENTE FÍSICO/SÓLIDO	bico longo e afiado	PRINCÍPIO FÍSICO/HIDRÁULICO	submersão (mergulho rápido)	garça	512	não	http://www.re
VI Dividir	CORPO SÓLIDO	presas	gasoso	AGENTE FÍSICO/SÓLIDO	bico forte, curvo e afiado	PRINCÍPIO FÍSICO/MECÂNICO	perfuração e corte	aves de rapina	512	não	http://www.re
Remover	MISTURA LÍQUIDO-LÍQUIDO	néctar	sólido	AGENTE FÍSICO/SÓLIDO	bico longo e levemente curvado	PRINCÍPIO FÍSICO/PNEUMÁTICO	sucção	beija-flor	512	não	http://www.re
Remover	CORPO SÓLIDO	frutos	gasoso	AGENTE FÍSICO/SÓLIDO	bico grande com abertura	PRINCÍPIO FÍSICO/MECÂNICO	corte	tucano	512	não	http://www.re
Mov. Entrada	MISTURA SÓLIDO-LÍQUIDO	alimento	líquido	AGENTE FÍSICO/SÓLIDO	papo	PRINCÍPIO BIOLÓGICO	fermentação	galo	532	sim	
Mov. Entrada	MISTURA SÓLIDO-LÍQUIDO	alimento	líquido	AGENTE FÍSICO/SÓLIDO	estômago	PRINCÍPIO BIOLÓGICO	fermentação	ser humano	532	sim	
Transmitir	SINAL	informação	sólido	AGENTE BIOLÓGICO	neurônios	PRINCÍPIO FÍSICO/ELETRICIDADE	por impulsos elétricos	transmissão de	538	não	
Indicar	CORPO SÓLIDO	informação de dispersão	líquido	AGENTE FÍSICO/SÓLIDO	cauda	PRINCÍPIO QUÍMICO	alteração de forma/cor	peixe cauda de	553	sim	
Indicar	PARTÍCULA SÓLIDA	microrganismos	líquido	AGENTE QUÍMICO	moléculas de sinalização	PRINCÍPIO QUÍMICO	emissão de sinais químicos	bactérias (no e	564	sim	
Transladar	PARTÍCULA SÓLIDA	bactéria	líquido	AGENTE FÍSICO/SÓLIDO	filamentos axiais / filamentos	PRINCÍPIO FÍSICO/MECÂNICO	impulsão por meio de rotação	procaríotos	566	sim	
Transladar	PARTÍCULA SÓLIDA	procaríotos aquáticos	líquido	AGENTE FÍSICO/SÓLIDO	vesículas	PRINCÍPIO FÍSICO/PNEUMÁTICO	por regulação de gás	procaríotos aq	566	sim	movimento de
Transmitir	SINAL	informação	líquido	AGENTE QUÍMICO	moléculas de sinalização	PRINCÍPIO QUÍMICO	emissão de sinais químicos	procaríotos aq	566	sim	
Indicar	SINAL	disponibilidade para	gasoso	AGENTE BIOLÓGICO	órgãos bioluminescentes	PRINCÍPIO FÍSICO/ELETRICIDADE	emissão de luz	bioluminescên	567	não	https://pt.wiki
Indicar	SINAL	atividades para presa	líquido	AGENTE QUÍMICO	enzimas	PRINCÍPIO FÍSICO/ELETRICIDADE	emissão de luz	bioluminescên	567	não	https://pt.wiki
Mov. Saída	ENERGIA ELETROMAGNÉTICA	luz	gasoso	AGENTE QUÍMICO	luciferina	PRINCÍPIO QUÍMICO	perda de energia através da	vagalume	567	não	https://pt.wiki
Segurar	PARTÍCULA SÓLIDA	bactéria	sólido	AGENTE FÍSICO/SÓLIDO	corpo cilíndrico espiralado	PRINCÍPIO FÍSICO/MECÂNICO	giro e ancoragem à parede	bactéria causad	572	sim	
Reproduzir	PARTÍCULA SÓLIDA	cianobactérias	líquido	AGENTE BIOLÓGICO	heterocistos	PRINCÍPIO FÍSICO/MECÂNICO	por quebra/desprendimento	cianobactérias	573	sim	
Proteger	CORPO SÓLIDO	corpo	líquido	AGENTE BIOLÓGICO	célula hospedeira (fagóc	PRINCÍPIO BIOLÓGICO	endossimbiose	vírus, bactérias	585	sim	https://brasile
Mov. Saída	MISTURA SÓLIDO-LÍQUIDO	toxinas	líquido	AGENTE FÍSICO/SÓLIDO	genes	PRINCÍPIO FÍSICO/MECÂNICO	mutação	bactérias	579	não	
Proteger	PARTÍCULA SÓLIDA	vírus	líquido	AGENTE BIOLÓGICO	genes	PRINCÍPIO BIOLÓGICO	mutação	vírus	582	não	
Regular densida	PARTÍCULA SÓLIDA	diatomáceas	líquido	AGENTE FÍSICO/SÓLIDO	carapaça (frústula)	PRINCÍPIO FÍSICO/HIDRÁULICO	armazenamento de óleo. Req	diatomáceas	587	não	
Estruturar	CORPO SÓLIDO	corpo	líquido	AGENTE FÍSICO/SÓLIDO	carapaças	PRINCÍPIO BIOLÓGICO	secreção de células de carbol	foraminíferos	587	sim	
Reproduzir	ENERGIA ELETROMAGNÉTICA	luz solar	líquido	AGENTE FÍSICO/SÓLIDO	escamas (floreescências n	PRINCÍPIO FÍSICO/ELETRICIDADE	por reflexo	coccolitóforo	587	sim	
Estruturar	PARTÍCULA SÓLIDA	célula	sólido	AGENTE FÍSICO/SÓLIDO	membrana	PRINCÍPIO FÍSICO/MECÂNICO	por invaginação e criação de	célula eucariót	588	sim	

Fonte: a autora

Após a realização destas ações, as informações contidas no banco de dados foram transferidas para a planilha padrão do Google Drive, com o objetivo de tornar-se mais acessível aos pesquisadores, bem como possibilitar uso e edição simultâneos. O acesso pode ser feito através do endereço <https://docs.google.com/spreadsheets/d/1YWWQuifajNlXkIDtkK67WBZBW6ewd22PZUkyaAg15s/edit?usp=sharing>.

Durante a transferência das informações para a nova plataforma, foi possível elaborar a interface nos seguintes aspectos:

- Uniformização das fontes dos textos para melhorar legibilidade;
- Fazer uso das cores para identificar com clareza os campos referentes ao problema de projeto (ação, objeto da ação e meio) e os campos referentes à solução (dispositivo, princípio físico, exemplo e página/ilustração);
- Criação de controle de filtros junto ao cabeçalho da planilha para orientar a busca dos princípios de solução;
- Criação de links para vincular as ilustrações à cada princípio de solução, renomeando as extensões dos links com o número de cada página;
- Congelamento das linhas de cabeçalho para fixar os campos de busca, independente das informações selecionadas.

A Figura 57 a seguir indica o Repositório Biomimético elaborado com a interface final:

Figura 57: Repositório Biomimético com a interface finalizada

QUAL A AÇÃO?		QUAL O OBJETO DA AÇÃO?		EM QUE MEIO?			
PROBLEMA DE PROJETO		PRINCÍPIO DE SOLUÇÃO					
QUAL A AÇÃO?	QUAL O OBJETO DA AÇÃO?	EM QUE MEIO?	DISPOSITIVO	PRINCÍPIO FÍSICO	EXEMPLO	PG	
1 Vincular	CORPO SÓLIDO	gasoso	folhas com gravinhas	se enrolam e auxiliam na fixação para as folhas alcançarem mais altura e portanto terem acesso a mais sol	pepino, chuchu, etc	6	
2 Fornecer	MISTURA SÓLIDO-LÍQUIDO	gasoso	folhas em forma de vaso que mantêm água	por decomposição dos corpos dos insetos que se afogam no jarro	folhas das Plantas-jarro	6	
3 Vincular	PARTÍCULA SÓLIDA	indiferente	elétrons	por atração e compartilhamento até chegar à estabilidade	ligações químicas	25	
4 Estruturar	CORPO SÓLIDO	líquido	pontes de hidrogênio	pelo movimento das moléculas de água e formação das pontes de hidrogênio	gelo	31	
5 Regular densidade	LÍQUIDO PURO	líquido	pontes de hidrogênio	por esfriamento e solidificação (formação de gelo, que é menos denso que a água líquida)	gelo	31	
6 Mov. Saída	ENERGIA TÉRMICA	indiferente	moléculas	por quebra de ligações moleculares através de reação química	perda de calor; resfriamento	30	
7 Mov. Saída	ENERGIA ELETROMAGNÉTICA	indiferente	moléculas	por quebra de ligações moleculares através de reação química	perda de luz	30	
8 Regular temperatur	CORPO SÓLIDO	gasoso	água	por evaporação	suor	32	
9 Vincular	LÍQUIDO PURO	líquido	pontes de hidrogênio	por tensão superficial (força coesiva decorrente das pontes de hidrogênio)	tensão superficial da água	32	
10 Dividir	PARTÍCULA SÓLIDA	indiferente	ambientes quentes	aumento na temperatura causa aceleração dos movimentos moleculares e podem quebrar pontes de hidrogênio e interações hidrofóbicas	desnaturação	48	
11 Dividir	PARTÍCULA SÓLIDA	indiferente	ambientes com alteração no PH	alterações no PH podem mudar o padrão de ionização dos aminoácidos, rompendo assim o padrão de atrações e repulsões iônicas	desnaturação	48	

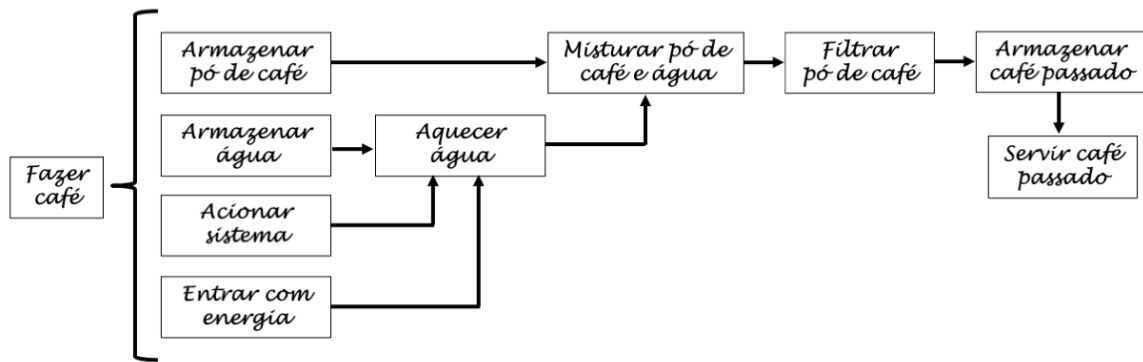
Fonte: a autora

6.8 PROCESSO B: MÉTODO DE APLICAÇÃO DO ARTEFATO PELO USUÁRIO

Após a finalização da elaboração do artefato instanciação, é necessário orientar os procedimentos por parte do usuário para aplicar o repositório com a finalidade de encontrar princípios de solução que respondam aos problemas de projeto. A primeira etapa que o projetista deve realizar é a modelagem funcional do produto, discriminando todas as subfunções que devem ser cumpridas por ele. É possível fazer a decomposição funcional manualmente ou então utilizar softwares ou aplicativos para isso. O item 2.1.2 da fundamentação teórica explica em maiores detalhes o que é e como elaborar a decomposição funcional de um produto. Como exemplo, a Figura 58 a seguir sugere a modelagem funcional de uma cafeteira:

Neste exemplo, a função global “fazer café” foi decomposta em subfunções tais como “aquecer água”, “filtrar pó de café”, “armazenar café passado”, etc. A etapa seguinte consiste em preencher o Template de pesquisa com o problema de projeto indicado por cada uma destas subfunções. O Template de pesquisa (Figura 59) foi adaptado do Template geral com apenas a supressão do campo “tempo”, já que não foi expressiva a influência desta categoria no levantamento do banco de dados realizado.

Figura 58: Exemplo de Modelagem Funcional (Cafeteira)



Fonte: a autora

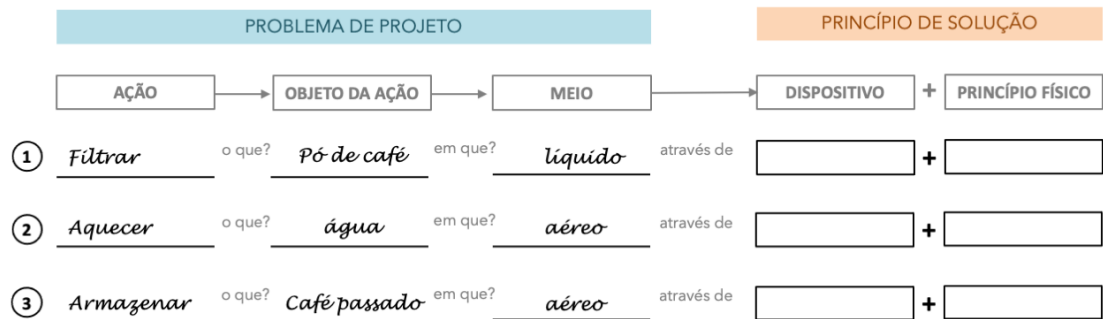
Figura 59: Template de pesquisa



Fonte: a autora

Desta forma, podemos incluir algumas das subfunções do exemplo da cafeteira, conforme indica a Figura 60, considerando que nem sempre todos os campos precisam ser completados. Porém, quantos mais campos forem preenchidos, mais refinadas e precisas serão as soluções encontradas.

Figura 60: Exemplo de uso do Template



Fonte: a autora

A etapa seguinte consiste em abrir o arquivo do Repositório Biomimético no Google Drive e utilizar o sistema de filtros para realizar a busca pelo princípio de solução dentro do banco de dados da natureza. Para isso, é necessário encontrar a correspondência dos termos originais da modelagem funcional para as categorias da taxonomia, listadas no controle de filtros. É possível que os termos originais se enquadrem em mais de uma categoria e, portanto, podem ser marcadas mais de uma delas simultaneamente. Como exemplo, seguem as correspondências para a subfunção 1 da cafeteira (Filtrar pó de café em meio líquido). Na categoria “Ação”, *Filtrar* pode encontrar correspondência em *Isolar* ou *Selecionar* (Figura 61):

Figura 61: Seleção de filtros de pesquisa na categoria Ação

AÇÃO?	EM QUE MEIO?	PRINCÍPIO DE SOLUÇÃO			
		DISPOSITIVO	PRINCÍPIO FÍSICO	EXEMPLO	PG
líquido		Poros nucleares (como	autorização de entrada de proteínas	membrana nuclear das células	78
líquido		Poros nucleares (como	autorização de entrada de proteínas	membrana nuclear das células	78
líquido		Reticulo endoplasmático	por englobamento em suas membranas	organelas das células	79, 80
líquido		Reticulo endoplasmático	através do sistema de redes de túbulos	organelas das células	79, 80
líquido		Complexo de Golgi	por empacotamento, proteínas são	organelas das células	81
líquido		Complexo de Golgi	por fusão de membranas	organelas das células	81
líquido		Complexo de Golgi	por brotamento de vesículas	organelas das células	81
líquido		Fagossomo	por fagocitose, devido a formação	organelas das células	82
líquido		lisossomo	por hidrólise: a digestão inicia pela	organelas das células	82
líquido		lisossomo	por autofagia. Organelas são englobadas	organelas das células	82
líquido		mitocôndrias	conversão de energia química em	respiração celular	83
líquido		cloroplastos	fotossíntese: realizada por uma enzima	fotossíntese	84
líquido		citoesqueleto (microfilamentos)	por formação de rede com longas	estrutura celular	87
líquido		citoesqueleto (microfilamentos)	por formação de rotas através da	estrutura celular	87
líquido		cílios	por deslizamento dos microtúbulos	batimento dos cílios	89
líquido		proteínas motoras	por movimento sobre os trilhos de	proteínas motoras que se movem	90
sólido		paredes celulares	por rigidez	parede celular vegetal	91
líquido		lâmina basal, matriz extracelular	filtração por viscosidade	células dos rins	91
líquido		proteínas integrais de membrana	por adesão, atravessando completamente	proteínas de membrana	98

Fonte: a autora

Na categoria “Objeto da ação”, *Pó de café* pode encontrar correspondência em *Corpo Sólido* ou *Partícula Sólida* (Figura 62). Na categoria “Meio”, podem ser consideradas de forma ampla as categorias *gasoso*, *indiferente* ou *líquido*, para não limitar as sugestões de soluções (Figura 63).

Como resultado final da pesquisa, o repositório biomimético oferece 13 diferentes possibilidades de princípios de solução da natureza (Figura 64), os quais devem ser analisados em maior profundidade pelo projetista. Para a maioria deles, há ilustrações que complementam e detalham a solução. Clicando no link junto ao número da página, deverá ser exibida a imagem com maior detalhamento do sistema natural em questão, como os exemplos da Figura 65 e da Figura 66.

Figura 62: Seleção de filtros de pesquisa na categoria Objeto da Ação

PROBLEMA DE PROJETO		PRINCÍPIO DE SOLUÇÃO		
QUAL A AÇÃO?	QUAL O OBJETO DA AÇÃO?	PRINCÍPIO FÍSICO	EXEMPLO	PG
Selecionar	PARTÍCULA SÓLIDA	autorização de entrada de proteínas	membrana nuclear das células	78
Isolar	CORPO SÓLIDO	filtração por viscosidade	células dos rins	91
Isolar	CORPO SÓLIDO	por junções aderentes	Separação de tecidos	104
Selecionar	PARTÍCULA SÓLIDA	por filtração (a linfa é filtrada e as células entram)	sistema linfático humano	402
Isolar	LÍQUIDO PURO	seleção por filtragem	flamingos	512
Selecionar	MISTURA SÓLIDO-LÍQUIDO	difusão de minerais no corpo avulsos	plantas avasculares	614
Selecionar	MISTURA SÓLIDO-LÍQUIDO	por batimento e sucção	esponjas	677
Selecionar	MISTURA SÓLIDO-LÍQUIDO	por batimento dos cílios e varredura	Rotíferos	696
Selecionar	PARTÍCULA SÓLIDA	por movimento tipo varredura	Poliquetas/espanadores	699
Selecionar	PARTÍCULA SÓLIDA	por filtração	Alimentação dos Equinos	719
Selecionar	PARTÍCULA SÓLIDA	por filtração	Alimentação das Larvas de Insetos	722
Selecionar	MISTURA SÓLIDO-LÍQUIDO	por filtragem (livrar corpo de restos)	Vertebrado	731
Isolar	CORPO SÓLIDO	isolamento térmico por recobrimento	Pássaros	733
Isolar	PARTÍCULA SÓLIDA	impermeabilizar por adição de substâncias	célula vegetal	885
Isolar	LÍQUIDO PURO	revestimento ceroso (cutícula)	folhas das eudicotiledôneas	897
Isolar	GÁS PURO	revestimento ceroso (cutícula)	folhas das eudicotiledôneas	897
Isolar	LÍQUIDO PURO	impregnação por substância hidrofóbica (suberina)		905
Selecionar	PARTÍCULA SÓLIDA	lamina de células densamente agrupadas	tecido epitelial	994
Isolar	CORPO SÓLIDO	retenção de uma camada de ar	animais adaptados ao clima	1004

Fonte: a autora

Figura 63: Seleção de filtros de pesquisa na categoria Meio

PROBLEMA DE PROJETO		DISPOSITIVO		PRINCÍPIO DE SOLUÇÃO		
QUAL A AÇÃO?	QUAL O OBJETO DA AÇÃO?	EM QUE MEIO?	DISPOSITIVO	PRINCÍPIO FÍSICO	EXEMPLO	PG
Selecionar	PARTÍCULA SÓLIDA	líquido	Poros nucleares (como as	autorização de entrada de proteínas	membrana nuclear das células	78
Isolar	CORPO SÓLIDO	líquido	lâmina basal, matriz extracelular	filtração por viscosidade	células dos rins	91
Isolar	CORPO SÓLIDO	sólido	Proteínas de reconhecimento	por junções aderentes	Separação de tecidos	104
Selecionar	PARTÍCULA SÓLIDA	líquido	linfonodos	por filtração (a linfa é filtrada e as células entram)	sistema linfático humano	402
Selecionar	PARTÍCULA SÓLIDA	líquido	bico com borda serrilhada	seleção por filtragem	flamingos	512
Selecionar	PARTÍCULA SÓLIDA	líquido	tentáculos espanador	difusão de minerais no corpo avulsos	plantas avasculares	614
Selecionar	PARTÍCULA SÓLIDA	líquido	placa madrepórica	por batimento e sucção	esponjas	677
Selecionar	PARTÍCULA SÓLIDA	Líquido	Fendas Faríngeas/cesta	por batimento dos cílios e varredura	Rotíferos	696
Isolar	CORPO SÓLIDO	gasoso	dupla camada de penas	por movimento tipo varredura	Poliquetas/espanadores	699
Isolar	PARTÍCULA SÓLIDA	indiferente	parede celular	por filtração	Alimentação dos Equinos	719
Selecionar	PARTÍCULA SÓLIDA	líquido	tecido epitelial	por filtração	Alimentação das Larvas de Insetos	722
Isolar	CORPO SÓLIDO	gasoso	pelagens e penas	por filtragem (livrar corpo de restos)	Vertebrado	731
Isolar	CORPO SÓLIDO	líquido	pelagens e penas	isolamento térmico por recobrimento	Pássaros	733
Isolar	CORPO SÓLIDO	líquido	pelagens e penas	impermeabilizar por adição de substâncias	célula vegetal	885
Selecionar	PARTÍCULA SÓLIDA	sólido	Cumulus - camada gelatinosa	revestimento ceroso (cutícula)	folhas das eudicotiledôneas	897
Selecionar	PARTÍCULA SÓLIDA	sólido	zona pelúcida - envelopamento	revestimento ceroso (cutícula)	folhas das eudicotiledôneas	897
Selecionar	PARTÍCULA SÓLIDA	sólido	membrana plasmática com	impregnação por substância hidrofóbica (suberina)		905
Isolar	PARTÍCULA SÓLIDA	líquido	envelope de fertilização	lamina de células densamente agrupadas	tecido epitelial	994
Isolar	PARTÍCULA SÓLIDA	sólido	células de schwann	retenção de uma camada de ar	animais adaptados ao clima	1004
Isolar	PARTÍCULA SÓLIDA	sólido	células de schwann	por secreção de substâncias oleosas	animais adaptados ao clima	1004
Selecionar	PARTÍCULA SÓLIDA	sólido	Cumulus - camada gelatinosa	enzimas liberadas pelo espermatócito	reprodução sexual	1038
Selecionar	PARTÍCULA SÓLIDA	sólido	zona pelúcida - envelopamento	bloqueio rápido da polispermia	(n) reprodução sexual	1038
Selecionar	PARTÍCULA SÓLIDA	sólido	membrana plasmática com	ligação entre moléculas de reconhecimento	reprodução sexual	1038
Isolar	PARTÍCULA SÓLIDA	líquido	envelope de fertilização	por endurecimento	reprodução sexual	1039
Isolar	PARTÍCULA SÓLIDA	sólido	células de schwann	por produção de camadas de mielina	isolamento elétrico do axônio	1082

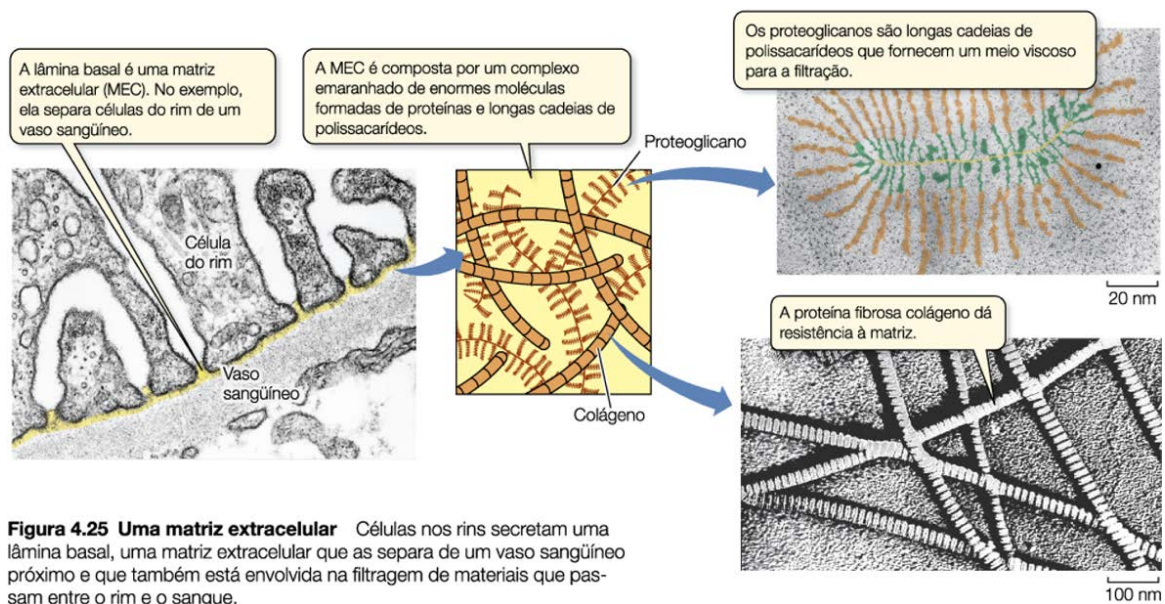
Fonte: a autora

Figura 64: Seleção de soluções da natureza para o problema pesquisado

PROBLEMA DE PROJETO			PRINCÍPIO DE SOLUÇÃO			
QUAL A AÇÃO?	QUAL O OBJETO DA AÇÃO?	EM QUE MEIO?	DISPOSITIVO	PRINCÍPIO FÍSICO	EXEMPLO	PG
Selecionar	PARTÍCULA SÓLIDA	líquido	Poros nucleares ("catraca" de entrada)	autorização de entrada de proteínas por sinal de localização nuclear. Essa sequência de sinal possui uma estrutura tridimensional que permite sua ligação não-covalente a uma das proteínas do poro, que atua como receptor. A ligação induz uma alteração no formato tridimensional do receptor de forma que ocorre o estiramento do poro, permitindo a importação de grandes proteínas.	membrana nuclear das células	78
Isolar	CORPO SÓLIDO	líquido	lâmina basal, matriz extracelular	filtração por viscosidade	células dos rins	91
Selecionar	PARTÍCULA SÓLIDA	líquido	linfonodos	por filtração (a linfa é filtrada e as células brancas sanguíneas inspecionam a linfa em busca de patógenos)	sistema linfático humano	402
Selecionar	PARTÍCULA SÓLIDA	líquido	bico com borda serrilhada	seleção por filtragem	flamingos	512
Selecionar	PARTÍCULA SÓLIDA	líquido	tentáculos espanador	por movimento tipo varredura	Poliquetas/espanadores	699
Selecionar	PARTÍCULA SÓLIDA	líquido	placa madrepórica	por filtração	Alimentação dos Equinodermos (estrelas do mar)	719
Selecionar	PARTÍCULA SÓLIDA	Líquido	Fendas Faringeas/cestas faríngeas	por filtração	Alimentação das Larva de ascídea	722
Isolar	CORPO SÓLIDO	gasoso	dupla camada de penas (plumagem)	isolamento térmico por recobrimento	Pássaros	733
Isolar	PARTÍCULA SÓLIDA	indiferente	parede celular	impermeabilizar por adição de suberina (complexo lipídico)	célula vegetal	885
Selecionar	PARTÍCULA SÓLIDA	líquido	tecido epitelial	lamínas de células densamente agrupadas, fortemente aderidas (funcionam como filtro ou transmissão)	tecido epitelial	994
Isolar	CORPO SÓLIDO	gasoso	pelagens e penas	retenção de uma camada de ar quente parada próxima à superfície da pele	animais adaptados ao clima frio	1004
Isolar	CORPO SÓLIDO	líquido	pelagens e penas	por secreção de substâncias oleosas sobre os pêlos e penas	animais adaptados ao clima frio	1004
Isolar	PARTÍCULA SÓLIDA	líquido	envelope de fertilização	por endurecimento	reprodução sexual	1039

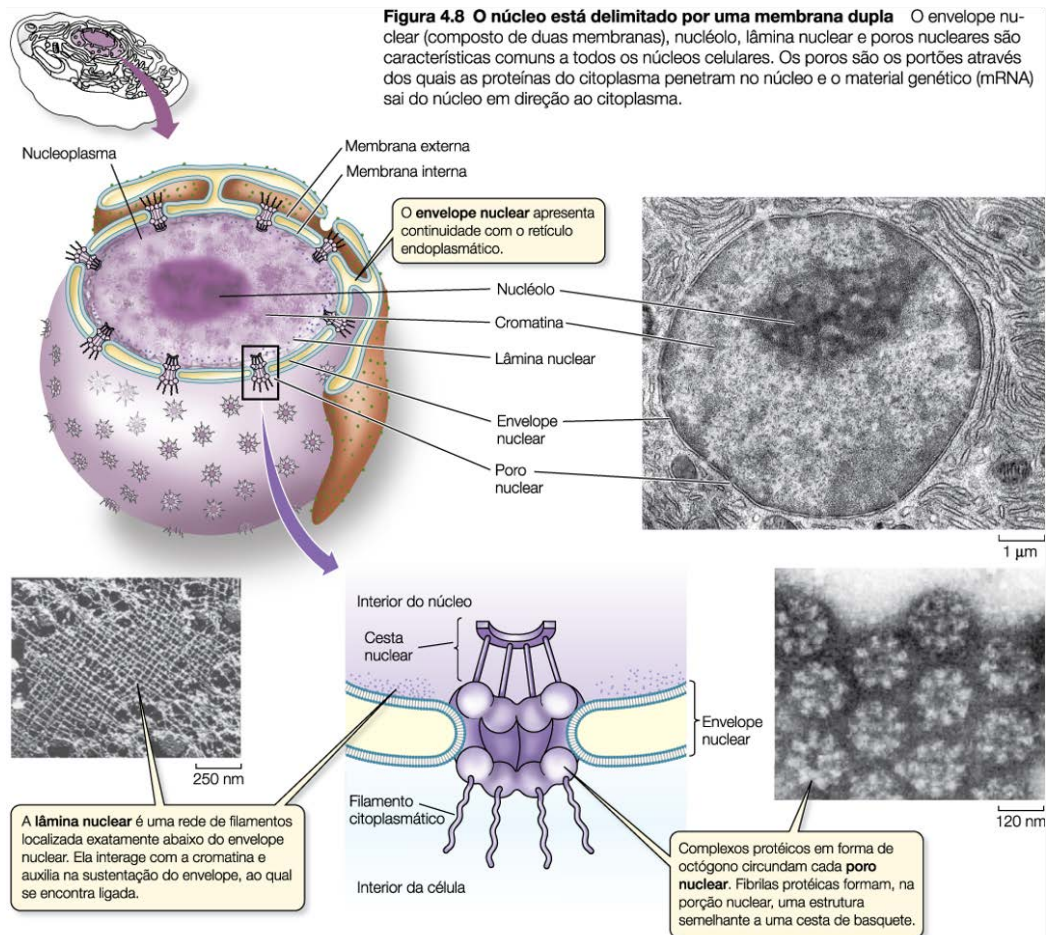
Fonte: a autora

Figura 65: Detalhamento do dispositivo da Matriz extracelular - lâmina basal



Fonte: Vida: a ciência da biologia (SADAVA et al., 2009, pg.91)

Figura 66: Detalhamento do dispositivo "Poros nucleares"



Fonte: Vida: a ciência da biologia (SADAVA et al., 2009, pg.78)

A etapa final do método consiste em transpor os princípios de solução da natureza para o campo e a linguagem do design, o que exige um esforço de abstração e analogia. Desta forma, é possível chegar a novas alternativas de solução para atender aos problemas de projeto.

Outro caminho possível para uso da ferramenta é realizar a busca iniciando pela solução em vez do problema de projeto. Neste caso, não é necessário o uso do controle de filtros, apenas a busca através do recurso "localizar e substituir" do Google Chrome. Na Figura 67, aparece a simulação de uma busca pela solução "Flagelo". Cada vez que o botão "procurar" é acionado, uma nova célula da planilha é selecionada contendo o termo pesquisado e conseqüentemente a indicação de exemplos da natureza onde a solução foi empregada.

Figura 67: Exemplo de pesquisa orientada pela solução

The image shows a spreadsheet application with a search dialog box open. The spreadsheet has columns for 'PROBLEMA DE PROJETO', 'QUAL A AÇÃO?', 'QUAL O OBJETO DA AÇÃO?', and 'DISPOSITIVO'. The search dialog 'Localizar e substituir' has 'flagelos' entered in the search field. The search results are displayed in a table on the right side of the dialog.

QUAL A AÇÃO?	QUAL O OBJETO DA AÇÃO?	DISPOSITIVO		
Mov. Entrada	PARTÍCULA SÓLIDA	sólido	hifas	captura das presas
Segurar	CORPO SÓLIDO	sólido	anel constritor do fungo	por enlaçamento
Reproduzir	CORPO SÓLIDO	gasoso	Talo (corpo vegetativo)	por fragmentação
Reproduzir	CORPO SÓLIDO	gasoso	Sorédio (células fotossintéticas)	por desprender
Proteger	CORPO SÓLIDO	gasoso	corpo do l	por ressecamento
Fornecer	MISTURA SÓLIDO-LÍQUIDO	sólido	hifas dos fungos	por enrolamento
Proteger	CORPO SÓLIDO	gasoso	fungos endofíticos	por recobrimento
Reproduzir	CORPO SÓLIDO	gasoso	esporângios/ápices das hifas	por desprendimento de esporos
Reproduzir	CORPO SÓLIDO	sólido	corpo do fungo	por divisão celular
Regular fluxo	MISTURA LÍQUIDO-LÍQUIDO	sólido	celoma (cavidade corporal interna)	por contração dos músculos internos que facilitam o fluxo dos fluidos
Selecionar	MISTURA SÓLIDO-LÍQUIDO	líquido	flagelos dos coanócitos	por batimento e sucção
Mov. Entrada	LÍQUIDO PURO	líquido	flagelos dos coanócitos	esponjas
Proteger	CORPO SÓLIDO	gasoso	pele	por batimento e sucção
Proteger	CORPO SÓLIDO	gasoso	presas (dentes)	por camuflagem e mimetismo
Desativar	CORPO SÓLIDO	gasoso	presas (dentes)	lagarta, camaleão, gafanhoto
Desativar	CORPO SÓLIDO	líquido	nematocistos dos tentáculos	por injeção de veneno/toxinas
Moldar	CORPO SÓLIDO	gasoso	crisálida ou "pupa"(casulo)	por injeção de veneno/toxinas
Detectar	SINAL	gasoso	antenas	caravelas
Fornecer	CORPO SÓLIDO	gasoso	glândula salivar	por metamorfose
				por estímulo químico (órgãos sensoriais olfativos e de tato se localiza)
				borboletas, baratas
				formação do casulo através da produção de teia de material salivar a partir do casulo da lagarta

Fonte: a autora

Desta maneira, o usuário possui duas possibilidades de pesquisa: abordagem orientada pelo problema ou abordagem orientada pela solução, optando pela mais conveniente para promover a geração de alternativas para o projeto de produto.

7. AVALIAÇÃO DO ARTEFATO

Após o processo de desenvolvimento do artefato, é importante observar e avaliar o seu funcionamento. Para esta pesquisa, em função das limitações de contatos e interações com usuários impostas pela pandemia do covid-19, optou-se por realizar a avaliação do artefato através de:

- Comparação com os demais métodos e ferramentas existentes, investigados em profundidade na revisão sistemática da literatura (Quadro 25)
- Verificação de quais os requisitos de projeto e requisitos de usuário elicitados foram atendidos.

O Quadro 25) sintetiza as informações mais relevantes da análise dos métodos e ferramentas bio-inspirados, levando em consideração alguns dos critérios abordados pelos autores da revisão sistemática. O método BIOsign, desenvolvido nesta pesquisa, foi incluído como número 7 ao final do quadro e pode ser analisado segundo os mesmos critérios.

Dentre os métodos analisados, o BIOsign tem a vantagem de uso por ambas as abordagens: através do problema ou através da solução. Comparando o número de etapas para uso do método, o BIOsign também está em vantagem, visto que se realiza por completo através de 5 ou 7 etapas. Com relação ao acesso, diferentemente da maioria dos demais métodos, o BIOsign tem acesso livre, pela plataforma Google, através de link público que pode ser compartilhado. Sobre o Banco de dados, o repositório BIOsign oferece um número consistente de soluções da natureza (aprox. 660), apenas em menor quantidade que a plataforma Asknature. Importante ressaltar a possibilidade que o repositório possui de receber novas inserções providas de outros pesquisadores, considerando uma análise e verificação prévia. Desta forma a plataforma pode se manter sempre atualizada e crescendo em oferta de soluções bio-inspiradas.

Em seguida, a avaliação apurou a conformidade entre os requisitos de projeto elicitados e as funcionalidades e características dos artefatos biomiméticos resultantes da pesquisa. Para esse processo de verificação, foram utilizados os seguintes níveis de classificação:

Quadro 25: Comparação do artefato com os demais métodos bio-inspirados

	MÉTODO	AUTORES	abordagem orientada pelo PROBLEMA ou pela SOLUÇÃO?	EXTENSÃO DO MÉTODO (quantas e etapas + sub-etapas)	ARTEFATO	ACESSIBILIDADE (livre ou restrito)	Consistência DE DADOS BANCO	USABILIDADE	OBSERVAÇÕES
1	MODELOS FUNCIONAIS	Nagel, Stone, McAdams	AMBOS	até 14 etapas	Tesouro de engenharia-para-biologia integrado à Functional Basis	ACESSO LIVRE porém difícil, pois se encontra dentro dos artigos científicos publicados	SEM BANCO DE DADOS	Requer conhecimento / aprendizagem de modelagem funcional e uso do Tesouro	o sistema tem a vantagem de não depender de banco de dados para ser aplicado.
2	IDEA-INSPIRE	Chakrabarti	pelo PROBLEMA	8 etapas	Modelo SAPPPhIRE. (Relação SBF) Software IDEA-INSPIRE	ACESSO RESTRITO	Banco de dados pequeno pois depende apenas de especialistas	Necessário treinamento para interpretar o modelo SAPPPhIRE e capacitar os projetistas a realizar as transferências biomiméticas desejadas	O banco de dados é personalizado e depende diretamente da adição de novas informações, que exigem tempo e esforço. O nível de detalhamento necessário para analisar cada sistema biológico é longo e complexo.
3	DANE	Goel, Helms, Vattam	AMBOS	7 etapas	Modelo BIOLOGUE (sistema de catalogação de artigos relevantes associados à estrutura SBF) software DANE (mecanismo de pesquisa avançada que inclui pesquisa baseada em recursos como função, princípio físico, ambiente operacional, etc., derivados da ontologia da SBF)	ACESSO RESTRITO ACESSO LIVRE (software para download no site)	Banco de dados de artigos acadêmicos aberto para compartilhamento e abastecimento por parte dos usuários Banco de dados pequeno pois é um procedimento complexo que inibe a participação dos usuários.	Requer conhecimento do sistema SBF Aplicativo simples e fácil de usar, pois as informações são bem organizadas e altamente detalhadas. Não necessita treinamento. Sistema intuitivo.	O sistema tem a vantagem de apresentar ao projetista uma variedade de modelos, figuras, diagramas e descrições das soluções da natureza com livre acesso e fácil compreensão. O banco de dados é personalizado e depende diretamente da adição de novas informações, que exigem tempo e esforço. O nível de detalhamento necessário para analisar cada sistema biológico é longo e complexo
4	NATURAL-LANGUAGE	Shu e Cheong	AMBOS	até 14 etapas	WORDNET e Glossário (adaptação da Functional Basis para Biologia)	ACESSO LIVRE porém difícil de encontrar entre os artigos científicos publicados	SEM BANCO DE DADOS	Requer conhecimento de modelagem funcional do produto e também conhecimentos na área da biologia.	o sistema tem a vantagem de não depender de banco de dados para ser aplicado. O processo de filtragem manual dos resultados pode ser desafiador e demorado
5	BIOTRIZ (adaptação da TRIZ, integrando os sistemas naturais).	Vincent	pelo PROBLEMA	8 etapas	Nova MATRIZ DE CONTRADIÇÕES a partir da análise dos fenômenos biológicos. Reorganização dos 39 parâmetros de engenharia em 6 campos de operação.	ACESSO RESTRITO a compradores e moradores de determinados países	Banco de dados restrito aos 40 PRINCÍPIOS INVENTIVOS extraídos das Patentes da TRIZ	requer conhecimento/aprendizagem	
6	BIOMIMICRY institute e ASKNATURE	Benyus	AMBOS	6 etapas 2 etapas	Método DESIGN SPIRALS TAXONOMIA ASK NATURE (plataforma de busca online) LIFE PRINCIPLES (cartões)	RESTRITO RESTRITO ACESSO LIVRE através de publicações, site e cursos RESTRITO	Banco de dados amplo porém com informações vagas e pouco detalhadas	necessidade de curso/aprendizagem para compreender e aplicar o método necessidade de curso/aprendizagem para compreender e aplicar o método Acesso e manuseio fácil e intuitivo necessidade de curso/aprendizagem para compreender e aplicar o método	Apesar da facilidade de uso, o AskNature fornece informações vagas e superficiais a respeito dos sistemas naturais
7	Método BIOsign	Detanico	AMBOS	5 etapas (solução) 7 etapas (problema)	Método e Repositório BIOsign (Constructos: Taxonomia e Template BIOsign)	ACESSO LIVRE (plataforma google - link público)	Banco de dados amplo (660 princípios de solução) com bom nível de detalhamento, incluindo infográficos	Sistema simples e fácil de usar, pois as informações são bem organizadas. Intuitivo e não necessita treinamento. Porém o sistema pode oferecer soluções mais detalhadas e precisas quando o projetista tiver conhecimento prévio sobre modelagem funcional do produto e sobre o uso do Template BIOsign	O repositório BIOsign tem a vantagem de receber novas inserções de outros pesquisadores para que se mantenha em constante crescimento, ampliando o número de soluções da natureza oferecidas.

Fonte: a autora



Requisito atendido satisfatoriamente pelo artefato



Requisito atendido parcialmente pelo artefato



Requisito não atendido pelo artefato





















O Quadro 26 apresenta cada um dos requisitos e indica, na coluna da direita, a sua classificação. Em seguida, são justificados todos os itens que não foram satisfatoriamente atendidos.

Com relação aos requisitos 4 e 5, apesar do método proposto reduzir etapas e simplificar o acesso e uso dos princípios de solução da natureza, se comparado aos demais métodos explorados na revisão sistemática, ainda há necessidade de passar por etapas de modelagem funcional e de abstração que exigem maior tempo e esforço do projetista. Essas duas etapas mencionadas (a modelagem funcional e o processo de abstração para transpor o princípio de solução da natureza para o domínio do design) ficam “soltas” dentro do método, sob direção do próprio usuário, o que tende a lentificar o processo e pode comprometer a eficácia da aplicação das soluções da natureza ao projeto de produto. Por isso, esses requisitos foram considerados como tendo sido atendidos parcialmente e podem ser desenvolvidos mais adiante. Talvez o uso do mesmo método inserido em uma plataforma com interface mais amigável, possa conduzir o trabalho do pesquisador com mais fluidez, agilidade e simplicidade.

O requisito 9 não foi atendido pelo artefato, visto que este último está restrito, por hora, ao acesso digital, em uma única plataforma (Google Drive). Ao longo desta tese não houve tempo suficiente para o desenvolvimento de dispositivos físicos para uso do Repositório Biomimético, porém este tem grande potencial para ser planejado na forma de jogo, com tabuleiro ou cartas de um baralho, por exemplo. É um desafio interessante para trabalhos futuros.

O requisito 14 também não foi atendido pelo artefato, pois a plataforma das planilhas do Google Drive tem as suas limitações. Outros sistemas planejados (softwares e aplicativos) poderiam oportunizar maior interação entre os pesquisadores e os desenvolvedores, para que haja melhor suporte e auxílio para dúvidas que surjam durante o uso da ferramenta.

Quadro 26: Avaliação do artefato segundo os requisitos

REQUISITO DE USUÁRIO	REQUISITO DE PROJETO	
Versatilidade de abordagem	1. Método que possibilite abordagem orientada pelo problema ou pela solução	
	2. Interface gráfica que permita a interação do usuário	
Delimitação do problema	3. Criação de etapas que auxiliem o projetista na delimitação do problema	
Consulta facilitada	4. Fluidez e simplicidade em realizar cada uma das etapas e sub-etapas propostas	
Consulta rápida	5. Agilidade na aplicação do método. Redução do número de etapas e sub-etapas	
Acessibilidade e disponibilidade	6. Estrutura digital do artefato compatível para acesso via web (consulta on-line ou disponibilidade para download)	
	7. Fácil de encontrar em buscas pelos navegadores mais convencionais da web; sem necessidade de conhecimentos prévios	
	8. Acesso gratuito ao artefato	
	9. O artefato pode ser acessado a partir de diferentes plataformas e, ao mesmo tempo, não depende estritamente de meios digitais.	
Soluções qualificadas e completas	10. Banco de dados extenso, com maior quantidade possível de informações	
	11. Banco de dados com detalhamento das soluções disponíveis, para facilitar a compreensão dos sistemas naturais e, conseqüentemente, sua transposição para o campo do design;	
	12. Disponibilizar exemplos e referências	
Fácil navegação e usabilidade intuitiva	13. Oferecer instruções para orientar o usuário sobre o manuseio da ferramenta	
	14. Disponibilizar ajuda para dúvidas que surjam durante o uso da ferramenta	
	15. Prever maior quantidade de fotografias, gráficos e desenhos	
	16. Ambiente com interface e linguagem claras e objetivas	
Processo de Abstração	17. Incorporar o método da modelagem funcional ao sistema	
	18. Estrutura do artefato baseada na <i>função</i> , pois desempenha um papel fundamental na realização da abstração, já que transcende o papel da <i>forma</i> e mesmo apenas do <i>comportamento</i> , atingindo diretamente os <i>princípios de solução</i>	
Estrutura organizada (seleção e objetivação das informações)	19. Deixar claro como inserir as informações para obter os resultados	
	20. Estrutura de seleção, através de filtros, para afunilar e objetivar a pesquisa, evitando sobrecarregar o designer com informações irrelevantes.	

Fonte: a autora

O requisito 17 foi atendido parcialmente em função do artefato proposto não ter conseguido incorporar o método da modelagem funcional diretamente dentro do sistema. A modelagem funcional do produto consta dentro do método proposto como uma etapa fundamental para uso do repositório biomimético, porém cada pesquisador a realiza como quiser. Foi iniciado um trabalho em conjunto com equipe de pesquisadores no laboratório VID, PG design da UFRGS (Universidade Federal do Rio Grande do Sul), na elaboração da plataforma Virtus, com objetivo de oportunizar essa integração, porém ainda não foi concluído.

Para complementar a avaliação do artefato, seria interessante realizar alguns estudos de caso com grupos de pesquisadores que utilizem a ferramenta proposta para a geração de alternativas durante o processo criativo do projeto de produtos. Desta forma, seria possível verificar o nível de funcionalidade do método e do repositório biomimético, em termos de sua eficácia, versatilidade e usabilidade. Porém, em função do pouco tempo disponível e da limitação em reunir pessoas em meio à pandemia do covid-19, não foi possível dar seguimento a essa avaliação. Juntamente com os requisitos apresentados anteriormente (não atendidos satisfatoriamente), essas lacunas da pesquisa configuram-se como potenciais trabalhos para desenvolvimento futuro.

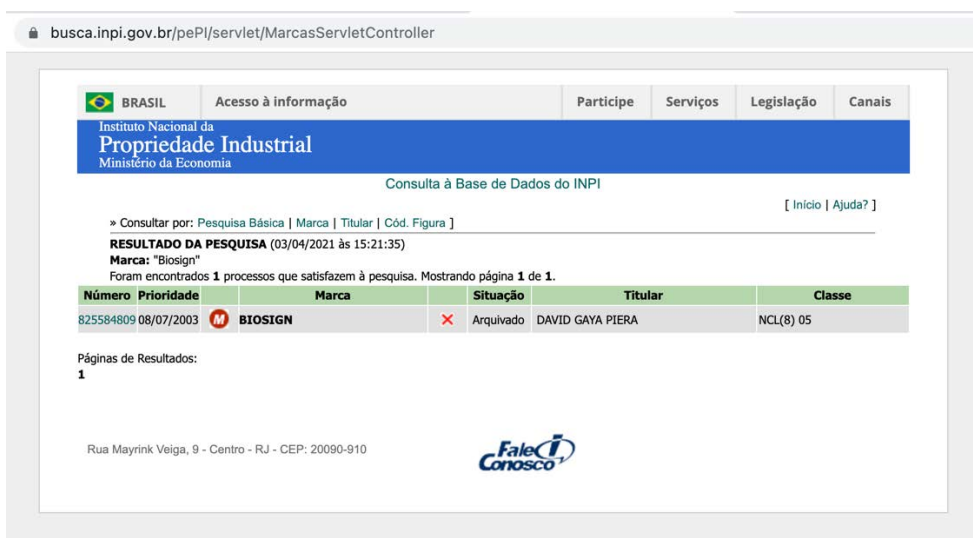
8. EXPLICITAÇÃO DAS APRENDIZAGENS

Após a etapa de avaliação do artefato, é essencial que o aprendizado alcançado durante o processo de pesquisa seja evidenciado. O objetivo desta etapa é assegurar que o trabalho desenvolvido seja útil e sirva como referência para a geração de conhecimento dentro da área do design. Para tanto, é necessário explicitar com clareza as instruções sobre o funcionamento e a aplicação dos artefatos elaborados (DRESCH; LACERDA; ANTUNES JR., 2014).

Para reforçar a identidade do método e da ferramenta elaborados, é importante definir a sua nomenclatura, para que se diferenciem do restante dos artefatos existentes e possam ser encontrados com mais facilidade pelos interessados. Foi escolhido o termo "BIOSIGN", que provém da união de "BIO" com "SIGN". "BIO" significa "vida" e, portanto, abarca todos os sistemas naturais. "SIGN" além de fazer referência à "deSIGN", se associa ao termo "SIGN", cujo significado é "indicador", "guia", "orientador" ou "condutor". Desta forma, BIOSIGN tem o sentido de "projetos orientados pela natureza".

Foi realizada uma rápida pesquisa nas plataformas digitais do INPI (Instituto Nacional da Propriedade Industrial) e a marca "BIOsign" aparece apenas como um registro arquivado já inativo (Figura 68). Também foi realizada uma busca nos navegadores da internet e o domínio "biosign" existe, porém com usos em categorias alheias ao campo do design de produto, da arquitetura ou da engenharia, portanto não competem com a proposta dos artefatos aqui desenvolvidos.

Figura 68: Pesquisa da marca Biosign no INPI



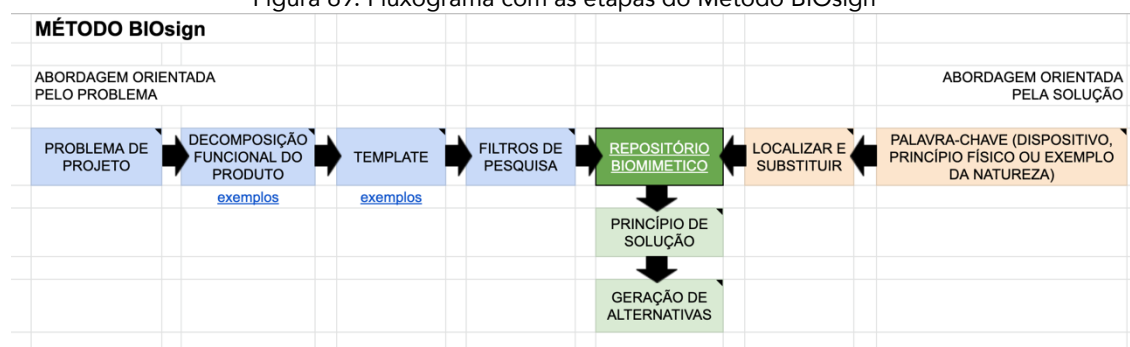
The screenshot shows the INPI search results for the brand 'BIOSIGN'. The page header includes the INPI logo and navigation links. The search results table shows one entry for 'BIOSIGN' with the number 825584809, priority date 08/07/2003, and status 'Arquivado' (Archived). The title is 'DAVID GAYA PIERA' and the class is 'NCL(8) 05'. The page also includes a footer with the address 'Rua Mayrink Veiga, 9 - Centro - RJ - CEP: 20090-910' and the logo 'Fale conosco'.

Número	Prioridade	Marca	Situação	Titular	Classe
825584809	08/07/2003	BIOSIGN	Arquivado	DAVID GAYA PIERA	NCL(8) 05

Fonte: <https://busca.inpi.gov.br/pePI/servlet/MarcasServletController>. Em 03 de abril de 2021.

Com o objetivo de explicitar as instruções sobre o funcionamento e a aplicação dos artefatos elaborados, foi elaborado um fluxograma (Figura 69), que documenta as etapas do método, auxiliando na condução das ações do projetista para o melhor uso da ferramenta. A primeira escolha a ser tomada pelo usuário é seguir pelo caminho orientado pelo problema (da esquerda para a direita) ou orientado pela solução (da direita para a esquerda).

Figura 69: Fluxograma com as etapas do Método BIoSign



Fonte: a autora

Se orientado pelo problema, o método possui seis etapas a serem cumpridas (em azul e verde claro na Figura 69):

1. **PROBLEMAS DE PROJETO:** Definir claramente qual o problema de projeto do produto a ser resolvido;
2. **DECOMPOSIÇÃO FUNCIONAL DO PRODUTO:** Realizar a modelagem funcional do produto, descrevendo a função global e, posteriormente, cada uma das subfunções que devem ser desempenhadas pelo produto. Na plataforma do Google Drive, foram incluídos alguns exemplos para auxiliar o projetista;
3. **TEMPLATE:** Preencher o Template disponível com as informações resultantes da decomposição funcional do produto, incluindo uma linha para cada subfunção elencada, conforme exemplos;
4. **FILTROS DE PESQUISA:** Entrar na planilha do Repositório BIoSign e buscar os termos mais apropriados nos filtros de pesquisa (no cabeçalho), condizentes com os termos elencados no Template para cada subfunção. A busca pode incluir mais de uma "ação", de um "objeto da ação" e de um

“meio”, simultaneamente, dependendo no nível de amplitude ou especificidade que a pesquisa exigir;

5. **PRINCÍPIOS DE SOLUÇÃO:** Após a aplicação dos filtros de pesquisa, reunir e investigar maiores detalhes dos princípios de solução disponibilizados pelo repositório;
6. **GERAÇÃO DE ALTERNATIVAS:** Fazer a transposição dos princípios de solução da natureza para o domínio do design de produto. Exercício de abstração e analogia para chegar em alternativas de solução para o projeto do produto em questão.

Se orientado pela solução, o método possui apenas quatro etapas (em laranja e verde claro na Figura 69):

1. **PALAVRA-CHAVE:** utilizar uma solução da natureza (Dispositivo, Princípio físico ou exemplo da biologia) para descobrir possíveis funções/situações de problemas de projeto que possam ser atendidas por elas;
2. **LOCALIZAR:** Entrar na planilha do Repositório BIOsign. Clicar no menu "Editar/Localizar e Substituir" e digitar a palavra-chave desejada. Clicar em procurar para que o sistema encontre as correspondências;
3. **PRINCÍPIOS DE SOLUÇÃO:** Após a aplicação dos filtros de pesquisa, reunir e investigar maiores detalhes dos princípios de solução disponibilizados pelo repositório;
4. **GERAÇÃO DE ALTERNATIVAS:** Fazer a transposição dos princípios de solução da natureza para o domínio do design de produto. Exercício de abstração e analogia para chegar em alternativas de solução para o projeto do produto em questão.


Este fluxograma apresentado está na primeira página da planilha do Google Drive, com objetivo de orientar o usuário para o uso da ferramenta. Em outras abas auxiliares, constam exemplos de modelagem funcional e de preenchimento do Template, para facilitar a compreensão de como realizar cada uma dessas etapas do método. Por fim, está a aba com a planilha do repositório BIOsign, fonte principal para as pesquisas.

Foi escolhida a plataforma Google Drive pela facilidade de uso (interface conhecida e amigável) e pela acessibilidade, já que a grande maioria da população brasileira utiliza as ferramentas do Google através da internet. As ilustrações também foram incluídas no Google Drive, porém em outra pasta, com link de acesso direto dentro do repositório, o que agiliza a busca pelo detalhamento dos princípios de solução da natureza.

Neste primeiro momento, o repositório é aberto para consultas, porém não para edição direta do usuário, evitando assim a inserção de informações incorretas, em campos inadequados. Porém foi previsto um formulário (Figura 70), elaborado no Google Forms, para possibilitar a contribuição de outros pesquisadores que tenham conhecimento de novos princípios de solução da natureza. Através do preenchimento do formulário pelo link <https://forms.gle/L8SA2MdNvxa7CStHA>, as informações ficam disponíveis para a equipe de desenvolvedores do repositório, podendo ser inclusas ou não, dependendo se estiverem de acordo às categorias solicitadas.

Fica como sugestão para o desenvolvimento de trabalhos futuros, a elaboração de uma plataforma interativa, que permita a inclusão imediata de novos princípios de solução da natureza, evitando retrabalhos manuais, facilitando o crescimento do repositório e impulsionando o uso das soluções da natureza no processo de projeto.

Figura 70: Formulário para inclusão de novos princípios de solução



INCLUIR PRINCÍPIO DE SOLUÇÃO DA NATUREZA

Preencha o formulário abaixo com as informações da sua contribuição. As mesmas serão enviadas ao email do desenvolvedor e analisadas. Se forem aprovadas, serão incluídas no repositório com os devidos créditos do pesquisador.

O nome e a foto associados à sua Conta do Google serão registrados quando você fizer upload de arquivos e enviar este formulário.

Não é floradetanico1@gmail.com? [Trocar de conta](#)

***Obrigatório**

Endereço de e-mail *

Seu e-mail

NOME DO PRINCÍPIO DE SOLUÇÃO DA NATUREZA (opcional):

Sua resposta

QUAL O DISPOSITIVO? *

Sua resposta

QUAL O PRINCÍPIO FÍSICO? *

Sua resposta

Função executada pelo princípio de solução da natureza. QUAL A AÇÃO? *

- Ampliar
- Armazenar
- Ativar
- Converter
- Dividir
- Estruturar
- Fornecer
- Indicar
- Isolar
- Medir
- Misturar
- Moldar
- Movimento de Entrada
- Movimento de Saída
- Oscilar
- Proteger
- Reduzir

A ação é executada sobre qual OBJETO DA AÇÃO? *

- Gás Puro
- Mistura Gás/Gás
- Líquido Puro
- Mistura Líquido/Líquido
- Corpo Sólido
- Partícula Sólida
- Mistura Sólido/Sólido
- Mistura Sólido/Líquido
- Sinal
- Energia
- Energia Acústica
- Energia Química
- Energia Elétrica
- Energia Eletromagnética
- Energia Hidráulica
- Energia Magnética
- Energia Mecânica
- Energia Pneumática
- Energia Térmica

A ação é executada EM QUE MEIO? *

- Gasoso
- Líquido
- Mistura Sólido/Líquido
- Sólido
- Indiferente

Mais OBSERVAÇÕES sobre o princípio de solução?

Sua resposta

Incluir ILUSTRAÇÃO com detalhamento do princípio de solução

[Adicionar arquivo](#)

Enviar

Nunca envie senhas pelo Formulários Google.

Este conteúdo não foi criado nem aprovado pelo Google. [Denunciar abuso](#) - [Termos de Serviço](#) - [Política de Privacidade](#)

Google Formulários

Fonte: a autora

9. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este capítulo apresenta o fechamento da presente pesquisa e está organizado em três partes. O item 9.1 apresenta a discussão dos resultados, apontando os sucessos e insucessos da pesquisa. O item 9.2 traz a conclusão do estudo, verificando a confirmação da hipótese estabelecida na introdução (item 1.4) bem como a consecução dos objetivos propostos nos itens 1.5 e 1.6. O item 9.3 se destina à generalização para uma classe e problemas e, por fim, o item 9.3 apresenta uma síntese de sugestões para trabalhos futuros, extraídas a partir das lacunas encontradas ao longo da pesquisa.

9.1 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Este item tem como objetivo declarar os pontos de sucesso e insucesso da pesquisa, bem como fazer algumas ponderações sobre os resultados obtidos. A respeito dos artefatos, os principais êxitos e lacunas obtidos estão explicitados no capítulo 7 de avaliação, o qual apresenta um quadro com a sinalização dos requisitos atendidos satisfatoriamente, parcialmente ou não atendidos. Em seguida constam as justificativas para cada um dos requisitos não atendidos satisfatoriamente, juntamente com a indicação de potenciais trabalhos futuros.

Em se tratando da pesquisa de forma global, um dos pontos de sucesso a ser ressaltado, é a revisão sistemática da literatura internacional a respeito dos métodos e ferramentas bio-inspiradas existentes. Essa análise trouxe um panorama amplo e consistente, culminando com uma síntese organizada dos principais métodos.

A revisão da literatura demonstrou que, apesar da existência de alguns métodos bio-inspirados, essa área do conhecimento ainda é pouco explorada entre os designers e tem muito para se desenvolver. Por um lado, alguns métodos encontrados são excessivamente longos e complexos, tornando o processo de projeto exaustivo e desmotivador; por outro lado, alguns métodos são muito vagos e subjetivos, oferecendo resultados superficiais e inconsistentes.

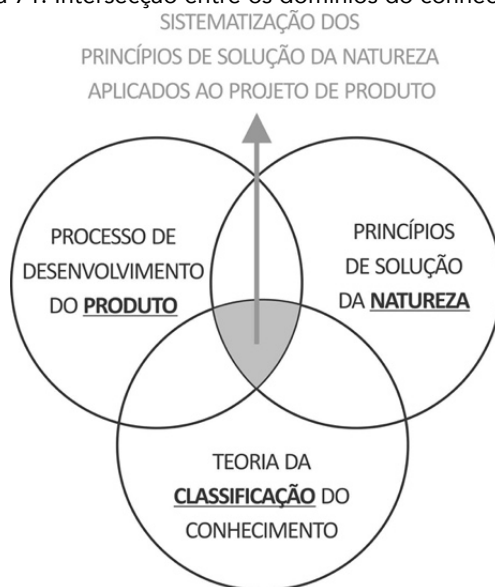
Desta forma, através da revisão sistemática foi possível compreender as lacunas e pontos fracos existentes, bem como compreender as dificuldades dos projetistas em fazer uso das soluções da natureza para aplicação no design. Os resultados desta análise levaram a pesquisa para um mapeamento preciso sobre quais os requisitos de projeto e usuário deveriam ser atendidos para a elaboração de um novo método mais eficaz.

Outra ponderação importante diz respeito à fase criativa do processo de desenvolvimento de produto, a qual conta com diversas opções de métodos (tanto

intuitivos quanto sistemáticos) que auxiliam o projetista na geração de alternativas. Os métodos da analogia e da modelagem funcional foram identificados como os que melhor podem auxiliar na transposição dos conhecimentos da biologia para o design, pois favorecem o exercício da abstração e, portanto, foram utilizados como constructos de base na elaboração do novo método.

Para integrar os Princípios de solução da natureza ao PDP foi fundamental a imersão nas Teorias do conhecimento. Desta forma, foi possível elaborar uma linguagem comum, capaz de oportunizar o diálogo entre ambos. A Figura 71 ilustra esse ponto de encontro entre os três domínios. Tomando como ponto de partida a taxonomia apresentada na dissertação de Detanico (2011), relativa às soluções da natureza e, por outro lado, a *Functional Basis* relativa à estrutura de conhecimento na engenharia, foi possível elaborar os principais constructos que serviram de base para o desenvolvimento dos artefatos: a Taxonomia e o Template BIOsign.

Figura 71: Intersecção entre os domínios do conhecimento



Fonte: (DETANICO, 2011)

Com base na extensa análise da fundamentação teórica, juntamente com os constructos iniciais, foi possível dar seguimento à elaboração dos artefatos. Inicialmente, foi desenvolvido o artefato-método, para orientação geral a respeito da aplicação biomimética dos princípios de solução da natureza aos problemas de projeto de produto. Em seguida, foi desenvolvido o artefato-instanciação, que se configurou em um repositório com mais de 660 entradas cadastradas.

Outra contribuição importante desta pesquisa está na metodologia empregada: a Design Science Research (DSR). Apesar de ser comumente utilizada para as áreas de sistemas de informação, gestão e engenharia de produção, se mostrou um instrumento completo, flexível e bem estruturado para conduzir o processo de pesquisa em design, facilitando a geração e elaboração de artefatos. O uso da DSR oportunizou um percurso seguro e confiável, sugerindo a organização e o sequenciamento das etapas necessárias para a solução do problema de pesquisa. Espera-se que o conhecimento gerado neste trabalho possa contribuir para a adoção desta metodologia por outros pesquisadores.

O artefato-método elaborado durante a pesquisa mostrou-se simples e objetivo, com poucas etapas a serem cumpridas para alcançar o resultado proposto. O artefato-instanciação, por sua vez, chegou ao final do seu desenvolvimento como uma ferramenta robusta, ao mesmo tempo de fácil acesso e uso intuitivo. Através deles o usuário pode conduzir o processo criativo e atingir soluções inovadoras para o produto.

9.2 CONCLUSÕES

Visando o problema de aplicação dos princípios de solução da natureza no processo de desenvolvimento de produtos, a presente pesquisa sugeriu uma sistematização que integrasse a *Functional Basis* com os conteúdos da biomimética. Para comprovar essa hipótese foi proposto, como objetivo geral, a elaboração de um Repositório Biomimético, para facilitar a aplicação das estratégias da natureza no processo de desenvolvimento de produtos.

Para a realização deste objetivo geral, foram definidos objetivos específicos para cada etapa da pesquisa. No início do processo, buscou-se investigar os métodos e ferramentas bio-inspiradas existentes. Através de uma extensa revisão sistemática na literatura, foi possível encontrar publicações específicas com descrições de diversas ferramentas. A investigação e análise meticulosa dessas publicações levou a identificar as lacunas e verificar a eficácia dos métodos e ferramentas propostos no que se refere à transposição do conhecimento da natureza para o produto.

Esta investigação possibilitou a visualização de diferentes soluções adotadas, no que se refere a abordagens e linguagens utilizadas, bem como etapas de desenvolvimento e aplicação, diagramas e plataformas de interação com os usuários. O processo inicial de análise culminou com a síntese das características fundamentais que serviram como requisitos para a elaboração dos novos artefatos.

O contato com a bibliografia durante a revisão sistemática também propiciou à pesquisadora a identificação de alguns modelos e a consequente elaboração de um

método de extração e processamento dos dados da biologia, intitulado como Template BIOsign, de relação causal, o que tornou possível a entrada de dados e conformação do repositório.

A estrutura do repositório foi viabilizada a partir da Taxonomia BIOsign, desenvolvida a partir da integração de outras taxonomias pré-existentes na bibliografia investigada, fundamentalmente a Taxonomia dos princípios de solução da natureza (DETANICO, 2011) com a *Functional basis*. Os constructos da Taxonomia e do Template garantiram a realização do processo seguinte de classificação das informações providas da natureza dentro do repositório.

A partir do conhecimento gerado durante essa sequência de etapas, foi possível projetar e desenvolver os artefatos propostos inicialmente. Os artefatos foram projetados para serem digitais, de fácil acesso e usabilidade; ter uma estrutura robusta e completa em conteúdo; e possibilitar o uso comercial e em sala de aula como método e ferramenta de apoio ao processo criativo do projeto de produtos.

A ferramenta proposta estimula e facilita o uso dos princípios de solução da natureza na concepção de novos produtos, reduzindo o esforço do projetista em assimilar e “traduzir” as soluções naturais para os sistemas técnicos. Através do processo de decomposição funcional e da analogia com a natureza, o método propõe o exercício de abstração, o que minimiza algumas barreiras à criatividade, como os hábitos, a fixação funcional e a mentalidade excessivamente prática. Desta forma, é maior a probabilidade de geração de soluções alternativas criativas e inovadoras.

Por outro lado, através da construção de um banco de dados repleto de princípios de solução, fica reduzida a subjetividade e a imprecisão na busca pelo conhecimento dos sistemas naturais. Além disso, o nível de detalhamento e a quantidade das informações contidas no repositório (mais de 660 princípios de solução da natureza) o caracteriza como uma ferramenta ampla e robusta, capaz de conduzir os usuários a soluções de projeto mais qualificadas.

Os resultados obtidos com o desenvolvimento dos artefatos indicam que o objetivo geral foi atingido, pois, conforme apurado no processo de avaliação, a maioria dos requisitos foi atendida, portanto os artefatos satisfazem as necessidades levantadas. Por outro lado, os requisitos que não foram atendidos satisfatoriamente, não comprometem a qualidade do uso da ferramenta, ficando como possíveis qualificações, adaptações e variações a serem propostas em futuros trabalhos.

A comunicação dos resultados desta pesquisa, além da própria tese, pode ser realizada através de publicações parciais futuras, compartilhando o conteúdo gerado em artigos específicos, tais como:

- Artigo contendo o resultado da revisão sistemática da literatura, com as informações de análise e síntese na comparação dos métodos bio-inspirados existentes;
- Artigo contendo o processo de elaboração da Taxonomia BLOsign como modelo integrado, proveniente da integração de outras taxonomias pré-existentes na literatura;
- Artigo explicando o desenvolvimento do artefato-instanciação, desde o processo de extração dos princípios de solução a partir de uma fonte biológica, utilizando o Template de relação causal e resultando na construção do Repositório BLOsign;
- Artigo contendo a descrição do Método BLOsign, explicando suas etapas, utilidade e aplicação.

Partindo do pressuposto que a natureza oferece os melhores “produtos” em termos de economia, eficiência, estética e engenhosidade, a utilização do método e do repositório BLOsign possibilita a elaboração de projetos inovadores e ao mesmo tempo sustentáveis. O conhecimento gerado a partir dos resultados desta pesquisa fornece subsídios ao campo do design, da arquitetura e da engenharia para que qualifiquem suas produções, contribuindo para uma sociedade mais consciente.

Outra contribuição importante desta pesquisa é o fato de estimular uma mentalidade de integração e cooperação entre o ambiente natural e o ambiente industrial. Este pensamento conciliador acaba por refletir-se em mudanças culturais e comportamentais, levando o ser humano a se aproximar cada vez mais da inteligência presente na natureza. Além dos benefícios na aplicação industrial, essa pesquisa é de fundamental importância no âmbito do ensino, estimulando os alunos, desde a graduação, a se relacionarem diferentemente com as suas produções, com muito mais responsabilidade social e consciência ecológica.

9.3 GENERALIZAÇÃO PARA UMA CLASSE DE PROBLEMAS

Após a conclusão da elaboração e avaliação dos artefatos, a metodologia Design Science Research recomenda que seja realizado o processo de indução, indicando onde e como os artefatos elaborados podem atuar. A classe de problemas foi definida no item 5.1 como sendo a geração de alternativas no processo criativo de projeto, quando os designers costumam utilizar diferentes ferramentas de apoio. Segundo Dresch, Lacerda e Júnior (2014), as classes permitem que os artefatos e suas soluções não se limitem a respostas pontuais a certo problema em certo contexto, mas que o conhecimento gerado possa ser generalizado e acessado por outros pesquisadores que buscam respostas a outros problemas da mesma classe, conferindo maior amplitude e versatilidade de aplicação para o artefato.

É possível induzir que os artefatos propostos resolvem uma ampla quantidade e variedade de problemas, desde o estímulo ao uso dos recursos da biologia para a solução de projetos em diversas áreas até a oferta direta de uma gama consistente de princípios de solução (contidos no repositório) que servem para a geração de alternativas dentro do processo criativo.

O método proposto pode ser utilizado em grupos de pesquisa, em escritórios de projeto, na indústria e mesmo em sala de aula, podendo ser aplicado em grupos ou utilizado individualmente, sempre com o apoio de ferramenta computacional para acesso à plataforma. Devido à sistemática empregada na elaboração dos artefatos, o resultado consiste não apenas em estimular a criatividade, mas em automatizar o processo da analogia com a natureza, oferecendo ao projetista soluções específicas e detalhadas que atendam com precisão às suas necessidades.

9.4 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

O desenvolvimento da pesquisa revelou alguns aspectos que podem ser investigados com maior profundidade e, desta forma, contribuir para a área do design bio-inspirado. Alguns aspectos já foram mencionados em capítulos anteriores, porém serão resumidos e sintetizados neste item.

Na fundamentação teórica, foram apresentados diversos métodos e ferramentas bio-inspiradas, considerando a explicação da sua estrutura e funcionalidade. Porém não foram explorados exemplos nem estudos de caso, exceto por citações da própria bibliografia. Nesse sentido, seria enriquecedor propor projetos práticos para serem resolvidos utilizando as diferentes ferramentas para posterior análise dos resultados e da eficácia das ferramentas em questão.

Os métodos e ferramentas existentes são frágeis em atender com consistência as demandas dos projetistas, seja pelo tempo demasiado longo, pelo grau de complexidade de uso ou pela dificuldade de acessibilidade. É necessário, portanto, um esforço da comunidade em elaborar novos artefatos e também em mantê-los disponíveis e atualizados, preferencialmente de forma livre e aberta, para que mais pessoas possam participar e serem beneficiadas com o desenvolvimento da área da biomimética.

A etapa de avaliação do artefato apontou alguns requisitos que não foram satisfatoriamente atendidos, os quais podem ser melhor desenvolvidos em trabalhos futuros. Dentre eles, foi sugerida a elaboração de uma plataforma mais interativa e automatizada, que permita uma comunicação mais ágil entre os desenvolvedores e usuários, além da manutenção e ampliação do Repositório BLOsign em tempo real, sem necessidade de retrabalhos manuais.

Sugere-se também o desenvolvimento de pesquisa futura voltada a facilitar a etapa da modelagem funcional, bem como o processo de abstração para transpor o princípio de solução da natureza para o domínio do design. O Ideal seria uma sistematização que conduza o usuário através de uma interface mais amigável, com fluidez, agilidade e simplicidade, evitando que caia em subjetividades e dispersões.

As ilustrações incorporadas no Repositório BLOsign são de figuras da biologia o que pode dificultar o processo de transposição para o campo do design. Para auxiliar no esforço de abstração, seria interessante realizar ilustrações conceituais para cada um dos princípios de solução da natureza. Desta forma, o projetista não fica “preso” na visão literal da solução e consegue encontrar melhores opções de aplicação nos sistemas técnicos.

Outro trabalho interessante a ser desenvolvido são os desdobramentos do método e repositório BLOsign através de dispositivos físicos, como jogos, tabuleiros, cartas de baralho, cartões, etc. Dependendo do contexto do projeto, os artefatos físicos podem ser excelentes ferramentas para promover resultados criativos e com espontaneidade, especialmente em interações de grupos.

Para complementar a avaliação do artefato, seria interessante realizar alguns estudos de caso com grupos de pesquisadores que utilizem a ferramenta proposta para a geração de alternativas durante o processo criativo do projeto de produtos. Essa pesquisa pode ocorrer dentro de alguma empresa ou mesmo em sala de aula. Desta forma, seria possível verificar o nível de funcionalidade do método e do repositório BLOsign, em termos de sua eficácia, versatilidade e usabilidade, além de propor melhorias.

REFERÊNCIAS

ALENCAR, E. S. D. **A gerência da criatividade**. São Paulo: Makron Books do Brasil Editora Ltda, 1996.

ALTSCHULLER, G. **The Innovation Algorithm: TRIZ, systematic innovation and technical creativity**. 2. ed. Worcester, MA, USA: Technical Innovation Center, Inc, 2007.

ALVES, H. de A.; CAMPOS, F.; NEVES, A. Aplicação da técnica criativa “Brainstorming Clássico” na geração de alternativas na criação de games. *In: , 2007, São Leopoldo. VI Brazilian Symposium on Games and Digital Entertainment*. São Leopoldo: [s. n.], 2007.

AMABIS, J. M.; MARTHO, G. R. **Biologia dos organismos: classificação, estrutura e função nos seres vivos**. São Paulo: Moderna, 1996.

ARLITT, R. *et al.* Applying Designer Feedback to Generate Requirements for an Intuitive Biologically Inspired Design Tool. *In: ASME 2012 INTERNATIONAL MECHANICAL ENGINEERING CONGRESS AND EXPOSITION, 2012, Houston, Texas, USA. Volume 2: Biomedical and Biotechnology*. Houston, Texas, USA: ASME, 2012. p. 35. Disponível em: <https://doi.org/10.1115/IMECE2012-89657>. Acesso em: 29 abr. 2019.

ARNARSON, P. Ö. **Biomimicry**. [S. l.]: Reykjavík University, 2011.

BACK, N. *et al.* **Projeto Integrado de Produtos: planejamento, concepção e modelagem**. Barueri, SP: Manoele, 2008.

BASSETO, E. L. **Proposta de Metodologia para o Ensino das Fases de Projeto Informacional e Projeto Conceitual**. 2004. - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

BAXTER, M. **Projeto d Produto: guia prático para o design de novos produtos**. 3. ed. São Paulo: Blucher, 2011.

BENYUS, J. **Biomimicry: Innovation Inspired by Nature**. New York: Perennial, 1997.

BIRKELAND, J. **Design for Sustainability: a Sourcebook of Integrated Ecological Solutions**. UK and USA: Earthscan Publications Ltd, 2002.

BOGATYREV, N. R.; BOGATYREVA, O. A. TRIZ Evolution Trends in Biological and Technological Design Strategies. *In: , 2009. Proceedings of the 19th CIRP Design Conference – Competitive Design, Cranfield University, , pp. [S. l.: s. n.], 2009. p. 7.*

CARVALHO, M. A. **METODOLOGIA IDEATRIZ PARA A IDEACÃO DE NOVOS**

PRODUTOS. 2007. - Universidade Federal de Santa Catarina Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, Florianópolis, 2007.

CELIK, D.; MAGOULAS, G. D. A Review, Timeline, and Categorization of Learning Design Tools. *In: CHIU, D. K. W. et al. (org.). **Advances in Web-Based Learning – ICWL 2016***. Cham: Springer International Publishing, 2016. (Lecture Notes in Computer Science). v. 10013, p. 3–13. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-3-319-47440-3_1. Acesso em: 12 mar. 2021.

CHAKRABARTI, A. et al. A functional representation for aiding biomimetic and artificial inspiration of new ideas. **AI EDAM**, [s. l.], v. 19, n. 02, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/S0890060405050109>. Acesso em: 8 maio 2019.

CHAKRABARTI, A. et al. Idea Inspire 3.0—A Tool for Analogical Design. **Research into Design for Communities, Volume 2**, [s. l.], v. 66, p. 475–485, 2017. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-981-10-3521-0_41

CHEN, J. L.; HUNG, S.-C. Eco-innovation by TRIZ and biomimetics design. *In: 2017 INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SYSTEM INNOVATION (ICASI), 2017, Sapporo, Japan. **2017 International Conference on Applied System Innovation (ICASI)***. Sapporo, Japan: IEEE, 2017. p. 40–43. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/ICASI.2017.7988340>. Acesso em: 8 maio 2019.

CHEN, W.-C.; CHEN, J. L. Eco-innovation by Integrating Biomimetic Design and ARIZ. **Procedia CIRP**, [s. l.], v. 15, p. 401–406, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2014.06.028>

CHEONG, H. et al. Translating Terms of the Functional Basis Into Biologically Meaningful Keywords. *In: ASME 2008 INTERNATIONAL DESIGN ENGINEERING TECHNICAL CONFERENCES AND COMPUTERS AND INFORMATION IN ENGINEERING CONFERENCE, 2008, Brooklyn, New York, USA. **Volume 4: 20th International Conference on Design Theory and Methodology; Second International Conference on Micro- and Nanosystems***. Brooklyn, New York, USA: ASME, 2008. p. 137–148. Disponível em: <https://doi.org/10.1115/DETC2008-49363>. Acesso em: 29 abr. 2019.

CHEONG, H.; SHU, L. H. Using templates and mapping strategies to support analogical transfer in biomimetic design. **Design Studies**, [s. l.], v. 34, n. 6, p. 706–728, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.destud.2013.02.002>

CORRÊA, P. E.; TEIXEIRA, F. G.; MALDONADO, P. Design-by-Analogy: proposta para um modelo de ferramenta computacional de auxílio ao processo de design. **Design e Tecnologia**, [s. l.], v. 7, n. 14, p. 30, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.23972/det2017iss14pp30-40>

CUNHA, R. E. D. **VERIFICAÇÃO DA ADEQUABILIDADE DO MÉTODO BIOTRIZ NA APLICAÇÃO DA BIOMIMÉTICA NO ENSINO DE PROJETO DE ARQUITETURA.** 2015. - UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA, JOÃO PESSOA - BRASIL, 2015.

DA VINCI, L. **Da Vinci por ele mesmo.** Tradução: Marcos Malvezi. São Paulo: Madras, 2004.

DATSCHEFSKI, E. **Sustainable Products: Using Nature's cyclic|solar|safe Protocol for Design, Manufacturing and Procurement.** [S. l.]: BioThinking International, 2002.

DE BARROS, A. M. **FRAMEWORK PARA REPRESENTAÇÃO DO CONHECIMENTO DE PROJETO DE PRODUTO APLICANDO O PARADIGMA DA ORIENTAÇÃO A OBJETOS.** 2017. - UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL, Porto Alegre, 2017.

DELDIN, J.-M.; SCHUKNECHT, M. The AskNature Database: Enabling Solutions in Biomimetic Design. In: GOEL, A. K.; MCADAMS, D. A.; STONE, R. B. (org.). **Biologically inspired design: computational methods and tools.** London ; New York: Springer, 2014.

DETANICO, F. B. **SISTEMATIZAÇÃO DE PRINCÍPIOS DE SOLUÇÃO DA NATUREZA PARA APLICAÇÃO NO PROCESSO CRIATIVO DO PROJETO DE PRODUTOS.** 2011. - UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL, Porto Alegre, 2011.

DOCZI, G. **O Poder dos Limites: harmonias e proporções na natureza, arte e arquitetura.** São Paulo: Mercuryo, 1990.

DORST, K.; CROSS, N. Creativity in the design process: co-evolution of problem-solution. **Design Studies**, [s. l.], v. 22, n. 5, p. 14, 2001.

DRESCH, A.; LACERDA, D. P.; ANTUNES JR., J. A. V. **Design Science Research: A Method for Science and Technology Advancement.** New York: Springer, 2014.

EINSTEIN, A. **THE WORLD AS I SEE IT.** New York: Philosophical Library, 1949.

ELLWANGER, C.; SILVA, R. P. da; CAMPOS, M. de B. **MODELAGEM E SIMULAÇÃO EM SISTEMAS DINÂMICOS SOB A ÓTICA SISTÊMICA: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA PARA SUA CONDUÇÃO E DELINEAMENTO.** [s. l.], p. 28, 2014.

EPPINGER, S. D.; ULRICH, K. **Product Design and Development.** 4. ed. New York: McGraw-Hill, 2008.

FAYEMI, P.-E. et al. Assessment of the Biomimetic Toolset—Design Spiral Methodology Analysis. In: CHAKRABARTI, A. (org.). **ICoRD'15 – Research into Design Across Boundaries Volume 2.** New Delhi: Springer India, 2015. v. 35, p. 27–38. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-81-322-2229-3_3. Acesso em: 26 abr.

2019.

FERNANDES, R. B. **METODOLOGIA PARA O PLANEJAMENTO DE NOVOS PRODUTOS POR MEIO DE ESTIMULADORES BIOLÓGICOS**. 274 f. 2016. - UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA, Florianópolis, 2016.

FU, K. et al. Bio-Inspired Design: An Overview Investigating Open Questions From the Broader Field of Design-by-Analogy. **Journal of Mechanical Design**, [s. l.], v. 136, n. 11, p. 111102, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1115/1.4028289>

GLIER, M. W. et al. Methods for Supporting Bioinspired Design. In: ASME 2011 INTERNATIONAL MECHANICAL ENGINEERING CONGRESS AND EXPOSITION, 2011, Denver, Colorado, USA. **Volume 2: Biomedical and Biotechnology Engineering; Nanoengineering for Medicine and Biology**. Denver, Colorado, USA: ASME, 2011. p. 737–744. Disponível em: <https://doi.org/10.1115/IMECE2011-63247>. Acesso em: 29 abr. 2019.

GOEL, A. K. et al. An information-processing account of creative analogies in biologically inspired design. In: THE 8TH ACM CONFERENCE, 2011, Atlanta, Georgia, USA. **Proceedings of the 8th ACM conference on Creativity and cognition - C&C '11**. Atlanta, Georgia, USA: ACM Press, 2011. p. 71–80. Disponível em: <https://doi.org/10.1145/2069618.2069632>. Acesso em: 26 abr. 2019.

GOEL, A. K. et al. Cognitive, collaborative, conceptual and creative — Four characteristics of the next generation of knowledge-based CAD systems: A study in biologically inspired design. **Computer-Aided Design**, [s. l.], v. 44, n. 10, p. 879–900, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cad.2011.03.010>

GOEL, A. K. et al. Information-Processing Theories of Biologically Inspired Design. In: MCADAMS, D. A.; STONE, R. B. (org.). **Biologically inspired design: computational methods and tools**. London ; New York: Springer, 2014.

HELMS, M.; VATTAM, S. S.; GOEL, A. K. Biologically inspired design: process and products. **Design Studies**, [s. l.], v. 30, n. 5, p. 606–622, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.destud.2009.04.003>

HIRTZ, J. et al. A functional basis for engineering design: Reconciling and evolving previous efforts. [s. l.], p. 18, 2002.

HSUAN-AN, T. **Sementes do Cerrado e Design Contemporâneo**. 2002. - Universidade Católica de Goiás, Goiânia, 2002.

HUNDAL, M. S. A Systematic method for developing function structures, solutions and concept variants. **Mechanism and Machine Theory**, [s. l.], v. 25, n. 3, p. 243–256,

1990. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/0094-114X\(90\)90027-H](https://doi.org/10.1016/0094-114X(90)90027-H)

ISENMANN, R. Industrial ecology: shedding more light on its perspective of understanding nature as model. **Sustainable Development**, [s. l.], v. 11, n. 3, p. 143–158, 2003. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/sd.213>

JIN, Y.; BENAMI, O. Creative Stimulation in Conceptual Design. *In*: ASME 2002 INTERNATIONAL DESIGN ENGINEERING TECHNICAL CONFERENCES AND COMPUTERS AND INFORMATION IN ENGINEERING CONFERENCE, 2002, Montreal, Quebec, Canada. **Volume 4: 14th International Conference on Design Theory and Methodology, Integrated Systems Design, and Engineering Design and Culture**. Montreal, Quebec, Canada: ASME, 2002. p. 251. Disponível em: <https://doi.org/10.1115/DETC2002/DTM-34023>. Acesso em: 11 jun. 2019.

KE, J.; WALLACE, J. S.; SHU, L. H. Supporting Biomimetic Design Through Categorization of Natural-Language Keyword-Search Results. *In*: ASME 2009 INTERNATIONAL DESIGN ENGINEERING TECHNICAL CONFERENCES AND COMPUTERS AND INFORMATION IN ENGINEERING CONFERENCE, 2009, San Diego, California, USA. **Volume 8: 14th Design for Manufacturing and the Life Cycle Conference; 6th Symposium on International Design and Design Education; 21st International Conference on Design Theory and Methodology, Parts A and B**. San Diego, California, USA: ASME, 2009. p. 775–784. Disponível em: <https://doi.org/10.1115/DETC2009-86681>. Acesso em: 29 abr. 2019.

KITCHENHAM, B. Procedures for Performing Systematic Reviews. **Keele University Technical Report TR/SE-0401**, [s. l.], p. 33, 2004.

KRUIPER, R. et al. Towards a Design Process for Computer-Aided Biomimetics. **Biomimetics**, [s. l.], v. 3, n. 3, p. 14, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/biomimetics3030014>

KUMAR, V. **101 Design Methods: a structured approach for driving innovation in you organization**. New Jersey: Willey, 2013.

LAYMAN, D. **Biology Demystified**. [S. l.]: McGraw-Hill, 2003.

LEPORA, N. F.; VERSCHURE, P.; PRESCOTT, T. J. The state of the art in biomimetics. **Bioinspiration & Biomimetics**, [s. l.], v. 8, n. 1, p. 013001, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1088/1748-3182/8/1/013001>

MAK, T. W.; SHU, L. H. USE OF BIOLOGICAL PHENOMENA IN DESIGN BY ANALOGY. *In*: ASME 2004 DESIGN ENGINEERING TECHNICAL CONFERENCES AND COMPUTERS AND INFORMATION IN ENGINEERING CONFERENCE, 2004, Salt Lake City, Utah USA. **Proceedings of DETC '04**. Salt Lake City, Utah USA: [s. n.],

2004. p. 10.

NAGEL, J. K. **Systematic Design of Biologically-Inspired Engineering Solutions**. 273 f. 2010. - Oregon State University, [s. l.], 2010.

NAGEL, J. K. S. A Thesaurus for Bioinspired Engineering Design. *In*: GOEL, A. K.; MCADAMS, D. A.; STONE, R. B. (org.). **Biologically Inspired Design**. London: Springer-Verlag London, 2014. p. 63–94.

NAGEL, J. K. S. et al. Function-based, biologically inspired concept generation. **Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing**, [s. l.], v. 24, n. 4, p. 521–535, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/S0890060410000375>

NAGEL, J. K. S.; STONE, R. B.; MCADAMS, D. A. An Engineering-to-Biology Thesaurus for Engineering Design. *In*: INTERNATIONAL DESIGN ENGINEERING TECHNICAL CONFERENCES AND COMPUTERS AND INFORMATION IN ENGINEERING CONFERENCE, 2010, Montreal, Quebec, Canada. **22nd International Conference on Design Theory and Methodology; Special Conference on Mechanical Vibration and Noise**. Montreal, Quebec, Canada: ASME, 2010. p. 117–128. Disponível em: <https://doi.org/10.1115/DETC2010-28233>. Acesso em: 29 abr. 2019.

NOVO, H. F. **A Elaboração de Taxonomia: princípios classificatórios para domínios interdisciplinares**. 2007. - Universidade Federal Fluminense - Instituto de Arte e Comunicação Social, Niterói, 2007.

OUZZANI, M. et al. Rayyan—a web and mobile app for systematic reviews. **Systematic Reviews**, [s. l.], v. 5, n. 1, p. 210, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s13643-016-0384-4>

PAHL, G. et al. **Projeto na Engenharia: fundamentos do desenvolvimento eficaz de produtos, métodos e aplicações**. 6. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2005.

PAHL, G.; BEITZ, W. **Engineering Design: a Systematic Approach**. 3. ed. London: Springer - Verlag, 1988.

PEREIRA, P. Z. **O PENSAMENTO CRIATIVO NO PROCESSO PROJÉTUAL: Proposta de um framework para auxiliar a criatividade em grupos de design**. 2016. - UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL, Porto Alegre, 2016.

PLENTZ, S. S. **TAXONOMIA PARA TÉCNICAS CRIATIVAS APLICADAS AO PROCESSO DE PROJETO**. 2011. - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre - Brasil, 2011.

PRIETO-DÍAZ, R. A faceted approach to building ontologies. *In*: PROCEEDINGS

FIFTH IEEE WORKSHOP ON MOBILE COMPUTING SYSTEMS AND APPLICATIONS, 2003, Las Vegas, USA. **Anais [...]**. Las Vegas, USA: [s. n.], 2003.

PRODANOV, C. C.; FREITAS, E. C. de. **Metodologia do Trabalho Científico: Métodos e Técnicas da Pesquisa e do Trabalho Acadêmico**. 2a edição. Novo Hamburgo - Rio Grande do Sul - Brasil: [s. n.], 2013.

RAVEN, P. et al. **Biology**. 11. ed. [S. l.]: McGraw-Hill Higher Education, 2017.

ROMANO, L. N. **MODELO DE REFERÊNCIA PARA O PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE MÁQUINAS AGRÍCOLAS**. 2003. - Universidade Federal de Santa Catarina Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, Florianópolis, 2003.

ROZENFELD, H. et al. **Gestão de Desenvolvimento de Produtos: uma referência para a melhoria do processo**. São Paulo: Saraiva, 2006.

SADAVA, D. et al. **Vida: a ciência da biologia**. 8. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009.

SALVADOR, R. J. **Metodologia Biônica em Dobradiça de Móveis**. 2003. - UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL, Porto Alegre, 2003.

SARTORI, J.; PAL, U.; CHAKRABARTI, A. A methodology for supporting “transfer” in biomimetic design. **Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing**, [s. l.], v. 24, n. 04, p. 483–506, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/S0890060410000351>

SHU, L. H. A natural-language approach to biomimetic design. **Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing**, [s. l.], v. 24, n. 4, p. 507–519, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/S0890060410000363>

SHU, L. H. et al. Biologically inspired design. **CIRP Annals**, [s. l.], v. 60, n. 2, p. 673–693, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2011.06.001>

SHU, L. H.; CHIU, I. Biomimetic design through natural language analysis to facilitate cross-domain information retrieval. **Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing**, [s. l.], v. 21, n. 1, p. 45–59, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/S0890060407070138>

STONE, R. B.; WOOD, K. L. Development of a Functional Basis for Design. **Journal of Mechanical Design**, [s. l.], v. 122, n. 4, p. 359, 2000. Disponível em: <https://doi.org/10.1115/1.1289637>

STROBLE, J. K. et al. Automated Retrieval of Non-Engineering Domain Solutions to Engineering Problems. In: , 2009, Cranfield University. **Proceedings of the 19th CIRP Design Conference – Competitive Design**. Cranfield University: [s. n.], 2009. p. 78.

TSCHIMMEL, K. C. Design as a Perception-in-Action process. *In: TAURA, T.; NAGAI, Y. Design Creativity 2010*. London: Springer, 2011.

ULLMAN, D. G. **The mechanical design process**. 4th eded. Boston: McGraw-Hill Higher Education, 2010. (McGraw-Hill series in mechanical engineering).

VAKILI, V.; SHU, L. H. TOWARDS BIOMIMETIC CONCEPT GENERATION. *In: , 2001, Pittsburgh, Pennsylvania. Proceedings of DETC'01 ASME 2001 Design Engineering Technical Conferences Design Theory and Methodology*. Pittsburgh, Pennsylvania: [s. n.], 2001. p. 9.

VATTAM, S. S.; GOEL, A. K. Biological Solutions for Engineering Problems: A Study in Cross-Domain Textual Case-Based Reasoning. *In: DELANY, S. J.; ONTAÑÓN, S. (org.). Case-based reasoning research and development: 21st International Conference, ICCBR 2013, Saratoga Springs, NY, USA, July 8-11, 2013: proceedings*. Berlin ; New York: Springer, 2013. (Lecture notes in artificial intelligence, v. 7969). p. 343–357.

VATTAM, S. S.; GOEL, A. K. Semantically annotating research articles for interdisciplinary design. *In: THE SIXTH INTERNATIONAL CONFERENCE, 2011, Banff, Alberta, Canada. Proceedings of the sixth international conference on Knowledge capture - K-CAP '11*. Banff, Alberta, Canada: ACM Press, 2011. p. 165. Disponível em: <https://doi.org/10.1145/1999676.1999707>. Acesso em: 26 abr. 2019.

VINCENT, J. F. V. *et al.* Biomimetics: its practice and theory. **Journal of The Royal Society Interface**, [s. l.], v. 3, n. 9, p. 471–482, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1098/rsif.2006.0127>

VINCENT, J. F. V. *et al.* Putting Biology into TRIZ: A Database of Biological Effects. **Creativity and Innovation Management**, [s. l.], v. 14, n. 1, p. 66–72, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1476-8691.2005.00326.x>

WAHL, D. C. Bionics vs. biomimicry: from control of nature to sustainable participation in nature. *In: COMPARING DESIGN IN NATURE WITH SCIENCE AND ENGINEERING 2006, 2006, The New Forest, UK. Design and Nature III: Comparing Design in Nature with Science and Engineering*. The New Forest, UK: WIT Press, 2006. p. 289–298. Disponível em: <https://doi.org/10.2495/DN060281>. Acesso em: 11 jun. 2019.

WILHELMS, S. Function- and constraint-based conceptual design support using easily exchangeable, reusable principle solution elements. **Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing**, [s. l.], v. 19, n. 3, p. 201–219, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/S0890060405050146>

APÊNDICE A

Strings de busca aplicadas em cada plataforma, incluindo os filtros correspondentes aos critérios de inclusão ou exclusão de documentos do escopo da pesquisa, conforme explicado do capítulo 4.

PRIMEIRA BUSCA REALIZADA:

IEEE: 34 documentos resultantes

```
((("Document Title":Biomimetics) OR ( "Document Title":Biomimicry) OR ( "Document Title":Bionics) OR ( "Document Title":"Biologically inspired design") OR ( "Document Title":"Bio-inspired design") OR ( "Document Title":Bioinspiration) OR ( "Document Title":Bioinspired)) AND ( ( "Document Title":Method) OR ( "Document Title":Tool) OR ( "Document Title":Methodology) OR ( "Document Title":"Technology transfer"))))
```

Web of science: 48 documentos resultantes

```
TI=((Biomimetic OR Biomimicry OR Bionic OR "Biologically inspired design" OR "Bio-inspired design" OR Bioinspiration OR Bioinspired) AND (Method OR Tool OR Methodology OR "Technology transfer"))
```

Refinado por: Domínios de pesquisa: (SCIENCE TECHNOLOGY) AND Acesso aberto: (ALL OPEN ACCESS OR GOLD OR GREEN PUBLISHED OR GREEN ACCEPTED) AND Acesso Aberto: (OPEN ACCESS)

Embase: 71 documentos resultantes

```
((biomimetic:ti OR biomimicry:ti OR bionic:ti OR 'biologically inspired design':ti OR 'bio-inspired design':ti OR bioinspiration:ti OR bioinspired:ti) AND (method:ti OR tool:ti OR methodology:ti OR 'technology transfer':ti)) AND ('Article'/it OR 'Article in Press'/it OR 'Review'/it) AND (2001:py OR 2002:py OR 2004:py OR 2005:py OR 2006:py OR 2007:py OR 2008:py OR 2009:py OR 2010:py OR 2011:py OR 2012:py OR 2013:py OR 2014:py OR 2015:py OR 2016:py OR 2017:py)
```

PROQUEST: 47 documentos resultantes

ti(Biomimetic OR Biomimicry OR Bionic OR "Biologically inspired design" OR "Bio-inspired design" OR Bioinspiration OR Bioinspired) AND ti(methodology OR method OR tool OR "Technology transfer")

Science Direct: 104 documentos resultantes

ttl(Biomimetic OR Biomimicry OR Bionic OR {Biologically inspired design} OR {Bio-inspired design} OR Bioinspiration OR Bioinspired) AND ttl(Method OR Tool OR Methodology OR {Technology transfer})

Scopus: 320 documentos resultantes

TITLE-ABS-KEY

((biomimetics OR biomimetic OR biomimicry OR bionics OR bionic OR "Biologically inspired design" OR "Bio-inspire design" OR bioinspiration OR bioinspired) AND (method OR tool OR methodology OR "Technologytransfer")) AND (EXCLUDE (PUBYEAR , 1999) OR EXCLUDE (PUBYEAR , 1998)OR EXCLUDE (PUBYEAR , 1997) OR EXCLUDE (PUBYEAR , 1996) OR EXCLUDE (PUBYEAR , 1995) OR EXCLUDE (PUBYEAR , 1994) OR EXCLUDE (PUBYEAR , 1993) OR , "Polish")) ... continua...

SEGUNDA BUSCA REALIZADA:

Scopus: 146 documentos resultantes

"systematic technology transfer from biology to engineering" OR "Bio-inspired design method" OR "bionic design method" OR "biomimetic design method" OR "bio-inspired tool" OR "biomimetic tool" OR "bionic tool" AND (EXCLUDE (PUBYEAR , 1994)) AND (EXCLUDE (SUBJAREA , "MATH") OR EXCLUDE (SUBJAREA , "CHEM") OR EXCLUDE (SUBJAREA , "BIOC") OR EXCLUDE (SUBJAREA , "MATE") OR EXCLUDE (SUBJAREA , "CENG") OR EXCLUDE (SUBJAREA , "PHYS") OR EXCLUDE (SUBJAREA , "MEDI") OR EXCLUDE (SUBJAREA , "ENER") OR EXCLUDE (SUBJAREA , "EART") OR EXCLUDE (SUBJAREA , "NEUR") OR EXCLUDE (SUBJAREA , "PHAR") OR EXCLUDE (SUBJAREA , "PSYC") OR EXCLUDE (SUBJAREA , "DENT") OR EXCLUDE (SUBJAREA , "ECON")) AND (EXCLUDE (LANGUAGE , "Chinese") OR EXCLUDE (LANGUAGE , "Spanish"))

IEEE: 21 documentos resultantes

(((((("systematic technology transfer from biology to engineering") OR "Bio-inspired design method") OR "bionic design method") OR "biomimetic design method") OR "bio-inspired tool") OR "biomimetic tool") OR "bionic tool")

PROQUEST: 07 documentos resultantes

"systematic technology transfer from biology to engineering" OR "Bio-inspired design method" OR "bionic design method" OR "biomimetic design method" OR "bio-inspired tool" OR "biomimetic tool" OR "bionic tool"

Web of Science: 25 documentos resultantes

("systematic technology transfer from biology to engineering" OR "Bio-inspired design method" OR "bionic design method" OR "biomimetic design method" OR "bio-inspired tool" OR "biomimetic tool" OR "bionic tool")

Science Direct: 82 documentos resultantes

"systematic technology transfer from biology to engineering" OR "Bio-inspired design method" OR "bionic design method" OR "biomimetic design method" OR "bio-inspired tool" OR "biomimetic tool" OR "bionic tool"

Embase: 15 documentos irrelevantes para o tema de pesquisa. Não foram exportados para o Rayan.

APÊNDICE B

Lista completa artigos classificados como Médios e ótimos, totalizando 78.

	ARTIGOS SELECIONADOS	AUTORES	CATEG.	C1	C2	C3	C4	C5	SOMA
BUSCA 1	User requirements for analogical design support tools: Learning from practitioners of bio-inspired design	Töre Yargın, Gülşen Moroşanu Fırth, Roxana Crilly, Nathan	MÉDIO	1	2	2	2	0	7
BUSCA 1	Bio-inspired design: An overview investigating open questions from the broader field of design-by-analogy	Fu, K. Moreno, D. Yang, M. Wood, K.L.	ÓTIMO	1	2	4	4	0	11
BUSCA 1	Sustainable design by systematic innovation tools (TRIZ, CAI, SI, and biomimetics)	Yoo, S.-H.	MÉDIO	1	2	0	4	0	7
BUSCA 1	Biological system analysis in bioinspired conceptual design (BICD) for bioinspired robots	Eroglu, A.K. Erden, Z. Erden, A.	MÉDIO	1	2	0	4	0	7
BUSCA 1	Technology development tools in biomimetics utilizing TRIZ: Biomimetic-TRIZ matrix	Lim, C. Park, I. Yoon, B.	ÓTIMO	1	0	4	4	3	12
BUSCA 1	A methodology for supporting "transfer" in biomimetic design	Sartori, Julian Pal, Ujjwal Chakrabarti, Amaresh	ÓTIMO	1	2	4	4	6	17
BUSCA 1	Biomimicry as a Problem Solving Methodology in Interior Architecture	El-Zeiny, Rasha Mahmoud Ali	MÉDIO	1	2	4	0	0	7
BUSCA 1	Towards a Methodology for Bio-inspired Programme Management Design	Worobei, Anton Hämig, Heike	MÉDIO	1	2	4	2	0	9
BUSCA 1	Methodology for product design based on the study of bionics	Junior, Wilson Kindlein Guanabara, Andréa Seadî	MÉDIO	1	0	4	4	0	9
BUSCA 2	On the benefits of digital libraries of case studies of analogical design: Documentation, access, analysis, and learning	Goel, Ashok K. Shu, L. H. Zhang, Gongbo Wiltgen, Bryan Zhang, Yuqi Vattam, Swaroop Yen, Jeannette	MÉDIO	1	2	0	4	0	7
BUSCA 2	Biomimetics: Structure-Function Patterns Approach	Cohen, Yael Helfman Reich, Yoram Greenberg, Sara	ÓTIMO	1	2	4	4	0	11
BUSCA 2	Developing Sustainable Innovative Products for the Bottom of the Pyramid by Biomimetic Design Concepts	Chen, J.L. Lee, C.-L. Y., Umeda S., Kondoh S., Takata	MÉDIO	1	0	4	4	0	9
BUSCA 2	Ecological Innovation: Biomimicry as a New Way of Thinking and Acting Ecologically	Blok, V. Gremmen, B.	MÉDIO	1	2	4	0	0	7
BUSCA 2	About integration opportunities between TRIZ and biomimetics for inventive design	Baldussu, A. Cascini, G. D., Cavallucci J., Dullou P., Livotov T., Vaneker	ÓTIMO	1	2	4	4	6	17
BUSCA 2	Biologically inspired design: A new paradigm for AI research on computational sustainability?	Goel, A.K.	ÓTIMO	1	2	4	0	6	13
BUSCA 2	Biomimicry: A path to sustainable innovation	Kennedy, E. Fecheyr-Lippens, D. Hsiung, B.-K. Niewiarowski, P.H. Kolodziej, M.	MÉDIO	1	2	0	4	3	10
BUSCA 2	Exploring creativity in the bio-inspired design process	Anggakara, K. Akسدal, I. Onarheim, B. T., Taura Y., Nagai A., Chakrabarti	MÉDIO	1	2	0	4	0	7
BUSCA 2	Assessment of the biomimetic toolset—Design spiral methodology analysis	Fayemi, P.-E. Maranzana, N. Aoussat, A. Bersano, G.	ÓTIMO	1	2	4	4	0	11
BUSCA 2	Eco-innovation by integrating biomimetic design and ARIZ	Chen, W.-C. Chen, J.L.	ÓTIMO	1	0	4	4	6	15
BUSCA 2	Automated retrieval of non-engineering domain solutions to engineering problems	Stroble, J.K.; Stone, R.B.; McAdams, D.A.; Goeke, M.S.; Watkins, S.E.; R., Roy, E., Shehab	ÓTIMO	1	2	4	4	0	11
BUSCA 2	Research on function based method for bio-inspiration knowledge modeling and transformation	Gu, C.-C. Hu, J. Peng, Y.-H.	ÓTIMO	1	2	4	4	0	11
BUSCA 2	An information-processing theory of interactive analogical retrieval	Vattam, S.S. Goel, A.K.	ÓTIMO	1	2	4	4	6	17

BUSCA 2	Retrieving causally related functions from natural-language text for biomimetic design	Cheong, H. Shu, L.H.	ÓTIMO	1	2	4	4	6	17
BUSCA 2	Bionic design: Presentation of a two way methodology	Versos, C.A.M. Coelho, D.A.	MÉDIO	1	2	2	4	0	9
BUSCA 2	Using templates and mapping strategies to support analogical transfer in biomimetic design	Cheong, H. Shu, L.H.	ÓTIMO	1	2	4	4	6	17
BUSCA 2	Applying designer feedback to generate requirements for an intuitive biologically inspired design tool	Arlitt, R.; O'halloran, B.M.; Novak, J.; Stone, R.B.; Tumer, I.Y.	ÓTIMO	1	2	4	4	0	11
BUSCA 2	Cognitive, collaborative, conceptual and creative: Four characteristics of the next generation of knowledge-based CAD systems: A study in biologically inspired design	Goel, A.K. Vattam, S. Wiltgen, B. Helms, M.	ÓTIMO	1	2	4	4	6	17
BUSCA 2	Methods for supporting bioinspired design	Glier, M.W. Tsenn, J. Linsey, J.S. McAdams, D.A.	ÓTIMO	1	2	4	4	6	17
BUSCA 2	An Information-processing account of creative analogies in biologically inspired design	Ashok K. Goel, Swaroop Vattam, Michael Helms, & Bryan Wiltgen	MÉDIO	1	2	0	4	0	7
BUSCA 2	Semantically annotating research articles for interdisciplinary design	Vattam, S.S. Goel, A.K.	ÓTIMO	1	2	0	4	6	13
BUSCA 2	Biologically inspired design	Shu, L.H. Ueda, K. Chiu, I. Cheong, H.	ÓTIMO	1	2	4	4	0	11
BUSCA 2	Design in nature and engineering: Knowledge transfer through a data-base of biological solutions	Rosa, F. Rowida, E. Viganò, R. Razzetti, E.	ÓTIMO	1	2	4	4	6	17
BUSCA 2	A natural-language approach to biomimetic design	Shu, L.H.	ÓTIMO	1	2	4	4	0	11
BUSCA 2	A content account of creative analogies in biologically inspired design	Vattam, S.S. Helms, M.E. Goel, A.K.	ÓTIMO	1	2	4	4	3	14
BUSCA 2	Function-based, biologically inspired concept generation	Nagel, J.K.S. Nagel, R.L. Stone, R.B. McAdams, D.A.	ÓTIMO	1	2	4	4	6	17
BUSCA 2	Supporting biomimetic design through categorization of natural-language keyword-search results	Ke, J. Wallace, J.S. Shu, L.H.	ÓTIMO	1	2	4	4	0	11
BUSCA 2	Translating terms of the Functional Basis into biologically meaningful keywords	Cheong, H. Stone, R.B. Shu, L.H. McAdams, D.A.	ÓTIMO	1	2	0	4	6	13
BUSCA 2	Biologically inspired design: process and products	Helms, M.; Vattam, S.S.; Goel, A.K.	ÓTIMO	1	2	4	4	3	14
BUSCA 2	Using descriptions of biological phenomena for idea generation	Mak, T.W. Shu, L.H.	MÉDIO	1	2	0	4	0	7
BUSCA 2	Biomimetic design through natural language analysis to facilitate cross-domain information retrieval	Chiu, I. Shu, L.H.	ÓTIMO	1	2	4	4	0	11
BUSCA 2	New educational tools and curriculum enhancements for motivating engineering students to design and realize bio-inspired products	Bruck, H.A. Gershon, A.L. Golden, I. Gupta, S.K. Gyger Jr., L.S. Magrab, E.B. Spranklin, B.W.	MÉDIO	1	2	0	4	0	7
BUSCA 2	Modeling the Cellular Level of Natural Sensing with the Functional Basis for the Design of Biomimetic Sensor Technology	K. Stroble, J.; E. Watkins, S.; Stone, R.B.; McAdams, D.A.; H. Shu, Li	ÓTIMO	1	2	4	4	0	11
BUSCA 2	Eco-innovation by TRIZ and biomimetics design	L. Chen, J. C. Hung, S.	MÉDIO	1	0	2	2	3	8
OUTROS	Biomimicry: nature's design process versus the designer's process	K. J. Rossin	ÓTIMO	1	2	4	4	6	17
OUTROS	BOOK: Biologically inspired design	Goel, McAdams, Stone	ÓTIMO	1	2	4	4	3	14
OUTROS	Idea Inspire 3.0—A Tool for Analogical Design	Chakrabarti	ÓTIMO	1	2	4	4	6	17
OUTROS	AN ENGINEERING-TO-BIOLOGY THESAURUS FOR ENGINEERING DESIGN	Nagel, Stone, McAdams	ÓTIMO	1	2	4	4	3	14

OUTROS	Putting Biology into TRIZ: A Database of Biological Effects	Vincent	ÓTIMO	1	2	4	2	3	12
OUTROS	Biomimicry: optimization strategy from nature towards sustainable solutions for energy-efficient building design.	Natasha Chayaamor-Heil	MÉDIO	1	2	0	4	0	7
OUTROS	Problem-Driven and Solution-Based Design Twin Processes of Biologically Inspired Design	Michael E. Helms, Swaroop S. Vattam & Ashok K. Goel; Jeannette Yen & Marc Weissburg	ÓTIMO	1	2	4	4	3	14
OUTROS	Developing Sustainable Innovative Products for the Bottom of the Pyramid by Biomimetic Design Concepts	Jahau Lewis Chena*, Chang-Lin Leea	MÉDIO	1	2	2	2	3	10
OUTROS	Towards biomimetic concept generation	V. Vakili, L.H. Shu*	ÓTIMO	1	2	4	4	0	11
OUTROS	BioTRIZ: a win-win methodology for eco-innovation	Nikolay Bogatyrev and Olga Bogatyreva	ÓTIMO	1	2	4	4	6	17
OUTROS	VERIFICAÇÃO DA ADEQUABILIDADE DO MÉTODO BIOTRIZ NA APLICAÇÃO DA BIOMIMÉTICA NO ENSINO DE PROJETO DE ARQUITETURA	RONNIE ELDER DA CUNHA	ÓTIMO	1	2	2	4	3	12
OUTROS	Modeling biological systems to facilitate their selection during a bio-inspired design process	Fayemi, Pierre-Emmanuel Ifeolohoum [1,2]; Maranzana, Nicolas (1); Aoussat, Ameziane (1); Chekchak, Tarik (3); Bersano, Giacomo (2)	MÉDIO	1	2	2	2	3	10
OUTROS	Biomimetics: process, tools and practice	P.E. Fayemi ^{1,2} , K. Wanieck ^{3,4} , C. Zollfrank ³ , N. Maranzana ¹ and A. Aoussat ¹	ÓTIMO	1	2	4	2	3	12
OUTROS	Biomimetics and its tools	Kristina Wanieck; Pierre-Emmanuel Fayemi; Nicolas Maranzana; Cordt Zollfrank; Shoshanah Jacobs	ÓTIMO	1	2	4	2	3	12
OUTROS	BIO-INSPIRED DESIGN CHARACTERISATION AND ITS LINKS WITH PROBLEM SOLVING TOOLS	P. E. Fayemi, N. Maranzana, A. Aoussat and G. Bersano	ÓTIMO	1	2	4	2	3	12
OUTROS	Biomimetics: its practice and theory	Julian F. V. Vincent, Olga A. Bogatyreva, Nikolaj R. Bogatyrev, Adrian Bowyer and Anja Karina Pahl	ÓTIMO	1	2	4	4	3	14
OUTROS	Exploring the Use of Functional Models in Biomimetic Conceptual Design	Robert L. Nagel, Prem A. Midha, Andrea Tinsley, Robert B. Stone, Daniel A. McAdams L. H. Shu	MÉDIO	1	2	2	2	3	10
OUTROS	ECOSYSTEM SERVICES ANALYSIS FOR THE DESIGN OF REGENERATIVE URBAN BUILT ENVIRONMENTS	MABRITT PEDERSEN ZARI	MÉDIO	1	2	2	2	0	7
OUTROS	Systematic technology transfer from Biology to Engineering	Julian F.V. Vincent and Darrell L. Mann	ÓTIMO	1	2	4	4	3	14
OUTROS	Biological Solutions for Engineering Problems: A Study in Cross-Domain Textual Case-Based Reasoning	Swaroop S. Vattam and Ashok K. Goel	ÓTIMO	1	2	4	4	3	14
OUTROS	A functional representation for aiding biomimetic and artificial inspiration of new ideas	AMARESH CHAKRABARTI, PRABIR SARKAR, B. ILELAVATHAMMA, B.S. NATARAJU	ÓTIMO	1	2	4	4	3	14
OUTROS	Paradigms for biologically inspired design	Lenau, Torben Anker; Metzke, A. L.; Hesselberg, T.	ÓTIMO	1	2	4	2	3	12
OUTROS	CAUSAL MODELS FOR BIO-INSPIRED DESIGN: A COMPARISON	A. Balducci, G. Cascini, F. Rosa and E. Rovida	MÉDIO	1	2	4	2	0	9
OUTROS	SISTEMATIZAÇÃO DA CONFIGURAÇÃO DA FORMA DE PRODUTOS POR MEIO DE ANALOGIAS COM A NATUREZA	Leonardo Menezes Melo	ÓTIMO	1	2	4	2	3	12
OUTROS	Systematic Design of Biologically-Inspired Engineering Solutions	Jacquelyn Kay Nagel	ÓTIMO	1	2	4	4	3	14

OUTROS	TRIZ Evolution Trends in Biological and Technological Design Strategies	N. R. Bogatyrev, O. A. Bogatyreva	ÓTIMO	1	2	4	2	3	12
OUTROS	Adaptive Evolution of Teaching Practices in Biologically Inspired Design	Jeannette Yen, Michael Helms, Ashok Goel, Craig Tovey and Marc Weissburg	ÓTIMO	1	2	4	2	3	12
OUTROS	Biocards and Level of Abstraction	Lenau, Torben Anker; Keshwani, Sonal; Chakrabarti, Amaresh; Ahmed-Kristensen, Saeema	ÓTIMO	1	2	4	2	3	12
OUTROS	Design problem solving with biological analogies: A verbal protocol study	Hyunmin Cheong, Gregory M. Hallihan, L.H. Shu	MÉDIO	1	2	4	2	0	9
OUTROS	Working paper to appear in Int. J. of Design Engineering	Denis A. Coelho E Carlos A. M. Versos	MÉDIO	1	2	4	2	0	9
OUTROS	DANE: Fostering Creativity in and through Biologically Inspired Design	Swaroop Vattam, Bryan Wiltgen, Michael Helms, Ashok K. Goel, Jeannette Yen	ÓTIMO	1	2	4	4	3	14
OUTROS	Biologically Inspired Design: A Tool for Interdisciplinary Education	Jeannette Yen and Marc J. Weissburg; Michael Helms; Ashok K. Goel	ÓTIMO	1	2	4	4	3	14
OUTROS	Natural Language analysis for biomimetic design	I. Chiu and L.H. Shu	ÓTIMO	1	2	4	2	3	12
OUTROS	Generalizing the Biomimetic Design Process	L.H. Shu	MÉDIO	1	2	4	2	0	0
OUTROS	Use of Biological phenomena in Design by Analogy	T. W. Mak and L.H. Shu	MÉDIO	1	2	4	2	0	9

APÊNDICE C

Neste apêndice, estão apresentados todos os princípios de solução da natureza mapeados e classificados dentro do Repositório BIOSign. No total são 661 entradas diferentes, organizadas nas seguintes colunas: Ação; Objeto da ação; Meio; Dispositivo, Princípio físico; Exemplo e Página do Livro (para o interessado em obter maior detalhamento a respeito do sistema natural descrito).

Esse repositório completo está disponível no Google Drive em link público: <https://docs.google.com/spreadsheets/d/1YVWQuifajNlxkDItkK67WBZBW6ewd22PZUkyaAg15s/edit#gid=0&fvid=2057274008>. Está organizado através de filtros de busca junto ao cabeçalho para facilitar a navegação dos usuários. Na coluna da direita, junto ao número da página, estão os links que direcionam para as ilustrações retiradas da bibliografia Vida: a ciência da Biologia (SADAVA *et al.*, 2009)

	PROBLEMA DE PROJETO			PRINCÍPIO DE SOLUÇÃO			
	QUAL A AÇÃO?	QUAL O OBJETO DA AÇÃO?	EM QUE MEIO?	DISPOSITIVO	PRINCÍPIO FÍSICO	EXEMPLO	PG
1	Vincular	CORPO SÓLIDO	gasoso	folhas com gravinhas	se enrolam e auxiliam na fixação para as folhas alcançarem mais altura e portanto terem acesso a mais sol	pepino, chuchu, etc	6
2	Fornecer	MISTURA SÓLIDO-LÍQUIDO	gasoso	folhas em forma de vaso que mantém água	por decomposição dos corpos dos insetos que se afogam no jarro	folhas das Plantas-jarro	6
3	Vincular	PARTÍCULA SÓLIDA	indiferente	elétrons	por atração e compartilhamento até chegar à estabilidade	ligações químicas	25
4	Estruturar	CORPO SÓLIDO	líquido	pontes de hidrogênio	pelo movimento das moléculas de água e formação das pontes de hidrogênio	gelo	31
5	Regular densidade	LÍQUIDO PURO	líquido	pontes de hidrogênio	por esfriamento e solidificação (formação de gelo, que é menos denso que a água líquida)	gelo	31
6	Mov. Saída	ENERGIA TÉRMICA	indiferente	moléculas	por quebra de ligações moleculares através de reação química	perda de calor; resfriamento	30
7	Mov. Saída	ENERGIA ELETROMAGNÉTICA	indiferente	moléculas	por quebra de ligações moleculares através de reação química	perda de luz	30
8	Regular temperatura	CORPO SÓLIDO	gasoso	água	por evaporação	suor	32
9	Vincular	LÍQUIDO PURO	líquido	pontes de hidrogênio	por tensão superficial (força coesiva decorrente das pontes de hidrogênio)	tensão superficial da água	32
10	Dividir	PARTÍCULA SÓLIDA	indiferente	ambientes quentes	aumento na temperatura causa aceleração dos movimentos moleculares e podem quebrar pontes de hidrogênio e interações hidrofóbicas	desnaturação	48
11	Dividir	PARTÍCULA SÓLIDA	indiferente	ambientes com alteração no PH	alterações no PH podem mudar o padrão de ionização dos aminoácidos, rompendo assim o padrão de atrações e repulsões iônicas	desnaturação	48
12	Dividir	PARTÍCULA SÓLIDA	indiferente	ambientes com altas concentrações de substâncias polares	altas concentrações de substâncias polares, como ureia, podem romper as pontes de hidrogênio, cruciais para a estrutura da proteína.	desnaturação	48
13	Proteger	PARTÍCULA SÓLIDA	indiferente	chaperoninas (gaiolas)	por aprisionamento/cercamento das proteínas novas ou desnaturadas para prevenir ligações inapropriadas	proteção de proteínas	49
14	Regular densidade	CORPO SÓLIDO	gasoso	cadeias de polissacarídeos no amido	por separação das cadeias devido à adição de água e calor no pão	pão mais duro ou mais macio	51
15	Vincular	PARTÍCULA SÓLIDA	indiferente	fitas do RNA	por dobramento que aproxima sequências de bases complementares, mas distantes	pontes de hidrogênio do RNA	59
16	Selecionar	PARTÍCULA SÓLIDA	líquido	Poros nucleares ("catraca" de entrada)	autorização de entrada de proteínas por sinal de localização nuclear. Essa sequência de sinal possui uma estrutura tridimensional que permite sua ligação não-covalente a uma das proteínas do poro, que atua como receptor. A ligação induz uma alteração no formato tridimensional do receptor de forma que ocorre o estiramento do poro, permitindo a importação de grandes proteínas.	membrana nuclear das células	78
17	Regular fluxo	SINAL	líquido	Poros nucleares (como uma "catraca" de entrada)	autorização de entrada de proteínas por sinal de localização nuclear. Essa sequência de sinal possui uma estrutura tridimensional que permite sua ligação não-covalente a uma das proteínas do poro, que atua como receptor. A ligação induz uma alteração no formato tridimensional do receptor de forma que ocorre o estiramento do poro, permitindo a importação de grandes proteínas.	membrana nuclear das células	78
18	Proteger	PARTÍCULA SÓLIDA	líquido	Reticulo endoplasmático	por englobamento em suas membranas	organelas das células	79, 80
19	Transportar	PARTÍCULA SÓLIDA	líquido	Reticulo endoplasmático	através do sistema de redes de tubos e bolsas achatadas formados pelas membranas	organelas das células	79, 80
20	Proteger	PARTÍCULA SÓLIDA	líquido	Complexo de Golgi	por empacotamento, proteínas são envolvidas em uma vesícula	organelas das células	81
21	Mov. Entrada	PARTÍCULA SÓLIDA	líquido	Complexo de Golgi	por fusão de membrana	organelas das células	81
22	Transportar	PARTÍCULA SÓLIDA	líquido	Complexo de Golgi	por brotamento de vesículas	organelas das células	81
23	Mov. Entrada	PARTÍCULA SÓLIDA	líquido	Fagossomo	por fagocitose, devido a formação de invaginação na membrana plasmática, que gradualmente se aprofunda e engloba o material encontrado no exterior da célula	organelas das células	82
24	Converter	PARTÍCULA SÓLIDA	líquido	lisossomo	por hidrólise: a digestão inicia pelo fusão do fagossomo com o lisossomo primário, dando origem ao lisossomo secundário, no qual ocorre a digestão. As enzimas do lisossomo hidrolisam as partículas de alimento	organelas das células	82
25	Remover	PARTÍCULA SÓLIDA	líquido	lisossomo	por autofagia. Organelas são englobadas pelos lisossomos e digeridas (hidrolisadas em monômeros). Depois essas partículas saem do lisossomo para o citoplasma onde podem ser reutilizadas	organelas das células	82
26	Converter	ENERGIA QUÍMICA	líquido	mitocôndrias	conversão de energia química em ATP (adenosina trifosfato)	respiração celular	83
27	Converter	ENERGIA SOLAR	líquido	cloroplastos	fotossíntese: realizada por uma extensa rede de membranas tilacóides fotossintetizantes	fotossíntese	84
28	Estruturar	CORPO SÓLIDO	líquido	citoesqueleto (microfilamentos, filamentos intermediários e microtúbulos)	por formação de rede com longas fibras finas	estrutura celular	87
29	Distribuir	PARTÍCULA SÓLIDA	líquido	citoesqueleto (microfilamentos, filamentos intermediários e microtúbulos)	por formação de rotas através da rede de fibras	estrutura celular	87
30	Rotacionar	CORPO SÓLIDO	líquido	cílios	por deslizamento dos microtúbulos (semelhante a uma roda de bicicleta, um raio parte de um microtúbulo de cada duplete e conecta o duplete ao centro da estrutura)	batimento dos cílios	89
31	transportar	PARTÍCULA SÓLIDA	líquido	proteínas motoras	por movimento sobre os trilhos de microtúbulos (por ligar e desligar sucessivos da cinesina)	proteínas motoras que transportam vesículas ao longo de microtúbulos	90

32	Estruturar	CORPO SÓLIDO	sólido	paredes celulares	por rigidez	parede celular vegetal	91
33	Isolar	CORPO SÓLIDO	líquido	lâmina basal, matriz extracelular	filtração por viscosidade	células dos rins	91
34	Vincular	CORPO SÓLIDO	líquido	proteínas integrais de membrana	por adesão, atravessando completamente a bicamada fosfolipídica	proteínas de membrana	98
35	Isolar	CORPO SÓLIDO	sólido	Proteínas de reconhecimento celular	por junções aderentes	Separação de tecidos	104
36	Vincular	CORPO SÓLIDO	sólido	Proteínas de reconhecimento celular	por desmossomos	união de células	104
37	Transmitir	SINAL	sólido	Proteínas de reconhecimento celular	por junções GAP	comunicação entre células	104
38	Reduzir	CORPO SÓLIDO	líquido	solução hipertônica (solutos concentrados no exterior)	por osmose (as células perdem água e murcham)	a osmose modifica o formato das células	107
39	Ampliar	PARTÍCULA SÓLIDA	líquido	solução hipotônica (solutos diluídos no exterior)	por osmose (as células incorporam água e incham)	a osmose modifica o formato das células	107
40	Ampliar	CORPO SÓLIDO	líquido	molécula estimuladora	abertura de canal proteico/iônico por princípio químico	Canal proteico controlado	108
41	Transportar	PARTÍCULA SÓLIDA	líquido	proteína carreadora	por alteração conformacional (a proteína se molda à glicose)	Transporte de glicose	110
42	Mov. Entrada	PARTÍCULA SÓLIDA	líquido	membrana plasmática	por endocitose (formação de invaginações - dobramentos - para o interior da célula)	endocitose	113
43	Mov. Saída	PARTÍCULA SÓLIDA	líquido	membrana plasmática	por exocitose (por fusão de membrana e liberação das partículas)	exocitose	113
44	Desativar	SINAL	indiferente	enzima inibidora	por alteração de configuração (forma)	alosteria (allo: diferente; stery: forma)	132
45	Armazenar	SINAL	indiferente	cromossomos	por empacotamento (os nucleossomos se empacotam em uma espiral que se torce em outra maior e assim por diante, produzindo fibras de cromatina superenroladas e condensadas)	cromossomos	188
46	Transportar	PARTÍCULA SÓLIDA	líquido	enzima ativadora	por acoplamento	RNA	267
47	Proteger	CORPO SÓLIDO	indiferente	sistema linfático	por reconhecimento e combate de moléculas estranhas ao organismo	sistema linfático humano	402
48	Selecionar	PARTÍCULA SÓLIDA	líquido	linfonodos	por filtração (a linfa é filtrada e as células brancas sanguíneas inspecionam a linfa em busca de patógenos)	sistema linfático humano	402
49	remover	PARTÍCULA SÓLIDA	líquido	fagócitos	por internalização e digestão de restos celulares	sistema linfático humano	402
50	Vincular	CORPO SÓLIDO	sólido	plaquetas	por coagulação sanguínea	união de tecidos	403
51	Transportar	GÁS PURO	líquido	glóbulos vermelhos	por ligações químicas	Transporte de oxigênio e gás carbônico	403
52	Ampliar	CORPO SÓLIDO	indiferente	células	por divisão, diferenciação e expansão celular	crescimento do corpo	428
53	Moldar	CORPO SÓLIDO	sólido	indutores embrionários	por indução (os tecidos não induzem a si mesmos; ao contrário, os tecidos diferentes interagem e induzem uns aos outros)	lente no olho de vertebrados	437
54	Selecionar	PARTÍCULA SÓLIDA	líquido	bico com borda serrilhada	seleção por filtragem	flamingos	512
55	Remover	CORPO SÓLIDO	sólido	bico forte	rasgar e despelar	abutre	512
56	Moldar	CORPO SÓLIDO	sólido	bico forte alongado e fino	perfuração da madeira	pica-pau	512
57	Transmitir	SINAL	gasoso	bico longo e rígido	bater repetidamente	comunicação dos pica-paus	512
58	Dividir	MISTURA SÓLIDO-LÍQUIDO	sólido	bico rígido	compressão (quebra sementes)	Tendilhão	512
59	Mov. Entrada	CORPO SÓLIDO	líquido	bico longo e afiado	submersão (mergulho rápido e mínimo impacto)	garça	512
60	Dividir	CORPO SÓLIDO	gasoso	bico forte, curvo e afiado	perfuração e corte	aves de rapina	512
61	Remover	MISTURA LÍQUIDO-LÍQUIDO	sólido	bico longo e levemente curvado na ponta	sucção	beija-flor	512
62	Remover	CORPO SÓLIDO	gasoso	bico grande com abertura e pontiagudo	corte	tucano	512
63	Mov. Entrada	MISTURA SÓLIDO-LÍQUIDO	líquido	papo	fermentação	galo	532
64	Mov. Entrada	MISTURA SÓLIDO-LÍQUIDO	líquido	estômago	fermentação	ser humano	532
65	Transmitir	SINAL	sólido	neurônios	por impulsos elétricos	transmissão de informações	538
66	Indicar	CORPO SÓLIDO	líquido	cauda	alteração de forma/cor	peixe cauda de espada (mecanismo para atrair as fêmeas)	553
67	Indicar	PARTÍCULA SÓLIDA	líquido	moléculas de sinalização	emissão de sinais químicos	bactérias (no estômago) - mecanismo para atrair as presas	564
68	Transladar	PARTÍCULA SÓLIDA	líquido	filamentos axiais / filamentos delgados/ flagelos	impulsão por meio de rotação e alongamento	procariotos	566
69	Transladar	PARTÍCULA SÓLIDA	líquido	vesículas	por regulação de gás (movimento de subida e descida na medida em que se enche ou esvazia as vesículas de gás)	procariotos aquáticos	566
70	Transmitir	SINAL	líquido	moléculas de sinalização	emissão de sinais químicos	procariotos aquáticos	566

71	Indicar	SINAL	gasoso	órgãos bioluminescentes	emissão de luz	bioluminescência vagalume (para atrair fêmeas)	567
72	Indicar	SINAL	líquido	enzimas	emissão de luz	bioluminescência bactéria <i>Vibrio</i> (para atrair presas)	567
73	Mov. Saída	ENERGIA ELETROMAGNÉTICA	gasoso	luciferina	perda de energia através da oxidação	vagalume	567
74	Segurar	PARTÍCULA SÓLIDA	sólido	corpo cilíndrico espiralado	giro e ancoragem à parede celular	bactéria causadora da sífilis	572
75	Reproduzir	PARTÍCULA SÓLIDA	líquido	heterocistos	por quebra/desprendimento dos filamentos	cianobactérias	573
76	Proteger	CORPO SÓLIDO	líquido	célula hospedeira (fagócito)	endossimbiose	vírus, bactérias	585
77	Mov. Saída	MISTURA SÓLIDO-LÍQUIDO	líquido	corpo	multiplicação e rompimento (estouro)	bactérias	579
78	Proteger	PARTÍCULA SÓLIDA	líquido	genes	mutação	vírus	582
79	Regular densidade	PARTÍCULA SÓLIDA	líquido	carapaça (frústula)	armazenamento de óleo. Regulam densidade do óleo para flutuação	diatomáceas	587
80	Estruturar	CORPO SÓLIDO	líquido	carapaças	secreção de células de carbonato de cálcio	foraminíferos	587
81	Reproduzir	ENERGIA ELETROMAGNÉTICA	líquido	escamas (florescências massivas)	por reflexão	coccolitóforo	587
82	Estruturar	PARTÍCULA SÓLIDA	sólido	membrana	por invaginação e criação de microtúbulos	célula eucariótica	588
83	Mov. Entrada	MISTURA GÁS-GÁS	sólido	membrana	por invaginação e criação de microtúbulos	célula eucariótica	588
84	Estruturar	CORPO SÓLIDO	sólido	microtubos e microfilamentos	deslocamento e contração	ameba	591
85	Transladar	CORPO SÓLIDO	líquido	cílios (protuberâncias finas, numerosas e curtas)	movimentação como chicote (empurrar e puxar)	bactérias	591
86	Mov. Saída	LÍQUIDO PURO	líquido	vacúolo contrátil/pulsátil	osmorregulação e endocitose	bactérias	592
87	Mov. Entrada	MISTURA SÓLIDO-LÍQUIDO	líquido	vacúolo digestivo	clasmocitose e empacotamento (parte da membrana se deforma e conforma uma bolsa para armazenar as leveduras absorvidas)	bactérias	592
88	Armazenar	MISTURA SÓLIDO-LÍQUIDO	líquido	vacúolo digestivo	clasmocitose e empacotamento (parte da membrana de deforma e conforma uma bolsa para armazenar as leveduras absorvidas)	bactérias	592
89	Mov. Entrada	MISTURA SÓLIDO-LÍQUIDO	líquido	invaginação da membrana	endocitose (desdobramento de parte do tecido dentro de outra parte ou estrutura)	bactérias	592
90	Proteger	CORPO SÓLIDO	líquido	carapaça (câmara)	fechamento	foraminídeo	592
91	Transladar	CORPO SÓLIDO	líquido	rede	ramificação e conexão	reticulópodes	592
92	Proteger	CORPO SÓLIDO	líquido	esqueleto vítreo	secreção	radiolárias	592 e 605
93	Reproduzir	PARTÍCULA SÓLIDA	líquido	célula	mitose seguida de citocinese (fissão binária)	bactérias	593, 183
94	Reproduzir	PARTÍCULA SÓLIDA	líquido	superfície de célula velha	brotamento	bactérias	593
95	Misturar	PARTÍCULA SÓLIDA	líquido	corpo	mitose (gametas fusionam-se para formar zigoto)	plantas (haploides)	595
96	Dividir	PARTÍCULA SÓLIDA	líquido	esporos	por meiose (os esporos dividem-se para formar gametas)	plantas (diploides)	595, 183
97	Estruturar	PARTÍCULA SÓLIDA	líquido	alvéolos (bolsas)	por troca gasosa	alveolados	596
98	Dividir	CORPO SÓLIDO	sólido	complexo apical (conóide)	invasão/perfuração	parasitas apicomplexas	596
99	Proteger	CORPO SÓLIDO	líquido	tricocistos (organela de defesa junto da membrana)	explosão epele os tricocistos que emergem impulsionados como dardos afiados	Ciliados (paramecium)	598
100	Proteger	CORPO SÓLIDO	líquido	parede sílica	envolve e isolamento	diatomáceas	599
101	Oscilar	PARTÍCULA SÓLIDA	líquido	membrana plasmática	distribuição diferencial de canais iônicos	Ciliado (paramécio)	598
102	Segurar	CORPO SÓLIDO	sólido	apressório (cola de ácido algênico)	Fixação por colagem/aderência	algas (sargassum)	600
103	Regular densidade	CORPO SÓLIDO	líquido	cavidades de ar	absorção e inflamento	oomicetos	600
104	Converter	CORPO SÓLIDO	líquido	bolor aquático (filamentosos, estacionários, heterotróficos absortivos)	secreção de enzima digestiva	oomicetos (digerir o corpo morto)	600
105	Segurar	CORPO SÓLIDO	líquido	apressórios (estruturas fortes e ramificadas)	Fixar por entrelaçamento (emaranhados)	palma marinha	601
106	Proteger	CORPO SÓLIDO	líquido	grãos de areia	união e formação de carapaça (em formato de lâmpada)	pseudópodos	606, 593
107	Transladar	CORPO SÓLIDO	líquido	citoplasma	deslizamento	bolores mucosos	606
108	Reproduzir	CORPO SÓLIDO	líquido	estrutura de frutificação	liberação de esporos	bolores mucosos	607
109	Reduzir	LÍQUIDO PURO	gasoso	cutícula	revestimento de cera	plantas terrestres	613
110	Proteger	PARTÍCULA SÓLIDA	gasoso	gametângios (invólucros)	empacotamento	plantas em geral	613
111	Proteger	CORPO SÓLIDO	gasoso	pigmentos	revestimento contra radiação ultravioleta	plantas terrestres	613
112	Proteger	CORPO SÓLIDO	gasoso	paredes de esporos grossas	resistir ao apodrecimento e dessecação	esporopolenina	613
113	Isolar	LÍQUIDO PURO	gasoso	estruturas semelhantes a folhas	difusão de minerais no corpo avascular	plantas avasculares	614
114	Ampliar	CORPO SÓLIDO	gasoso	caule	ramificação dicotômica	planta riniófito	619
115	Estruturar	CORPO SÓLIDO	sólido	rizomas (possuem filamentos unicelulares de absorção de água chamados rizóides)	ancoragem	plantas primitivas Rhyniophyta	619
116	Mov. Entrada	ENERGIA ELETROMAGNÉTICA	gasoso	caule	ramificação e crescimento para se aproximar da luz	plantas primitiva	619

117	Mov. Saída	PARTÍCULA SÓLIDA	gasoso	parede do esporângio (envolve os esporos)	apodrecimento	plantas hepáticas	622
118	Mov. Saída	PARTÍCULA SÓLIDA	gasoso	micro estrutura dentro dos esporângios	compressão como mola (arremesso) - estrutura se encurtam e comprimem uma mola a medida que secam. Quando o estresse torna-se suficiente, a mola comprimida volta rapidamente para a posição de repouso, atirando os esporos em todas as	plantas hepáticas	622
119	Reproduzir	CORPO SÓLIDO	gasoso	cálices ou lentes de reprodução	contenção de gemas	plantas hepáticas	622
120	Mov. Saída	PARTÍCULA SÓLIDA	gasoso	chifres/hastes flexíveis (esporófito)	alongamento para sair da zona de proteção da planta e sofrer melhor o impacto da ação do vento em espalhar os esporos	planta ervas de chifre	623
121	Transportar	MISTURA LÍQUIDO-LÍQUIDO	sólido	hidróide	morte e deixa um estreito canal através do qual passa a água	musgos	624
122	Proteger	CORPO SÓLIDO	sólido	semente	empacotamento	plantas com sementes	630
123	Proteger	PARTÍCULA SÓLIDA	gasoso	esporopolenina (composto biológico resistente quimicamente)	revestimento (protege o grão de pólen contra desidratação, danos químicos)	plantas com sementes	633
124	Reproduzir	CORPO SÓLIDO	gasoso	cone curto com escamas/sementes (pinha) - ramos modificados	dispersão de sementes pela ação do vento	conífera (pinus resinosa)	633
125	Reproduzir	CORPO SÓLIDO	gasoso	estróbilos (folhas modificadas)	dispersão de sementes pela ação do vento	conífera (pinus resinosa)	633
126	Proteger	PARTÍCULA SÓLIDA	gasoso	carpelo	empacotamento (prevenir a autopolinização)	angiospermas	638, 640
127	proteger	CORPO SÓLIDO	gasoso	pétalas e sépalas	empacotamento por camadas	angiospermas	638
128	Indicar	SINAL	gasoso	pétalas e sépalas	beleza (formas e cores atrativas)	angiospermas (atração de animais polinizadores)	638
129	Reproduzir	CORPO SÓLIDO	gasoso	flores agrupadas (inflorescência)	por agrupamento para favorecer a transferência de pólen e a otimização o sucesso da reprodução	angiospermas	639
130	Reproduzir	CORPO SÓLIDO	gasoso	estigma	por retração pelo toque (Os estigmas dos mimulus são abertos, bloqueando o acesso às anteras. O toque de um beija-flor, quando este deposita o pólen no estigma faz com que um lóculo do estigma seja retraído, criando uma passagem até as anteras. Um dos lóbulos se dobra fornecendo acesso a polinizadores)	Mimulus	641
131	Transportar	PARTÍCULA SÓLIDA	sólido	corpo dos animais	por ingestão e posterior depósito em outra planta	beija-flor, abelhas, outras aves e morcegos	641
132	Indicar	CORPO SÓLIDO	gasoso	flores vermelhas	por estímulo visual	polinização. Atração de aves polinizadoras	641
133	Indicar	CORPO SÓLIDO	gasoso	flores com odor	por estímulo olfativo	polinização. Atração de insetos polinizadores	641
134	Ativar	CORPO SÓLIDO	gasoso	flores com néctar	Atração das abelhas por espalhar resíduos de néctar (guias de néctar, sinais atrativos, visíveis apenas no espectro ultravioleta)	polinização	641
135	Armazenar	PARTÍCULA SÓLIDA	sólido	endosperma (membrana)	empacotamento	ciclo de vida de uma angiosperma	642
136	Proteger	CORPO SÓLIDO	sólido	endosperma (membrana)	empacotamento	ciclo de vida de uma angiosperma	642
137	Proteger	PARTÍCULA SÓLIDA	indiferente	frutos	empacotamento ou aderência (frutos carnosos)	abacaxi, morango, cereja, framboesa	643
138	Regular temperatura	MISTURA GÁS-GÁS	gasoso	plantas com copa abundante	por sombreamento e bloqueio do vento	regular temperatura dos ambientes	647
139	Fornecer	MISTURA SÓLIDO-LÍQUIDO	sólido	resíduos de vegetais mortos	por decomposição e fertilização	Adubo/nutrientes	647
140	Ampliar	CORPO SÓLIDO	sólido	hifas (filamentos tubulares individuais com quitina)	por alongamento e expansão	fungos	652, 653
141	Transportar	PARTÍCULA SÓLIDA	sólido	septos das hifas	por abertura de poros (canais de comunicação)	corpo dos fungos multicelulares	652, 653
142	Mov. Entrada	CORPO SÓLIDO	sólido	haustórios das hifas (projeções ramificadas)	por projeção e penetração (como uma luva) - Algumas hifas produzem haustórios, projeções ramificadas que invadem as células da planta viva, absorvendo os nutrientes das células. Eles não rompem a membrana plasmática das células. Eles simplesmente comprimem as células, com a membrana, ajustando-se a eles como uma luva	fungos multicelulares	653, 654
143	Mov. Entrada	PARTÍCULA SÓLIDA	sólido	hifas	captura das presas por secreção de substâncias pegajosas que aprisionam as presas	fungos multicelulares	654
144	Segurar	CORPO SÓLIDO	sólido	anel constritor do fungo	por enlaçamento (um nematoide rastejando através de um desses anéis estimula o fungo, levando as células do anel a entumescerem e prenderem o verme)	fungos de solo	654
145	Reproduzir	CORPO SÓLIDO	gasoso	Talo (corpo vegetativo)	por fragmentação	líquens	656
146	Reproduzir	CORPO SÓLIDO	gasoso	Sorédio (células fotossintéticas)	por desprendimento das hifas e dispersão pelo ar até encontrarem um ambiente adequado para seu desenvolvimento	líquens	656
147	Proteger	CORPO SÓLIDO	gasoso	corpo do l	por ressecamento (diminuição de água do corpo), tornando-se resistente aos extremos de temperatura	líquens de rochas	656

148	Fornecer	MISTURA SÓLIDO-LÍQUIDO	sólido	hifas dos fungos	por enrolamento das hifas na raiz do vegetal, ampliando as superfícies de contato para absorção de água. o fungo enrola-se à raiz e sua massa é geralmente tão grande quanto a própria raiz. As hifas presas à raiz aumentam a área superficial para absorção de água e minerais	Ectomerizas	657
149	Proteger	CORPO SÓLIDO	gasoso	fungos endofíticos	por recobrimento e toxidade que afasta predadores	plantas em geral	658
150	Reproduzir	CORPO SÓLIDO	gasoso	esporângios/ápices das hifas	por desprendimento de esporos	Fungos	659
151	Reproduzir	CORPO SÓLIDO	sólido	corpo do fungo	por divisão celular	Fungos	659
152	Regular fluxo	MISTURA LÍQUIDO-LÍQUIDO	sólido	celoma (cavidade corporal interna como esqueletos hidrostáticos)	por contração dos músculos internos que facilitam o fluxo dos fluídos	esqueletos hidrostáticos	675
153	Selecionar	MISTURA SÓLIDO-LÍQUIDO	líquido	flagelos dos coanócitos	por batimento e sucção	esponjas	677
154	Mov. Entrada	LÍQUIDO PURO	líquido	flagelos dos coanócitos	por batimento e sucção	esponjas	677
155	Proteger	CORPO SÓLIDO	gasoso	pele	por camuflagem e mimetismo	lagarta, camaleão, gafanhoto, cobras, etc	678
156	Proteger	CORPO SÓLIDO	gasoso	presas (dentes)	por injeção de veneno/toxinas	cobras, etc	678
157	Desativar	CORPO SÓLIDO	gasoso	presas (dentes)	por injeção de veneno/toxinas	cobras, etc	678, 1211
158	Desativar	CORPO SÓLIDO	líquido	nematocistos dos tentáculos	por injeção de veneno/toxinas	caravelas	679
159	Moldar	CORPO SÓLIDO	gasoso	crisálida ou "pupa" (casulo)	por metamorfose	borboletas	679
160	Detectar	SINAL	gasoso	antenas	por estímulo químico (órgãos sensoriais olfativos e de tato se localizam nas antenas)	borboletas, baratas	679
161	Fornecer	CORPO SÓLIDO	gasoso	glândula salivar	formação do casulo através da produção de teia de material salivar que em contato com o ar adquire consistência de fios muito resistentes	casulo da lagarta	679
162	Transmitir	PARTÍCULA SÓLIDA	indiferente	corpo dos hospedeiros	por ingestão e excreção	tênia	682
163	Estruturar	CORPO SÓLIDO	líquido	esqueleto de espículas	por formação de redes de fibras elásticas	esponjas	684
164	Vincular	PARTÍCULA SÓLIDA	líquido	matriz extracelular de colágeno	por aderência	esponjas	684
165	Transladar	PARTÍCULA SÓLIDA	líquido	8 fileiras de cílios (ctenos)	por contração muscular e consequente batimento	ctenóforos	684
166	Desativar	CORPO SÓLIDO	líquido	tentáculos longos e pegajosos	por aderência e dispersão de toxina	polvo, ctenóforos, águas vivas	685, 1211
167	Transladar	CORPO SÓLIDO	líquido	tentáculos longos e pegajosos	por aderência e retração	polvo, ctenóforos, águas vivas	685
168	Transladar	CORPO SÓLIDO	líquido	células epiteliais (redes nervosas)	por contração das fibras musculares	medusa, agua viva	686
169	Estruturar	CORPO SÓLIDO	líquido	esqueleto de pólipos de corais	por secreção de uma matriz de matéria orgânica	corais	686
170	Mov. Entrada	MISTURA SÓLIDO-LÍQUIDO	líquido	lofóforo (crista em forma de U ao redor da boca com 1 ou 2 fileiras de tentáculos ocos ciliados)	por oscilação, giro e retração dos tentáculos	Ectopróctos	693
171	Converter	MISTURA GÁS-GÁS	líquido	lofóforo (crista em forma de U ao redor da boca com 1 ou 2 fileiras de tentáculos ocos ciliados)	por oscilação, giro e retração dos tentáculos	Ectopróctos	693
172	Transladar	CORPO SÓLIDO	líquido ou sólido	corpo vermiforme (bilateralmente simétricos sem patas de corpo mole e longos)	por rastejamento e deslizamento	vermes chatos	693
173	Proteger	CORPO SÓLIDO	gasoso	exoesqueleto (cobertura sem vida secretada pela epiderme)	por recobrimento	escorpiões, artrópodes	693
174	Remover	CORPO SÓLIDO	gasoso	novo exoesqueleto que está em formação	por substituição: expansão do novo exoesqueleto e consequente desprendimento do antigo	escorpiões, artrópodes	693
175	Mov. Entrada	CORPO SÓLIDO	líquido	faringe com dentes (mandíbulas faríngeas)	por avanço, apreensão da presa e recuo para levar à presa até o esôfago	moreia, priapulídeos	693, 703
176	Transladar	CORPO SÓLIDO	indiferente	apêndices articulados do exoesqueleto	movimento através da manipulação dos músculos internos	artrópodes (aranhas, caranguejos, escorpiões)	694
177	Proteger	CORPO SÓLIDO	gasoso	exoesqueleto de quitina	Por recobrimento, evitando a desidratação da atmosfera seca	artrópodes (aranhas, caranguejos, escorpiões)	694
178	Converter	MISTURA GÁS-GÁS	líquido	superfície corporal	por difusão	quetognatas	694
179	Transladar	MISTURA SÓLIDO-LÍQUIDO	líquido	cílios que revestem o celoma	por impulsão	Excreção e alimentação dos quetognatas	694
180	Estruturar	CORPO SÓLIDO	líquido	barbatanas (dois pares nas laterais e barbatana caudal)	por deslocamento e pressão da água	quetognatas	694
181	Detectar	CORPO SÓLIDO	líquido	órgão sensorial	vibração (propagação de ondas de movimento)	quetognatas	694
182	Segurar	CORPO SÓLIDO	líquido	espinhos agarrantes (adjacentes à boca)	por aderência e perfuração	captura de presas (quetognatas)	694

183	Transladar	MISTURA SÓLIDO-LÍQUIDO	líquido	fitas de tecidos	por geração de vínculos entre os pequenos indivíduos gerando uma colônia	Transporte de nutrientes nos Ectoproctos	695
184	Selecionar	MISTURA SÓLIDO-LÍQUIDO	líquido	Cílios da coroa (lábio ciliado)	por batimento dos cílios e varredura	Rotíferos	696
185	Dividir	CORPO SÓLIDO	sólido	Mástax (conjunto de mandíbulas)	por trituração	Rotíferos	696
186	Mov. Entrada	PARTÍCULA SÓLIDA	líquido	Probólide (estiletes afiados em forma de unha)	Movimento retrátil - agarram a presa, cortam e injetam veneno (como um anzol)	Nimertinos	697
187	Mov. Saída	CORPO SÓLIDO	líquido	músculo retrator	impulsionado através de contração	Nimertinos	697
188	Proteger	CORPO SÓLIDO	líquido	tubo de quitina	formação do tubo através de secreção	Foronídeos	697
189	Segurar	CORPO SÓLIDO	sólido	pedúnculo	por engate, perfuração/ aderência	Braquiópodes	698
190	Selecionar	PARTÍCULA SÓLIDA	líquido	tentáculos espanador	por movimento tipo varredura	Poliquetas/espanadores	699
191	Segurar	CORPO SÓLIDO	líquido	setas (certas rígidas)	alongamento para frente que previne que o animal escorregue quando seus músculos contraem	Poliquetas/espanadores	699
192	Transladar	CORPO SÓLIDO	gasoso	ventosas	a ventosa posterior é presa ao substrato, a sanguessuga estende o corpo por contração dos músculos circulares. A ventosa anterior se fixa enquanto a ventosa posterior se solta, permitindo que a sanguessuga se encolha novamente	movimento da sanguessuga	699
193	Segurar	CORPO SÓLIDO	gasoso	ventosas	por sucção	sanguessuga	699
194	Regular fluxo	MISTURA LÍQUIDO-LÍQUIDO	sólido	sanguessugas	por liberação e injeção de anticoagulante	sanguessuga	700
195	Transladar	CORPO SÓLIDO	líquido ou sólido	pé muscular coberto de muco	pelo deslizamento decorrente de contração muscular e da viscosidade do muco	moluscos	700, 702
196	Detectar	CORPO SÓLIDO	líquido	tentáculos e suas ventosas	por sensibilidade ao toque	polvos e lulas	700
197	Proteger	CORPO SÓLIDO	líquido	tentáculos	por escavação	lulas	700
198	Transladar	CORPO SÓLIDO	líquido	sifão (manto)	por propulsão à jato (a força é gerada pela contração do manto, que se fecha na região próxima a cabeça e a água é expelida da sua cavidade através de um pequeno funil derivado de uma parte do pé)	lulas	700
199	Remover	CORPO SÓLIDO	líquido	rádula	por raspagem	lulas	700
200	Converter	MISTURA GÁS-GÁS	líquido	músculos e poros excretores	por contração e excreção	monoplacóforo (antepassado dos moluscos)	701
201	Indicar	SINAL	líquido	conchas brilhantes com cores vibrantes	por estímulo visual (é colorido para anunciar sua toxicidade e se proteger dos predadores)	Percepção de toxicidade (aposemática em gastrópodes - lesma do mar)	702
202	Proteger	CORPO SÓLIDO	líquido	conchas brilhantes com cores vibrantes	por estímulo visual (é colorido para anunciar sua toxicidade e se proteger dos predadores)	aposemática em gastrópodes (lesma do mar)	702
203	Estruturar	CORPO SÓLIDO	líquido	manto muscular	por recobrimento	corpo dos cefalópodes	702
204	Regular densidade	CORPO SÓLIDO	líquido	conchas divididas em compartimentos penetrados por cubos	a flutuação é decorrente do movimento dos gases e líquidos nas cavidades	concha náutilos	702
205	Transladar	MISTURA SÓLIDO-LÍQUIDO	sólido	tubo digestivo	contração rítmica pelo órgão muscular	nematóides	704
206	Estruturar	CORPO SÓLIDO	gasoso	cavidades corporais como esqueletos hidrostáticos	por preenchimento de fluidos	"bichos cabeludos"	706
207	Detectar	CORPO SÓLIDO	líquido ou gasoso	pelos sensoriais	transmissão de sinais químicos através do toque	crustáceos	707
208	Proteger	CORPO SÓLIDO	gasoso	corpo segmentado	por enrolamento	tatuzinho de jardim (crustáceo)	707
209	Detectar	CORPO SÓLIDO	líquido ou gasoso	antenas curtas	por estímulo olfativo	lagostas, crustáceos em geral, etc	707
210	Detectar	CORPO SÓLIDO	líquido ou gasoso	antenas longas	por sensibilidade ao toque	lagostas, crustáceos em geral, etc	707
211	Proteger	CORPO SÓLIDO	líquido	pinças	por perfuração	crustáceos como o camarão	707
212	Regular densidade	CORPO SÓLIDO	líquido	último par de patas em forma de remo	por deslocamento e pressão da água	nado do siri	707
213	Desativar	CORPO SÓLIDO	gasoso	garras recurvadas	por meio de penetração e inoculação de veneno	lacraia	707
214	Proteger	CORPO SÓLIDO	gasoso	glândulas	por eliminação de substância fétida que afasta os predadores	piohlo de cobra	707
215	Regular densidade	CORPO SÓLIDO	gasoso	Sacos aéreos e canais tubulares	entrada e saída de gases	Mosquito	709
216	Mov. Entrada	MISTURA SÓLIDO-LÍQUIDO	gasoso	Probólide (língua tubular enrolada sobre si)	desenrolamento da propólide para uso como tubo de sucção do alimento	Alimentação da Borboleta	709
217	Mov. Entrada	MISTURA SÓLIDO-LÍQUIDO	gasoso	Peças bucais modificadas em estiletes	Por perfuração (picada) e sucção do sangue	Alimentação do Mosquito	709
218	Dividir	MISTURA SÓLIDO-LÍQUIDO	gasoso	Mandíbulas	Mastigação e trituração do alimento	Besouro	709
219	Mov. Entrada	MISTURA SÓLIDO-LÍQUIDO	gasoso	Mandíbulas adaptadas com prolongamento tubular	lambida e sucção de alimento líquido	Abelhas	709

220	Transladar	CORPO SÓLIDO	gasoso	Asas (membranosas, finas e leves)	Batimento controlado das asas	Insetos	709
221	Regular densidade	CORPO SÓLIDO	gasoso	Asas (membranosas, finas e leves)	Batimento controlado das asas (diferencial de pressão do ar)	Insetos	709
222	Proteger	CORPO SÓLIDO	gasoso	Élito ou Corícea/Hemiélito (asa extremamente resistente)	por recobrimento	Besouro e louva-a-deus	709
223	Transladar	CORPO SÓLIDO	gasoso	Patas	por articulação	insetos	712
224	Fornecer	MISTURA SÓLIDO-LÍQUIDO	gasoso	apêndices abdominais modificados (glândulas internas das aranhas)	filamentos produzidos por secreção de proteínas que secam em contato com o ar	Teias de aranha	712
225	Segurar	CORPO SÓLIDO	gasoso	Teias	aprisionamento devido à textura impregnante da seda	Aranha (captura de presas)	712
226	Estruturar	CORPO SÓLIDO	líquido	sistema de placas internas calcificadas cobertas por finas camadas de pele e alguns músculos	as placas se fundem dentro de todo o corpo formando um esqueleto interno	Equinodermos (estrelas do mar)	719
227	Converter	MISTURA GÁS-GÁS	líquido	Rede de canais hidráulicos calcificados (Sistema Vasculiar de água)	por circulação/passagem da água do mar	Equinodermos (estrelas do mar)	719
228	Mov. Entrada	MISTURA SÓLIDO-LÍQUIDO	líquido	Rede de canais hidráulicos calcificados (Sistema Vasculiar de água)	por circulação/passagem da água do mar	Alimentação dos Equinodermos (estrelas do mar)	719
229	Selecionar	PARTÍCULA SÓLIDA	líquido	placa madreporica	por filtração	Alimentação dos Equinodermos (estrelas do mar)	719
230	Transladar	CORPO SÓLIDO	líquido	Pés Ambulacrais (pequenos túbulos com ventosas/ampolas musculares)	Quando as ampolas musculares contraem-se, forçam a entrada de água para o interior dos pés ambulacrários. Eles então se tornam eretos em função da força da água, ajudando a ventosa a fixar-se no substrato. Após algum momento, ocorre a contração da musculatura dos pés e a água volta para o interior da ampola, que está agora relaxada. Isso permite que os pés se soltem do substrato e que ocorra a locomoção. Parte da água que chega aos pés ambulacrários perde-se através da parede dessas estruturas. Sendo assim, é fundamental que ocorra sempre a entrada de água nesse sistema.	Equinodermos (estrelas do mar)	719
231	Segurar	CORPO SÓLIDO	líquido	Pés Ambulacrais (pequenos túbulos com ventosas/ampolas musculares)	Quando as ampolas musculares contraem-se, forçam a entrada de água para o interior dos pés ambulacrários. Eles então se tornam eretos em função da força da água, ajudando a ventosa a fixar-se no substrato. Após algum momento, ocorre a contração da musculatura dos pés e a água volta para o interior da ampola, que está agora relaxada. Isso permite que os pés se soltem do substrato e que ocorra a locomoção. Parte da água que chega aos pés ambulacrários perde-se através da parede dessas estruturas. Sendo assim, é fundamental que ocorra sempre a entrada de água nesse sistema.	Equinodermos (estrelas do mar), pepinos-do-mar	719
232	Oscilar	CORPO SÓLIDO	Líquido	Placas Calcárias articuladas	por articulação	Movimento dos braços dos Lírios-do-mar	719
233	Segurar	CORPO SÓLIDO	Líquido	pedúnculo flexível (pilha de discos calcários)	aderência ao substrato	Lírios-do-mar	719
234	Transladar	CORPO SÓLIDO	Líquido	apêndices flexíveis (braços)	movimento oscilação rítmico desses apêndices, deslocando volumes de água	Nado da Estrela-pena	719
235	Proteger	CORPO SÓLIDO	Líquido	Espinhos presos ao esqueleto	Perfurar possíveis predadores	Ouriços-do-mar	719
236	Segurar	CORPO SÓLIDO	Líquido	Probólide (língua) coberta por muco pegajoso	por aderência	Hemicordados (Balanoglossos)	721
237	Transportar	PARTÍCULA SÓLIDA	líquido	tentáculos ciliados	pelo movimento articular dos cílios	Hemicordados (Balanoglossos)	721
238	Mov. Entrada	CORPO SÓLIDO	Líquido	Colar com braços e tentáculos	por exposição para capturar a presa e posterior retração para dentro do tubo	Hemicordados (Balanoglossos) - captura e ingestão das presas	721
239	Estruturar	CORPO SÓLIDO	Líquido	Notocorda (centro de células com grandes vacúolos inchados/dilatados)	por dilatação, devido ao preenchimento de líquido, tornando o vacúolo rígido e flexível	Cordados	722
240	Mov. Entrada	MISTURA SÓLIDO-LÍQUIDO	Líquido	Fendas Faringeas	por alargamento das fendas para passagem da água, juntamente com microrganismos	Alimentação das Larva de ascídea	722
241	Selecionar	PARTÍCULA SÓLIDA	Líquido	Fendas Faringeas/cestas faringéas	por filtração	Alimentação das Larva de ascídea	722
242	Rotacionar	CORPO SÓLIDO	Líquido	Coluna vertebral dorsal	por rotação e articulação	movimento dos Cordados	723

243	Proteger	CORPO SÓLIDO	Líquido	glândulas de muco	Glândulas dispersam uma substância leitosa, composta da substância viscosa e fibras. Quando a substância leitosa se mistura com a água do mar, ela se expande, criando grandes quantidades de um muco translúcido, composto por fibras extremamente fortes e elásticas.	Peixe Bruxa	724
244	Detectar	CORPO SÓLIDO	Líquido	Quatro tentáculos ao redor da boca	Tato e vibrações da água (sensorial)	Peixe Bruxa	724
245	Remover	MISTURA SÓLIDO-LÍQUIDO	Líquido	Estrutura lingual com tentáculos raspadores	Raspagem	Peixe Bruxa	724
246	Dividir	CORPO SÓLIDO	Líquido	Dentes	por Perfuração e trituração	Vertebrado	725
247	Transladar	CORPO SÓLIDO	Líquido	Nadadeiras caudais	Movimento de ondulação e princípios de hidrodinâmica	Peixe	725
248	Regular densidade	CORPO SÓLIDO	Líquido	Nadadeiras Peitorais ou pélvicas	Movimento de ondulação e princípios de hidrodinâmica	Peixe	725
249	Transladar	CORPO SÓLIDO	Líquido	Corpo e nadadeiras dorsais	Movimento de ondulação dorsal	Arraias	726
250	Armazenar	GÁS PURO	Líquido	Bexigas Natatórias	"bolsa" que aumenta de volume com entrada de ar	Peixes	726
251	Regular densidade	CORPO SÓLIDO	Líquido	Bexigas Natatórias	Ajuste de gás (controle da profundidade)	Flutuação dos Peixes	726
252	Proteger	CORPO SÓLIDO	Líquido	Escamas (leves, achatadas, lisas e finas)	por recobrimento com sobreposição (faz com que o peixe seja liso e resistente)	Peixes	726
253	Transladar	CORPO SÓLIDO	Líquido	Escamas (leves, achatadas, lisas e finas)	por tornar a superfície do peixe mais lisa, o que diminui o atrito e aumenta a hidrodinâmica	Peixes	726
254	Oscilar	CORPO SÓLIDO	Líquido	Escamas (leves, achatadas, lisas e finas)	pela fragmentação da superfície em pequenas partes	Peixes	726
255	Regular fluxo	LÍQUIDO PURO	Líquido	Operáculo	Abertura e fechamento da câmara junto às brânquias	Peixes	726
256	Proteger	CORPO SÓLIDO	Líquido	Cardume	Movimento coordenado de grande quantidade de peixes	Peixes	726
257	Proteger	CORPO SÓLIDO	Líquido	pele	camuflagem por mudança de cor	Peixe-sapo	727
258	Proteger	CORPO SÓLIDO	Líquido	superfície/"pele" texturizada	aproximação por semelhança para mimetizar-se com o meio	Dragão do Mar	727
259	Estruturar	CORPO SÓLIDO	Líquido	Nadadeiras articuladas (curtas e grossas)	por apoio e articulação	Sarcopterígios (ex: peixe-sapo)	728
260	Transladar	CORPO SÓLIDO	gasoso	Pernas locomotoras	Articulação	Anfíbios	728
261	Proteger	CORPO SÓLIDO	gasoso	Pele grossa	por resistência à desidratação no deserto (evita a perda de água)	Alguns tipos de anuros	729
262	Transladar	CORPO SÓLIDO	gasoso	Região pélvica modificada	Propulsão	Movimento dos anuros	729
263	Indicar	SINAL	gasoso	Aparelho sonoro junto ao papo	Coaxo ou vocalização	Sinalização de disposição reprodutiva em Anuros	729
264	Mov. Entrada	CORPO SÓLIDO	Sólido	formato cilíndrico do corpo com pequenas escamas. Crânio pontudo, grosso e duro que ajuda na escavação	por perfuração	cobras cegas	730
265	Transladar	CORPO SÓLIDO	gasoso	corpo cilíndrico flexível	movimentos alternados curvando-se e estendendo-se	cobras cegas	730
266	Proteger	CORPO SÓLIDO	gasoso	Ovo amniótico	Recobrimento (proteção mecânica e térmica)	Aminiotas	730
267	Mov. Saída	MISTURA LÍQUIDO-LÍQUIDO	gasoso	Órgão excretor	Ejeção por jato	Urina dos Vertebrados	731
268	Selecionar	MISTURA SÓLIDO-LÍQUIDO	sólido	Rins	por filtragem (livrar corpo de restos nitrogenados sem perder muita água)	Vertebrado	731
269	Proteger	CORPO SÓLIDO	gasoso	Casco (costela)	Recobrimento	Tartaruga	731
270	Proteger	CORPO SÓLIDO	gasoso	Escama	Recobrimento para não perder muita água	Cobra	731
271	Regular fluxo	GÁS PURO	gasoso	Costelas	por expansão da cavidade torácica, diminuindo a pressão nos pulmões e puxando o ar para dentro deles. O ar é expelido pelo movimento para frente das costelas e da parede corporal, o que comprime os pulmões.	respiração dos lagartos	731
272	Segurar	CORPO SÓLIDO	sólido	Garras	por agarramento nos troncos das árvores	Pássaros	733
273	Estruturar	CORPO SÓLIDO	gasoso	Cauda em formato de leque	pela resistência do ar - Aerodinâmica (planar)	Voo dos Pássaros	733
274	Isolar	CORPO SÓLIDO	gasoso	dúpla camada de penas (plumagem)	Isolamento térmico por recobrimento	Pássaros	733
275	Regular temperatura	CORPO SÓLIDO	gasoso	Glândulas sudoríparas	por excreção de líquido que ajuda a resfriar o corpo	Humanos	735
276	Fornecer	LÍQUIDO PURO	gasoso	Glândulas mamárias	por secreção de leite	Amamentação em mamíferos	735
277	Fornecer	MISTURA LÍQUIDO-LÍQUIDO	gasoso	Glândulas sudoríparas	por secreção de leite juntos aos pelos, o qual é bebido pelo filhote	Nutrição dos filhotes	735
278	Transladar	CORPO SÓLIDO	gasoso	Bolsa ventral	Por envolvimento e sustentação do filhote dentro da bolsa	Marsupial	735
279	Proteger	CORPO SÓLIDO	gasoso	Bolsa ventral	por envolvimento e aquecimento do filhote	Marsupial	735
280	Fornecer	LÍQUIDO PURO	gasoso	mamilos dentro da bolsa ventral	por ejeção do leite na boca dos filhotes que se grudam no mamilo	Marsupial	735
281	Transladar	CORPO SÓLIDO	líquido	membranas entre os dedos das patas ("nadadeiras")	por articulação e deslocamento de volumes de água	ornitorrinco	735
282	Proteger	CORPO SÓLIDO	líquido	membranas de pele	por recobrimento e vedação	proteção dos olhos, narina e ouvidos dos ornitorrinco	735
283	Transladar	CORPO SÓLIDO	gasoso	Membranas de ligação dos braços e pernas	por planagem	voo dos esquilos arbóreos voadores	735

284	Remover	PARTÍCULA SÓLIDA	gasoso	Dente	Por desgaste e roeção	Roedores	735
285	Proteger	CORPO SÓLIDO	gasoso	Espinho	por perfuração e repulsão dos predadores	Plantas como a Roseira	736
286	Vincular	CORPO SÓLIDO	gasoso	Pés Preênséis (dedos expositores com unhas)	por articulação e agarramento nas árvores	Macacos	737
287	Moldar	CORPO SÓLIDO	gasoso	Pés Preênséis (dedos expositores com unhas)	por articulação, conferindo destreza e manobrabilidade	Macacos	737
288	Segurar	CORPO SÓLIDO	gasoso	Cauda Longa e Preênsil	por enrolamento e fixação	Macacos	737
289	Proteger	CORPO SÓLIDO	gasoso	Crânio (paredes ósseas rígidas/duras)	por recobrimento e proteção mecânica	Cérebro dos Macacos	740
290	Indicar	SINAL	gasoso	mãos articuladas	por articulação de sinais	Comunicação entre macacos	741
291	Indicar	SINAL	gasoso	aparelho fonador (boca, língua, garganta, faringe, etc)	por emissão de ruídos provocados por vibração do ar que passa desde os pulmões pelas cordas vocais e é amplificado na caixa de ressonância da boca e moldado pela língua e lábios	Aparelho fonador ser humano	741
292	Proteger	CORPO SÓLIDO	gasoso	biosfera (conjunto de todos os ecossistemas)	por recobrimento como um filtro que regula a passagem da energia solar (absorvendo e repelindo)	Planeta Terra	747
293	Regular temperatura	CORPO SÓLIDO	gasoso	sol	por radiação de energia	Planeta Terra	747
294	Indicar	SINAL	gasoso	glândulas odoríferas	por secreção de feromônios que ficam impregnados nos troncos das árvores delimitando o território	Delimitar território domínio - tigres Fêmea	782
295	Mov. Entrada	MISTURA SÓLIDO-LÍQUIDO	sólido	sistema fasciculado de raízes	ampliação área da superfície	alho poró	882
296	Segurar	MISTURA SÓLIDO-SÓLIDO	sólido	sistema fasciculado de raízes	aderência ao solo	milho (raízes evitam Erosão)	882
297	Reproduzir	CORPO SÓLIDO	sólido	mão humana	estaquia (colocar na água ou no solo para criação de novas raízes)	reprodução assexuada plantas	882
298	Estruturar	CORPO SÓLIDO	gasoso	caules e galhos	vínculo por mecanismos de junção, como pecíolos	vegetais	882 e 884
299	Ampliar	CORPO SÓLIDO	gasoso	gema apical	ramificação	caules de vegetais	883
300	Armazenar	LÍQUIDO PURO	gasoso	caules	alargamento	plantas do deserto (cactos)	883
301	Fornecer	ENERGIA ELETROMAGNÉTICA	gasoso	folhas	fotossíntese	plantas em geral	883
302	Rotacionar	CORPO SÓLIDO	gasoso	pedúnculo pecíolo (mec. Junção)	fotossensível	galhos e folhas que acompanham o mov. sol	883
303	Transportar	MISTURA SÓLIDO-LÍQUIDO	sólido	xilema: : tecido condutor - combinação de traqueídes (vasos fechados) com elementos de vasos (vasos abertos)	por pressão radicular ou Tensão-coesão-adesão (teoria de Dixon)	circulação de íons minerais e água nas plantas em geral	884
304	Transportar	MISTURA SÓLIDO-LÍQUIDO	sólido	floema: : tecido composto por células crivadas e elementos de tubo crivados)	por fluxo de massa (hip.)	circulação de compostos orgânicos nas plantas em geral	884
305	Regular fluxo	LÍQUIDO PURO	sólido	epiderme	secreção de revestimento ceroso (cutícula)	caules e folhas dos vegetais	884
306	Dividir	PARTÍCULA SÓLIDA	líquido	placa celular	por depósito de substâncias aderentes - formação de barreira	citocinese de uma célula vegetal	885
307	Ampliar	PARTÍCULA SÓLIDA	líquido	células-filhas	por depósito e secreção	célula vegetal	885
308	Proteger	PARTÍCULA SÓLIDA	indiferente	parede celular	impregnação de lignina (polímero)	célula vegetal	885
309	Isolar	PARTÍCULA SÓLIDA	indiferente	parede celular	impermeabilizar por adição de suberina (complexo lipídico)	célula vegetal	885
310	Transportar	MISTURA SÓLIDO-LÍQUIDO	líquido	canais contendo citoplasma	modificações (estreitamento) nas paredes celulares	plasmodesmos	886, 349
311	Vincular	PARTÍCULA SÓLIDA	sólido	paredes celulares	adelgamento e formação de canais	células	886
312	Armazenar	PARTÍCULA SÓLIDA	líquido	plastídeos especializados (leucoplastos)	empacotamento	células das batatas	886 e 85
313	Estruturar	CORPO SÓLIDO	gasoso	células alongadas (colênquima)	engrossamento das paredes por depósito de celulose (sustentação com flexibilidade)	aipo	886
314	Estruturar	CORPO SÓLIDO	gasoso	células de paredes espessas (esclerênquima)	morte das células e depósito (sustentação com rigidez)	Fibras (casca árvores); esclereídes (sementes)	887
315	Remover	PARTÍCULA SÓLIDA	indiferente	enzimas caspases	programação genética para quebrar constituintes celulares (apoptose)	elementos traqueais vegetais	887, 203
316	Transportar	MISTURA SÓLIDO-LÍQUIDO	sólido	elementos traqueais	abertura de canais a partir da desintegração de células (apoptose)	Transporte de água e materiais dissolvidos	887
317	Transportar	MISTURA SÓLIDO-LÍQUIDO	sólido	peneiras (placas crivadas)	formação de canais longos	elementos de tubo crivado	888
318	Ampliar	CORPO SÓLIDO	gasoso	anéis	acréscimo de módulos/unidades, uma após a outra	caule vegetal	889
319	Ampliar	CORPO SÓLIDO	gasoso	meristema primário + meristema secundário	alongamento + espessamento	caule vegetal	889
320	Ampliar	CORPO SÓLIDO	sólido	meristema primário + meristema secundário	alongamento + espessamento	raiz vegetal	889
321	Detectar	ENERGIA MAGNÉTICA	sólido	coifa da raiz	sedimentação de moléculas como amiloplastos	atração da gravidade	891
322	Proteger	PARTÍCULA SÓLIDA	sólido	coifa da raiz	por revestimento. Como um capuz de proteção contra o atrito e microrganismos	células da raiz do vegetal	891
323	Estruturar	CORPO SÓLIDO	gasoso	raiz tabular	raízes em forma de tábuas, dispostas ao redor do caule para dar sustentação aos vegetais de grande porte	sustentação do vegetal	891

324	Mov. Entrada	MISTURA SÓLIDO-LÍQUIDO	líquido	raiz escora/suporte	expansão desde o alto do caule para ampliar área de contato com o solo e consequente absorção de nutrientes	Vegetais	891
325	Estruturar	CORPO SÓLIDO	gasoso	raiz escora/suporte	por ramificação fora do solo, desde o alto do caule	Vegetais	891
326	Ampliar	CORPO SÓLIDO	sólido	raiz tuberosa	acúmulo de amido	batata, mandioca, cenoura, etc	891
327	Mov. Entrada	MISTURA SÓLIDO-LÍQUIDO	gasoso	raiz estranguladora/sugadora (aérea)	enlaçamento do vegetal pelo caule e sucção de seus nutrientes	erva passarinho e cipó chumbo	891
328	Converter	GÁS PURO	indiferente	raiz respiratória ou pneumatóforos	por crescimento das pontas para fora do solo/água, auxiliando na respiração do vegetal	Avicena tomentosa	891
329	Ampliar	CORPO SÓLIDO	sólido	coifa da raiz	gravitropismo	raiz vegetal	891
330	Ampliar	CORPO SÓLIDO	gasoso	concentração de auxina	gravitropismo negativo	caule vegetal	891
331	Transladar	CORPO SÓLIDO	sólido	células	alongamento	raiz vegetal	891
332	Mov. Entrada	MISTURA SÓLIDO-LÍQUIDO	sólido	pelos das raízes, longos e delicados	ampliação de superfície de contato com o solo	Absorção de água e minerais	891
333	Regular fluxo	MISTURA SÓLIDO-LÍQUIDO	sólido	paredes celulares endodérmicas	disposição de suberina (substância hidrofóbica e impermeável) apenas em certas partes da parede celular (camada de caspari)	Regular fluxo de água e íons dissolvidos	892
334	Ampliar	CORPO SÓLIDO	gasoso	galhos	ramificação	vegetais	889
335	Regular fluxo	LÍQUIDO PURO	sólido	epiderme	revestimento	caules jovens	892
336	Armazenar	MISTURA SÓLIDO-LÍQUIDO	sólido	câmbio vascular	expansão (aumento de diâmetro)	seiva (xilema/floema)	894
337	Ampliar	CORPO SÓLIDO	sólido	células do câmbio vascular	por divisão celular (ampliação de diâmetro)	raiz e caule	894
338	Vincular	CORPO SÓLIDO	sólido	camadas radiais (raios do tronco)	enfileiramento de células	tecidos vivos com tubos crivados	894
339	Transportar	GÁS PURO	sólido	epiderme	afrouxamento do tecido (lenticelas)	respirar (liberar dióxido de carbono e absorver oxigênio)	896
340	Transportar	MISTURA LÍQUIDO-LÍQUIDO	sólido	folhas	rede de nervuras (ramificação)	Transporte de água e seiva nos vegetais	897
341	Transportar	GÁS PURO	gasoso	estômato	mudança de pressão osmótica	vegetais	897
342	isolar	LÍQUIDO PURO	gasoso	epiderme	revestimento ceroso (cutícula)	folhas das eudicotiledôneas	897
343	isolar	GÁS PURO	gasoso	epiderme	revestimento ceroso (cutícula)	folhas das eudicotiledôneas	897
344	Regular fluxo	MISTURA GÁS-GÁS	gasoso	estômato	fenda regulada pelas "células-guarda" - mudança de pressão osmótica por transporte ativo ou difusão	folhas dos vegetais	897
345	Regular fluxo	LÍQUIDO PURO	gasoso	estômato	fenda regulada pelas "células-guarda" - mudança de pressão osmótica por transporte ativo ou difusão	folhas dos vegetais	897
346	Transportar	LÍQUIDO PURO	sólido	membrana semipermeável	osmose e difusão (diferencial de concentração das soluções)	transporte de água	902
347	Transportar	LÍQUIDO PURO	líquido	membrana semipermeável	gradiente em potencial de pressão (fluxo de massa)	transporte de água	902
348	Transportar	LÍQUIDO PURO	sólido	aquaporinas (canais de proteínas da membrana)	diferencial de carga elétrica	aquaporinas facilitam o deslocamento de água através de membranas	903
349	Transportar	ENERGIA ELÉTRICA	sólido	proteínas de transporte (canais iônicos ou proteínas carreadoras)	transporte ativo (contra o gradiente de concentração com gasto de energia) - exemplo de bomba de sódio-potássio	absorção de íons minerais exige proteínas de transporte de membrana	903
350	Ativar	ENERGIA QUÍMICA	sólido	ATP	por hidrólise (quebra de ligação química)		903
351	Mov. Entrada	LÍQUIDO PURO	sólido	raiz	diferencial de potencial hídrico entre raiz e solo	absorção de água pelos vegetais	904
352	Transportar	MISTURA LÍQUIDO-LÍQUIDO	sólido	apoplasto (contínuo de paredes celulares adjacentes)	difusão simples	água e solutos passam para o xilema via apoplasto (vegetais)	905
353	Transportar	MISTURA LÍQUIDO-LÍQUIDO	líquido	simplasto (conjunto de citoplasmas unidos por plasmodesmos)	filamentos de conexão (plasmodesmos)	água e solutos passam para o xilema via simplasto (vegetais)	905
354	Isolar	LÍQUIDO PURO	sólido	estrias de caspari	impregnação por substância hidrofílica (suberina)		905
355	Mov. Saída	LÍQUIDO PURO	gasoso	folhas	gutação (resultado da pressão da raiz)	gutação	906
356	Transportar	LÍQUIDO PURO	sólido	xilema	pressão positiva da raiz	vegetais	907
357	Regular temperatura	CORPO SÓLIDO	gasoso	células do mesofilo (nas folhas das plantas)	transpiração (evaporação da água provinda do xilema)	mecanismo transpiração-coesão-tensão	907
358	Mov. Saída	LÍQUIDO PURO	gasoso	estômato	diferença de concentração de vapor de água entre folha (mais alta) e atmosfera (mais baixa)	mecanismo transpiração-coesão-tensão	907
359	Transportar	LÍQUIDO PURO	sólido	apoplasto das folhas	sucção, força de tração (tensão) sobre a água	mecanismo transpiração-coesão-tensão	907
360	Regular fluxo	MISTURA SÓLIDO-LÍQUIDO	sólido	mesofilo das folhas	por contração da película que envolve as células	mecanismo transpiração-coesão-tensão	907

361	Reduzir	CORPO SÓLIDO	sólido	película que envolve a célula	por perda de água	mecanismo transpiração-coesão-tensão	907
362	Vincular	LÍQUIDO PURO	sólido	moléculas de água	por formação de pontes de hidrogênio	coesão na seiva do xilema	907
363	Transportar	MISTURA SÓLIDO-LÍQUIDO	sólido	floema	formação de rede de distribuição	vegetais	907
364	Mov. Entrada	LÍQUIDO PURO	sólido	células-guarda	por aumento na concentração de íons potássio, o que afeta o potencial hídrico das células guarda	estômatos	909
365	Mov. Saída	LÍQUIDO PURO	sólido	células-guarda	por redução na concentração de íons potássio, o que afeta o potencial hídrico das células guarda	estômatos	909
366	Moldar	CORPO SÓLIDO	sólido	células-guarda	por inchaço ou retração (controle tamanho da abertura do estômato. concentrações de íons potássio afetam potencial hídrico das células guarda)	estômatos	909
367	Ativar	CORPO SÓLIDO	gasoso	células-guarda	por inchaço (na presença de luz, há absorção de água e aumento de tamanho, gerando a abertura do estômato (controle tamanho da abertura do estômato. concentrações de íons potássio afetam potencial hídrico das células guarda)	fenda estomática	909
368	Desativar	CORPO SÓLIDO	gasoso	células-guarda	por retração (na ausência de luz, há perda de água e diminuição do tamanho, gerando o fechamento do estômato). concentração baixa no nível de CO2 favorece a abertura dos estômatos. concentrações de íons potássio afetam potencial hídrico das células guarda	fenda estomática	909
369	Moldar	CORPO SÓLIDO	sólido	paredes celulares	pela disposição das microfibrilas de celulose	estômatos	909
370	Regular temperatura	ENERGIA TÉRMICA	gasoso	ácido abscísico	redução da transpiração através da vedação das folhas e estômatos	transpiração das plantas	910
371	Transladar	MISTURA SÓLIDO-LÍQUIDO	sólido	floema	modelo de fluxo de pressão	floema	912
372	Mov. Entrada	MISTURA SÓLIDO-LÍQUIDO	sólido	estilete	por perfuração do tubo crivado e sucção por diferencial de pressão	inseto afídio	911
373	Mov. Entrada	MISTURA SÓLIDO-LÍQUIDO	líquido ou sólido	membranas (filtro)	permeabilidade seletiva (A camada fosfolipídica da membrana plasmática funciona como uma barreira maleável e permite a passagem de substâncias diretamente através dela, e impede a passagem de outras, ou seja, ela faz uma seleção de substâncias que devem ou não ser introduzidas na célula. essa passagem seletiva ocorre de duas maneiras diferentes: o transporte ativo, quando envolve o uso de energia, e o transporte passivo, quando não envolve a utilização de ATP)	absorção de açúcares e outros solutos	913
374	Mov. Saída	MISTURA SÓLIDO-LÍQUIDO	líquido ou sólido	membranas (filtro)	permeabilidade seletiva (A camada fosfolipídica da membrana plasmática funciona como uma barreira maleável e permite a passagem de substâncias diretamente através dela, e impede a passagem de outras, ou seja, ela faz uma seleção de substâncias que devem ou não ser introduzidas na célula. essa passagem seletiva ocorre de duas maneiras diferentes: o transporte ativo, quando envolve o uso de energia, e o transporte passivo, quando não envolve a utilização de ATP)	expulsão de açúcares e outros solutos	913
375	Transportar	MISTURA SÓLIDO-LÍQUIDO	sólido	plasmodesmos (pontes citoplasmáticas)	interligação entre membranas de células vizinhas.	transporte simplástico	913 e 886
376	Regular fluxo	MISTURA SÓLIDO-LÍQUIDO	sólido	plasmodesmos (pontes citoplasmáticas)	permeabilidade por mudança de forma ou quantidade	exemplo do Tabaco	913 e 886
377	Estruturar	CORPO SÓLIDO	gasoso	solo	por recobrimento e compressão	vegetais	921
378	Estruturar	MISTURA SÓLIDO-SÓLIDO	sólido	rochas	por desagregação mecânica	endurecer/firmar o solo	922
379	Dividir	CORPO SÓLIDO	gasoso	água ou vento	desagregação por erosão	erosão das rochas	922
380	Dividir	CORPO SÓLIDO	gasoso	luz solar	desagregação por dessecação	desagregação das rochas	922
381	Dividir	CORPO SÓLIDO	gasoso	ambientes frios	desagregação por congelamento	desagregação das rochas	922
382	Mov. Entrada	GÁS PURO	sólido	enzima nitrogenase	através de reações químicas (Um agente redutor transfere átomos de hidrogênio ao nitrogênio e o consequente produto final - a amônia - é liberado)	bactérias fixadoras de nitrogênio	925
383	Detectar	PARTÍCULA SÓLIDA	sólido	pelo da raiz	liberação de sinais químicos	raízes das leguminosas	926
384	Mov. Entrada	PARTÍCULA SÓLIDA	sólido	filamentos de infecção	crescimento para o interior da raiz e formação de nódulos	raízes das leguminosas	926
385	Vincular	PARTÍCULA SÓLIDA	gasoso	folhas especializadas com duas valvas com margens espinhosas	captura e retenção da presa por aproximação e fechamento das valvas (captura e aprisionamento)	planta carnívora Dionéia	928
386	Vincular	PARTÍCULA SÓLIDA	gasoso	tricomos disparadores	acionamento pelo pouso do inseto (presa) - aproximação e fechamento	planta carnívora Dionéia	928
387	Converter	CORPO SÓLIDO	sólido	folhas especializadas com duas valvas com margens espinhosas	secreção de enzimas	planta carnívora Dionéia	928
388	Armazenar	LÍQUIDO PURO	gasoso	folhas em forma de jarro	adaptação da forma	planta carnívora Sarracenia	928
389	Indicar	CORPO SÓLIDO	gasoso	folhas com cores brilhantes e odores	por estímulo visual e olfativo	Atração de insetos pelas planta carnívora Sarracenia	928
390	Segurar	CORPO SÓLIDO	gasoso	folhas em forma de jarro	aprisionamento pela presença de pelos rígidos com as extremidades dirigidas para baixo	planta carnívora Sarracenia	928
391	Segurar	CORPO SÓLIDO	gasoso	folhas cobertas com pelos	secreção de líquido açucarado, claro e pegajoso	planta carnívora Drosera	928

392	Converter	CORPO SÓLIDO	gasoso	folhas cobertas com pelos	secreção de enzimas	planta carnívora Drosera	928
393	Ativar	CORPO SÓLIDO	sólido	raiz embrionária (radícula)	por expansão e rompimento da casca da semente	germinação da semente	935
394	Medir	SINAL	gasoso	fotorreceptores das folhas	por absorção da luz	Medir e controlar a quantidade de tempo para o florescimento	934
395	Desativar	CORPO SÓLIDO	sólido	casca impermeável	exclusão de água ou de oxigênio do embrião	dormência da semente na terra	935
396	Desativar	CORPO SÓLIDO	sólido	casca dura da semente	barreira mecânica	dormência da semente na terra	935
397	Converter	CORPO SÓLIDO	sólido	clima	ciclos de congelamento e descongelamento	ajudam a tornar permeável a casca da semente	935
398	Converter	CORPO SÓLIDO	sólido	fogo	derretimento da cera da casca. Remover a barreira mecânica, rompendo a casca	ajudam a tornar permeável a casca da semente	935
399	Converter	CORPO SÓLIDO	sólido	inibidores químicos hidrossolúveis	pela exposição prolongada à água	lixiviação (ajudam a tornar permeável a casca da semente)	935
400	Proteger	CORPO SÓLIDO	sólido	semente	por barreira mecânica do embrião representada pela casca dura da semente	proteção da semente pela casca	935
401	Ativar	CORPO SÓLIDO	sólido	casca permeável	absorção de água (embebição)	germinação da semente	936 e 937
402	Armazenar	MISTURA SÓLIDO-LÍQUIDO	gasoso	cotilédones ou endosperma da semente	absorção de nutrientes e transferência para o embrião		936 e 935
403	Ampliar	CORPO SÓLIDO	sólido	hormônio de crescimento vegetal	conversão de reservas de amido e proteína em monômeros	Giberelinas	937
404	Ampliar	CORPO SÓLIDO	gasoso	ápice dos coleóptilos	concentração de hormônios estimuladores (auxina)	fitotropismo e gravitropismo	940
405	Transladar	PARTÍCULA SÓLIDA	sólido	ápice dos coleóptilos	Fotossensíveis - afastamento da fonte de luz. Busca por região de sombreamento	fitotropismo	940
406	Transladar	PARTÍCULA SÓLIDA	sólido	ápice dos coleóptilos	por resposta ao estímulo gravitacional	Gravitropismo	940
407	Transmitir	SINAL	sólido	ápice do coleóptilo (células fotorreceptoras)	por produção e envio de hormônio (auxina)	crescimento vegetal	940
408	Rotacionar	CORPO SÓLIDO	gasoso	ápice dos coleóptilos	por maior concentração de auxina (homônimo)	fitotropismo e gravitropismo	941
409	Segurar	CORPO SÓLIDO	gasoso	pecíolo	por engate	abscisão foliar	942
410	Remover	CORPO SÓLIDO	gasoso	zona de abscisão	degradação das células	abscisão foliar	942
411	Ampliar	CORPO SÓLIDO	gasoso	gema apical	por corte e inibição (Poda da gema apical estimula o crescimento das gemas laterais)	dominância apical	942
412	Ampliar	PARTÍCULA SÓLIDA	indiferente	parede celular	absorção de água (controle da taxa e direção)	expansão celular	943
413	Estruturar	CORPO SÓLIDO	sólido	rede de microfibrilas de celulose	camadas de filamentos associados paralelamente entre si	expansão celular	943
414	Indicar	SINAL	sólido	rede de microfibrilas de celulose	mudança de sentido das microfibrilas	expansão celular	943
415	Ampliar	PARTÍCULA SÓLIDA	indiferente	parede celular	afrouxar e estender	expansão celular	943
416	Reproduzir	CORPO SÓLIDO	gasoso	flor	fecundação: fusão de gametas complementares	reprodução sexuada das angiospermas	956
417	Vincular	PARTÍCULA SÓLIDA	gasoso	flores com estigmas pegajosos ou plumosos	fixação por aderência	reprodução sexuada vegetal (angiospermas)	958
418	Distribuir	PARTÍCULA SÓLIDA	gasoso	fruto dispensor	pela fluxo de ação do vento	dispersão das sementes ex: asclepia e dente-de-leão	960
419	Distribuir	PARTÍCULA SÓLIDA	líquido	fruto dispensor	pela fluxo de ação da água	exemplo Coco	960
420	Transportar	PARTÍCULA SÓLIDA	gasoso	pelos ou espinhos sobre o corpo de animais	por aderência	dispersão das sementes ex: asclepia e dente-de-leão	960
421	Ativar	CORPO SÓLIDO	gasoso	fotorreceptores das folhas	exposição a maior número de horas ininterruptas no escuro	comprimento da noite é o estímulo fotoperíodo-chave na determinação do florescimento	962
422	Medir	SINAL	gasoso	fitocromos e fotorreceptores de luz azul (relógio biológico dentro das células de todos os eucariotos e de alguns procaríotos)	afetam o relógio biológico com os distintos pigmentos "registrando" comprimentos de onda e intensidades de luz diferentes	ritmos circadianos	964
423	Ativar	CORPO SÓLIDO	gasoso	fotorreceptores das folhas	relógio biológico / ritmos circadianos	"movimentos de sono" de algumas plantas, fechando a noite e abrindo de dia	964
424	Desativar	CORPO SÓLIDO	gasoso	fotorreceptores das folhas	relógio biológico / ritmos circadianos	"movimentos de sono" de algumas plantas, fechando a noite e abrindo de dia	964

425	Regular	CORPO SÓLIDO	gasoso	fotorreceptores das folhas	relógio biológico / ritmos circadianos	regulação do crescimento vegetal	964
426	Ativar	CORPO SÓLIDO	gasoso	clima	baixas temperaturas. as temperaturas baixas inibe a expressão de um gene cuja proteína produzida reprime outros genes que contribuem para o desenvolvimento das flores	vernalização	967
427	Reproduzir	CORPO SÓLIDO	indiferente	tubérculo (caule subterrâneo)	por modificação de um órgão vegetativo (caules especiais formam raízes em intervalos regulares estabelecendo plantas independentes)	reprodução assexuada angiospermas - batata inglesa	969
428	Reproduzir	CORPO SÓLIDO	indiferente	rizoma (caule subterrâneo horizontal)	por modificação de um órgão vegetativo (caules especiais formam raízes em intervalos regulares estabelecendo plantas independentes)	reprodução assexuada angiospermas - bambu	969
429	Proteger	CORPO SÓLIDO	gasoso	epiderme e felema	vedação e eliminação do tecido danificado. Substituição das partes lesadas por outras em crescimento	proteção do organismo vegetal	973
430	Proteger	CORPO SÓLIDO	indiferente	parede celular	reforço da barreira contra os patógenos	polissacarídeos	974
431	Proteger	CORPO SÓLIDO	indiferente	núcleo	emissão de substâncias tóxicas como defesa química que atacam diretamente o patógeno	Fitoalexinas	974
432	Proteger	CORPO SÓLIDO	indiferente	núcleo	por detectar enzimas patogênicas e ativar respostas celulares de proteção: Fitoalexinas (atacam diretamente o patógeno), moléculas defensivas (emitem sinais de alarme para as células vizinhas), polissacarídeos (reforçam a parede celular)	proteção do organismo vegetal	974
433	Proteger	CORPO SÓLIDO	indiferente	proteínas PR	emissão de "sinais de alarme" para as células vizinhas	proteção do organismo vegetal	974
434	Estruturar	CORPO SÓLIDO	indiferente	núcleo	ativar o depósito rápido de polissacarídeos adicionais no interior da parede celular	estrutura da parede celular vegetal	974
435	Proteger	CORPO SÓLIDO	indiferente	células vegetal	morte das células infectadas, evitando a expansão do patógeno por privação de nutrientes	resposta hipersensitiva	974
436	Ativar	CORPO SÓLIDO	gasoso	predador (herbívoro)	pelo pastejo (ingestão de uma parte da planta sem matar a mesma - uma forma de poda). o nitrogênio captado pelas raízes não precisa mais ser dividido entre tantas folhas. Remoção das folhas mais altas e velhas, aumenta o contato das demais com o sol Aumento da taxa de fotossíntese.	Ativar o crescimento desenvolvimento do vegetal	977
437	Regular fluxo	LÍQUIDO PURO	gasoso	criptas estomáticas	redução dos efeitos dessecantes de correntes de ar	Xerófitas. Reduzir perda de água	981
438	Armazenar	LÍQUIDO PURO	sólido	folhas e caules carnosos	expansão e inchaço	Suculentas	981
439	Regular fluxo	LÍQUIDO PURO	gasoso	espinhos	reflexão da radiação incidente e dissipação de calor	cactos. Reduzir perda de água	981
440	Fornecer	LÍQUIDO PURO	gasoso	folhas	por condensação	Algarobeiras. Ambientes secos	982
441	Fornecer	LÍQUIDO PURO	gasoso	Raízes pivotantes	crescimento em profundidade	Algarobeiras. Ambientes secos	982
442	Converter	MISTURA GÁS-GÁS	gasoso	pneumatóforos dotados de lenticelas	o tecido esponjoso possibilita a difusão do oxigênio, arejando as partes submersas do sistema de raízes	Respiração de alguns ciprestes e espécies de mangue	982
443	Armazenar	GÁS PURO	líquido	aerênquima	adaptações anatômicas por deficiência de oxigênio. células infladas, abertura de canais, formando grandes cavidades para armazenamento do ar	plantas aquáticas submersas	983
444	Regular densidade	CORPO SÓLIDO	líquido	aerênquima	adaptações anatômicas por deficiência de oxigênio. células infladas, abertura de canais, formando grandes cavidades para armazenamento do ar	flutuação	983
445	Regular temperatura	CORPO SÓLIDO	gasoso	folhas adaptadas (tricomas e espinhos)	irradiação de calor	xerófitas. Ambientes quentes	983
446	Regular temperatura	CORPO SÓLIDO	gasoso	membrana	aumento da quantidade relativa de ácidos graxos não saturados nas membranas. Portanto as membranas retêm sua fluidez e funcionam normalmente em temperaturas mais baixas	fortalecimento para o frio	983
447	Proteger	CORPO SÓLIDO	gasoso	membrana	aumento da quantidade relativa de ácidos graxos não saturados nas membranas. Portanto as membranas retêm sua fluidez e funcionam normalmente em temperaturas mais baixas	fortalecimento para o frio	983
448	Moldar	CORPO SÓLIDO	gasoso	glândulas de sal nas folhas	excretam sal que se acumula na superfície da folha até ser levado pela chuva ou vento	Halófitas. Ambientes salinos	984
449	Regular temperatura	CORPO SÓLIDO	indiferente	sistema fisiológico	homeostase	animais	992
450	Moldar	CORPO SÓLIDO	indiferente	efetores (sistemas controlados)	respostas ao sistema regulador (sensores)	Retroalimentação positiva, negativa	992
451	Selecionar	PARTÍCULA SÓLIDA	líquido	tecido epitelial	lamina de células densamente agrupadas, fortemente aderidas (funcionam como filtro ou transmissão)	tecido epitelial	994
452	Transmitir	PARTÍCULA SÓLIDA	líquido	tecido epitelial	lamina de células densamente agrupadas, fortemente aderidas (funcionam como filtro ou transmissão)	tecido epitelial	994
453	Transladar	CORPO SÓLIDO	indiferente	tecido muscular	células alongadas capazes de contrair-se para gerar forças e causar movimentos	tecido muscular	994
454	Moldar	CORPO SÓLIDO	indiferente	tecido muscular	células alongadas capazes de contrair-se para gerar forças e causar movimentos	tecido muscular	994
455	Segurar	CORPO SÓLIDO	indiferente	tecido conjuntivo	as fibras colágenas são resistentes ao estiramento, dando resistência para a pele e para as conexões entre ossos e músculos. As fibras se estruturam em forma de rede para os órgãos, dando-lhes forma e resistência estrutural	tecido conjuntivo	994
456	Moldar	CORPO SÓLIDO	indiferente	tecido conjuntivo	as fibras colágenas são resistentes ao estiramento, dando resistência para a pele e para as conexões entre ossos e músculos. As fibras se estruturam em forma de rede para os órgãos, dando-lhes forma e resistência estrutural	tecido conjuntivo	994

457	Vincular	CORPO SÓLIDO	indiferente	tecido conjuntivo	as fibras colágenas são resistentes ao estiramento, dando resistência para a pele e para as conexões entre ossos e músculos. As fibras se estruturam em forma de rede para os órgãos, dando-lhes forma e resistência estrutural	união dos músculos com os ossos	994
458	Estruturar	CORPO SÓLIDO	indiferente	cartilagem	rede de fibras colágenas está imersa em uma matriz flexível formada por um complexo proteína-carboidrato. a cartilagem é resistente a forças de compressão. Fornece suporte estrutural para estruturas flexíveis como nariz e orelha.	estruturação de partes do corpo	994
459	Armazenar	ENERGIA	indiferente	tecido adiposo (gordura)	Células que sintetizam e armazenam gotículas de lipídios		995
460	Proteger	CORPO SÓLIDO	indiferente	tecido adiposo (gordura)	formam barreira contra a perda de calor e amortecer contra impactos	proteção dos órgãos do corpo	995
461	Transmitir	SINAL	sólido	neurônio	através de sinais elétricos como impulsos nervosos. no local onde o axônio se aproxima da célula-alvo, os impulsos nervosos desencadeiam a liberação de sinalizadores químicos que se ligam ao receptor da célula-alvo e estimulam uma resposta	transmissão de informações	995
462	Proteger	PARTÍCULA SÓLIDA	sólido	células gliais	criação de barreira que protege o encéfalo de diversas substâncias químicas	proteção dos neurônios	995
463	Regular temperatur:	CORPO SÓLIDO	gasoso	corpo	troca de calor do corpo com o ambiente (condução)	balanço energético	999
464	Regular temperatur:	CORPO SÓLIDO	gasoso	corpo	troca de calor do corpo com o ambiente (convecção)	balanço energético	999
465	Regular temperatur:	CORPO SÓLIDO	gasoso	corpo	troca de calor do corpo com o ambiente (evaporação)	balanço energético	999
466	Regular temperatur:	CORPO SÓLIDO	gasoso	corpo	troca de calor do corpo com o ambiente (radiação)	balanço energético	999
467	Regular temperatur:	CORPO SÓLIDO	gasoso	pele	controle do fluxo sanguíneo. O calor oriundo do interior do corpo passa para a pele através do sangue (Vaso dilatação). Quando o ambiente está muito frio (vaso constricção), para reduzir a perda de calor para o ambiente		1000
468	Regular temperatur:	CORPO SÓLIDO	gasoso	pelos	por isolamento		1000
469	Regular temperatur:	CORPO SÓLIDO	líquido	sistema circulatório	trocador de calor por contracorrente	peixes	1001
470	Fornecer	ENERGIA TÉRMICA	gasoso	corpo	por tremor (calafrio). o tremor típico do calafrio utiliza a maquinaria contrátil dos músculos esqueléticos para consumir ATP sem causar nenhum comportamento visível. Os músculos em tremor contraem-se uns contra os outros de forma que pouco movimento além do tremor é produzido. A energia resultante da conversão do ATP para ADP nesse processo é liberada na forma de calor.	aquecer o corpo	1003
471	Fornecer	ENERGIA TÉRMICA	gasoso	corpo	aumento do tônus muscular e dos movimentos corporais	aquecer o corpo	1003
472	Fornecer	ENERGIA TÉRMICA	sólido	gordura marrom	pela ativação da proteína mitocondrial Termogenina que desacopla o movimento de prótons para a produção de ATP	Mamíferos (especialmente em recém-nascidos e filhotes)	1003
473	Mov. Saída	ENERGIA TÉRMICA	gasoso	orelhas grandes	Trocadores de calor, passando o calor do sangue do animal para o ambiente	coelho antílope	1004
474	Transmitir	ENERGIA TÉRMICA	gasoso	pêlos brancos como fios ocos	atuam como fibras óticas, levando a radiação solar até a pele negra que absorve prontamente a energia	urso polar	1004
475	Regular temperatur:	CORPO SÓLIDO	gasoso	pêlos brancos como fios ocos	por isolamento	urso polar	1004
476	Isolar	CORPO SÓLIDO	gasoso	pelagens e penas	retenção de uma camada de ar quente parada próxima à superfície da pele	animais adaptados ao clima frio	1004
477	Isolar	CORPO SÓLIDO	líquido	pelagens e penas	por secreção de substâncias oleosas sobre os pêlos e penas	animais adaptados ao clima frio	1004
478	Regular temperatur:	CORPO SÓLIDO	gasoso	sistema vascular	diminuição do fluxo sanguíneo para a pele (vasoconstricção da pele, especialmente nas extremidades melhora muito a habilidade do animal conservar o calor)	patas dos lobos, das aves, etc	1004
479	Regular temperatur:	CORPO SÓLIDO	gasoso	água	por absorção de calor	mamíferos de grande porte, especialmente os que vivem em habitats quentes (elefantes, rinocerontes, búfalos d'água)	1004
480	Regular temperatur:	CORPO SÓLIDO	gasoso	hipotálamo (termostato)	produção hormonal	mamíferos	1005
481	Armazenar	ENERGIA	sólido	hipotálamo (desativação do termostato)	hipotermia e hibernação	morcegos, ursos, esquilos, etc	1006
482	Transportar	PARTÍCULA SÓLIDA	sólido	sistema circulatório	fluxo da corrente sanguínea	hormônios circulantes	1012
483	Transportar	PARTÍCULA SÓLIDA	sólido	receptores	por vínculo. hormônios difundem-se dos locais de liberação e ligam-se nas células vizinhas	hormônios locais	1012
484	Transmitir	SINAL	sólido	hormônios	por secreção, liberação e transporte no organismo	comunicação química	1012
485	Moldar	CORPO SÓLIDO	gasoso	hormônios juvenis	sinais ambientais ativam redução de hormônio juvenil e formação de casulo	metamorfoses	1014
486	Fornecer	LÍQUIDO PURO	sólido	hormônios antidiuréticos (ADH)	baixa secreção - rins produzem um grande volume de urina diluída	mamíferos e aves	1017
487	Mov. Saída	MISTURA LÍQUIDO-LÍQUIDO	gasoso	hormônio ocitocina	liberação por estímulo das células nervosas pela sucção do bebê	saída do leite da mama	1017
488	Detectar	SINAL	gasoso	sistema nervoso e endócrino	liberação de hormônios incitados pelos sons e visão do bebê	percepção de fome do bebê	1017
489	Reproduzir	CORPO SÓLIDO	indiferente	corpo	brotamento (novos indivíduos crescem ou brotam a partir do corpo do animal antigo) - crescimento por mitose	reprodução assexuada	1034
490	Reproduzir	CORPO SÓLIDO	indiferente	corpo cortado	regeneração (reposição de tecidos danificados ou extremidades perdidas, gerando indivíduos completos a partir disso)	reprodução assexuada (estrela do mar)	1034

491	Reproduzir	CORPO SÓLIDO	indiferente	ovos	partenogênese (desenvolvimento a partir de ovos não-fertilizados)	reprodução assexuada (alguns peixes, anfíbios e répteis)	1034
492	Reproduzir	CORPO SÓLIDO	indiferente	gametas	gametogênese, acasalamento e fertilização	reprodução sexuada	1035
493	Fornecer	PARTÍCULA SÓLIDA	indiferente	gônadas (testículos ou ovários)	gametogênese (produção dos gametas a partir das células germinativas, as quais migram para as gônadas e se proliferam por mitose)	reprodução sexuada	1035
494	Transladar	PARTÍCULA SÓLIDA	líquido	flagelos	por batimento como látigo	reprodução sexuada	1035
495	Misturar	PARTÍCULA SÓLIDA	indiferente	moléculas de reconhecimento	por permissão que o espermatozoide ganhe acesso à membrana plasmática do óvulo	reprodução sexuada	1037
496	Selecionar	PARTÍCULA SÓLIDA	sólido	Cumulus - camada gelatinosa	enzimas liberadas pelo espermatozoide digerem um pedaço da camada gelatinosa	reprodução sexuada	1038
497	Selecionar	PARTÍCULA SÓLIDA	sólido	zona pelúcida - envelope vitelino	bloqueio rápido da polispermia (mudança nas cargas elétricas da membrana)	reprodução sexuada	1038
498	Selecionar	PARTÍCULA SÓLIDA	sólido	membrana plasmática do óvulo	ligação entre moléculas de reconhecimento com moléculas receptoras	reprodução sexuada	1038
499	Ativar	PARTÍCULA SÓLIDA	sólido	espermatozoide	penetração e liberação de substâncias químicas	reprodução sexuada	1039
500	Isolar	PARTÍCULA SÓLIDA	líquido	envelope de fertilização	por endurecimento	reprodução sexuada	1039
501	Misturar	PARTÍCULA SÓLIDA	indiferente	macho e fêmea	por acasalamento	reprodução sexuada	1039
502	Mov. Saída	PARTÍCULA SÓLIDA	indiferente	genitália (pênis)	por ejeção	reprodução sexuada	1040
503	Vincular	CORPO SÓLIDO	indiferente	genitálias	encaixe como chave-fechadura	união genitálias masculina e feminina	1040
504	Vincular	CORPO SÓLIDO	líquido	nadadeiras	modificação de forma para ganchos	alguns tubarões e arraiais	1040
505	Detectar	SINAL	líquido	corpo	pelo tamanho (o tamanho do peixe determina o sexo feminino ou masculino)	peixe-anêmona ou peixe-palhaço	1040
506	Fornecer	ENERGIA	indiferente	ovo amniota	por contenção de suprimento de água e vitelo	alimento para o embrião de répteis e aves	1041
507	Proteger	CORPO SÓLIDO	indiferente	ovo amniota	pela dureza da casca	répteis e aves	1041
508	Mov. Saída	GÁS PURO	gasoso	ovo amniota	pela permeabilidade da casca (porosidade)	répteis e aves	1041
509	Mov. Entrada	GÁS PURO	gasoso	ovo amniota	pela permeabilidade da casca (porosidade)	répteis e aves	1041
510	Isolar	LÍQUIDO PURO	gasoso	ovo amniota	pela impermeabilidade da casca	répteis e aves	1041
511	Vincular	CORPO SÓLIDO	indiferente	hemipênis (áspero e espinhoso na extremidade final)	extrusão por enchimento de sangue	machos de cobras e lagartos	1041
512	Segurar	CORPO SÓLIDO	líquido ou sólido	útero ou ventre	por envolvimento (invólucro)	mamíferos	1041
513	Regular temperatura:	CORPO SÓLIDO	sólido	escroto	criação de bolsa de pele fora da cavidade corporal. Em ambientes frios, os músculos do escroto contraem-se trazendo os testículos para mais perto do corpo; em ambientes quentes, eles relaxam, resfriando e mantendo os testículos mais distantes	homem	1042
514	Transportar	MISTURA LÍQUIDO-LÍQUIDO	sólido	sêmen	por uma mistura complexa de fluidos e moléculas que mantém o espermatozoide e facilita a fertilização	homem	1042
515	Armazenar	PARTÍCULA SÓLIDA	sólido	epidídimo	desenvolvimento contínuo e acomodação ao longo de todo o comprimento dos túbulos seminíferos	testículos do homem	1043
516	Fornecer	PARTÍCULA SÓLIDA	sólido	túbulos seminíferos	desenvolvimento celular (células de Leydig ou intersticiais) passando por mitose e meiose até a formação do espermatozoide	espermatogênese	1043
517	Regular	ENERGIA QUÍMICA	líquido	glândula prostática	liberação de fluido alcalino que neutraliza a acidez do trato reprodutivo masculino e feminino	reprodução sexuada	1044
518	Regular fluxo	MISTURA LÍQUIDO-LÍQUIDO	sólido	glândulas bulbouretrais	por secreção mucoide alcalina que ajuda a lubrificar e neutralizar a acidez da uretra	sistema reprodutor masculino	1044
519	Ativar	CORPO SÓLIDO	indiferente	glândula do pênis	por estimulação e liberação de hormônios (terminações nervosas liberam um neurotransmissor gasoso nos vasos sanguíneos	ereção	1044
520	Ampliar	CORPO SÓLIDO	indiferente	tecido erétil	por vaso dilatação. O aumento do fluxo sanguíneo preenche e expande o corpo esponjoso, tecido erétil localizado ao longo do pênis. A Alargamento dessas cavidades cheias de sangue comprime os vasos que normalmente transportam o sangue, o que gera também a ereção	mamíferos em geral	1044
521	Vincular	CORPO SÓLIDO	indiferente	pênis	por ereção, facilitando a inserção do mesmo na vagina	mamíferos em geral	1044
522	Mov. Saída	MISTURA LÍQUIDO-LÍQUIDO	indiferente	pênis	por emissão e ejeção, movimentos decorrentes de contrações musculares	cópula em mamíferos	1044
523	Fornecer	PARTÍCULA SÓLIDA	sólido	ovários	por ciclos de ovulação	sistema reprodutor feminino	1045
524	Transportar	PARTÍCULA SÓLIDA	sólido	trompa ou tuba de falópio	por seu revestimento ciliar	sistema reprodutor feminino	1045
525	Indicar	SINAL	indiferente	clitórís (pequeno bulbo de tecido erétil)	por estimulação	sistema reprodutor feminino	1045
526	Mov. Saída	CORPO SÓLIDO	sólido	útero	por contrações ritmadas ativadas por hormônios e pelo tamanho do feto	parto	1048
527	Mov. Saída	CORPO SÓLIDO	sólido	região bacia e vagina	por dilatação até a largura suficiente para passagem do bebê	parto	1048
528	Reproduzir	PARTÍCULA SÓLIDA	líquido	zigoto	clivagem (processo de divisões celulares)	crescimento das células na embriogênese	1058
529	Segurar	PARTÍCULA SÓLIDA	sólido	endométrio no útero	por implantação (aderência do blastocisto às paredes do endométrio)	embriogênese	1061
530	Mov. Entrada	PARTÍCULA SÓLIDA	sólido	células do trofoblasto	penetração por secreção de moléculas de adesão	implantação do blastocisto no útero	1061

531	Vincular	PARTÍCULA SÓLIDA	sólido	vilosidades coriônicas	por aumento da superfície de contato	implantação do blastocisto no útero	1061
532	Moldar	CORPO SÓLIDO	líquido	células	por mudança de tamanho e movimento	gastrulação em ouriço do mar	1063
533	Moldar	CORPO SÓLIDO	líquido	células	por mudança de tamanho e movimento	gastrulação no embrião de rã	1064
534	Moldar	CORPO SÓLIDO	líquido	células	por mudança de tamanho e movimento	gastrulação em aves	1067
535	Estruturar	CORPO SÓLIDO	líquido	notocorda (haste de tecido conectivo)- futura coluna vertebral	por formação de eixo de sustentação	Organogênese e neurulação	1069
536	Moldar	CORPO SÓLIDO	sólido	somitos (blocos de células)	segmentação	neurulação	1069b
537	Converter	MISTURA GÁS-GÁS	sólido	âmnio (interno) e córion (externo) - envolvem o embrião	o córion limita a perda de água do ovo e trabalha com a membrana alantóica alargada para promover as trocas gasosas entre o embrião e o ambiente exterior	membranas extraembrionárias em aves, répteis e mamífero	1071
538	Proteger	CORPO SÓLIDO	sólido	âmnio (interno) e córion (externo) - envolvem o embrião	envolvem o embrião e secretam um fluido dentro da cavidade, promovendo um ambiente protetor ao embrião.	membranas extraembrionárias em aves, répteis e mamífero	1071
539	Fornecer	MISTURA SÓLIDO-LÍQUIDO	sólido	saco vitelino que envolve o vitelo	por contração cria um tubo que é contínuo com o intestino do embrião. Nutrientes são transportados para o embrião pelos vasos sanguíneos	membranas extraembrionárias em aves, répteis e mamífero	1071
540	Armazenar	MISTURA SÓLIDO-LÍQUIDO	sólido	membrana alantóica	formação de saco para estoque dos resíduos metabólicos	membranas extraembrionárias em aves, répteis e mamífero	1071
541	Fornecer	MISTURA SÓLIDO-LÍQUIDO	sólido	placenta	por criação de canal de vínculo (cordão umbilical) entre a circulação sanguínea da mãe e do feto	nutrição do feto	1071b
542	Converter	MISTURA GÁS-GÁS	sólido	placenta	por criação de canal de vínculo (cordão umbilical) entre a circulação sanguínea da mãe e do feto	respiração do feto	1071b
543	Transmitir	SINAL	sólido	neurônios	por potencial de ação	transmissão de informações	1081
544	Distribuir	SINAL	sólido	rede nervosa	por ramificação	distribuir informações pelo organismo	1080
545	Mov. Entrada	SINAL	sólido	dendritos dos neurônios	semelhantes a arbustos, por ramificação	neurônios com dendritos mais ramificados coletam informações de muitas outras células	1081
546	Transportar	SINAL	sólido	axônio do neurônio	condução dos impulsos nervosos por longos canais. Quanto maior a distância necessária a ser percorrida pela informação, maior será o axônio do neurônio		1081
547	Mov. Saída	SINAL	sólido	terminais axonais dos neurônios	por impulso nervoso	sinapses	1081
548	Isolar	PARTÍCULA SÓLIDA	sólido	células de schwann	por produção de camadas de mielina	isolamento elétrico do axônio	1082
549	Transmitir	SINAL	sólido	células de schwann	por produção de camadas de mielina	isolamento elétrico do axônio	1082
550	Proteger	CORPO SÓLIDO	sólido	células gliais (astrócito)	cobrindo os menores e mais permeáveis vasos sanguíneos do encéfalo. Os astrócitos protegem o encéfalo de substâncias químicas do sangue. Os vasos sanguíneos espalhados por todo o corpo são bastante permeáveis a muitas substâncias químicas, incluindo algumas tóxicas, que poderiam chegar ao encéfalo se essa barreira especial não existisse.	barreira hematocefálica	1082
551	Ativar	ENERGIA	sólido	proteína receptora sensorial	ativação por estímulo de calor (termo receptor)	transdução sensorial	1102
552	Ativar	ENERGIA	sólido	proteína receptora sensorial	ativação por estímulo de pressão (mecanorreceptor)	transdução sensorial	1102
553	Ativar	ENERGIA	sólido	proteína receptora sensorial	ativação por estímulo de cargas elétricas (eletro receptor)	transdução sensorial	1102
554	Ativar	ENERGIA	sólido	proteína receptora sensorial	ativação por estímulo químicos (quimiorreceptor)	transdução sensorial	1102
555	Ativar	ENERGIA	sólido	proteína receptora sensorial	ativação por estímulo de incidência luminosa (fotorreceptor)	transdução sensorial	1102
556	Detectar	SINAL	gasoso	cílios olfativos	quimiorreceptores percebem as moléculas odoríferas e comunicam com o cérebro. As células receptoras dos sistema olfativo humano estão embebidas no epitélio da cavidade nasal e projetam axônios para o bulbo olfatório cerebral	olfato	1105
557	Detectar	SINAL	líquido	botões gustativos (com seu poro e microvilosidades)	aumento da superfície de contato das moléculas gustativas com as células sensoriais, o que gera alteração no potencial de membrana que influencia a liberação de neurotransmissores	gustação/paladar	1106
558	Detectar	ENERGIA	índiferente	mecanorreceptores	distorção física das suas membranas plasmáticas leva à abertura de canais iônicos, alterando o potencial de membrana da célula e assim desencadeando um potencial de ação.	mecanorreceptores encontrados em músculos, tendões e ligamentos	1107

559	Detectar	ENERGIA	indiferente	pele	acesso a diversos mecanorreceptores através do toque e pressão. Discos de Merkel (toque); corpúsculos de Meissner (toque delicado); órgãos terminais de Ruffini (toque por pressão); Corpúsculo de Pacini (pressão)		1107
560	Regular	ENERGIA MECÂNICA	indiferente	fusos musculares ou receptores de estiramento (células musculares modificadas inervadas por neurônios sensoriais)	potenciais de ação são transmitidos ao sistema nervoso central, o que leva ao ajuste das contrações musculares	mecanorreceptores encontrados em músculos, tendões e ligamentos	1107b
561	Detectar	ENERGIA ACÚSTICA	gasoso	células pilosas	por vibração das membranas timpânica e consequentemente da membrana tectorial	sistema auditivo	1108
562	Converter	ENERGIA	gasoso	células pilosas	pelo movimento e inclinação dos cílios, que se traduzem em potenciais de ação	sistema auditivo	1108
563	Transmitir	ENERGIA MECÂNICA	gasoso	ossículos auditivos (martelo, estribo e bigorna)	funcionam como alavanca, amplificando as vibrações, traduzindo o grande movimento da membrana timpânica em menor movimento na janela oval, porém de maior intensidade	sistema auditivo (orelha média)	1108
564	Detectar	SINAL	gasoso	cóclea	ondas de pressão de diferentes frequências flexionam a membrana basilar em diferentes locais ao longo de sua extensão	orelha interna	1109
565	Estruturar	CORPO SÓLIDO	gasoso	cúpulas gelatinosas dos canais semicirculares	movimentos laterais conforme alterações na posição da cabeça, o que provoca o deslocamento do fluido dos canais	orelha humana	1111
566	Transmitir	SINAL	líquido	esteriocílios (microvilosidades)	a inclinação/curvatura dos esteriocílios (dentro das cúpulas gelatinosas) gera abertura ou fechamento de canais e consequente liberação de neurotransmissores	orelha humana	1110
567	Regular fluxo	ENERGIA ELETROMAGNÉTICA	gasoso	íris do olho	por contração e dilatação, abrindo ou fechando mais a pupila	olho humano	1115
568	Regular	SINAL	gasoso	crystalino do olho (lente)	por aproximação ou afastamento. O foco se dá pelo movimento do cristalino para perto ou longe da retina	peixes, anfíbios e reptéis	1115
569	Moldar	CORPO SÓLIDO	sólido	músculos ciliares e ligamentos acessórios	por contração ou relaxamento	mamíferos e aves	1115b
570	Moldar	CORPO SÓLIDO	indiferente	filamentos deslizantes	por contração. Transmissão do potencial de ação através de rede de túbulos T (transversais) da fibra muscular	estrutura do músculo esquelético	1142, 1144, 1145
571	Segurar	CORPO SÓLIDO	indiferente	fibras musculares (lentas ou rápidas)	por tensão devido à atividade ATPásica. Fibras musculares rápidas tem elevada atividade ATPásica e podem reciclar suas ligações cruzadas entre actina e miosina rapidamente. São úteis para trabalhos de curta duração que necessitem o máximo de força. As fibras lentas tem atividade de ATP menor, portanto desenvolvem tensão mais lentamente, podendo mantê-la por períodos mais longos.	determinar força e resistência musculares	1149
572	Segurar	CORPO SÓLIDO	sólido	pêlos	atrito	músculos da minhoca	1152
573	Proteger	CORPO SÓLIDO	indiferente	concha (exoesqueleto)	recobrimento	moluscos	1152
574	Ampliar	CORPO SÓLIDO	indiferente	anéis	secreção e cristalização do nácar	conchas (exoesqueletos moluscos)	1152b
575	Estruturar	CORPO SÓLIDO	indiferente	placas	secreção e cristalização de substância	estrutura do exoesqueleto	1152b
576	Transladar	CORPO SÓLIDO	gasoso	pernas ocas	bombeamento de fluido extracelular (pernas estendem) - diminuição da pressão do fluido (pernas flexionam)	aranhas	1153
577	Estruturar	CORPO SÓLIDO	indiferente	armação interna (endoesqueleto)	por tração dos músculos contra essa armação interna. Os músculos são presos e tracionam contra essa armação interna	endoesqueleto dos vertebrados	1153
578	Moldar	CORPO SÓLIDO	indiferente	fibras de colágeno	disposição das fibras em todas as direções como cordas reforçadas através da matriz em forma de gel	força e elasticidade da cartilagem	1153
579	Estruturar	CORPO SÓLIDO	indiferente	cartilagem	pela disposição especial de suas fibras	tecido de sustentação em estruturas duras, mas flexíveis como a laringe, o nariz e as orelhas	1153
580	Proteger	CORPO SÓLIDO	sólido	linhas de colagem nos ossos harvesianos	interrupção das rachaduras. Osso Harvesiano (maioria dos ossos compactos em mamíferos) é resistente a fraturas, pois as rachaduras tendem a ser interrompidas nas linhas de colagem	sistemas de Harves	1155a
581	Estruturar	CORPO SÓLIDO	sólido	células vivas do osso (osteoblastos, osteócitos, osteoclastos)	endurecimento gradativo (ossificação) através da matriz extracelular de cristais de fosfato de cálcio	Ossos	1154a
582	Segurar	ENERGIA MECÂNICA	indiferente	osso esponjoso	pelas numerosas cavidades que possui internamente. É leve e ao mesmo tempo forte. Sua rede interna constitui um sistema de suporte	extremidades dos ossos longos	1154b
583	Rotacionar	CORPO SÓLIDO	indiferente	articulações	por princípio de alavanca (os ossos constituem um sistema de alavancas que se movem em torno das articulações pelos músculos. Uma alavanca tem um braço de força e um braço de carga que trabalham torno de um fulcro - eixo fixo)	esqueleto	1155b, 1156
584	Vincular	CORPO SÓLIDO	sólido	ligamentos (bandas flexíveis de tecido conjuntivo)	por ancoragem	conectar os ossos	1155c
585	Vincular	CORPO SÓLIDO	sólido	tendões (cintas de tecido conjuntivo)	por ancoragem	conectar os ossos com os músculos	1155c
586	Proteger	CORPO SÓLIDO	indiferente	cromatóforos (células da pele que contém pigmentos)	por controle hormonal/neuronal gera a troca da coloração corporal	camuflagem / mimetismo	1157

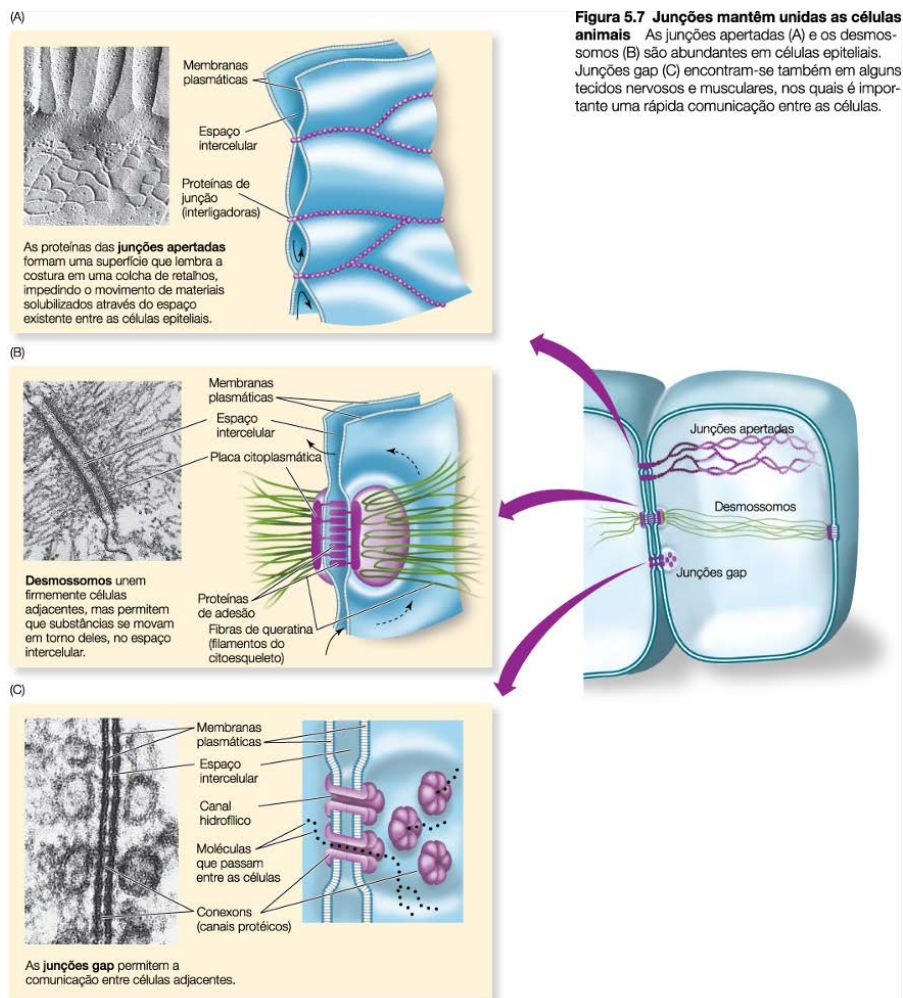
587	Indicar	SINAL	indiferente	Cromatóforos (células da pele que contêm pigmentos)	por controle hormonal/neuronal gera a troca da coloração corporal	camuflagem / mimetismo	1157
588	Moldar	CORPO SÓLIDO	indiferente	fibras musculares nas bordas da célula	por contração e retração, conseqüente mudança de cor	Cromatóforos - camuflagem	1157
589	Indicar	SINAL	líquido	órgãos elétricos evoluídos a partir de músculos (células discoides grandes arranjadas em longas linhas, como baterias)	por geração de campo elétrico	enguia elétrica, peixe-faca, torpedo e peixe-gato elétrico	1157
590	Proteger	CORPO SÓLIDO	líquido	órgãos elétricos evoluídos a partir de músculos (células discoides grandes arranjadas em longas linhas, como baterias)	por geração de campo elétrico	enguia elétrica, peixe-faca, torpedo e peixe-gato elétrico	1157
591	Converter	GÁS PURO	líquido	brânquias (franja plomosa)	aumento na área de superfície de contato com a água para trocas gasosas	salamandra larval	1163
592	Mov. Entrada	GÁS PURO	líquido	brânquias (franja plomosa)	aumento na área de superfície de contato com a água para absorção de O ₂	salamandra larval	1163
593	Converter	GÁS PURO	líquido	paredes do corpo perfurada por muitos canais	por estímulo de fluxo de ar entre o ambiente externo e a cavidade central	espojas	1163
594	Converter	GÁS PURO	líquido	brânquias externas (extensões altamente ramificadas e pregueadas)	maximização da área de superfície de contato especializada através da qual os gases podem se difundir	larvas de anfíbios e insetos	1164
595	Converter	GÁS PURO	líquido	brânquias internas (extensões altamente ramificadas e pregueadas)	maximização da área de superfície de contato especializada através da qual os gases podem se difundir	moluscos, artrópodes e peixes	1165b
596	Converter	GÁS PURO	gasoso	pulmões (cavidades internas com grandes áreas superficiais pelas muitas divisões e ramificações e por serem elásticos - inflam e desinflam)	maximização da área de superfície de contato especializada através da qual os gases podem se difundir	vertebrados	1164
597	Converter	GÁS PURO	gasoso	traqueias (rede de túbulos que se ramificam através de todos os tecidos corporais dos insetos)	maximização da área de superfície de contato especializada através da qual os gases podem se difundir	invertebrados	1164
598	Regular fluxo	GÁS PURO	gasoso	espiráculos (aberturas reguláveis do sistema respiratório)	por abertura e fechamento	sistema traqueal dos insetos	1165a
599	Converter	GÁS PURO	gasoso	sacos aéreos conectados com os pulmões e com os espaços de ar de alguns ossos	Os sacos aéreos funcionam como foies; a inspiração expande o sacos; a expiração os comprime para manter um fluxo contínuo e unidirecional de ar pelo pulmão	sistema respiratório das aves	1167
600	Vincular	PARTÍCULA SÓLIDA	líquido	muco pegajoso/ciliado (escada rolante mucociliar)	por aderência de sujeira e microrganismos inalados	ventilação do trato respiratório	1169
601	Ampliar	CORPO SÓLIDO	sólido	secreção gordurosa (surfactante)	por redução da tensão superficial de um líquido. O fino filme de líquido que recobre as superfícies do alvéolo em contato com o ar apresenta tensão superficial, que contribui para a elasticidade dos pulmões	ventilação do trato respiratório	1169
602	Ampliar	CORPO SÓLIDO	sólido	diafragma	por contração e dilatação	ampliação da caixa torácica	1171
603	Transladar	CORPO SÓLIDO	sólido	filme de fluidos entre as pleuras	por lubrificação das superfícies internas das membranas pleurais. exemplo de duas placas de vidro úmidos. É fácil fazê-las deslizar, porém difícil afastar uma da outra.	sistema respiratório humano	1170
604	Vincular	CORPO SÓLIDO	sólido	filme de fluidos entre as pleuras	pela tensão superficial. Exemplo de duas placas de vidro úmidos. É fácil fazê-las deslizar, porém difícil afastar uma da outra	sistema respiratório humano	1170
605	Transportar	MISTURA SÓLIDO-LÍQUIDO	sólido	coração + rede de vasos	por bombeamento e condução	sistema cardiovascular	1182
606	Transladar	MISTURA LÍQUIDO-LÍQUIDO	sólido	coração	compressão do fluido extracelular pelos espaços intercelulares enquanto o animal se move. Auxílio de uma bomba muscular para distribuição do fluido. As contrações deste coração impulsionam o fluido pelos vasos que levam a diferentes regiões do corpo	sistema circulatório aberto (artrópodes, moluscos, etc)	1182
607	Transportar	MISTURA LÍQUIDO-LÍQUIDO	sólido	vaso dorsal e vasos de conexão	por contrações	sistema circulatório fechado (anelídeos)	1182
608	Fornecer	MISTURA SÓLIDO-LÍQUIDO	sólido	sistema circulatório	por distribuição e ramificação até chegar em todos tecidos	nutrir os tecidos do organismo	1182
609	Remover	MISTURA GÁS-GÁS	líquido	sistema circulatório	por trocas gasosas	purificar/limpar os tecidos do organismo	1182
610	Distribuir	MISTURA LÍQUIDO-LÍQUIDO	sólido	câmara cardíaca	por compressão do sangue, submetendo-o a pressão o que o leva a fluir para fora do coração e dentro dos vasos, onde a pressão é mais baixa.	sistema circulatório dos vertebrados	1183
611	Mov. Entrada	MISTURA GÁS-GÁS	líquido	invaginações do intestino (como pulmões)	a multiplicidades de vasos sanguíneos de parede fina permite que o sangue que flui por eles possa extrair oxigênio do ar engolido	peixes pulmonados	1184

612	Isolar	MISTURA LÍQUIDO-LÍQUIDO	sólido	válvulas atrioventriculares	pela contração (sístole) e pelo relaxamento (diástole) dos ventrículos. Quando os ventrículos começam a contrair-se, a pressão em seu interior aumenta acima da pressão nos átrios, de modo que inicia um refluxo de sangue para os átrios e as válvulas fecham. Quando os ventrículos começam a relaxar, a elevada pressão retrógrada das artérias aorta e pulmonar ocasiona o fechamento das válvulas	ciclo cardíaco	1186, 1187
613	Regular fluxo	MISTURA LÍQUIDO-LÍQUIDO	sólido	válvulas atrioventriculares	pela contração (sístole) e pelo relaxamento (diástole) dos ventrículos. Mesma explicação do princípios de solução 612	ciclo cardíaco	1186, 1187
614	Distribuir	MISTURA LÍQUIDO-LÍQUIDO	sólido	artérias e veias	rede de canais	sistema circulatório	1186
615	Mov. Entrada	MISTURA LÍQUIDO-LÍQUIDO	sólido	ventrículos	fluxo sanguíneo passivo enquanto o coração está relaxado entre os batimentos	sistema circulatório	1186
616	Oscilar	CORPO SÓLIDO	sólido	células marca-passos	geram potenciais de ação, capazes de estimular a contração de células vizinhas	batimentos cardíacos	1188
617	Regular fluxo	MISTURA LÍQUIDO-LÍQUIDO	sólido	sistema nervoso	aceleração ou lentificação dos batimentos cardíacos		1186
618	Transportar	MISTURA GÁS-GÁS	líquido	glóbulos vermelhos (discos bicôncavos, flexíveis, carregados com hemoglobina)	seu formato lhe confere uma grande área superficial para trocas gasosas e sua flexibilidade permite que se espremam por capilares estreitos		1191
619	Desativar	PARTÍCULA SÓLIDA	líquido	membranas envelhecidas	por rompimento (o envelhecimento das membranas as torna menos flexíveis e mais frágeis)	destruição dos glóbulos vermelhos	1191
620	Armazenar	PARTÍCULA SÓLIDA	líquido	cavidades venosas do baço	os glóbulos vermelhos precisam se espremer entre as células esplênicas. Quando estão velhos, rompem-se por essa compressão. Seus remanescentes são absorvidos e degradados por macrófagos.		1192
621	Desativar	MISTURA LÍQUIDO-LÍQUIDO	sólido	de plaquetas (minúscula porção de célula)	por inchaço, mudança de formato, por tornar-se pegajosa, decorrentes do contato com fibras colágenas, as quais são liberadas na lesão de um vaso sanguíneo	coagulação sanguínea	1193
622	Isolar	MISTURA LÍQUIDO-LÍQUIDO	sólido	coágulo de fibrina	filamentos que originam a malha que veda o vaso e fornece estrutura para a formação do tecido de cicatrização)	coagulação sanguínea	1193
623	Ativar	MISTURA LÍQUIDO-LÍQUIDO	sólido	músculos ao redor das veias	compressão das veias por contração muscular	estímulo do fluxo sanguíneo	1196
624	Regular fluxo	MISTURA LÍQUIDO-LÍQUIDO	sólido	válvulas unidirecionais dentro das veias	válvulas impedem o refluxo do sangue. compressão das veias por contração muscular	fluxo unidirecional do sangue	1196
625	Remover	PARTÍCULA SÓLIDA	líquido	nodos linfáticos	atuam como filtros, partículas são aprisionadas e digeridas pelos fagócitos dos nodos	vasos linfáticos	1196
626	Regular fluxo	MISTURA LÍQUIDO-LÍQUIDO	sólido	mecanismos auto regulatórios	por constrição ou dilatação das arteríolas que suprem o tecido	sistema circulatório	1197
627	Isolar	MISTURA LÍQUIDO-LÍQUIDO	sólido	anéis de músculos lisos (esfincteres pré-capilares)	por contração	controle local do fluxo sanguíneo	1198
628	Vincular	MISTURA SÓLIDO-LÍQUIDO	gasoso	tromba (nariz flexível)	por estiramento e sucção	elefante	1211
629	Vincular	MISTURA SÓLIDO-LÍQUIDO	gasoso	longo pescoço	alcance por estiramento	girafa	1211
630	Detectar	CORPO SÓLIDO	gasoso	órgão especial capaz de produzir sinal acústico e interpretar o eco do sinal emitido (boca ou narinas)	por eco localização ou biosonar (emissão de ondas ultrassônicas pelos animais e a posterior análise do eco que retorna para eles)	morcegos	1211
631	Detectar	CORPO SÓLIDO	gasoso	órgãos termorreceptores (fosseta loreal e labial)	por percepção da radiação infravermelha do calor emitido pelos corpos das suas presas	serpentes	1211
632	Detectar	CORPO SÓLIDO	líquido	sensor elétrico	por detecção de campos elétricos criados na água por suas presas	alguns peixes	1211
633	Ampliar	CORPO SÓLIDO	gasoso	mandíbulas	por deslocamento da mandíbula (mandíbula inferior se solta de suas articulações com o crânio)	para ingestão de presas grandes	1212a
634	Vincular	CORPO SÓLIDO	gasoso	línguas longas com ponta grudada e saliva pegajosa	por aderência	camaleões	1211
635	Dividir	MISTURA SÓLIDO-LÍQUIDO	sólido	dentes incisivos	cutar, picar ou roer (graças à sua dureza e forma)	dentes dos mamíferos	1212b
636	Dividir	MISTURA SÓLIDO-LÍQUIDO	sólido	dentes caninos	furar, rasgar, retalhar (graças à sua dureza e forma)	dentes dos mamíferos	1212b
637	Dividir	MISTURA SÓLIDO-LÍQUIDO	sólido	dentes molares ou pré-molares	cutar, esmagar e triturar (graças à sua dureza e forma)	dentes dos mamíferos	1212b
638	Mov. Entrada	MISTURA SÓLIDO-LÍQUIDO	sólido	cavidade/trato digestivo tubular	secreção de enzimas sobre os alimentos, o que os reduzem a moléculas nutrientes que podem ser absorvidas pelas células que revestem a cavidade		1213
639	Converter	MISTURA SÓLIDO-LÍQUIDO	gasoso	cavidade bucal (dentes/radula/mandíbulas/etc)	quebra do alimento em partículas menores para facilitar a absorção pelo organismo	processo de digestão	1213
640	Mov. Saída	MISTURA SÓLIDO-SÓLIDO	gasoso	ânus (reto muscular)	por movimentos de expulsão	sistema excretor	1213
641	Armazenar	MISTURA SÓLIDO-LÍQUIDO	sólido	estômagos e papos (câmaras de armazenagem)	capacidade de ingestão de grandes quantidades de alimento para serem digeridas gradualmente	sistema digestivo	1213
642	Mov. Entrada	MISTURA SÓLIDO-LÍQUIDO	sólido	dobraduras, vilosidades e microvilosidades do intestino	por ampliação das superfícies de contato	sistema digestivo ser humano	1214
643	Mov. Entrada	MISTURA SÓLIDO-LÍQUIDO	sólido	tiflosole (dobradura longitudinal na parede intestinal)	por ampliação das superfícies de contato	sistema digestivo minhoca	1214
644	Mov. Entrada	MISTURA SÓLIDO-LÍQUIDO	sólido	válvula espiral	por ampliação das superfícies de contato	sistema digestivo tubarão	1214
645	Misturar	MISTURA SÓLIDO-LÍQUIDO	gasoso	cavidade bucal (dentes, língua e saliva)	por mastigação e deglutição	sistema digestivo	1215

646	Isolar	MISTURA SÓLIDO-LÍQUIDO	gasoso	epiglote	uma aba de tecido cobre e fecha a entrada da laringe para prevenir que o alimento entre na traqueia	dividir fluxo do alimento e da respiração	1216
647	Transportar	MISTURA SÓLIDO-LÍQUIDO	gasoso	musculatura lisa do trato gastrointestinal	através dos movimentos peristálticos (a musculatura contraí-se em resposta ao estiramento decorrente da chegada do bolo alimentar)	sistema digestivo	1216
648	Converter	MISTURA SÓLIDO-LÍQUIDO	gasoso	glândulas salivares	por hidrólise resultante da secreção de enzimas	sistema digestivo	1216
649	Converter	MISTURA SÓLIDO-LÍQUIDO	gasoso	orifícios gástricos revestidos por 3 tipos de células secretórias	digestão de proteínas, destruição de microrganismos ingeridos e , secreção de muco que forma um revestimento protetor	sistema digestivo	1217
650	Ampliar	PARTÍCULA SÓLIDA	sólido	membrana plasmática	por absorção de água	Inchaço da célula	1230
651	Reduzir	CORPO SÓLIDO	sólido	membrana plasmática	por perda de água	célula murcha	1230
652	Fornecer	MISTURA LÍQUIDO-LÍQUIDO	sólido	sistema excretório	por filtração, secreção e reabsorção	Produção de urina	1238
653	Mov. Saída	PARTÍCULA SÓLIDA	gasoso	glândula nasal	por excreção do excesso de sal consumido junto com os alimentos		1231
654	Mov. Saída	PARTÍCULA SÓLIDA	líquido	túbulos que terminam em células-flama	por modificação dos fluidos que passam através dos túbulos. O fluido extracelular entra nos túbulos por filtração. O batimento dos cílios causa uma leve pressão negativa dentro do túbulo. Em resposta a essa diferença de pressão, o fluido extracelular flui dos túbulos em direção ao poro excretório. Durante esse processo, as células dos túbulos modificam a composição do fluido (urina).	protonefrídios em vermes planos	1233a
655	Remover	MISTURA SÓLIDO-LÍQUIDO	sólido	metanefrídios (origina-se em uma estrutura semelhante ao um funil ciliado, passando por um túbulo e terminando em um poro)	por alteração na composição do fluido celômico que passa pelas células, produzindo urina que será excretada	Anelídios	1233b
656	Remover	MISTURA SÓLIDO-LÍQUIDO	sólido	túbulos de Malpighi	por secreção de ácido úrico e outros solutos em tubos fechados. Mecanismo altamente eficiente para excretar resíduos nitrogenados e alguns sais sem perda excessiva de água	insetos	1234
657	Remover	MISTURA SÓLIDO-LÍQUIDO	sólido	nefron (dentro do rim)	por filtração, reabsorção e secreção, por excreção. Por filtração do sangue e modificação da composição do filtrado para produzir urina	vertebrados	1236a, 1236b
658	Selecionar	MISTURA SÓLIDO-LÍQUIDO	sólido	tentáculos dos podócitos nas cápsulas de Bowman	por envolvimento e recobrimento dos capilares para realizar a filtração do sangue. A pressão arterial do sangue entrando nos capilares permeáveis causa a filtração.		1236a, 1236b
659	Armazenar	MISTURA LÍQUIDO-LÍQUIDO	gasoso	bexiga urinária	por expansão e redução de volume	sistema excretório humano	1238
660	Regular fluxo	MISTURA LÍQUIDO-LÍQUIDO	sólido	esfincteres musculares	por tensão e relaxamento, respondendo aos comandos do sistema nervoso	regulação de saída da urina	1238
661	Regular densidade	MISTURA LÍQUIDO-LÍQUIDO	sólido	alça de Henle	mecanismo multiplicador por contracorrente	humanos	1238

ANEXO A

Este anexo tem como objetivo exemplificar algumas das diversas ilustrações que correspondem aos princípios de solução da natureza, mapeados e classificados no Repositório BIOSign, cuja fonte é o livro "Vida: a ciência da biologia" (SADAVA et al., 2009). O acesso a todas as ilustrações selecionadas está no link <https://drive.google.com/drive/folders/1lj3ChZl7yeB2k0AavrUltWtqwGdbgCp-?usp=sharing>.



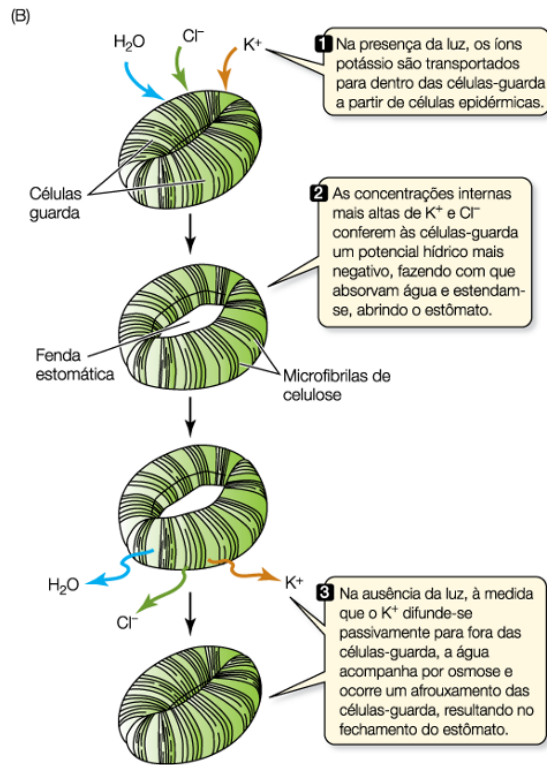


Figura 41.9 Estômatos (A) Eletromicrografia ao microscópio de varredura de um estômato aberto, formado por duas células-guarda. (B) As concentrações de íons potássio afetam o potencial hídrico das células-guarda, controlando a abertura e o fechamento dos estômatos. Íons carregados negativamente acompanham o K^+ , mantêm o equilíbrio elétrico e contribuem para as mudanças no potencial hídrico que abrem e fecham os estômatos.

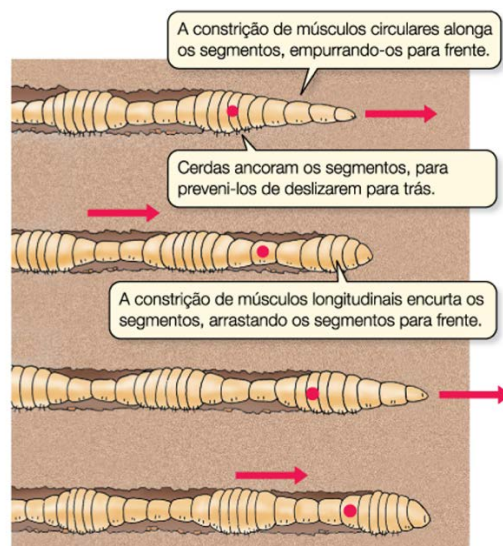


Figura 53.13 Um esqueleto hidrostático Ondas alternadas de contração muscular movem a minhoca no solo. Os pontos vermelhos permitem que você siga as modificações em um segmento à medida que ela se move para frente.

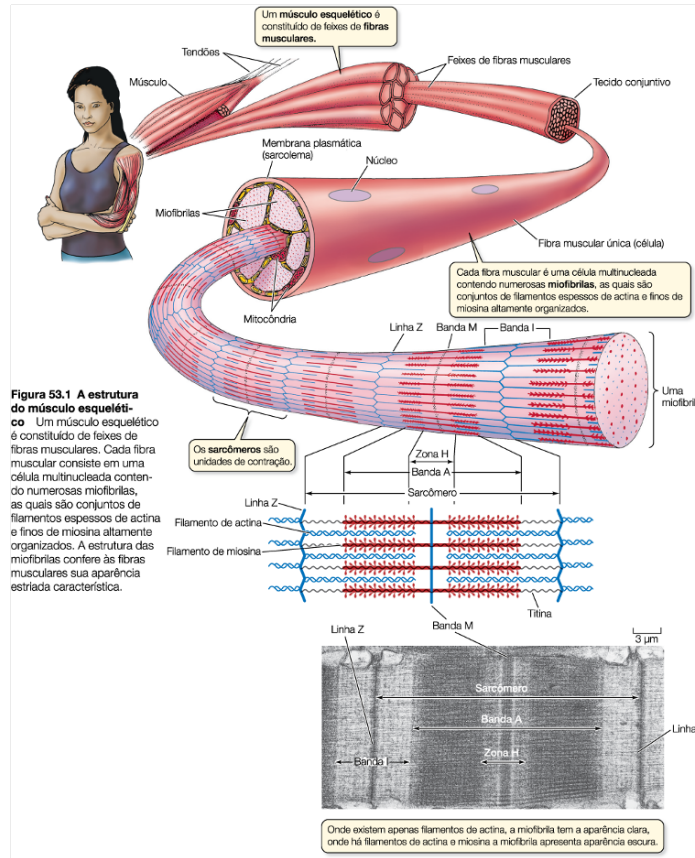


Figura 53.1 A estrutura do músculo esquelético Um músculo esquelético é constituído de feixes de fibras musculares. Cada fibra muscular consiste em uma célula multinucleada contendo numerosas miofibrilas, as quais são conjuntos de filamentos espessos de actina e finos de miosina altamente organizados. A estrutura das miofibrilas confere às fibras musculares sua aparência estriada característica.

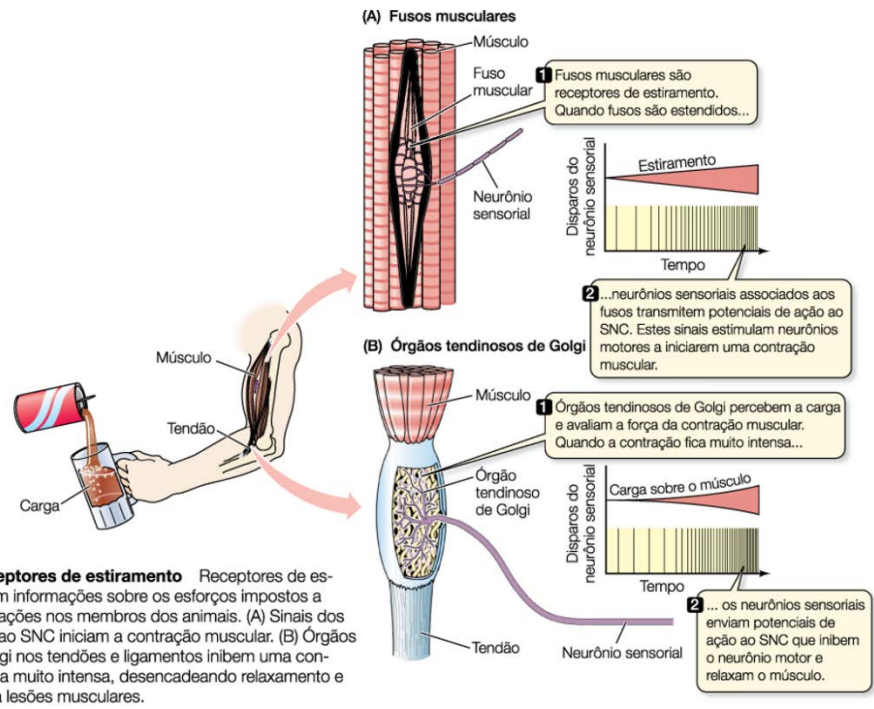


Figura 51.7 Receptores de estiramento Receptores de estiramento fornecem informações sobre os esforços impostos a músculos e articulações nos membros dos animais. (A) Sinais dos fusos musculares ao SNC iniciam a contração muscular. (B) Órgãos tendinosos de Golgi nos tendões e ligamentos inibem uma contração que se torna muito intensa, desencadeando relaxamento e protegendo contra lesões musculares.

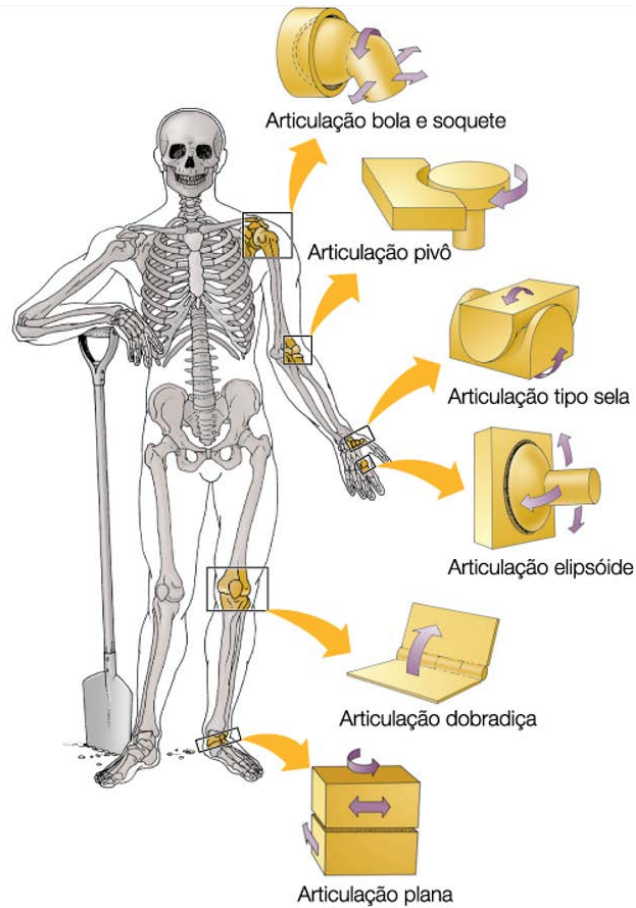


Figura 53.19 Tipos de articulações Os formatos das articulações do corpo humano assemelham-se às articulações mecânicas e permitem uma variedade de movimentos.

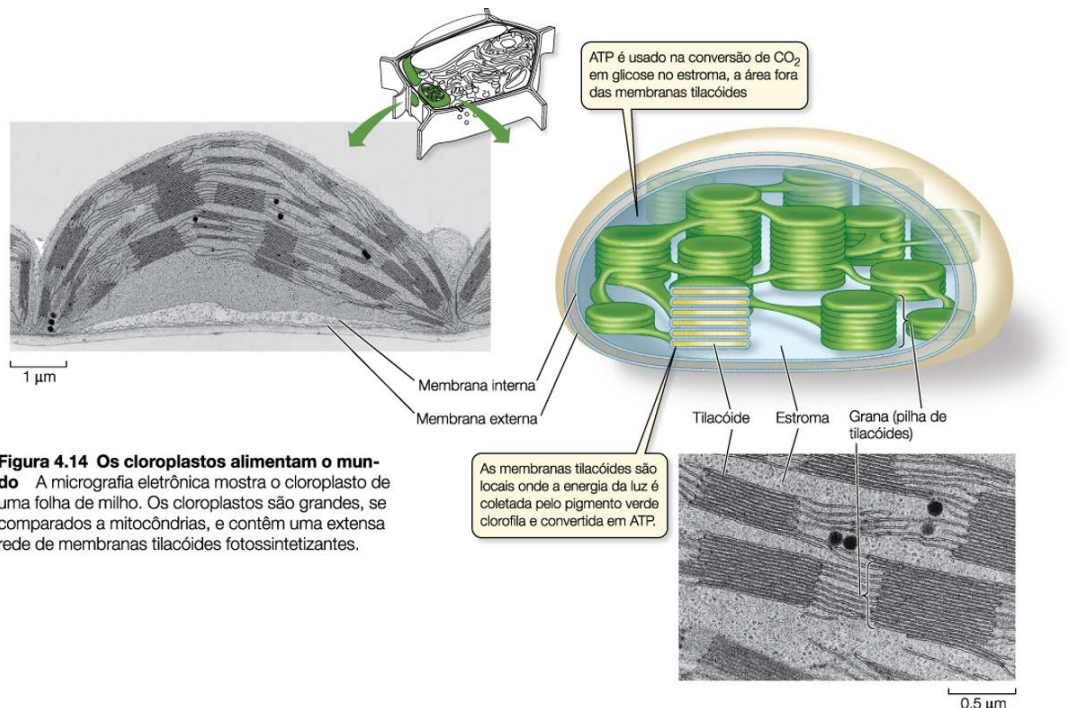
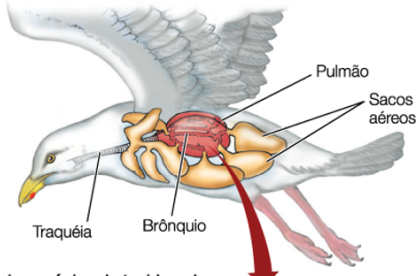


Figura 4.14 Os cloroplastos alimentam o mundo A micrografia eletrônica mostra o cloroplasto de uma folha de milho. Os cloroplastos são grandes, se comparados a mitocôndrias, e contêm uma extensa rede de membranas tilacóides fotossintetizantes.

(A) Sacos aéreos e pulmões de aves



(B) Visão microscópica do tecido pulmonar

Os capilares de ar transportam ar do parabrônquio sobre capilares sanguíneos, onde o O_2 é absorvido, e, então, para fora através do parabrônquio.

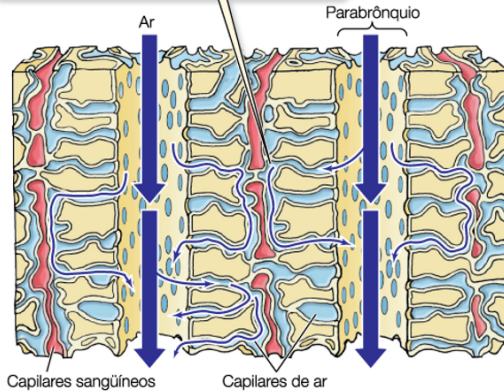


Figura 54.7 O sistema respiratório de uma ave (A) Os sacos aéreos e espaços aéreos nos ossos são exclusivos de aves. (B) O ar flui unidirecionalmente nos parabrônquios. Capilares de ar, os locais das trocas gasosas, ramificam-se a partir dos parabrônquios.

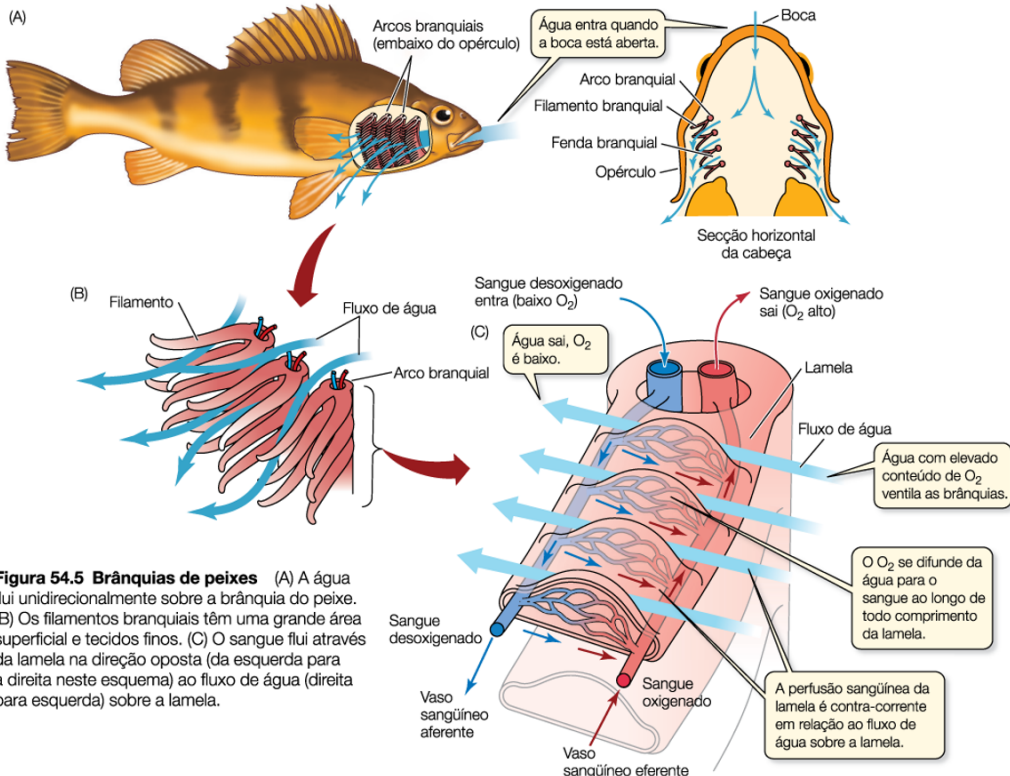


Figura 54.5 Brânquias de peixes (A) A água flui unidirecionalmente sobre a brânquia do peixe. (B) Os filamentos branquiais têm uma grande área superficial e tecidos finos. (C) O sangue flui através da lamela na direção oposta (da esquerda para a direita neste esquema) ao fluxo de água (direita para esquerda) sobre a lamela.