

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA  
MECÂNICA**

Natalia Madalena Boelter

**PLANEJAMENTO DE PRODUTOS ORIENTADO PELA  
BIÔNICA: USO DE BIOINSPIRADORES**

Florianópolis  
2018

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor  
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária  
da UFSC.

Boelter, Natalia Madalena

Planejamento de produtos orientado pela biônica:  
uso de bioinspiradores / Natalia Madalena Boelter ;  
orientador, André Ogliari , 2018.

223 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de  
Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-  
Graduação em Engenharia Mecânica, Florianópolis, 2018.

Inclui referências.

1. Engenharia Mecânica. 2. Biônica. 3. Inovação. 4.  
Criatividade. 5. Planejamento de Produtos. I. ,  
André Ogliari. II. Universidade Federal de Santa  
Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia  
Mecânica. III. Título.

Natalia Madalena Boelter

**PLANEJAMENTO DE PRODUTOS ORIENTADO PELA  
BIÔNICA: USO DE BIOINSPIRADORES**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. André Ogliari

Florianópolis  
2018



Natalia Madalena Boelter

**PLANEJAMENTO DE PRODUTOS ORIENTADO PELA  
BIÔNICA: USO DE BIOINSPIRADORES**

Esta Dissertação foi julgada adequada para obtenção do Título de Mestre e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica.

Florianópolis, 09 de março de 2018.

---

Prof. Jonny Carlos da Silva, Dr. Eng.  
Coordenador do Curso

**Banca Examinadora:**

---

Prof. André Ogliari, Dr. Eng.  
Orientador

---

Prof. Acires Dias, Dr. Eng.  
Universidade Federal de Santa Catarina

---

Prof. Cristiano Vasconcellos Ferreira, Dr. Eng.  
Universidade Federal de Santa Catarina

---

Prof. Marcelo Gitirana Gomes Ferreira, Dr. Eng.  
Universidade do Estado de Santa Catarina



Este trabalho é dedicado à minha irmã  
Telma Heloisa.



## AGRADECIMENTOS

Aos familiares, em especial aos meus pais, Mariza Menezes Boelter e Telmar Pedro Boelter, e minha irmã Telma Heloisa, pela minha vida, pelos ensinamentos, encorajamento e todo o suporte para ir em busca dos meus sonhos e realizações.

Ao meu companheiro Tobias Reffatti, por todo o apoio, carinho e incentivo.

Ao orientador André Ogliari, que me acolheu no início do mestrado e me deu a oportunidade de conduzir esta pesquisa. Sinto-me muito honrada pelo trabalho e aprendizado neste período do mestrado.

Ao estimado *padawan* Natanael Willian dos Santos Silva que, através do seu trabalho de iniciação científica, fez a programação e implementação do BIOINS web.

Aos queridos amigos, Augusto Parigot, Rafael “Vargas” Veras, Guilherme Loureiro, Flávia Artuso e Lucas Yoshida pelos chás de boldo, mates, hambúrgueres, cervejas e cafés; pelas conversas sérias e descontraídas; pelas dicas e auxílio na pesquisa; pelos doces que me animaram nos sábados e domingos que passamos na UFSC. Em especial ao Guilherme e ao Vargas pelo acolhimento de mãe quando cheguei ao NeDIP. Gratidão eterna!

Aos colegas do NeDIP: Heitor Kagueiama, Lucas Berto, Willian Moldenhauer, Paulo Zen, Karuliny Marques, Edson Rocha, Bruno Ziegler, Adriano Schommer e Victor Arcuri. Obrigada pelos cafés com bobagens e a parceria, desde para uma cerveja até para ajuda na pesquisa.

Aos alunos da Disciplina de Metodologia de Projeto de Produtos das turmas de 2016 pela participação nos experimentos com os bioinspiradores.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo suporte financeiro a esta pesquisa.

Ao povo brasileiro que através da pesada carga de impostos, custeou toda a minha formação, da pré-escola à pós-graduação.



“É preciso que eu suporte duas ou três larvas  
se quiser conhecer as borboletas.”

O pequeno príncipe  
Antoine de Saint-Exupéry, 1943



## RESUMO

O desempenho competitivo de produtos no mercado está relacionado com a capacidade criativa das empresas. Essa capacidade é suportada por técnicas de criatividade, como a biônica. Nesse contexto é proposta nesta dissertação uma ferramenta de auxílio a criatividade baseada na biônica chamada de Bioinspiradores (Bioins) com o objetivo de auxiliar a obtenção de ideias novas e úteis no planejamento de produtos. Essa ferramenta é utilizada com base em uma sistemática para o planejamento de produtos, visando orientar o processo criativo. Com a aplicação dessa sistemática, avaliaram-se as ideias geradas por meio do brainstorming tradicional versus o brainstorming combinado à biônica. Verificou-se quantitativamente que as ideias geradas no planejamento de produtos apresentaram características diferenciadas baseadas no conteúdo da biologia, possuindo também maior novidade frente a produtos semelhantes do problema proposto. A avaliação qualitativa da sistemática por especialistas mostrou que ela atende bem sua proposta por apresentar uma sequência lógica e consistente de atividades, que auxilia efetivamente na geração de ideias com conteúdo da biologia em sessões de ideação.

**Palavras-chave:** Bioinspiração. Inovação. Criatividade. Planejamento de Produtos.



## **ABSTRACT**

The competitive performance of products on the market is related to the creative capacity of companies. This ability is supported by creative techniques such as bionics. In this context, this dissertation proposes a tool to aid in creativity, based on the bionic, called Bioinspirators (Bioins) with the goal of helping to obtain new and useful ideas for the planning of products. This tool is used on a systematic for the planning of products, aiming to guide the creative process. With the application of this systematic, the ideas generated through traditional brainstorming were compared against the ones generated through Bioins helped brainstorming. It was verified that the ideas generated in the bionic planning of products presented different characteristics based on the content of biology, also possessing, more novelty when compared to similar products of the proposed problem. The qualitative evaluation of the systematics by specialists showed that it fulfills its proposal by presenting a logical and consistent sequence of activities, which effectively assists in the generation of ideas with biology's contents in sessions of ideation.

**Keywords:** Bioinspiration. Innovation. Creativity. Product Planning.



## LISTA DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| Figura 1.1 - Etapas do trabalho segundo a metodologia da pesquisa científica.  | 36 |
| Figura 2.1 - Processo de Desenvolvimento Integrado de Produtos.  | 39 |
| Figura 2.2 - Modelo generalizado de mapa tecnológico e ferramentas auxiliares.   | 42 |
| Figura 2.3 - Projetos de engenharia como a interseção de criatividade/novidade e utilidade.  | 44 |
| Figura 2.4 - Entradas e saídas do processo de ideação.   | 49 |
| Figura 3.1 - Exemplos de aplicações da biônica em produtos: (a) Efeito Lótus, (b) Carro biônico inspirado no Peixe-Cofre.          | 54 |
| Figura 3.2 - Possibilidades de utilização dos sistemas biológicos no desenvolvimento de soluções de sistemas técnicos.             | 55 |
| Figura 3.3 - Fases do processo de projeto biônico baseado no problema.   | 57 |
| Figura 3.4 - Espiral biomimética de projeção.  | 58 |
| Figura 3.5 - Fases do processo de projeto biônico baseado na solução.  | 59 |
| Figura 3.6 - Categorização dos métodos de projeto biônico.   | 60 |
| Figura 3.7 - Matriz de relação entre campos organizacionais da biologia com os princípios inventivos da TRIZ.                      | 61 |
| Figura 3.8 - Parte da matriz forma-natureza-função.  | 62 |
| Figura 3.9 - Cartão do estimulador biológico Tempo.  | 64 |
| Figura 3.10 - Resultado para a pesquisa para a função <i>absorb</i> (absorver) no banco de dados <i>AskNature</i> .                | 67 |
| Figura 3.11 - Resultado da pesquisa para função <i>absorb</i> (absorver) no banco de dados <i>FindStructure</i> .                  | 68 |
| Figura 4.1 - Leiaute do cartão bioinspirador.  | 72 |
| Figura 4.2 - Sistematização da elaboração de bioinspiradores.  | 74 |
| Figura 4.3 - Tarefas da Atividade 1  | 74 |
| Figura 4.4 - Tarefas na atividade 2  | 77 |
| Figura 4.5 - Tarefas da Atividade 3  | 79 |
| Figura 4.6 - Tarefas da atividade 4 de montagem dos cartões.   | 80 |
| Figura 4.7 - Proposta de arquitetura de organização para otimização do cartão bioinspirador.                                       | 81 |
| Figura 4.8 - Etapas da atividade para montagem dos cartões.  | 83 |
| Figura 4.9 - Bioinspirador para o organismo Canguru no modelo proposto.  | 84 |
| Figura 4.10 - Tarefas para planejamento e execução da avaliação de Bioins.   | 85 |
| Figura 4.11 - Análise funcional FAST dos problemas de ideação.   | 87 |
| Figura 4.12 - Gráfico de barras do número de ideias (NI) para cada equipe e problema segundo os métodos de criatividade aplicados. | 90 |
| Figura 4.13 - Histograma do número de funções (NF) por ideia para os dois métodos.   | 91 |
| Figura 4.14 - Gráfico da novidade das ideias em cada método para cada problema.  | 91 |
| Figura 4.15 - Página inicial BIOINS com explicação dos campos.   | 96 |
| Figura 4.16 - Resultado de pesquisa para a função "armazenar".   | 97 |

|   |     |
|---|-----|
| Figura 4.17 - Mecanismo bioinspirador tendões do canguru.....   | 98  |
| Figura 4.18 - Área do usuário onde consta seus mecanismos bioinspiradores salvos.....   | 98  |
| Figura 5.1 - Contextualização da problemática para o planejamento de produtos.....  | 102 |
| Figura 5.2 - Fluxo de atividades para a Sistemática para Planejamento de produtos orientada pela biônica com Bioinspiradores (SPB)..... | 103 |
| Figura 5.3 - Atividade 1 da sistemática: formulação da oportunidade de ideação.....   | 105 |
| Figura 5.4 - Atividade 2 da sistemática.....  | 106 |
| Figura 5.5 - Modelo funcional da oportunidade de ideação trabalhada no exemplo.....   | 107 |
| Figura 5.6 - Atividade 3 Selecionar BioIns.....   | 108 |
| Figura 5.7 - Bioins resultado da pesquisa para o verbo "guiar".....   | 109 |
| Figura 5.8 - Atividade 4 da sistemática: propor ideias para de produtos usando os BioIns.....   | 110 |
| Figura 5.9 - Mapeamento genérico das ideias de novos produtos na camada Produto.....  | 111 |
| Figura 5.10 - Participantes realizando o <i>brainstorming</i> estimulado pelos bioinspiradores.....                                     | 116 |
| Figura 5.11 - Notas da avaliação da sistemática.....  | 119 |
| Figura 5.12 - Gráfico radar com as notas dos aspectos gerais da sistemática.....  | 122 |
| Figura 5.13 - Gráfico radar da avaliação do Bioins web.....   | 123 |
| Figura A.1 - Processo simplificado de elaboração de bioinspiradores.....  | 141 |
| Figura A.2 - Detalhamento das Informações do Bioinspirador baseado no canguru.....  | 142 |
| Figura A.3 - Transcrição dos campos do formulário preenchido pela equipe B2 para as colunas da planilha.....                            | 147 |
| Figura A.4 - Esquematização do processo de preenchimento do campo de avaliação da planilha.....   | 148 |
| Figura A.5 - Processo de avaliação da novidade das ideias geradas por um painel de especialistas.....                                   | 149 |
| Figura C.1 - Atividade 1 – Brainstorming tradicional (BRt).....   | 163 |
| Figura C.2 -Atividade 1 – Brainstorming com Biônica (BRbio).....  | 164 |
| Figura C.3 - Atividade 2 – Brainstorming tradicional (BRt).....   | 165 |
| Figura C.4 - Atividade 2 – Brainstorming com Biônica (BRbio).....   | 166 |
| Figura C.5 - Formulário de preenchimento das ideias geradas.....  | 167 |
| Figura C.6 - Questionário de Avaliação para o experimento 1.....  | 168 |
| Figura D.1 - Problema 1 – Brainstorming tradicional (BRt).....  | 177 |
| Figura D.2 - Problema 1 – Brainstorming com Biônica (BRbio).....  | 178 |
| Figura D.3 - Problema 2 – Brainstorming tradicional (BRt).....  | 179 |
| Figura D.4 - Problema 2 – Brainstorming com Biônica (BRbio).....  | 180 |
| Figura D.5 - Questionário de Avaliação.....   | 181 |
| Figura C.1 - Árvore de tecnologias biomiméticas.....  | 219 |
| Figura D.1 - Exemplo de aplicação da técnica FAST.....  | 221 |

Figura D.2 - Diagrama ilustrando como a função é desdobrada com as questões *como* e *por quê* em suas direções.....222



## LISTA DE QUADROS

|   |     |
|---|-----|
| Quadro 3.1 - Princípios evolutivos dos sistemas biológicos. ....  | 55  |
| Quadro 3.2 - Exemplo da relação de terminologia de fluxo e funções do tesauro engenharia para biologia. ....                | 65  |
| Quadro 4.1 - Base de funções para projetos de engenharia: funções relacionadas com a classe primária canalizar. ....        | 75  |
| Quadro 4.2 - Matriz de relação de tecnologias biônicas e das funções. ....  | 76  |
| Quadro 4.3 - Típicos problemas de tecnologias assistivas. ....  | 86  |
| Quadro 4.4 - Hipóteses para os experimentos com bioinspiradores. ....   | 87  |
| Quadro 4.5 - Critérios para uso dos testes estatísticos. ....   | 88  |
| Quadro 4.6 - Estrutura do experimento. ....   | 89  |
| Quadro 4.7 - Programação de atividades do experimento 2. ....   | 89  |
| Quadro 5.1 - Organização da avaliação da sistemática SPB. ....  | 112 |
| Quadro 5.2 - Perfil dos avaliadores da sistemática. ....  | 113 |
| Quadro 5.3 - Oportunidade de ideação entregue aos participantes. (continua) .....   | 114 |
| Quadro 5.4 - Análise das ideias geradas para o estudo de caso. ....   | 117 |
| Quadro A.1 - Estrutura do experimento. ....   | 144 |
| Quadro A.2 - Programação do experimento. ....   | 144 |
| Quadro A.3 - Métricas e hipótese para os experimentos com bioinspiradores. ....   | 146 |
| Quadro A.4 - Perfil dos especialistas avaliadores. ....   | 148 |
| Quadro A.5 - Pontos positivos e negativos do uso dos bioinspiradores registrados pelos participantes do experimento 1. .... | 157 |
| Quadro G.1 - Critérios abordados no questionário e as respectivas questões. ....  | 197 |



## LISTA DE TABELAS

|   |     |
|---|-----|
| Tabela 4.1 - Teste de normalidade Anderson-Darling dos dados das métricas número de ideias (NI), número de funções (NF) e novidade das ideias (NOV).                  | 92  |
| Tabela 4.2 - Resultados estatísticos de verificação das hipóteses para o problema 1.  | 92  |
| Tabela 4.3 - Resultados estatísticos de verificação das hipóteses para o problema 2.  | 93  |
| Tabela A.1 - Resultado por equipe da análise das ideias da atividades 1 do experimento 1  | 150 |
| Tabela A.2 - Resultado por equipe da análise das ideias da atividades do experimento 1  | 151 |
| Tabela A.3 - Teste de normalidade Anderson-Darling dos dados das métricas número de ideias (NI), número de funções (NF) e novidade das ideias (NOV) no experimento 1. | 152 |
| Tabela A.4 - Resultados Estatísticos para a métrica quantidade de ideias no Experimento 1   | 153 |
| Tabela A.5 - Resultados estatísticos para a métrica utilidade, verificada pelo número de funções (NF) para o Experimento1.  | 154 |
| Tabela A.6 - Resultados estatísticos para a métrica novidade para o experimento1  | 155 |
| Tabela E.1 - Resultado da avaliação para o problema 1.  | 187 |
| Tabela E.2 - Resultados da avaliação para o problema 2.   | 188 |
| Tabela E.3 -Teste t para número de ideias do experimento 2.   | 189 |
| Tabela E.4 - Teste de Mann Whitney para o número de funções (NF) por ideia .  | 190 |
| Tabela E.5 - Teste de Mann Whitney para a novidade (NOV) por ideia.   | 191 |



## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANOVA – Análise de variância  
BIOINS – Bioinspiradores  
BRbio – brainstorming com bioinspiradores  
BRt – brainstorming tradicional  
C-K – *Concepts to Knowledge*  
DANE – Design by Analogy to Nature Engine  
EB – Estimuladores Biológicos  
ESA – *European Space Agency*  
FAST – *Function Analysis System Technique*  
FNF – Forma Natureza Função  
IA - Inteligência Artificial  
MT – Mapeamento Tecnológico  
NF – Número de Funções  
NI – Número de Ideias  
NIST – *National Institute of Standards and Technology*  
NOV – Novidade  
PDP – Processo de Desenvolvimento de Produtos  
PRODIP - Processo de Desenvolvimento Integrado de Produtos  
SB – Sistemas Biológicos  
SPB – Sistemática para Planejamento de produtos orientada pela biônica com Bioinspiradores  
TRIZ – Teoria da Solução Inventiva de Problemas



## SUMÁRIO

|              |   |           |
|--------------|---|-----------|
| <b>1</b>     | <b>INTRODUÇÃO .....</b>   | <b>31</b> |
| 1.1          | MOTIVAÇÃO DA PESQUISA .....   | 31        |
| 1.2          | OBJETIVOS .....   | 32        |
| <b>1.2.1</b> | <b>Objetivo Geral .....</b>   | <b>32</b> |
| <b>1.2.2</b> | <b>Objetivos Específicos.....</b>                                     | <b>33</b> |
| 1.3          | JUSTIFICATIVA .....   | 33        |
| 1.4          | METODOLOGIA DA PESQUISA .....   | 34        |
| 1.5          | ESTRUTURA DO DOCUMENTO .....  | 37        |
| <b>2</b>     | <b>IDEAÇÃO E DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS.....</b>                     | <b>39</b> |
| 2.1          | PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS .....                         | 39        |
| 2.2          | PLANEJAMENTO DE PRODUTOS .....  | 40        |
| 2.3          | MAPEAMENTO TECNOLÓGICO.....   | 41        |
| 2.4          | O PROCESSO DE IDEAÇÃO .....   | 43        |
| <b>2.4.1</b> | <b>Definição de Criatividade .....</b>                                | <b>45</b> |
| <b>2.4.2</b> | <b>Métodos de criatividade .....</b>                                  | <b>46</b> |
| <b>2.4.3</b> | <b>Medindo a criatividade: avaliação do processo de ideação... ..</b> | <b>48</b> |
| 2.5          | CONSIDERAÇÕES FINAIS .....  | 50        |
| <b>3</b>     | <b>PROJETAÇÃO INSPIRADA NA NATUREZA: BIÔNICA</b>                      | <b>53</b> |
| 3.1          | BIÔNICA: TERMINOLOGIA E FUNDAMENTOS .....                             | 53        |
| 3.2          | PROCESSO DE PROJETO BIOINSPIRADO .....                                | 56        |
| <b>3.2.1</b> | <b>Abordagem direta.....</b>  | <b>56</b> |
| <b>3.2.2</b> | <b>Abordagem baseado em estudo de caso.....</b>                       | <b>59</b> |
| 3.3          | FERRAMENTAS PARA PROJETO BIOINSPIRADO .....                           | 60        |
| <b>3.3.1</b> | <b>BioTRIZ .....</b>  | <b>61</b> |
| <b>3.3.2</b> | <b>Ferramentas baseadas em Modelagem Funcional.....</b>               | <b>62</b> |
| <b>3.3.3</b> | <b>Estimuladores biológicos.....</b>                                  | <b>63</b> |
| <b>3.3.4</b> | <b>Tesouro de engenharia para biologia.....</b>                       | <b>65</b> |
| <b>3.3.5</b> | <b>Banco de dados especializado para projeto bioinspirado .....</b>   | <b>66</b> |
| 3.4          | CONSIDERAÇÕES FINAIS .....  | 69        |
| <b>4</b>     | <b>BIOINSPIRADORES PARA O PLANEJAMENTO DE PRODUTOS.....</b>           | <b>71</b> |
| 4.1          | A DEFINIÇÃO DE BIOINSPIRADORES .....                                  | 71        |
| 4.2          | SISTEMÁTICA PARA ELABORAÇÃO DE BIOINSPIRADORES .....                  | 73        |
| <b>4.2.1</b> | <b>Sistemática de elaboração de Bioinspiradores.....</b>              | <b>73</b> |

|   |            |
|---|------------|
| 4.2.1.1 Atividade 1 – Identificar funções.....  | 74         |
| 4.2.1.2 Atividade 2 – Identificar conteúdo biológico.....   | 77         |
| 4.2.1.3 Atividade 3 – Coletar informações .....   | 78         |
| 4.2.1.4 Atividade 4 – Montar cartão Bioinspirador .....   | 80         |
| 4.3 EXPERIMENTO PARA AVALIAÇÃO DOS BIOINS .....   | 85         |
| <b>4.3.1 Materiais e métodos .....</b>  | <b>85</b>  |
| <b>4.3.2 Resultados da avaliação quantitativa de Bioins.....</b>                                    | <b>90</b>  |
| <b>4.3.3 Avaliação pelos participantes .....</b>  | <b>93</b>  |
| <b>4.3.4 Considerações finais sobre a avaliação dos Bioins .....</b>                                | <b>94</b>  |
| 4.4 A FERRAMENTA BIOINS WEB PARA USO EM SESSÕES<br>DE IDEACÃO .....                                 | 95         |
| 4.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....  | 99         |
| <b>5 SISTEMATIZAÇÃO DO PLANEJAMENTO DE<br/>PRODUTOS AUXILIADO POR BIOINSPIRADORES .....</b>         | <b>101</b> |
| 5.1 PROBLEMÁTICA DE PLANEJAMENTO DE PRODUTOS  | 101        |
| 5.2 PLANEJAMENTO DE PRODUTO ORIENTADO POR<br>BIOINSPIRADORES .....                                  | 102        |
| <b>5.2.1 Atividade 1: Formular a oportunidade de ideação .....</b>                                  | <b>104</b> |
| <b>5.2.2 Atividade 2: Modelar funcionalmente a oportunidade .....</b>                               | <b>105</b> |
| <b>5.2.3 Atividade 3: Selecionar os BioIns.....</b>   | <b>108</b> |
| <b>5.2.4 Atividade 4: Propor ideias de produtos usando os Bioins ..</b>                             | <b>110</b> |
| <b>5.2.5 Atividade 5: Mapear ideias de novos produtos.....</b>                                      | <b>111</b> |
| 5.3 AVALIAÇÃO QUALITATIVA DA SISTEMÁTICA<br>PROPOSTA .....  | 112        |
| <b>5.3.1 Materiais e Métodos da Avaliação .....</b>   | <b>112</b> |
| <b>5.3.2 Resultados e observações da avaliação.....</b>   | <b>116</b> |
| <b>5.3.3 Avaliação da sistemática SPB por especialistas em<br/>desenvolvimento de produtos.....</b> | <b>119</b> |
| <b>5.3.4 Avaliação do uso da ferramenta BIOINS web na ideação..</b>                                 | <b>122</b> |
| 5.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....  | 123        |
| <b>6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES DE TRABALHOS<br/>FUTUROS .....</b>                                  | <b>127</b> |
| 6.1 CONCLUSÕES.....   | 127        |
| 6.2 RECOMENDAÇÕES DE TRABALHOS FUTUROS .....  | 129        |
| <b>REFERÊNCIAS.....</b>   | <b>131</b> |
| <b>APÊNDICE A - ELABORAÇÃO E AVALIAÇÃO PRELIMINAR<br/>DE BIOINS .....</b>                           | <b>141</b> |

|  |            |
|--|------------|
| A.1 – PROCESSO DE ELABORAÇÃO PRELIMINAR DE BIOINSPIRADORES .....   | 141        |
| A.2 – MATERIAIS E MÉTODOS DA AVALIAÇÃO PRELIMINAR DE USO DOS BIOINS .....  | 144        |
| A.3 – PROCEDIMENTO DE AVALIAÇÃO DAS IDEIAS DO EXPERIMENTO 1.....   | 147        |
| A.4 – RESULTADOS DO EXPERIMENTO 1 .....  | 150        |
| A.5 – DISCUSSÃO DOS TESTES ESTATÍSTICOS .....  | 152        |
| A.6 – AVALIAÇÃO QUALITATIVA .....  | 157        |
| A.7 – CONSIDERAÇÕES SOBRE O EXPERIMENTO 1 COM BIOINSPIRADORES .....  | 159        |
| <b>APÊNDICE B – REFERÊNCIAS DE CONTEÚDOS DA BIOLOGIA .....</b>   | <b>161</b> |
| <b>APÊNDICE C –EXPERIMENTO 1 – ESTUDO PRELIMINAR. 163</b>  |            |
| C.1 – INSTRUMENTOS UTILIZADOS.....   | 163        |
| C.2 – BIOINSPIRADORES PRELIMINARES.....  | 169        |
| C.3 – AVALIAÇÃO DO EXPERIMENTO 1 – RESPOSTAS AO QUESTIONÁRIO .....   | 171        |
| <b>APÊNDICE D – MATERIAL USADO NO EXPERIMENTO 2 .. 177</b>   |            |
| D1 – BIOINSPIRADORES USADOS NO EXPERIMENTO 2.....  | 182        |
| <b>APÊNDICE E – RESULTADOS DO EXPERIMENTO 2 .....</b>  | <b>187</b> |
| E.1 – ANÁLISE DAS IDEIAS .....   | 187        |
| E.2 – ANÁLISE ESTATÍSTICA DETALHADA.....   | 189        |
| <b>APÊNDICE F – RESULTADOS DA AVALIAÇÃO DO EXPERIMENTO 2 PELOS ALUNOS PARTICIPANTES.....</b>   | <b>193</b> |
| <b>APÊNDICE G – QUESTIONÁRIO DE AVALIAÇÃO DA SISTEMÁTICA DE PLANEJAMENTO DE PRODUTOS ORIENTADO PELA BIÔNICA POR MEIO DE BIOINSPIRADORES (BIOINS) - SPB .....</b> | <b>197</b> |
| G1 – QUESTIONÁRIO DE AVALIAÇÃO DA SPB .....  | 198        |
| G2 – RESULTADOS DO QUESTIONÁRIO DE AVALIAÇÃO DA SISTEMÁTICA SPB .....  | 202        |
| G3 – RESULTADOS DO QUESTIONÁRIO DE AVALIAÇÃO PARA BIOINS WEB.....  | 204        |
| <b>APÊNDICE H – IDEIAS GERADAS COM A SISTEMÁTICA SPB</b>   |            |
| <b>205</b>   |            |
| <b>ANEXO A – Princípios Inventivos da TRIZ.....</b>  | <b>211</b> |
| <b>ANEXO B – Base Funcional.....</b>   | <b>213</b> |

|   |            |
|---|------------|
| <b>ANEXO C – Árvore de áreas de tecnologias biomiméticas da agência espacial europeia .....</b> | <b>217</b> |
| <b>ANEXO D – Técnica FAST - Técnica de análise funcional de sistemas .....</b>                  | <b>221</b> |

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 MOTIVAÇÃO DA PESQUISA

A capacidade de inovar é determinante para a competitividade das empresas e das nações em um mundo globalizado (CALMANOVICI, 2011). Os consumidores sempre estão à espera de alguma novidade radical ou incremental nos produtos disponíveis. Assim, as empresas devem estar sempre prontas para planejar ações que acarretarão mudanças visíveis para o consumidor.

Em nível mundial, as empresas enfrentam o aumento da competitividade gerado pela: (i) redução constante do tempo de desenvolvimento e do ciclo de vida do produto; (ii) aumento da importância de inovar para atender cada vez mais os desejos dos clientes; (iii) aumento da taxa de obsolescência da tecnologia e da necessidade de coordenação da incorporação de novas tecnologias tão logo elas estejam disponíveis; (iv) aumento da complexidade e do risco dos projetos de desenvolvimento (MATTOS, 2005 apud GEISLER, 2011).

Em face disso, a fase de planejamento dos produtos é importante pela necessidade de atuação competitiva da empresa no mercado e visa desenvolver produtos em função das estratégias da organização (BACK et al., 2008), auxiliando então na gestão da inovação da empresa.

Em auxílio a inovação de produtos e tecnologias, a equipe de desenvolvimento de produtos pode fazer uso de métodos de criatividade durante o desenvolvimento das ideias para o que será produzido em função das demandas do mercado. Dentre estes métodos destacam-se a analogia com outros campos de conhecimento, como natureza, história, literatura; *brainstorming* e análise funcional.

Kennedy e Marting (2016) afirmam que a analogia com a natureza, também chamada biônica, pode ser uma abordagem altamente promissora para impulsionar a inovação. A biônica, bioinspiração ou biomimética, é o estudo das características de princípios e funções de organismos e sistemas biológicos com o propósito de sintetizar artificialmente produtos similares que imitam os naturais. A exemplo disso, muitas soluções para problemas de engenharia são baseadas na natureza, como por exemplo o velcro inspirado na semente do carrapicho; asas, estruturas e forma de aviões com pássaros; tintas autolimpantes com a flor de lótus (RAMOS; SELL, 1994; SHU et al., 2011), braço robótico inspirado na tromba do elefante (FESTO, 2011) e futuros

sistemas de produção baseado no comportamento cooperativo das formigas, modelado via algoritmos nas *BionicANTs* (FESTO, 2015).

Vários métodos e ferramentas para incorporar a biônica no desenvolvimento de produtos trazem abordagens que buscam introduzir novidade nas concepções desenvolvidas. Em uma das abordagens, Fernandes (2016) propõe a ferramenta estimuladores biológicos (EB) para uso no planejamento de produtos em inovação total ou incremental, que mostraram auxiliar no aumento da quantidade de ideias úteis. Tais estimuladores são resultado de conteúdo de princípios da natureza resumidos e arranjados em nove cartões, de caráter genérico e conteúdos abstratos, sem indicação de campos de aplicação de forma a evitar a fixação funcional.

A fixação funcional, inerente dos processos criativos, decorre do uso de analogias que possuem efeitos positivos e negativos na performance do projeto. Positivos, quando as fontes de inspiração aumentam o espaço solução e o grupo potencial de soluções criativas, e negativos, quando replicam os exemplos dados e limitam as ideias. A replicação e limitação dessas ideias caracteriza a fixação funcional (GONÇALVES; CARDOSO; BADKE-SCHAUB, 2014).

Assim, considerando o caráter promissor do uso da biônica para auxiliar a ideação de novos produtos e tendo em vista a necessidade de estabelecer conteúdos apropriados aos cartões estimuladores biológicos, estabelece-se as seguintes questões de pesquisa:

*“Qual a natureza do conteúdo biológico de um cartão bioinspirador de modo a não limitar o campo de soluções possíveis por fixação funcional e promover a obtenção de soluções novas e úteis para o problema proposto de planejamento de produtos?”*

*“Como organizar o planejamento de produtos orientado pela biônica utilizando cartões bioinspiradores?”*

Para responder a essas questões, este trabalho apresenta a proposta de cartões bioinspiradores específicos em conteúdo, que auxiliam na ideação de produtos, elaborados e usados sistematicamente, e dedicados a um domínio de aplicação, apresentando exemplos e indicação de área tecnológica para uso.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo Geral

O presente trabalho tem como objetivo geral de propor uma sistemática para planejamento de produtos usando ferramenta

bioinspiradora, que auxilie na geração de ideias inovadoras. Para isso, os seguintes objetivos específicos são delineados.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos, para o trabalho atingir o objetivo geral, são:

- Identificar processos e métodos de projeto orientados pela biônica;
- Propor ferramenta bioinspiradora, sua sistemática de obtenção e avaliar a contribuição na quantidade, novidade e utilidade das ideias geradas;
- Organizar atividades de planejamento de produtos para uso da ferramenta bioinspiradora proposta por meio de uma sistemática;
- Aplicar a ferramenta proposta em situação de planejamento de produtos;
- Desenvolver e avaliar uma plataforma web para estímulo externo em brainstorming de produtos com base na sistemática e na ferramenta bioinspiradora proposta.

## 1.3 JUSTIFICATIVA

A importância do planejamento de produtos está na geração e seleção de ideias de produtos promissoras para a inovação com base nas oportunidades de mercado identificadas (GEISLER, 2011). Esta fase é importante para a redução de custos, gerenciamento da qualidade e do tempo no desenvolvimento de produtos em função das estratégias da organização.

Em auxílio na geração de ideias, métodos de criatividade como analogias têm sido usados em estímulo à inovação no processo criativo. A analogia com a natureza, é um destes métodos, cujo uso mostra-se benéfico no aumento do número de ideias inovadoras (FERNANDES, 2016; WILSON et al., 2009).

O uso da natureza como inspiração se justifica devido sua diversidade de espécies e sistemas que evoluíram e se otimizaram ao longo de milhares de anos de forma sustentável e integrada. Assim, nela é possível encontrar diversos princípios de funcionamento, que devidamente estudados, podem ser aplicados na solução de problemas de engenharia.

O processo criativo sendo melhorado com a utilização de estímulos externos da biologia tende a gerar conceitos diferenciados, com alto potencial de inovação devido ao aumento da novidade e utilidade das ideias, como já abordado nos trabalhos de Fernandes (2016) e Melo (2015). Sem a utilização de estímulos, a criatividade dos projetistas pode ser limitada por sua própria sensibilidade e percepção das coisas.

Tais estímulos podem ser exemplos de aplicação e uso, conhecimento generalizado ou específico. Conhecimento generalizado da natureza requer esforço cognitivo adicional para interpretar o conteúdo da biologia, que é muitas vezes desconhecido por projetistas, como por exemplo, um conceito sobre membranas. O uso de um conteúdo abrangente, como por exemplo, apresentação de um organismo biológico popularmente conhecido como asas do morcego, tende a facilitar o processo cognitivo durante o processo criativo por analogia. Pressupõe-se que os projetistas tenham mais conhecimento sobre um organismo de que sobre as partes menores (e.g. células e suas membranas).

Portanto, pretende-se que a sistematização do uso da biônica no planejamento de produtos venha a contribuir na novidade de produtos por meio de conteúdo da natureza organizados em cartões com conceitos e princípios de funcionamento de organismos e mecanismos biológicos com exemplos, selecionados de acordo com a oportunidade de desenvolvimento de produtos.

#### 1.4 METODOLOGIA DA PESQUISA

Para desenvolver a sistemática descrita no objetivo geral da dissertação é necessário adotar uma metodologia que esteja alinhada com o problema de pesquisa e a contribuição que se deseja construir.

Esta pesquisa é então classificada, segundo GIL (1991) apud Silva (2005), como de natureza aplicada com abordagens quantitativa e qualitativa e com objetivos exploratórios.

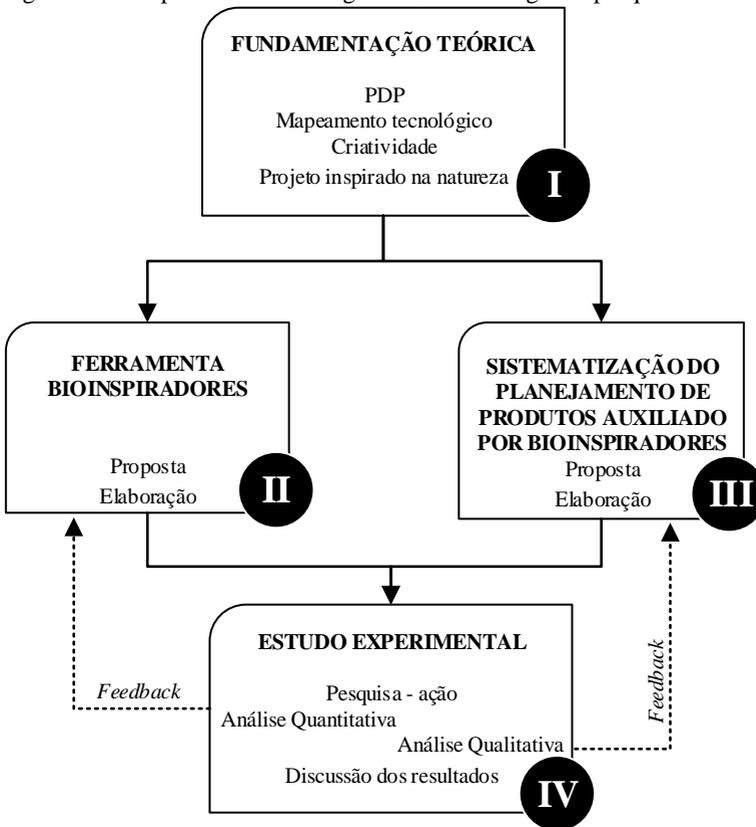
Julga-se aplicada por gerar conhecimentos para aplicação prática e dirigida para solução de problemas específicos. De abordagem quantitativa, na avaliação da contribuição dos bioinspiradores na geração de ideias e qualitativa na avaliação da sistemática de planejamento de produtos orientado pela biônica. Também é classificada como de objetivos exploratórios por envolver levantamentos bibliográficos e análise de exemplos que incentivam a compreensão.

Os procedimentos técnicos utilizados são a pesquisa bibliográfica, pesquisa experimental e a pesquisa-ação. A pesquisa bibliográfica é composta principalmente por livros, dissertações, teses, artigos e material disponibilizado na internet. A pesquisa experimental determina o objeto de estudo, selecionando as variáveis que poderiam influenciá-lo e as formas de controle. Na pesquisa-ação, o pesquisador e participantes representativos da situação ou do problema estão envolvidos de modo cooperativo ou participativo (SILVA, 2005).

A pesquisa experimental está voltada para a análise quantitativa, especialmente de modo estatístico experimental, onde grupos de indivíduos são manipulados para avaliar o efeito de diferentes tratamentos. O método da pesquisa-ação é adotado por estar alinhado na contribuição com os objetivos de pesquisa, onde, segundo Lacerda (2013), a pesquisa-ação tradicional visa resolver ou explicar problemas de um determinado sistema gerando conhecimento para a prática e para a teoria, explorando, descrevendo e explicando-o.

As etapas da pesquisa estão apresentadas na forma de fluxograma na Figura 1.1 a seguir:

Figura 1.1 - Etapas do trabalho segundo a metodologia da pesquisa científica.



Fonte: autora.

A fundamentação teórica dividida em quatro partes (I):

- i. Processo de Desenvolvimento de Produtos, em especial para a fase de Planejamento de Produtos;
- ii. Método do Mapeamento Tecnológico para apoiar a fase de planejamento;
- iii. Criatividade;
- iv. Projeto inspirado na natureza.

O resultado desta primeira etapa (I) visa cumprir o primeiro objetivo específico da pesquisa, além de servir de base para a execução do segundo e terceiro objetivos.

A segunda e terceira etapas referem-se ao (II) desenvolvimento da sistemática, com a proposta da ferramenta BIOINS e da (III) sistematização da fase de planejamento de produtos. Deste modo, cumpre-se o segundo e terceiro objetivos específicos da pesquisa.

A quarta etapa refere-se à (IV) aplicação e avaliação da sistemática em uma situação de planejamento de produtos, onde são realizadas as análises de abordagem quantitativa e qualitativa. Esta etapa visa realizar o quarto e quinto objetivos específicos propostos.

## 1.5 ESTRUTURA DO DOCUMENTO

A presente dissertação está estruturada em seis capítulos, incluindo este capítulo inicial de introdução do trabalho, e uma seção de Apêndices e Anexos, que contêm materiais complementares para entendimento do trabalho.

No capítulo 2, Ideação e Desenvolvimento de Produtos, as principais fases e atividades do processo de desenvolvimento de produtos são apresentadas, com enfoque na fase de planejamento de produtos e do mapeamento tecnológico neste processo. Ainda neste capítulo, são apresentados os métodos de criatividade para a ideação, a definição e a medição da criatividade.

No capítulo 3, Projeção Inspirada na Natureza: Biônica, são descritas as definições e sinônimos de biônica, o processo e as ferramentas para o projeto de produtos biônicos.

No capítulo 4, Bioinspiradores para o Planejamento de Produtos, é apresentada a proposta de bioinspiradores, a sua otimização e a ferramenta web. Nesse capítulo também mostra os experimentos realizados para verificar a influência dos bioinspiradores na ideação de produtos em planejamento.

No capítulo 5, Sistematização do Planejamento de Produtos usando Bioinspiradores, é apresentada a proposta de sistemática para definir plano de produtos orientado pela biônica usando os bioinspiradores propostos nesta dissertação. Também é apresentada uma aplicação prática que visa a sua avaliação segundo os critérios de aplicabilidade, clareza e contribuição.

No capítulo 6, Conclusões e Recomendações, as conclusões obtidas nesta pesquisa são apresentadas, em relação às contribuições dos bioinspiradores e da sistemática de planejamento de produtos orientado pela biônica, através do uso dos bioinspiradores. As recomendações para trabalhos futuros relacionados ao tema são apresentadas após as conclusões.



## 2 IDEACÃO E DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS

Este capítulo trata da revisão sobre o processo de ideação e desenvolvimento de produtos com ênfase no planejamento de produtos, visando servir de subsídio, juntamente com o Capítulo 3, para a sistemática proposta no Capítulo 5.

### 2.1 PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS

O desenvolvimento de produtos engloba o planejamento e projeto desde a pesquisa de mercado, projeto dos processos de manufatura, plano de manutenção até o descarte. O processo de desenvolvimento de produtos é todo o processo de transformações das informações necessárias para a identificação da demanda, produção e uso de um produto (BACK et al., 2008).

Diversas metodologias de projeto existem na literatura que auxiliam de forma sistematizada no processo de desenvolvimento de produtos. Este trabalho utiliza o modelo para o Processo de Desenvolvimento Integrado de Produtos – PRODIP – desenvolvido por Back et al. (2008), mostrado na Figura 2.1.

Figura 2.1 - Processo de Desenvolvimento Integrado de Produtos.



Fonte: Adaptado de Back et al. (2008).

O modelo é composto por três macrofases: Planejamento, Projeção (Processo de Projeto) e Implementação. A macrofase de Planejamento é dividida em Planejamento do Produto e Planejamento do Projeto, onde acontecem decisões importantes relacionadas com ideias para o produto, negócio da empresa e mercado, sendo a **fase de planejamento do produto o foco deste trabalho**.

A macrofase do Processo de Projeto é dividida em quatro fases: Projeto Informacional, Projeto Conceitual, Projeto Preliminar e Projeto Detalhado. Na fase de projeto informacional há a evolução e concretização das ideias iniciais do planejamento do produto através de

desdobramento das informações de mercado e tecnologia, em requisitos e especificações de projeto. Na fase de projeto conceitual são geradas concepções para o produto baseadas nas especificações de projeto, que também servem para avaliá-las. Na fase de projeto preliminar é escolhido e validado o leiaute final da concepção escolhida; e na fase de projeto detalhado é feita a documentação do produto para sua fabricação.

A macrofase de Implementação, etapa final do desenvolvimento de produtos, é composta pela fase de Preparação da Produção, onde o lote piloto é produzido e o plano de manufatura é revisto; fase de Lançamento, onde o lote inicial é produzido e o produto é divulgado; e a fase de Validação, onde é feita avaliação do produto junto aos usuários e análise da validação para encerramento do projeto.

## 2.2 PLANEJAMENTO DE PRODUTOS

Segundo Back et al. (2008), o planejamento de produtos visa desenvolver produtos em função das estratégias da organização. Esta fase é relacionada com o planejamento estratégico da organização, atividades de inteligência competitiva, de prospecção tecnológica, de marketing, de planejamento de projetos e do projeto informacional de produtos. É uma fase importante para a competitividade das organizações no mercado, uma vez que um produto definido com precisão e bem especificado antes de seu desenvolvimento tem três vezes mais chances de sucesso (BAXTER, 2011).

Dentre os principais resultados do planejamento de produtos está a **ideia do produto** (BACK et al., 2008). A ideia do produto, ou conceito do produto, descreve suas características sob diferentes aspectos e é constituída por informações técnicas e de mercado. Pode ser apresentada como uma descrição funcional do produto, descrição dos princípios de funcionamento ou combinação de ambas, não sendo uma descrição completa.

No planejamento de produto há a sistematização de atividades, métodos e ferramentas de modo a auxiliar na coleta de informações de mercado e atributos tecnológicos para obtenção de ideias de produtos. Aqui se insere o Mapeamento Tecnológico (MT) como método de suporte ao planejamento de produtos (IBARRA, 2007) para identificação de oportunidades tecnológicas externas e de mercado.

O desenvolvimento da ideia do produto requer o entendimento e estudo do mercado e suas necessidades, bem como das tecnologias potenciais para seu desenvolvimento. O mapeamento tecnológico tem se

mostrado capaz de suprir essa lacuna, sendo melhor detalhado na sequência.

### 2.3 MAPEAMENTO TECNOLÓGICO

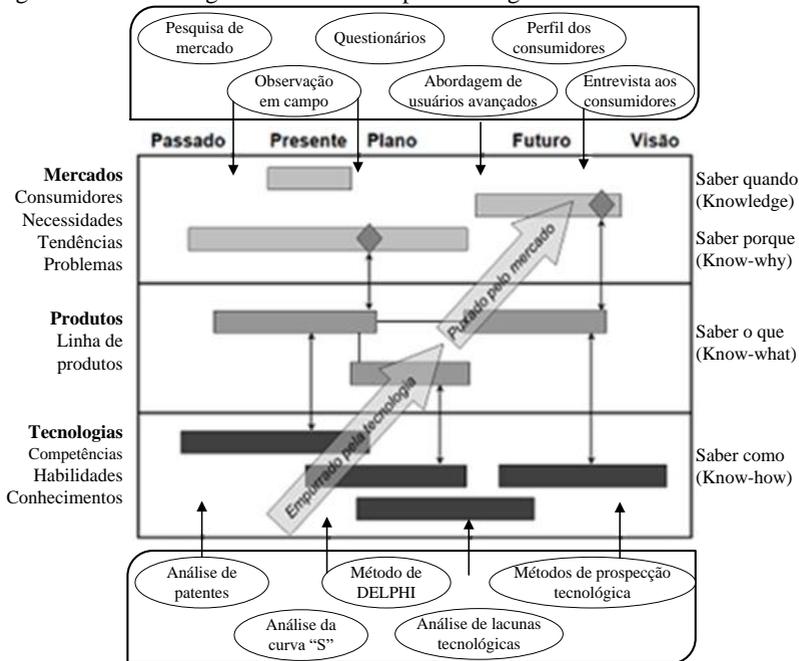
O mapeamento ajuda na exploração das oportunidades do mercado ao suportar: o planejamento de novas tecnologias; gerenciamento de fontes de informação; tempo para disponibilidade, desenvolvimento ou compra da tecnologia; e maneiras de usar a tecnologia nos produtos atuais e futuros.

Este método objetiva aumentar a vantagem competitiva para desenvolvimento sustentável, com a previsão de mudanças na indústria, mercado e tecnologia ao longo do tempo, visando atender às necessidades dos clientes. As funções e usos do mapeamento tecnológico servem para: melhorar as tomadas de decisão; prover estratégia e direção; auxiliar previsão e prospectiva; melhorar planejamento e coordenação; suporte de conhecimentos e gestão da inovação; permitir integração de ambientes internos e externos; servir como ferramenta de gerenciamento de processos organizacionais e de aumento de tecnologias (VATANANAN, 2012).

O mapa tecnológico, resultado do processo de mapeamento, é apresentado graficamente na forma de um diagrama baseado no tempo (Figura 2.2). O eixo vertical é customizado por camadas que dependem da aplicação que se quer dar ao mapa. Já o eixo horizontal representa a escala temporal, em passado, presente e futuro que reflete evolução, antecipação de mudanças de direcionadores e tecnologias.

Como mostrado na Figura 2.2, a camada superior é a camada “*saber por que*”, e representa os direcionadores e tendências que se traduzem em requisitos e necessidades. A camada central é a camada “*saber o que*”, e representa o propósito, o ponto focal ao redor do qual é construído o mapa, interligando as camadas superiores e inferiores. Esta camada pode representar o desenvolvimento de produtos e serviços, criação e compartilhamento de inovação e conhecimentos, planejamento de projetos, programas, tecnologias e políticas. A camada inferior, camada “*saber como*”, demonstra as capacidades existentes ou potenciais de uma organização (conhecimentos, habilidades e tecnologias).

Figura 2.2 - Modelo generalizado de mapa tecnológico e ferramentas auxiliares.



Fonte: Adaptado de Leonel (2006) e Geisler (2011).

Os produtos mapeados podem ser puxados pelo mercado (*market pull*) ou empurrados pela tecnologia (*technology push*) (PHAAL, FARRUKH e PROBERT, 2004). As demais setas no modelo generalizado da Figura 2.2 representam as relações entre mercado/produto (a que mercado determinado produto será destinado) e tecnologias/ produto (que tecnologias serão utilizadas em dado produto). Na figura também estão demonstradas as ferramentas auxiliares para o processo de mapeamento tecnológico (pesquisa de mercado, etc.).

O mapeamento tecnológico viabiliza o desdobramento e a explicitação da estratégia competitiva da empresa, com relação ao desenvolvimento de produtos. No planejamento da evolução da linha de produtos, (mais precisamente, para preencher a camada produto) a equipe pode fazer uso de métodos de criatividade na geração das ideias de produtos (IBARRA GONZALES, 2015; FERNANDES, 2016).

Esta parte do mapa se converte em um espaço para que a equipe crie novos usos para ideias antigas, registre novas ideias, levante questões, lacunas, barreiras de desenvolvimento, identifique

redundâncias entre os produtos e interfaces comuns, visando guiar as decisões do produto (IBARRA, 2007).

As ferramentas usadas para o auxílio ao processo de ideação de produtos nesta etapa do mapa são apresentadas na próxima seção, conforme os objetivos do presente trabalho.

## 2.4 O PROCESSO DE IDEACÃO

O processo de ideação consiste em gerar ideias de produtos, estando presente nas mais diversas disciplinas, como artes, arquitetura e projeto de engenharia. A busca por soluções e inovações para problemas técnicos de produtos demanda criatividade. Projetos de engenharia visam combinar criatividade com técnicas inovadoras de engenharia pela conversão de novas ideias em formas de produtos tangíveis (CHANG et al., 2016).

O processo de ideação é modelado por Perttula (2006) como sendo um processo criativo composto pelas atividades: (1) definição do problema, (2) geração da solução e (3) consolidação da solução. Nessas ocorre a interpretação da tarefa (1), a assimilação (2) e adaptação (3) de conhecimentos e experiências a uma tarefa. Este processo resulta em algo tangível, ou ideia, que soluciona a tarefa.

Durante a geração de ideias de produtos, os projetistas usam seu *background* de experiências e habilidades, e tendem a coletar ativamente amostras visuais físicas e / ou mentais para fins de inspiração, bem como podem usar diferentes tipos de estímulos.

A matriz de possíveis fontes de inspiração pode variar entre categorias diferentes, de estímulos internos e externos. Estímulos internos residem na memória de trabalho e de longo prazo de uma pessoa, podendo assumir a forma de imagens mentais e informações verbais, por exemplo. Estímulos externos são entidades no ambiente de uma pessoa e podem incluir, por exemplo, imagens, verbais, audíveis ou tangíveis (GONÇALVES; CARDOSO; BADKE-SCHAUB, 2014). O uso de imagens como estímulo é considerado por Sarkar e Chakrabarti (2008) como a mais eficaz representação.

Assim, inspiradores servem para alterar processos mentais, permitindo novas conexões mentais de informações que não seriam acessados normalmente, explorando outros domínios de conhecimento, que tem potencial para melhoria das soluções.

A Figura 2.3 mostra que o projeto de engenharia não deve ser somente novo, ser original e não usual, mas também deve satisfazer

algumas funções pretendidas à especificações desejadas, isto é, ter utilidade desejada.

Figura 2.3 - Projetos de engenharia como a interseção de criatividade/novidade e utilidade.



Fonte: Adaptado de Shah, Smith e Vargas-Hernandez (2003).

De acordo com Shah, Smith e Vargas-Hernandez (2003), projetos de engenharia não acontecem por acaso, eles devem satisfazer um conjunto de especificações pré-definidas, mesmo que essas especificações às vezes sejam modificadas. Assim, o projeto é orientado por metas. O sucesso de um projetista é julgado pelo quão bem seu projeto atende aos objetivos desejados e quão bem foram identificadas as formas alternativas de alcançar esses objetivos.

Paulus e Yang (2000) compararam o desempenho de grupos que puderam compartilhar ideias sobre notas escritas com um grupo de indivíduos que trabalham sozinhos sem interação, e descobriram que a troca de ideias aumentava a produtividade. Este estudo demonstra que os processos de troca de ideias em grupo podem ser benéficos e fornecer apoio para aqueles que têm argumentado para efeitos sinérgicos no grupo de *brainstorming*. Os autores ainda salientam que sob condições adequadas, o processo de troca de ideias em grupos pode ser um importante meio para aumentar a criatividade e a inovação nas organizações.

Sobre o trabalho em grupo, segundo Perttula (2006), os psicólogos sociais mostraram que as ideias dos outros podem influenciar positivamente a capacidade de produzir novas ideias através da estimulação cognitiva. As ideias de outras pessoas servem como sugestões para manter o conhecimento relevante à tarefa que teria sido inacessível no caso de tais gatilhos estarem ausentes. Isso representa um mecanismo para a estimulação cognitiva.

A teoria por trás da estimulação cognitiva é baseada na noção de uma rede de memória associativa. A proposição básica é que as ideias estão ligadas entre si em redes semânticas, e uma vez que uma ideia é ativada, ela também propaga a ativação para outras ideias com atributos relacionados.

Entretanto, pesquisas mostram que expor pessoas a exemplos pode ter dois efeitos na performance de projeto. Os efeitos podem ser positivos, quando as fontes de inspiração aumentam o espaço solução e o grupo potencial de soluções criativas, ou negativos quando limitam as ideias, ao replicar os exemplos dados. (GONÇALVES; CARDOSO; BADKE-SCHAUB, 2014). A exposição a exemplos pode ser tratada como uso de analogias para influenciar a criatividade, cuja definição e métodos de estímulo são discutidos na sequência.

### 2.4.1 Definição de Criatividade

A criatividade é crucial para a concepção de produtos e para a inovação. Avaliar a criatividade pode ajudar a identificar soluções e produtos inovadores, e ainda apoiar a melhoria de ambos. Assim, primeiramente deve-se entender a criatividade por sua definição:

- Amabile (1983) define a criatividade como “o processo pelo qual algo julgado (para ser criativo) é produzido”;
- “a criatividade como o processo de trazer à existência algo que é novo e útil” (Amabile, 1996; Sternberg e O’Hara, 1999 apud RITTER, VAN BAAREN, DIJKSTERHUIS, 2012).
- Sarkar e Chakrabarti (2011) definem criatividade como “um processo pelo qual a habilidade de gerar ideias, soluções ou produtos que são novos e que possuam valor pela sua utilidade”.
- dicionários Oxford<sup>1</sup> e Aurélio<sup>2</sup> a definem como “uso de imaginação ou ideias originais para criar algo, capacidade de criar e inventar”.

A criatividade é a capacidade de propor produtos novos e o desempenho criativo pode ser analisado pelo processo e seu resultado (KASSIM; NICHOLAS; NG, 2014). Portanto, uma medida direta da

---

<sup>1</sup> Ver mais: <http://www.oxforddictionaries.com/definition/english/creativity>

<sup>2</sup> Ver mais: <https://dicionarioaurelio.com/criatividade>

criatividade e do processo deve ser em termos de novidade e utilidade do produto (SARKAR; CHAKRABARTI, 2011).

Assim, para ser criativa, uma ideia deve abranger as duas características - novidade e utilidade. A novidade distingue entre relembrar uma entidade que anteriormente existia na forma apresentada, da geração de uma entidade que aparece ao indivíduo pela primeira vez, pelo menos no contexto atual. A utilidade faz uma distinção entre ideias úteis e aquelas inadequadas para determinada situação. No projeto de engenharia, a utilidade é alcançada quando as funções cumprem as especificações de projeto (PERTTULA, 2006).

O modo como uma ideia é julgada mais criativa do que outra depende do processo de avaliação da ideação. Dessa forma, a seguir é apresentado a avaliação da criatividade em processos de geração de ideias.

#### **2.4.2 Métodos de criatividade**

Para Back et al. (2008), criatividade é a habilidade de uma equipe de projeto ter ideias novas e úteis para resolver o problema ou de sugerir soluções para a concepção de um produto. O uso de métodos de criatividade visa auxiliar no encontro de soluções no momento de gerar concepções para que o produto seja inovador ou melhorado.

Dentro do processo de desenvolvimento de produtos, os métodos de criatividade são utilizados principalmente nas fases de planejamento do produto, de projeto informacional e de projeto conceitual. São nestas fases que a equipe de projeto deve usar estimuladores para a geração de ideias na camada produto do mapeamento tecnológico e para os princípios de solução para as funções do produto, na matriz morfológica, por exemplo.

Na literatura se encontra vários métodos de criatividade para geração de ideias inovadoras e melhoramento de produtos. A seguir, são apresentados alguns métodos para geração de ideias, retiradas de Baxter (2011), Back et al. (2008) e Pahl et al. (2007):

- Análise morfológica: estuda as combinações possíveis entre os elementos ou componentes de um produto ou sistema com o objetivo de identificar, indexar, contar e parametrizar todas as possíveis alternativas;
- MESCRAI: provem da sigla de Modificar, Eliminar, Substituir, Combinar, Rearranjar, Adaptar e Inverter. Tais termos servem como lista de verificação para modificações em um produto;

- Analogias: por observação, as características de um objeto são identificadas em outro. Identifica-se semelhança ou analogia entre determinado princípio, determinada função ou solução a outro campo do conhecimento, como natureza, biologia (bioinspiração), literatura, história, ficção;
- *Brainstorming*: método baseado em quanto mais ideias melhor, é realizado em grupo composto de um líder e de convidados, onde são discutidas ideias para soluções de um problema;
- Método da síntese funcional: descreve as funções que o produto deve exercer em uma declaração abstrata da função global e das funções parciais, dadas as interfaces do problema (entradas e saídas);
- Método dos princípios inventivos: solucionam problemas através de maximização, minimização, manutenção dentro de determinada meta dos parâmetros de engenharia utilizando matriz de solução das contradições e os princípios inventivos da TRIZ.

A categorização das ferramentas de criatividade apresentada por Howard (2008) apud Howard (2011) divide tais ferramentas em:

- Ferramentas de análise criativa, que visam auxiliar na definição do problema e a identificar oportunidades e recursos, encorajando o pensamento exploratório e redefinição do problema (e.g. TRIZ);
- Ferramenta de pensamento criativo, que auxiliam na exploração do espaço de soluções até que a solução válida seja encontrada (e.g. brainstorming);
- Ferramentas de estímulos criativos, que propõem estímulos, ou seja, informações usadas para ser relacionadas ao problema com objetivo de inspirar novas soluções (e.g. analogias com a biologia).

A pesquisa sobre inovação frequentemente destaca o uso de analogias externas ao domínio do problema como uma fonte importante de conceitos novos. É um processo fundamental no qual uma fonte de conhecimento e um domínio estão ligados uns aos outros por um mapeamento sistemático de atributos e relações, o que permite a transferência de conhecimento para o alvo. Este processo é importante para a geração de novos conceitos em uma ampla variedade de

domínios, talvez mais proeminente na descoberta científica, invenção e inovação tecnológica.

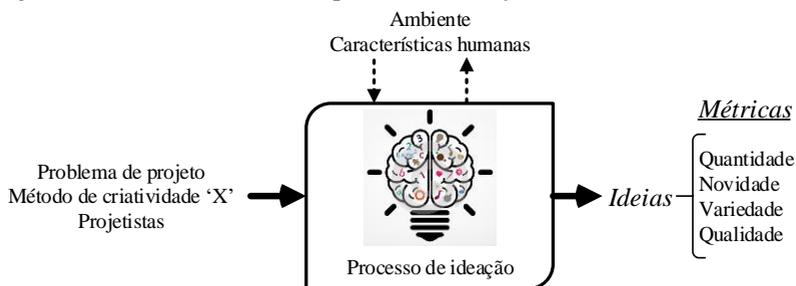
Vários estudos têm demonstrado que o uso ou o estímulo de analogias pode aumentar a produção de conceitos muito novos, relativos a analogias próximas ou inexistentes (GONÇALVES, CARDOSO, BADKE-SCHAUB, 2014), embora outros não tenham replicado este resultado, como Wilson et al. (2010) que não encontrou aumento da variedade das ideias geradas usando analogias com a natureza.

### **2.4.3 Medindo a criatividade: avaliação do processo de ideação**

Para avaliação do processo de ideação, quanto a sua efetividade e utilidade, Shah, Kulkarni e Vargas-Hernandez (2000) e Shah, Smith e Vargas-Hernandez (2003) propõem métricas e experimentos, sendo estes referentes as saídas e entradas do processo de ideação. Os autores sugerem fazer avaliação experimental dos métodos de criatividade (entradas) para diferentes tipos de problemas de projeto (entradas) e comparar a performance (as saídas) com métodos de geração de ideias distintos. Para isso, “*O que deve ser mensurado*” e “*Como deve ser mensurado*” são as questões chave para as métricas propostas por Shah, Kulkarni e Vargas-Hernandez (2000).

As métricas referem-se ao “*o que*” medir na saída do processo de ideação, isto é, são identificadas nas características das ideias de produtos obtidas. Estas características das ideias refletem a ocorrência do processo criativo, o que é o objetivo da avaliação da performance de um grupo de projetistas utilizando determinado método de criatividade para determinado problema de projeto. De acordo com Shah, Kulkarni e Vargas-Hernandez (2000) e Shah, Smith e Vargas-Hernandez (2003), quatro são as métricas para avaliar as ideias saídas do processo de ideação (Figura 2.4) são: (1) quantidade, (2) novidade, (3) variedade e (4) qualidade.

Figura 2.4 - Entradas e saídas do processo de ideação.



Fonte: autora

1. A **Quantidade** é o número total de ideias geradas em grupo ou individualmente durante um determinado período de tempo ou durante os passos de um dado processo de projeto. É medida contando todas as ideias ou os documentos que os participantes entregaram separadamente. Shah, Smith e Vargas-Hernandez (2003) não recomendam o uso desta métrica para métodos que prescrevem o número de ideias a ser geradas, como o método 6-3-5 que determina a geração de seis ideias por participante em cada ciclo.

Os mesmos autores justificam ainda que a quantidade de ideias obtidas deve ser considerada porque a geração de muitas ideias aumenta a chance de ocorrência de ideias melhores. Outro fator de justificativa apresentado é o uso da fluência de geração de ideias usada na medida da criatividade individual na psicologia.

2. Os autores trazem duas abordagens para mensurar a **novidade** das ideias. Isso pode ser feito definindo o que não é original e inovador, preferencialmente antes de analisar qualquer dado para evitar influências. Em alternativa, pode ser feita a coleta de todas as ideias geradas em todos os métodos, identificar as características chaves como tipos de movimento, mecanismos de controle, etc. Assim, encontram-se todos os diferentes modos como cada uma das características é satisfeita (exemplo: movimento: rotação, oscilação, deslizamento, etc.) e verifica-se quantas vezes cada solução da característica aparece no total de ideias. Quanto menos vezes uma característica for encontrada, maior será a sua novidade.

3. A **variedade** é medida examinando como cada função é satisfeita, sendo aplicada a um grupo de ideias. As ideias são agrupadas com base em quão diferentes são entre si. O uso de um princípio físico diferente para resolver a mesma função caracteriza uma nova ideia,

diferente da original. A variedade é uma indicação de quão bem o espaço de soluções é explorado.

4. A **qualidade** de uma ideia é considerada pelos autores como uma medida independente desde que possa ser baseada em uma propriedade física ou razão de performance do artefato (tempo, peso, energia, etc.). Na fase de projeto conceitual a qualidade é estimada mesmo não havendo informações quantitativas para análise, mas no projeto preliminar pode ser possível análise quantitativa através de valores desejáveis das especificações de projeto. A avaliação da qualidade das ideias faz uso de conhecimentos analíticos e de experiências passadas, sendo um processo subjetivo de cada avaliador.

Outra métrica importante não trabalhada por aqueles autores, mas importante dentro da definição de criatividade, é a **utilidade** de uma ideia, que é medida através da quantidade de funções. A quantidade de funções em produtos é importante, pois proporciona um aumento no seu valor agregado no mercado e para o consumidor (SARKAR, CHAKRABARTI; 2011) devido ao atendimento de requisitos.

## 2.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo apresentou-se a metodologia de processo de desenvolvimento de produtos PRODIP, e também, suas fases com foco no planejamento de produtos e o processo de ideação. O estudo deste conteúdo foi importante para o contexto onde a pesquisa está inserida e para obter conhecimento para suportar a criação de uma ferramenta de ideação, quanto ao entendimento do processo de ideação, dos métodos de criatividade e de como avaliar as ideias geradas.

Por isso, usar inspiração na biologia sob a forma de uma ferramenta de estímulo criativo é um dos objetivos desta dissertação ao usar a biologia como conteúdo de estímulo na proposta dos **Bioinspiradores (Bioins)**.

É salientado que o planejamento de produtos possui o objetivo de formar a ideia do produto, alinhando interesses de mercado e estratégias da empresa. O mapa tecnológico é o resultado do processo de mapeamento, arranjando as informações do planejamento do produto, trazendo conexões e alinhamento entre ideias de linhas de produtos com estratégias de mercado, negócio e as tecnologias organizado em camadas segundo uma linha do tempo.

Entretanto, para completar a camada produto do mapa tecnológico, em busca da inovação nos aspectos funcionais e técnicos, o

método do mapeamento tecnológico sozinho não apresenta ferramentas adequadas para orientar o processo de obtenção de soluções novas para o problema de planejamento. Assim, a principal lacuna trabalhada nesta pesquisa é sobre aumentar a inovação das ideias de produtos, apoiada pelo método de criatividade de inspiradores baseados na biologia (bioinspiração).

Os principais propósitos da sistemática de planejamento e da ferramenta de bioinspiração são auxiliar na inovação e no processo de obtenção de ideias de produtos, visando o preenchimento da camada produto, priorizando a novidade e utilidade nas ideias geradas.

Para isso, as ideias criativas são as consideradas novas e originais, e que possuem utilidade. Os métodos mais favoráveis à inovação são os relacionados a analogias com outros domínios de conhecimento e que usam trabalho em grupo. O uso de imagens e exposição a exemplos também tem boa influência na performance do processo de criação. Para avaliar a performance de métodos de projeto e compará-la aos demais, a literatura indica métricas para avaliação da saída do processo de geração de ideias com o intuito de quantificar atributos de ideias.

Os tópicos abordados neste capítulo referentes ao desenvolvimento de produtos, mapeamento tecnológico e o processo de ideação de produtos serão considerados na sistemática proposta para o planejamento de produtos orientado pela inspiração na natureza. O próximo capítulo apresenta a revisão da literatura sobre o processo de projeto bioinspirado e suas ferramentas.



### 3 PROJETAÇÃO INSPIRADA NA NATUREZA: BIÔNICA

Neste capítulo é apresentada uma revisão da literatura sobre biônica, seu histórico, projetos bioinspirados, seu potencial de aplicação e as considerações finais.

#### 3.1 BIÔNICA: TERMINOLOGIA E FUNDAMENTOS

Desde o início da história, os seres humanos têm observado a natureza e aplicado suas lições em seu benefício. Em meados do século XX, a ideia de que o desenvolvimento de novas tecnologias pode se beneficiar do conhecimento biológico permeou a comunidade científica e começou a se consolidar. Assim surge o termo *bionics* (biônica), em meados de 1960, utilizado para fazer referência a integração entre biologia e engenharia. Foi definida como a ciência de sistemas que possuem algumas funções copiadas da natureza ou que representam características de sistemas naturais. Em 1969, Schmitt apresenta a palavra *biomimetics* (biomimética) no título de um artigo, designando com ela o estudo de estruturas, função de substâncias, mecanismos e processos biológicos com o propósito de sintetizar produtos artificiais que imitam os naturais (VINCENT et al., 2006).

Nesta dissertação, adota-se o termo **biônica** para referir-se à bioinspiração, biomimética e à projeção inspirada na natureza. O principal objetivo da biônica é fornecer amplo conhecimento das soluções e estratégias biológicas que a natureza desenvolveu ao longo da sua evolução para aplicação na tecnologia (BANNASCH, 2009). A natureza é “um universo riquíssimo, de 3,8 milhões de anos de evolução e 10 milhões de espécies nas quais se inspirar” (KNAPP, 2009) e serve como um modelo, mentora e medida para promover projetos de inovação sustentável (BENYUS, 1997 apud COHEN; REICH, 2017).

O uso da biônica é importante como fonte de inspiração para geração de soluções e ideias em um produto tais como exemplos da Figura 3.1. Deve ser olhada como fonte de soluções baseada em: princípios sustentáveis de vida, integração entre os sistemas, otimização do todo, multifuncionalidade, minimização do uso de energia, reciclagem total (não acumula resíduos) (SOARES, 2008). Além do viés sustentável, há diversos estudos sobre o impacto do uso de métodos de projeto usando biônica sobre a inovação de novos produtos (FERNANDES, 2016; VICENT et al., 2006; GEBESHUBER et al., 2011, LNAU et al.; 2015; NAGEL, STONE; MCADAMS; 2010a; PARVAN, SCHWALMBERGER, LINDEMANN, 2011), alavancando

vantagem competitiva no mercado. Tais estudos serão melhor detalhados na sequência.

Figura 3.1 - Exemplos de aplicações da biônica em produtos: (a) Efeito Lótus, (b) Carro biônico inspirado no Peixe-Cofre.



(a) Efeito Lótus diz respeito à repelência muito elevada à água apresentada pelas folhas da flor de Lótus. Este efeito pode ser aplicado em revestimentos e tintas com características de auto-limpeza.

(b) Carro biônico da Mercedes Benz: ideia baseada no Peixe-Cofre para um carro aerodinâmico, seguro, confortável e ambientalmente compatível em termos de detalhes, como um conjunto formal e estrutural.

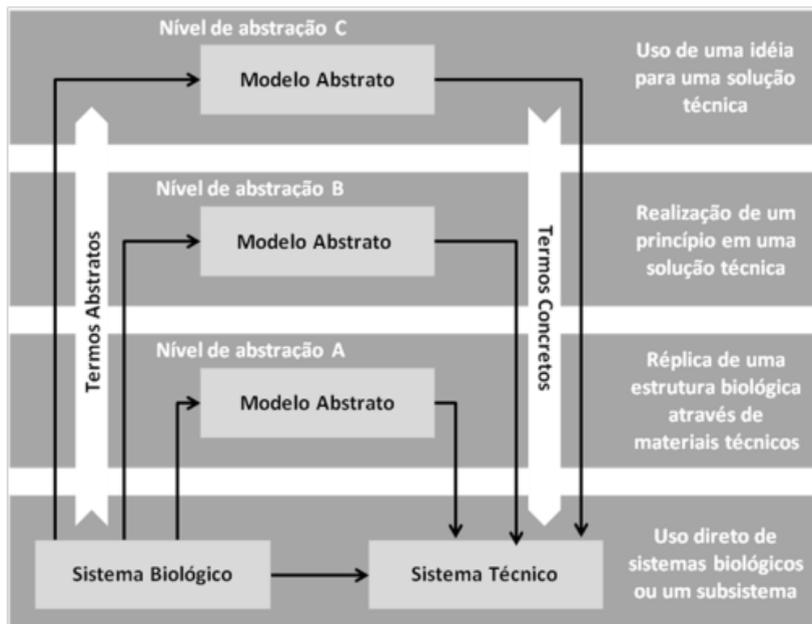
Fonte das imagens:

(a) <http://fotos.sapo.pt/nosautores/fotos/?uid=9AjaQCmaEyblBacZZ843>;

(b) <http://fotos.sapo.pt/nosautores/fotos/?uid=Ddtu4qOHlrUf2ampdaqT>; <https://www.mercedes-benz.com.br/institucional/mundo-mercedes-benz/carro-conceito-bionic-car>

O conteúdo da natureza pode ser considerado em diferentes níveis de abstração para auxiliar no desenvolvimento de novas soluções de sistemas técnicos. A Figura 3.2 apresenta quatro possibilidades de uso do conteúdo de sistemas biológicos: uso direto, réplica (nível de abstração A), princípios (nível de abstração B) e ideia (nível de abstração C). Por exemplo, o carro biônico (Figura 3.1b) é uma réplica do sistema biológico que o inspirou (nível de abstração A), simulando o formato aerodinâmico e a estrutura com materiais de engenharia e possuindo características de desempenho aerodinâmico semelhantes. A tinta com característica de autolimpeza (Figura 3.1a) é uma solução técnica baseado no princípio de hidro repelência da flor de lótus (nível de abstração B).

Figura 3.2 - Possibilidades de utilização dos sistemas biológicos no desenvolvimento de soluções de sistemas técnicos.



Fonte: Adaptado de Eversheim (2009)

Na busca por inspiração para melhoria e desenvolvimento de novos sistemas técnicos, Eversheim (2009) recomenda o conhecimento dos princípios de funcionamento biológico que regem o mundo natural (Quadro 3.1).

Quadro 3.1 - Princípios evolutivos dos sistemas biológicos.

| <b>Princípio</b>                    | <b>Descrição do princípio</b>   |
|-------------------------------------|---|
| Mínimo-máximo                       | A máxima performance e estabilidade da natureza é alcançada usando o mínimo de energia e material.  |
| Multifuncionalidade                 | É observado nos pés dos pássaros, que servem para agarrar, para transporte, para defesa, para a locomoção, e para construir o ninho. Assim, o material e/ou o esforço de fabricação podem ser reduzidos |
| Estrutura e especificação de função | Os elementos disponíveis são ligeiramente redesenhados para cumprir funções adicionais.   |

| <b>Princípio</b>                        | <b>Descrição do princípio</b>   |
|---|---|
| Uso da energia de terceiros e ambiental | Pássaros usam este princípio quando voam em formação em V, aproveitando assim o fluxo de ar dos pássaros na frente deles a fim de reduzir o seu consumo de energia. Além disso, as energias ambientais, tais como água, energia eólica e solar são usados de várias maneiras. |
| Dinâmica                                | Muitos sistemas biológicos podem adaptar-se dinamicamente em diferentes condições.  |
| Arranjo ótimo                           | Arranjo de áreas que são mais solicitadas a cumprir a função requerida.   |
| Proximidade do processo                 | A natureza vive de acordo com o princípio de reciclagem para otimizar o uso dos recursos disponíveis.   |
| Inter-relação função- estrutura         | A estrutura de um sistema biológico se adapta as circunstâncias naturais e as funções requeridas.   |

Fonte: Adaptado de Eversheim (2009)

Na sequência, alguns dos trabalhos desenvolvidos sobre processo e métodos de projeto biônico são apresentados para fundamentar a presente pesquisa.

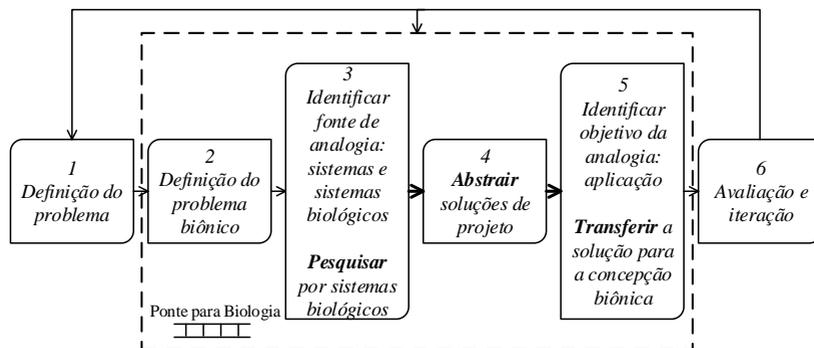
## 3.2 PROCESSO DE PROJETO BIOINSPIRADO

### 3.2.1 Abordagem direta

As analogias do projeto bioinspirado podem ser bidirecionais em relação a direção da transferência do conhecimento. Helms et al. (2009) propõe a existência de dois caminhos: o processo baseado no problema (*top-down*) e o processo baseado na solução (*bottom-up*) (apud COHEN; REICH, 2017).

O **processo baseado no problema** começa com o problema de projeto de engenharia e busca encontrar um problema similar resolvido na natureza (ponte para a Biologia), para que então o projetista possa identificar as características da solução biológica e trazê-las para o domínio da engenharia. A Figura 3.3 descreve as fases de projeto biônico **baseado no problema** para a biologia.

Figura 3.3 - Fases do processo de projeto biônico baseado no problema.



Fonte: Adaptado de Cohen e Reich (2017)

Segundo Cohen e Reich (2017), primeiro é preciso definir o problema (fase 1). A fase 2 consiste em traduzir o problema da linguagem de engenharia para biologia.

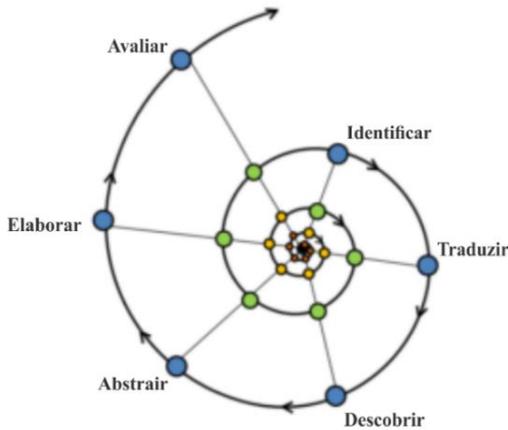
Após a definição do problema biônico, têm-se três fases principais: **Identificar** fonte de analogia – **pesquisar** o(s) sistema(s) biológicos (fase 3), **abstração** da solução biológica (fase 4), e **transferir** a solução para a aplicação (fase 5).

No final destas três fases principais, há uma fase de avaliação e iteração (fase 6). A caixa tracejada na Figura 3.3 inclui os estágios exclusivos para o projeto biônico. As setas em negrito entre a fonte (biologia) e o alvo (aplicação) representam a ponte de conexão entre esses dois domínios.

Outro processo baseado no problema é conhecido como **espiral biomimética**, mostrado na Figura 3.4, utilizado pelo *Biomimicry Institute* (2016). Este processo é composto por 6 atividades:

1. Identificar uma ou mais funções que o problema de projeto deve atender;
2. Traduzir as funções em termos biológicos;
3. Descobrir estratégias que a natureza usa para tais funções;
4. Abstrair estas estratégias para os termos técnicos;
5. Elaborar as soluções técnicas do projeto com base nas estratégias biológicas;
6. Avaliar o projeto quanto as regras da natureza para sustentabilidade.

Figura 3.4 - Espiral biomimética de projeção.



Fonte: Adaptado de *Biomimicry Institute* ® (2016)

Na outra abordagem do método direto, o **processo baseado na solução** começa pela análise de um fenômeno biológico de interesse (uma “solução” da biologia) e busca problemas de engenharia onde os princípios envolvidos podem ser soluções potenciais.

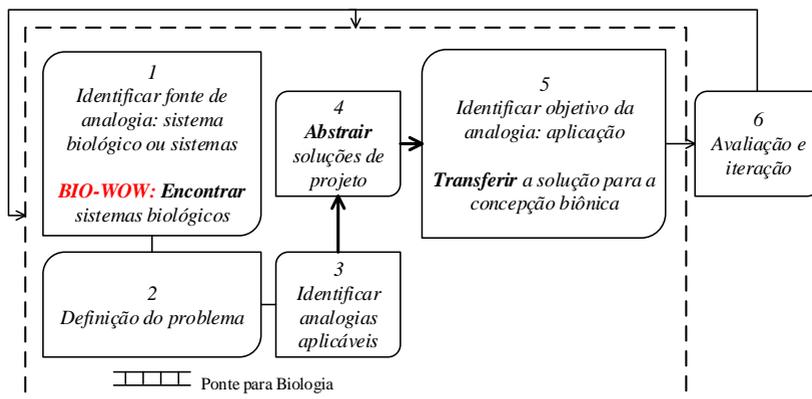
As fases de projeto biônico baseados em soluções da biologia estão descritos na Figura 3.5, conforme Cohen e Reich (2017). Primeiro, encontra-se um sistema biológico com uma característica ou mecanismo único (fase 1) identificado como uma fonte de analogia potencial para a inovação. Metaforicamente, os autores chamam este momento de “*Bio-WOW*” (fase 1), o estágio de contemplação e reflexão que desencadeia o processo de inovação biônico.

Após a fase “*Bio-WOW*”, define-se qual problema está realmente sendo resolvido neste sistema biológico (fase 2), para identificar desafios análogos em tecnologia e possíveis aplicações (fase 3). Em seguida, passa-se a construir a ponte para a aplicação pelo estágio de abstração (fase 4) que permite transferir soluções de projeto entre os domínios. Em seguida, é transferida a solução biológica para um conceito ou aplicação biônica sugerida (fase 5). Nesta fase, há uma compreensão mais profunda da solução biológica e capacidade de definir uma aplicação específica.

Finalmente, é feita a avaliação e iteração de cada um dos estágios anteriores, se necessário (fase 6). A caixa tracejada na Figura 3.5 inclui o núcleo e fases únicas para a concepção biônica; as setas em negrito

entre a fonte (biologia) e o alvo (aplicação) representam a ponte de conexão entre estes dois domínios.

Figura 3.5 - Fases do processo de projeto biônico baseado na solução.



Fonte: Adaptado de Cohen e Reich (2017)

### 3.2.2 Abordagem baseado em estudo de caso

A abordagem baseada em Estudo de Caso propõe que se projetistas veem exemplos suficientes de projetos bioinspirados, eles irão entender como usar a natureza efetivamente para inspirar projetos de engenharia e a reconhecer oportunidades para realizar projetos bioinspirados.

Essa abordagem foi ensinada e desenvolvida através de cursos em Desenvolvimento de Produtos inspirados biologicamente na Universidade de Maryland. Uma grande quantidade de casos de projetos e produtos bioinspirados foram coletados e apresentados em aulas. Através de esforço bem-sucedido pelas equipes de projeto dos estudantes, o curso teve como resultado o projeto de um robô móvel bioinspirado (GLIER et al., 2012).

Um esforço similar, realizado na Universidade Estadual de Montana, examinou muitos sistemas biológicos e aplicou o processo de engenharia reversa nesses sistemas para inspirar projetos de engenharia. (JENKINS, 2011 apud GLIER et al., 2012).

### 3.3 FERRAMENTAS PARA PROJETO BIOINSPIRADO

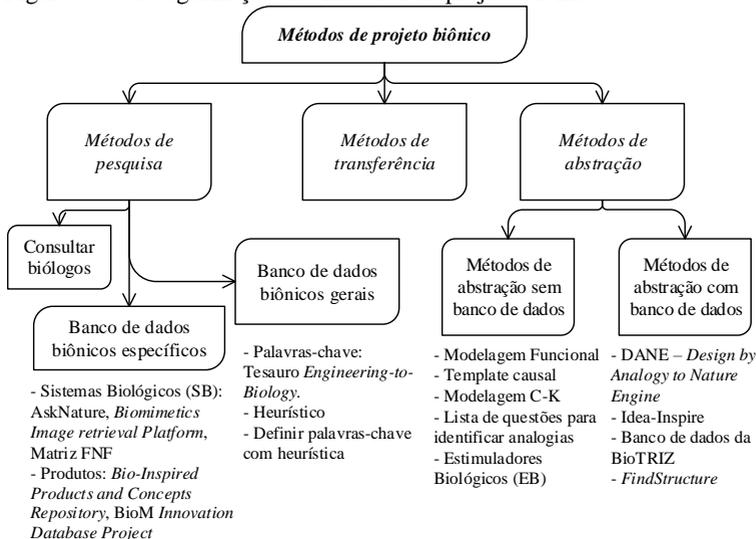
O projeto bioinspirado consiste no uso de elementos do mundo natural para inspirar soluções de engenharia. Esse uso possui alguns desafios, descritos por Cohen e Reich (2017):

- Como encontrar na natureza um sistema adequado para inspiração?
- Como modelar sistemas biológicos e analisá-los com analogias relevantes para a aplicação?
- O que e como transferir para o domínio da aplicação?

A Figura 3.6 mostra as categorias de métodos para tratar com essas questões, de acordo com Cohen e Reich (2017), a saber:

- Métodos de pesquisa: suporte a pesquisa de soluções biológicas por meio de consulta a especialistas, pesquisa em banco de dados gerais e específicos;
- Métodos de transferência: diretrizes para auxiliar projetistas durante o processo de transferência;
- Métodos de abstração: métodos e ferramentas para análise e representação de sistemas biológicos para suporte ao raciocínio criativo.

Figura 3.6 - Categorização dos métodos de projeto biônico.



Fonte: autora.

Entre os métodos de pesquisa e abstração incluem-se propostas como a BioTRIZ, modelagem funcional, estimuladores biológicos, o tesouro engenharia para biologia, banco de dados, que serão descritos na sequência

### 3.3.1 BioTRIZ

O método da BioTRIZ é baseado na Teoria da Solução Inventiva de Problemas (TRIZ) de Altshuller e foi desenvolvido por Vincent et al. (2006). A BioTRIZ faz uso da metodologia TRIZ para abstrair informações de sistemas naturais, fornecendo aos projetistas uma ferramenta para aplicação desse conhecimento ao projeto de engenharia. Evitando a necessidade de que projetistas possuam vasto conhecimento de sistemas biológicos. Assim como a TRIZ, a BioTRIZ condensa informações de projeto em uma matriz de contradições de parâmetros de engenharia e princípios inventivos, usados para resolver conflitos entre parâmetros do sistema.

O procedimento de aplicação da BioTRIZ em um problema de projeto é similar àquele usado para a TRIZ. Na Figura 3.7, evidencia-se o relacionamento entre as categorias substância, estrutura, espaço, tempo, energia e informação. O anexo A apresenta os 40 princípios inventivos da TRIZ.

Figura 3.7 - Matriz de relação entre campos organizacionais da biologia com os princípios inventivos da TRIZ.

| categorias | substância         | estrutura               | espaço        | tempo          | energia           | informação           |
|------------|--------------------|-------------------------|---------------|----------------|-------------------|----------------------|
| substância | 13 15 17 20 31 40  | 1-3 15 24 26            | 1 5 13 15 31  | 15 19 27 29 30 | 3 6 9 25 31 35    | 3 25 26              |
| estrutura  | 1 10 15 19         | 1 15 19 24 34           | 10            | 1 2 4          | 1 2 4             | 1 3 4 15 19 24 25 35 |
| espaço     | 3 14 15 25         | 2-5 10 15 19            | 4 5 36 14 17  | 1 19 29        | 1 3 4 15 19       | 3 15 21 24           |
| tempo      | 1 3 15 20 25 38    | 1-4 6 15 17 19          | 1-4 7 38      | 2 3 11 20 26   | 3 9 15 20 22 25   | 1-3 10 19 23         |
| energia    | 1 3 13 14 17 25 31 | 1 3 5 6 25 35 36 40     | 1 3 4 15 25   | 3 10 23 25 35  | 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 | 3 20 22 25 33 | 2 3 9 17 22    | 1 3 6 22 32       | 3 10 16 23 25        |

Princípio inventivo 38 – Uso de oxidantes fortes (i.e. substituir determinada substância por uma mais ativa/reactiva – ar por oxigênio puro)

Princípio inventivo 3 – Uso de qualidade localizada (i.e. diferentes partes de um sistema com diferentes funções e propriedades)

Fonte: adaptado de Vincent et al.. (2006) apud Fernandes (2016)

### 3.3.2 Ferramentas baseadas em Modelagem Funcional

A modelagem funcional permite aos projetistas examinar um sistema de forma abstrata, representando-o por suas funções.

Muitas pesquisas em aplicação de técnicas de modelagem funcional para projetos bioinspirados têm usado uma Base Funcional (HIRTZ et al., 2002a) ou as Funções Elementares de Koller (BACK et al., 2008), como no caso das pesquisas de Nagel, Stone e McAdams (2010a) e Melo (2015), respectivamente.

Melo (2015), por exemplo, usou as Funções Elementares de Koller como mecanismo de pesquisa em seu banco de dados para auxiliar os projetistas a se inspirarem na natureza durante a concepção da forma de um produto, na transição entre o projeto conceitual e o projeto preliminar. Para isso, propôs uma sistemática em auxílio ao projeto biomimético, cujas atividades são constituídas de diretrizes, métodos e um banco de dados formado por uma matriz de forma e função (Figura 3.8), intitulada FNF (Forma, Natureza, Função) e fichas com conteúdo da natureza.

Seu estudo concluiu que novas formas criativas e eficazes de produtos são obtidas com a utilização da sistemática proposta. Entretanto, seu trabalho trata somente de analogias para a geração de forma do produto para as funções parciais e elementares, na transição do projeto conceitual para o projeto preliminar, na configuração do leiaute do produto, não sendo aplicado a fase de Planejamento do Produto.

Figura 3.8 - Parte da matriz forma-natureza-função.

| COMO ENCONTRAR A FUNÇÃO QUE VOCÊ PROCURA?<br>1º - Procure na coluna denominada função ou<br>2º - Pressione "CTRL + L", no campo "Localizar", digite a função que deseja encontrar, e, em seguida aperte o botão "localizar próximo" para verificar todos os focos da palavra desejada. |   | MATRIZ FNF (FORMA, NATUREZA, FUNÇÃO)   |
|--|---|--|
| FUNÇÃO   | FORMA   | Significado da Função<br>(Informações coletadas do dicionário Michaelis online - 2015)   |
| 1 Agrupar  |  1.1 1.2 | vt e vpr Associar(-se), juntar(-se) ou reunir(-se) em grupo.   |
| 2 Acumular   |  2.1     | vt 1 Amontoar, pôr em cúmulo ou montão. vt 2 Exercer simultaneamente (vários empregos). vt 3 Armazenar (energia elétrica). vt e vt 4 Concentrar numa só pessoa. vt 5 Amontoar riqueza. Vpr 6 amontoar-se, sublevar-se, suceder-se com frequência. vpr 7 Abarrotar-se, encher-se. |
| 3 Ampliar  |  3.1 3.2 | vt e vpr 1 Tornar(-se) amplo ou maior. vt 2 Alargar, aumentar (em área), dilatar. vt 3 Tornar extensivo a maior número de pessoas ou coisas. vt 4 Reproduzir em formato maior. vt 5 Ter o poder de fazer os objetos parecerem maiores do que são. vt 6 Exagerar.                 |
| 4 Emitir   | 4.1   | —  |

Fonte: Melo (2015).

### 3.3.3 Estimuladores biológicos

Os Estimuladores Biológicos (EB) são cartões com conteúdo organizado da natureza, sendo uma ferramenta de estímulo criativo, por analogias, para ser usado junto ao *brainstorming* ou *brainwriting*, em processos de ideação (FERNANDES, 2016). Foram desenvolvidos a partir de excertos de informações biológicas coletadas em livros, tratadas e categorizadas segundo seus atributos, e então agrupadas em cartões. Esses cartões (Figura 3.9) tem a função de reduzir o esforço cognitivo ao favorecer uso de princípios e conceitos biológicos abstratos ao invés de informações biológicas em linguagem natural. EBs são definidos como:

“conceitos biológicos abrangentes apresentados na forma de cartões, que apresentam como conteúdos informações biológicas generalizadas na forma de princípios, além de ilustrações de SBs representativos do conceito e de princípios, como forma de exemplificar e facilitar seu entendimento, visando facilitar a aplicação de informações biológicas durante o processo criativo de ideação de novos produtos.” (p. 79, FERNANDES, 2016)

Nove cartões de estimuladores biológicos foram gerados e propostos após o agrupamento de relações principais dos atributos dos excertos de informações biológicas. São eles: especialização, membranas, estágios, controle, fluidos, padrões, adaptabilidade, tempo e ramificação.

O mesmo autor propõe uma metodologia de planejamento de novos produtos para a aplicação dos estimuladores biológicos, visando potencializar seus benefícios no processo de ideação. Esta metodologia é composta por cinco atividades: formular a oportunidade de ideação, modelar funcionalmente a oportunidade, priorizar os estimuladores biológicos, propor ideias de novos produtos orientadas pelos estimuladores biológicos e mapear as ideias de novos produtos.

Figura 3.9 - Cartão do estimulador biológico Tempo.



### Tempo

Sistemas biológicos são temporários, com vida útil de apenas algumas horas a décadas. Processos bioquímicos, funções e ritmos biológicos também variam com o tempo.

A metamorfose é uma alteração morfológica que ocorre durante a vida de alguns animais



Ritmo circadiano



A fotossíntese dependem do ritmo circadiano, já o florescimento de algumas plantas depende da duração da luminosidade






### Tempo

- **Controlar tempo**
  - mudanças estruturais
    - abrir / fechar
    - síntese / degradação
    - ação / inatividade
    - contração / relaxamento
  - reações químicas
    - equilíbrio dinâmico
    - velocidade - catalizadores
  - ritmicidade
    - ciclos
    - frequência
    - luminosidade (noite / dia)
  - sazonalidade
    - estações do ano
    - temperatura

- **Utilizar sincronização**
  - processos sincronizados
  - estágios
- **Ser temporal**
  - vida útil
- **Ser simultâneo**
  - processos simultâneos

Fonte: Fernandes (2016)

Os resultados dessa metodologia mostraram que a utilização dos EBs durante o brainwriting, comparativamente ao brainstorming tradicional, favorece a obtenção de um maior número de ideias para as métricas de avaliação utilizadas. Isto é observado pelo fato de a metodologia focar a atenção dos usuários em cada uma das funções da modelagem funcional (i.e. função básica ou funções parciais a serem satisfeitas pelas ideias de novo produto). O trabalho de Fernandes (2016) ainda mostrou que comparando o brainwriting estimulado pelos EBs e o brainwriting sem estímulos, foi possível evidenciar que os EBs

favorecem a proposição de um número significativamente maior de ideias novas e que há uma tendência no auxílio à proposição de um maior número de ideias úteis, contribuindo para a novidade e utilidade das ideias.

Uma das limitações observadas nos EBs é que eles não trazem exemplos específicos, e isso exige um grau elevado de abstração, que pode ser indesejado por equipes de projeto pois aumenta a complexidade de aplicação dos estimuladores.

### 3.3.4 Tesouro de engenharia para biologia

O tesouro Engenharia para Biologia identifica correspondentes biológicos em termos de uma Base Funcional. O tesouro desenvolvido por Nagel, Stone e McAdams (2010b) permite que os projetistas usem ferramentas de busca convencionais para encontrar sistemas biológicos para estímulos de projeto com base em sua função. A estrutura simples do tesouro promove diversos usos para atividades de engenharia, tais como:

- Promoção da transferência de conhecimento do domínio biológico para o de engenharia;
- Mapeamento da terminologia biológica para a função de engenharia e terminologia de fluxo;
- Facilitação da informação biológica nos projetos de engenharia sem ter vasta experiência em conhecimentos biológicos;
- Promoção da criatividade na concepção de engenharia;
- Assistência durante uma pesquisa de inspiração.

A estrutura do tesouro é mostrada no Quadro 3.2 onde conceitos relacionados à base funcional são agrupados em níveis (NAGEL; STONE, 2012). Inclui verbos e substantivos que são sinônimo de termos da base funcional para a pesquisa de conteúdo biológicos.

Quadro 3.2 - Exemplo da relação de terminologia de fluxo e funções do tesouro engenharia para biologia

| <b>Termos da Base Funcional</b> |                   |                  |  |
|---------------------------------|-------------------|------------------|--|
| <i>Classe</i>                   | <i>Secundária</i> | <i>Terciária</i> | <i>Correspondentes Biológicas</i>              |
| Material                        | Líquido           |                  | Ácido, auxina, citoquinina, glicerol, piruvato |

| Termos da Base Funcional |            |                  |   |
|--------------------------|------------|------------------|---|
| Classe                   | Secundária | Terciária        | Correspondentes Biológicas                      |
| Energia                  | Sólido     | Objeto           | Cílios, rim, melatonina, nefrona, xilema        |
|                          |            | Compósito        | Enzima, nucleotídeo, procariótico, simplasto    |
|                          | Mistura    | Sólido - líquido | Célula, lipídio, fitocromo, pigmento, plastídio |
|                          | Química    |                  | Glicose, glicogênio, mitocôndria, açúcar        |
| Ramificar                | Separar    | Dividir          | Aneuploidia, branqueamento, diálise, meiose     |
|                          |            |                  | Anáfase, clivagem, citocinese, metáfase         |
| Conectar                 | Acoplar    |                  | Ligar, construir, unir, fosforilar              |
| Controlar magnitude      | Regular    |                  | Confinar, eletroforese, respirar                |

Fonte: Adaptado de Nagel e Stone (2012)

### 3.3.5 Banco de dados especializado para projeto bioinspirado

Existem dois tipos de banco de dados para bioinspiração: (i) banco de dados de sistemas biológicos, classificados de acordo com os termos de engenharia e (ii) bancos de dados de produtos bioinspirados (COHEN; REICH; 2017). Os principais bancos de dados presentes na literatura são:

- *AskNature*<sup>3</sup> é um projeto do Biomimicry Institute 3.8, sendo um banco de dados público que classifica dados biológicos por funções. O banco de dados inclui cerca de 2000 sistemas biológicos. Cada registro inclui uma breve descrição do mecanismo biológico, estratégias da natureza, referências, imagens, ideias inspiradas. A pesquisa pode ser feita por funções ou pelo nome do organismo. A Figura 3.10 mostra o resultado da pesquisa para a função *absorb* no correspondente banco de dados. Vandevenne, Pieters e Dufloy (2016) avaliaram a contribuição dos estímulos do *AskNature* na geração de soluções de projeto, encontrando aumento significativo na novidade das soluções geradas;

<sup>3</sup> Mais informações em: <https://asknature.org/>

Figura 3.10 - Resultado para a pesquisa para a função *absorb* (absorver) no banco de dados *AskNature*.

- 280 estratégias biológicas; 16 ideias inspiradas; 1 coletânea publicada para o verbo absorb .

Fonte: <https://asknature.org/strategy/hairs-absorb-ultraviolet-radiation/> Acesso em 18/01/2017

- *Biomimetics Image retrieval Platform*, de Haseyama, Ogawa e Yagi (2013), é uma base de dados biológica que contém um grande número de imagens. Em vez de pesquisar textos por palavras-chave, pode-se pesquisar usando os próprios dados da imagem (apud COHEN; REICH; 2017).

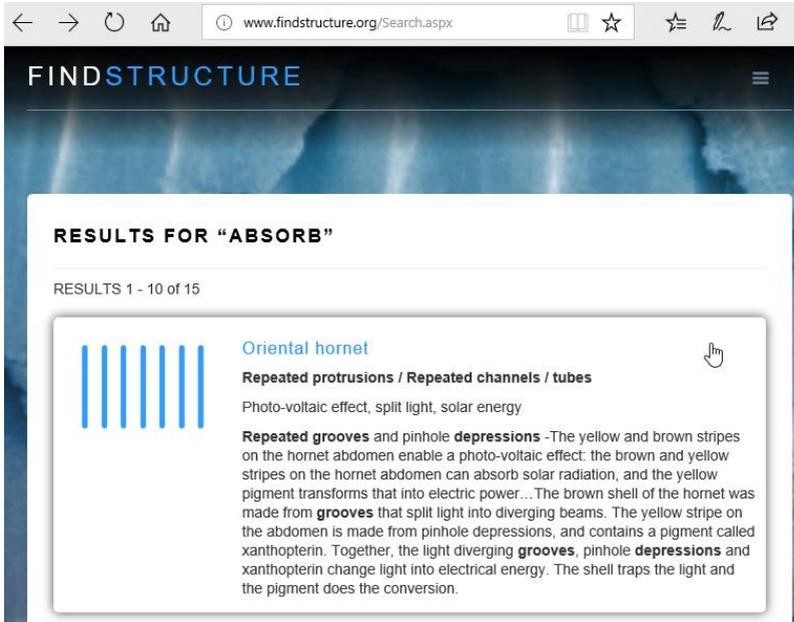
- O *BioM Innovation Database*, de Jacobs, Nichol e Helms (2014) é um banco de dados detalhado de casos de projeto biomimético que visa apoiar a investigação sobre o projeto biomimético, mas também pode ser uma fonte para localizar desenvolvimentos bioinspirados.

- *FindStructure*<sup>4</sup> de Cohen e Reich (2017) é um banco de dados disponível *online* que dá suporte ao projeto biomimético geral e estrutural em particular, sendo uma fonte de mecanismos biológicos funcionais que podem inspirar e facilitar projetistas, engenheiros,

<sup>4</sup> Disponível em <http://www.findstructure.org/Default.aspx>

arquitetos ou biólogos que pesquisam por inovações técnicas usando analogia com a natureza. O banco de dados contém soluções biológicas funcionais analisadas por estruturas da natureza, que podem ser pesquisadas por estrutura, funções (Figura 3.11 pesquisa por *absorb*) e organismos.

Figura 3.11 - Resultado da pesquisa para função *absorb* (absorver) no banco de dados *FindStructure*



Fonte: <http://www.findstructure.org/Search.aspx>. Acesso em 18/01/2017

- DANE 2.0<sup>5</sup>, de *Design by Analogy to Nature Engine*, foi desenvolvido na Universidade da Geórgia por Dr. Ashok Goel em 2011 como uma ferramenta para facilitar a pesquisa e resolver desafios do projeto bioinspirador (GOEL, 2011). Considera os maiores desafios do projeto biônico: a pesquisa por sistema biológicos relevantes no contexto de projeto e o entendimento destes sistemas para extração e transferência apropriada dos princípios de solução. A representação de sua estrutura é baseada na ontologia Estrutura-Comportamento-Função (*Structure-Behavior-Function ontology*, do *Design Intelligence Lab*), que pode ser usada para representar explicitamente sistemas biológicos

<sup>5</sup> Disponível em <http://dilab.cc.gatech.edu/dane/>

no DANE em um formato legível por seres humanos e máquinas, também fazendo uso de modelos de explicação causal devido a evidências de facilitar o aprendizado profundo dos princípios de funcionamento do sistema biológico.

- **IDEA-INSPIRE**, desenvolvido por Chakrabarti et al. (2005) fornece modelos qualitativos de sistemas biológicos e de engenharia em formatos multimídia e genérico. Multimídia na forma de textos, fotos, gráficos, esquemas, etc.; e em modelos genéricos que representam a causalidade dos sistemas naturais e artificiais e, por isso, permitem aos usuários pesquisar os sistemas por sua função. A ferramenta apresenta aproximadamente 100 descrições das estruturas, comportamentos e funções de outros projetos de engenharia e biônicos usados anteriormente. O objetivo do software é inspirar ideias baseadas principalmente nos aspectos comportamentais dos fenômenos naturais. Chakrabarti et al. (2005) avaliaram a utilidade do software para inspirar soluções criativas por meio de uma experiência preliminar, onde três engenheiros projetistas resolveram individualmente dois problemas: com e sem o software "Idea-Inspire". Eles descobriram que, com o auxílio do software, os três projetistas elaboraram mais ideias para resolver cada problema, e embora este fato não seja estatisticamente conclusivo para os autores, ele pôde indicar o potencial do software para promover soluções criativas.

### 3.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A biônica facilita a aplicação de conhecimentos da natureza em problemas de engenharia, visando a inovação tecnológica de produtos e processos. Essa aplicação é realizada pelos métodos revisados neste capítulo: direto; baseado em estudo de caso; bancos de dados; ferramentas com modelagem funcional; BIOTRIZ; estimuladores biológicos.

Analisando o método direto baseado no problema, evidencia-se que a projeção bioinspirada começa com a análise do problema. Esta análise pode resultar em funções que o descreve em um conjunto de requisitos, ou em sequência. O objetivo é procurar como a natureza solucionaria tal problema. Os meios de encontrar a solução na natureza variam desde analisar funcionalmente sistemas biológicos (que se mostra promissor), consultar biólogos, até consultar bancos de dados para projetos biônicos. As limitações dessas ferramentas são relativas à generalização e à escassez das informações dedicadas necessárias à projeção. A generalização é caracterizada pela ausência de orientações

para a possibilidade de construção e replicação da ferramenta; e ao conteúdo genérico.

Diante destas limitações, observa-se a oportunidade de proposição de uma nova ferramenta para o uso da biônica, cujos requisitos são:

- tornar a ferramenta possível de ser dedicada a uma área de aplicação (por exemplo estruturas e materiais), com uso de exemplos de utilização;
- ser passível de replicação;
- ser de fácil uso;
- usar analogias por funções, considerada promissora na literatura.

Com base nesses requisitos, a ferramenta chamada Bioinspiradores foi elaborada de modo sistematizado e é apresentada no capítulo 4 que segue.

## **4 BIOINSPIRADORES PARA O PLANEJAMENTO DE PRODUTOS**

Neste capítulo são apresentados o processo de desenvolvimento de Bioinspiradores (Bioins), sua definição, seu processo de obtenção e a implementação da ferramenta em sua versão web.

Bioins são cartões com conceitos e princípios de funcionamento de organismos e mecanismos biológicos destinados ao uso em sessões de ideação. O objetivo da ferramenta é estimular a criatividade, gerando ideias com maior novidade e utilidade no nível de planejamento de produto ou no projeto conceitual.

### **4.1 A DEFINIÇÃO DE BIOINSPIRADORES**

Bioinspiradores (Bioins) é uma ferramenta de auxílio a criatividade em formato de cartões para atividades de geração de ideias novas com maior utilidade, novidade e, conseqüentemente, potencial de inovação no desenvolvimento do produto.

Estes cartões possuem figuras de organismos biológicos, seus mecanismos, esquemas abstratos de funcionamento e informações sobre as características dos mecanismos, com explicação objetiva de suas formas e funções a fim de estimular analogia com a natureza. O uso de imagens (SARKAR; CHAKRABARTI, 2008) e conteúdo focado em funções (NAGEL; STONE; MCADAMS, 2010a) possui efeitos positivos na criatividade, como visto nos capítulos 2 e 3.

Na ferramenta Bioins, os organismos são definidos como um ser pertencente a um dos reinos dos seres vivos ou a um objeto da natureza, como por exemplo o gato, a palmeira e a rocha basáltica. Os mecanismos são partes do corpo, órgãos, características de comportamento pertencentes a um organismo. Estes conceitos são usados para que o nível de informação nos cartões Bioins seja de fácil entendimento aos projetistas, sem generalização do conteúdo, e especializado de acordo com a funcionalidade considerada.

O primeiro estudo com o conceito dos cartões bioinspiradores é apresentado no Apêndice A, mostrando que o conteúdo de organismos e mecanismos explicados de modo funcional auxiliou na inovação das ideias geradas. Visando à utilização e facilidade de seleção dos Bioins junto ao planejamento de produtos, uma melhor organização dos conteúdos dos cartões se mostra necessária, uma vez que os cartões preliminares (apêndice C2) não apresentaram suas informações

organizadas de modo a ser fácil a seleção por função. Este novo arranjo facilita também a automatização da seleção dos cartões.

Neste arranjo surge: o espaço para um texto introdutório sobre o organismo junto de sua imagem; uma área para as funções que o organismo e seus mecanismos executam; imagens junto às informações dos mecanismos; uma área com exemplo de aplicação e de área tecnológica.

Dessa forma, um leiaute genérico para os Bioins é criado contemplando uma organização por campos, conforme mostrado na Figura 4.1. Os bioinspiradores possuem um *campo organismo* onde é visível o nome do organismo e sua imagem e as funções que este organismo possui. O *campo funções* possui as funções do organismo descritas, que são utilizadas para selecionar qual cartão usar para determinado problema de ideação.

Figura 4.1 - Leiaute do cartão bioinspirador



Fonte: autor

Os mecanismos de interesse do organismo são destacados abaixo da imagem principal no *campo mecanismo*. Nas descrições do mecanismo são priorizadas as informações quanto a funcionalidade, na forma verbo e substantivo. Alguns dos mecanismos destacados são esquematizados, abstraindo seu princípio de funcionamento para o domínio de engenharia, como no caso da analogia dos tendões do canguru com o sistema massa-mola (Apêndice A, Figura A.2).

Abaixo do campo mecanismo apresenta-se o *campo exemplos*, com a indicação de áreas tecnológicas e exemplos de produtos bioinspirados, que usando os resultados do método baseado em estudo de caso, é importante no entendimento de como fazer a aplicação do conteúdo biológico no projeto biônico.

O Apêndice A apresenta o estudo inicial, com a primeira proposta de bioinspiradores e o experimento 1 de estudo de avaliação sobre o seu efeito nas métricas de quantidade, utilidade e novidade das ideias.

## 4.2 SISTEMÁTICA PARA ELABORAÇÃO DE BIOINSPIRADORES

Uma sistemática detalhada para elaborar os bioinspiradores é apresentada nessa seção, cuja abordagem inicial é mostrada no Apêndice A. Apresenta-se inicialmente uma visão geral da sistemática, com a descrição de cada atividade e na sequência, a descrição do experimento para avaliação dos bioinspiradores gerados com o uso da correspondente sistemática. Trata-se, portanto de expansão e melhoramento da sistemática inicialmente proposta, conforme o Apêndice A.

### 4.2.1 Sistemática de elaboração de Bioinspiradores

O objetivo da sistemática é fornecer informações rápidas, claras, concisas e consistentes, em forma de cartão bioinspirador, para estímulo a criatividade na ideação de produtos.

A visão geral da sistemática proposta está na Figura 4.2, que possui 4 atividades, sendo a atividade 1 com o objetivo de organizar o problema para a elaboração do cartão ao selecionar a função principal do bioinspirador. Inicia a elaboração em um nível abstrato de informação, seguindo em direção a um nível concreto de conhecimento na natureza.

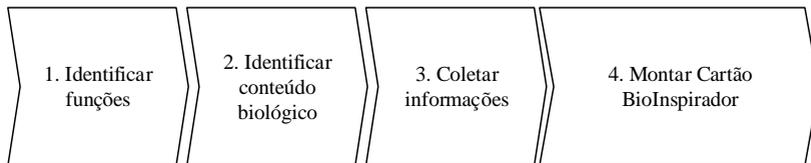
A atividade 2 faz a identificação da função na natureza, selecionando o organismo biológico para o correspondente cartão.

A atividade 3 traz a coleta de características do organismo e seus princípios de funcionamento e organiza estas informações por meio de diretrizes.

A atividade 4 é dividida em 3 tarefas e direciona a montagem do cartão através de um modelo com campos a serem preenchidos usando as saídas das atividades anteriores.

Com os cartões elaborados apresenta-se ao final diretrizes para o planejamento do teste de um ou mais cartões bioinspiradores.

Figura 4.2 - Sistematização da elaboração de bioinspiradores



Fonte: autora

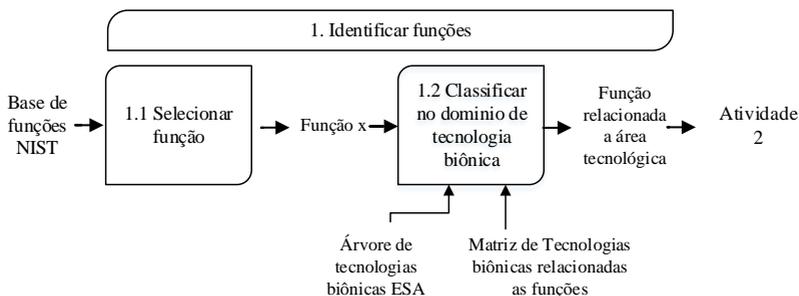
A seguir, cada atividade é detalhada em suas tarefas e ferramentas para orientar o desenvolvimento de Bioins.

#### 4.2.1.1 Atividade 1 – Identificar funções

A atividade de identificar funções é dividida em duas tarefas: organizar o problema ao selecionar uma função na base de funções e; classificá-la no domínio de tecnologias biônicas no nível abstrato de conhecimento.

Estas tarefas garantem consistência no nível de informações da atividade por utilizar ferramentas conhecidas como a base de funções e as áreas de tecnologias biônicas.

Figura 4.3 - Tarefas da Atividade 1



Fonte: autora.

A entrada da primeira tarefa é a base de funções (anexo B) do *National Institute of Standards and Technology* (NIST) para projetos de

engenharia (HIRTZ et al., 2002a; 2002b). O Quadro 4.1 mostra parte da base de funções, de onde a função carregar (coluna de funções correspondentes) é escolhida para ilustrar parcialmente a elaboração de um bioinspirador, com a apresentação da sistemática.

Deste modo, a utilização da base de funções (anexo B) para a escolha da função principal para o bioinspirador auxilia a pesquisa do cartão no momento da sessão de ideação. Facilita-se também o modo de pesquisa e a verificação de sinônimos para os verbos que expressam as funções do problema de desenvolvimento de produtos.

A divisão das classes de verbos de primária, secundária terciária e correspondentes é deixar mais individuais as funções, de acordo com seus sinônimos. Dificilmente serão utilizados os verbos primários por serem mais abrangentes que as demais classes. Assim, o verbo de ação escolhido deve ser o mais específico possível, sendo então elaborados bioinspiradores para a classe correspondentes de verbos.

Segundo Pahl et al. (2007), conceitualizar, definir ou compreender um artefato, produto ou sistema, em termos de função, é um aspecto fundamental do projeto de engenharia. Daí a importância de um banco de dados para restringir as funções usadas para a elaboração dos bioinspiradores.

Quadro 4.1 - Base de funções para projetos de engenharia: funções relacionadas com a classe primária canalizar.

| <i>Classe<br/>(Primária)</i> | <i>Secundária</i> | <i>Terciária</i> | <i>Correspondentes</i>   |  |
|------------------------------|-------------------|------------------|--|--|
| <b>Canalizar</b>             | Importar          |                  | Admitir, permitir, introduzir, captar                          |  |
|                              | Exportar          |                  | Dispor, ejetar, emitir, esvaziar, remover, danificar, eliminar |  |
|                              | Transferir        |                  |  | Levar, entregar  |
|                              |                   |                  | Transportar  | Avançar, elevar, mover   |
|                              |                   |                  | Transmitir   | Conduzir, <b>CARREGAR</b>                                      |
|                              | Guiar             |                  |  | Direcionar, mudar, conduzir, endireitar, trocar, subir, descer |
|                              |                   |                  | Transladar   | Mover, realocar,   |
|                              |                   |                  | Rotacionar   | Girar, rodar   |
|                              |                   |                  | Permitir Graus de liberdade                                    | Restringir, desprender, soltar                                 |

Fonte: Adaptado de Hirtz et al. (2002a)

Para a tarefa de classificação (1.2) é utilizada a árvore de tecnologias biônicas da *European Space Agency* (ESA) (AYRE et al., 2003; 2004), disponível no Anexo C. Esta fornece uma pesquisa abrangente sobre o campo da biomimética, onde a tecnologia de engenharia é biologicamente inspirada. A árvore de tecnologias biônicas possui as seguintes áreas tecnológicas: estruturas, materiais, mecânica, processos, comportamento, controle, sensores, comunicação.

A classificação da função com as áreas tecnológicas é feita com uma matriz de relação par a par, mostrada no Quadro 4.2, onde a função *carregar*, por exemplo, fica na linha e as áreas de tecnologias ficam nas colunas.

Esta classificação da função com a área tecnológica serve para a concentração de esforços em procurar o organismo biológico, auxiliando se é preciso um organismo com características da área estrutural, materiais ou processos, por exemplo.

Quadro 4.2 - Matriz de relação de tecnologias biônicas e das funções

|                 | TECNOLOGIAS |           |          |           |               |          |          |             |
|-----------------|-------------|-----------|----------|-----------|---------------|----------|----------|-------------|
|                 | Estruturas  | Materiais | Mecânica | Processos | Comportamento | Controle | Sensores | Comunicação |
| <i>Carregar</i> | X           | X         | X        |           |               |          |          |             |
| Função Y        |             |           |          |           |               |          |          |             |
| .....           |             |           |          |           |               |          |          |             |

Fonte: autor.

Por exemplo, no Quadro 4.2, a função *carregar* – sob o raciocínio “algo que carrega algo deve suportar esforços através de *estruturas*, *materiais* e *mecanismos* de transformação de energia durante um movimento” –, está relacionada com área de estrutura, materiais e mecânica.

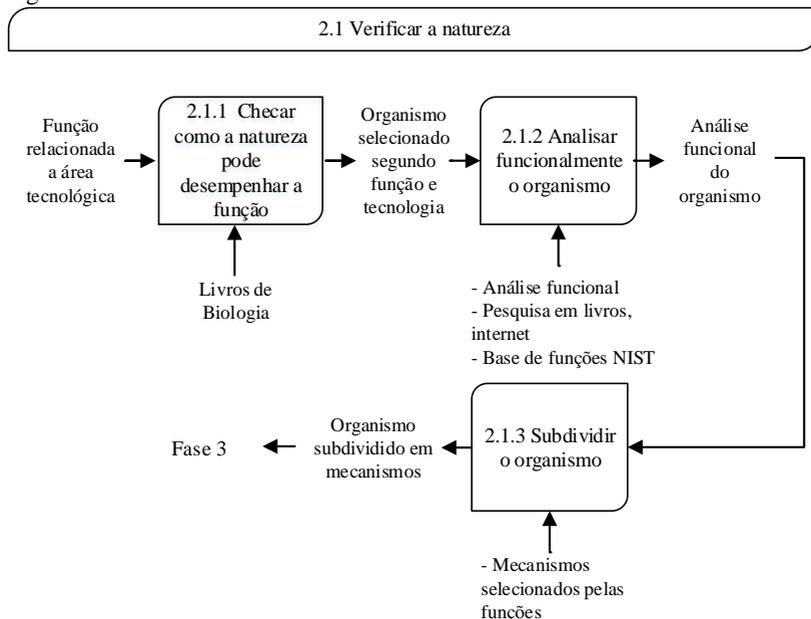
Este trabalho é feito pelo facilitador do processo de elaboração dos bioins junto as definições do anexo C, para que auxiliem a categorizar as funções com relação as áreas tecnológicas.

#### 4.2.1.2 Atividade 2 – Identificar conteúdo biológico

A segunda atividade (Figura 4.4) identifica o conteúdo da natureza, selecionando o organismo que atende aquela função, analisando-o funcionalmente e dividindo-o.

Esta atividade é dividida em 3 tarefas: descobrir como a natureza desempenha a função em um organismo (tarefa 2.1), analisar funcionalmente o organismo (tarefa 2.2) e fazer a subdivisão do organismo em mecanismos com suas funções descritas (tarefa 2.3). Assim, deixa-se o nível abstrato de conhecimento (i.e. funções) em direção a um nível concreto (i.e. um organismo como um animal ou planta) a fim de obter informação rápida e clara no cartão final.

Figura 4.4 - Tarefas na atividade 2



Fonte: autora.

Para a checagem da natureza, tarefa 2.1, são indicados os requisitos de verificação em pesquisa em livros de ensino médio, de acordo com a área tecnológica da função de entrada. Por exemplo, sendo a entrada a função *carregar* relacionada as áreas mecânica, estruturas e

materiais, nesta atividade se faz a escolha do organismo *canguru* devido este animal carregar seu filhote em uma bolsa.

Na tarefa 2.2 são aplicadas técnicas de análise funcional para fazer um desdobramento abstrato de funções que o organismo possui. Pode ser usado a técnica FAST (Anexo D) para a análise funcional, por auxiliar no pensamento objetivo e na decomposição do escopo de um problema.

A decomposição de uma função particular de um sistema em subfunções melhora a compreensão das interações entre as funções fazendo a descrição do sistema segundo o comportamento e os fluxos de energia, material e sinal. A decomposição funcional, tanto do problema de projeto quanto do sistema biológico relacionado, apoia a identificação do nível adequado para a analogia durante a ideação (COHEN, REICH; 2017), por ser a descrição de qualquer sistema no nível mais abstrato.

Faz-se o uso das funções da base funcional para uma descrição abstrata do organismo, auxiliando assim em um futuro banco de dados que relaciona os organismos e a funções. Por exemplo, o organismo *canguru*, além da função *carregar*, também executa as funções de *abrigar* o filhote, *impulsionar* e *amortecer* durante seus saltos.

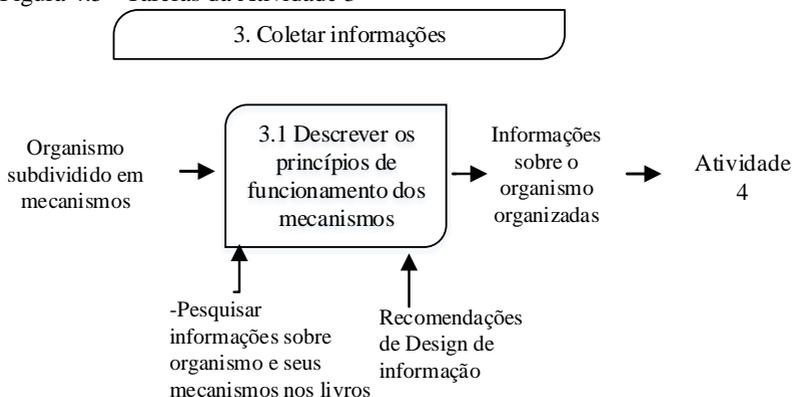
Após a análise funcional, é feita a identificação dos princípios de solução que executam cada uma das funções da tarefa 2.2. Assim, é feita a tarefa 2.3, de subdivisão do organismo em mecanismos. Seguindo o exemplo do canguru, as **funções *abrigar* e *carregar*** são executadas pela *bolsa marsupial*, considerada então um mecanismo. As *patas* e os *tendões* tem a função de ***impulsionar*** e ***amortecer*** durante saltos, e a *cauda* de ***equilibrar*** o animal.

#### 4.2.1.3 Atividade 3 – Coletar informações

A seleção das informações sobre os princípios de funcionamento dos organismos, (Figura 4.5), serve para um melhor entendimento e consistência sobre os mecanismos biológicos presentes.

Este entendimento é importante para a abstração do princípio para uma representação em esquemas. As informações devem ser escritas de maneira objetiva e sucinta, detalhando as funções, na forma de verbo e substantivo, detendo atenção aos aspectos da funcionalidade do sistema, como a fonte de energia ou efeitos físicos que estão sendo usados. Para esta obtenção usa-se livros de biologia de nível médio, sites de informações de biologia, *AskNature*.

Figura 4.5 - Tarefas da Atividade 3



Fonte: autora.

Na Figura 4.5 é destacado que a entrada da tarefa é a subdivisão do organismo em mecanismos. Os recursos da tarefa são relacionados com a pesquisa e coleta das informações sobre os princípios de funcionamento dos mecanismos, e escrevê-los segundo recomendações de design da informação.

As recomendações de design da informação para a transmissão da informação, segundo Redig (2004), devem ser bem claras em três pontos principais: o destinatário, a forma e o tempo da mensagem. Na construção dos cartões bioinspiradores, atenta-se para os dois primeiros pontos: receptor e a forma. Assim, a mensagem deve ser focada:

- No receptor, neste caso, os projetistas;
- Em analogias, pois é essencial que a informação tratada estabeleça analogia com seu conteúdo, visando rapidez e clareza na leitura;
- Em possuir clareza, atributo intrínseco da comunicação;
- Em possuir concisão, é importante que a mensagem seja absolutamente concisa, sem signos ou palavras supérfluas;
- Em possuir ênfase nas partes mais importantes ou mais graves da mensagem, através da acentuação gráfica dos elementos de informação;
- Em ter consistência onde cada signo, dentro de seu contexto, corresponde sempre a um mesmo significado, e vice-versa.

O resultado desta atividade será usado diretamente pelo projetista, que precisa obter uma compreensão suficiente dos fenômenos

biológicos que lhe permitem refinar e extrair princípios de solução no contexto do raciocínio analógico.

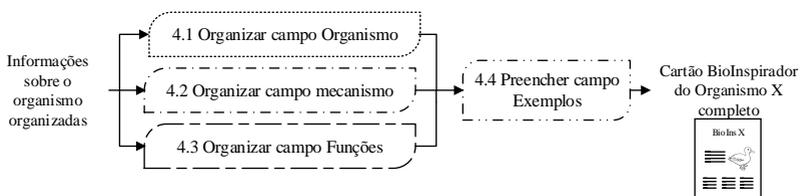
Por exemplo, ao ser feita a análise do *mecanismo bolsa marsupial* do organismo *canguru*, identifica-se o princípio de funcionamento de um recipiente de características elásticas e resistentes para conter e proteger o filhote desde o nascimento até seu primeiro ano de desenvolvimento, além de também executar as funções de carregar e abrigar. O mecanismo do *tendão* do canguru é analisado como sendo forte e elástico para armazenar, recuperar, liberar energia durante o salto para impulsionar e amortecer o animal, tal qual o sistema massa-mola (princípio de funcionamento do mecanismo).

Estas informações podem ser armazenadas, para abastecer um banco de dados com as informações dos mecanismos e organismo, descritos por suas funções e princípios. Assim, tem-se a entrada para a atividade a seguir.

#### 4.2.1.4 Atividade 4 – Montar cartão Bioinspirador

A quarta atividade da sistemática traz tarefas para o processo de montagem do cartão bioinspirador, na Figura 4.6. Aqui, o objetivo é que as informações coletadas nas atividades anteriores sejam organizadas para compor os campos organismo, mecanismo, funções e exemplos do cartão proposto.

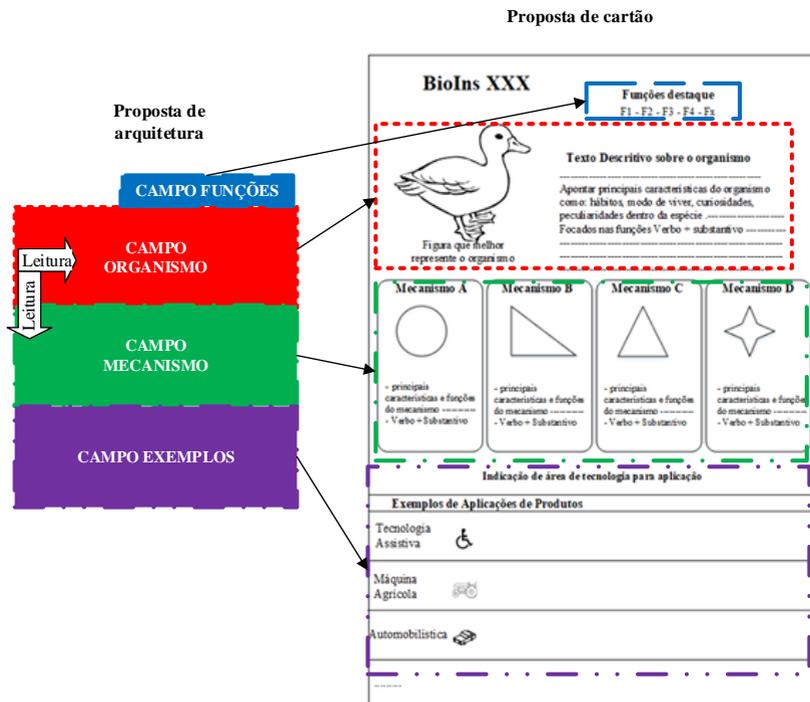
Figura 4.6 - Tarefas da atividade 4 de montagem dos cartões.



Fonte: autora.

As tarefas de montagem dos cartões propostos na Figura 4.7 são quatro, mostradas através do fluxograma da Figura 4.8. Cada uma das tarefas completam um determinado campo do cartão proposto.

Figura 4.7 - Proposta de arquitetura de organização para otimização do cartão bioinspirador.



Fonte: autora.

A seguir, cada uma das tarefas da atividade de confecção dos bioinspiradores é detalhada conforme o desdobramento das tarefas em suas etapas na Figura 4.8 .

#### - Tarefa 4.1: ORGANIZAR CAMPO ORGANISMO

Observando a Figura 4.8, a primeira tarefa de montagem do cartão é a de organização do campo organismo do cartão, dividida em duas etapas. As informações sobre o organismo reunidas na atividade anterior sob as recomendações de design de informação são a entrada desta atividade. A primeira etapa (4.1.1) é responsável pela descrição do organismo no cartão, onde é apresentada a proposta de estrutura do cartão, uma template (Figura 4.7) onde há os campos organismo, mecanismo, funções e exemplos para preenchimento. O recurso de recomendações de design de informação para revisão do texto desta descrição também faz parte da etapa. Após a descrição do organismo, a

segunda etapa (4.1.2) traz a seleção da imagem do organismo através de pesquisa em fonte aberta de informações. Esta imagem deve representar o organismo com clareza, utilizando inclusive a internet, fazendo buscas pelo nome do organismo em páginas especializadas em pesquisa.

#### - Tarefa 4.2: ORGANIZAR CAMPO MECANISMO

A primeira etapa desta tarefa (4.2.1) é descrever os mecanismos. Para isso, as entradas são as informações sobre o organismo da atividade anterior e a subdivisão do organismo em mecanismos. Assim, cada mecanismo possuirá um campo próprio, conforme a proposta do cartão da Figura 4.7.

Como recursos desta tarefa, é utilizado a abstração dos princípios funcionais dos mecanismos e as recomendações de design da informação (vistas na atividade 3) são usadas para fazer a descrição dos mecanismos. A abstração é importante para a utilização do cartão. Após a descrição, a segunda etapa é pesquisar uma imagem para ilustrar o mecanismo na internet.

#### - Tarefa 4.3: ORGANIZAR CAMPO FUNÇÕES

A terceira tarefa da elaboração dos cartões é destinada a organizar o campo funções de destaque do organismo e dos seus mecanismos. Apenas os verbos - no infinitivo - são acrescentados, com base na análise funcional do organismo e do mecanismo. Este campo tem objetivo de facilitar a pesquisa e seleção dos bioinspiradores para uso.

#### - Tarefa 4.4: PREENCHER EXEMPLOS E TECNOLOGIAS

A quarta e última tarefa é destinada aos campos de exemplos e de tecnologias, que tem objetivo de fornecer informações sobre aplicações existentes e outras possíveis para o organismo e seus mecanismos.

Na primeira tarefa é feito o preenchimento das tecnologias biônicas relacionadas as funções que organismo e mecanismos possuem. Este relacionamento é feito através da matriz, como mostrado no Quadro 4.2.

Com a área de indicação de tecnologia para aplicação preenchida, a segunda tarefa é pesquisar produtos e aplicações possíveis ou já existentes para o organismo e seus mecanismos. Isto é feito através de pesquisa na internet com palavras chaves relacionadas as partes, mecanismos ou organismos mais biônica / robô / biomimicry. Os exemplos podem ser agrupados em áreas industriais como: robótica, tecnologias assistivas, automotiva, eletrodomésticos, máquinas agrícolas, dentre outros.



No fim destas tarefas, o cartão bioinspirador apresentará o formato mostrado na Figura 4.9 para o exemplo *canguru*.

Figura 4.9 - Bioinspirador para o organismo Canguru no modelo proposto.

## Canguru



Fonte: (9)

### Funções destaque

Carregar – Abrigar – Apoiar – Impulsionar –  
Amortecer – Defender – Armazenar –  
Equilibrar – Aumentar

Cangurus possuem patas posteriores robustas e uma bolsa (o marsúpio) presente apenas nas fêmeas, na qual o filhote completa seu desenvolvimento. O canguru, quando jovem permanece com a mãe na bolsa para se alimentar e ficar seguro, até que tenha mais que um ano de idade.

#### Bolsa Marsupial



Fonte: (11)

- Carregar e abrigar filhote;
- Proteger filhote;
- Conter o filhote durante seu desenvolvimento

#### Patas



Fonte: (12)

- Apoiar animal;
- Impulsionar para saltos e deslocamentos;
- Amortecer durante movimento e nas quedas;
- Defender-se com coices.

#### Tendões



Fonte: (13)

São fortes e elásticos para:

- Armazenar, recuperar e liberar energia durante o salto para impulso, funcionando como um sistema massa mola.

#### Cauda



- Apoiar durante caminhada;
- Equilibrar e estabilizar durante saltos;
- Atuar como contrapeso para as patas traseiras.

**Área tecnologia para aplicação: Estruturas, Mecânica, Materiais**

---

### Exemplos de Aplicações de Produtos

#### Robótica

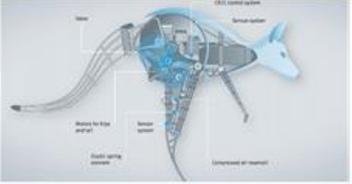




Fonte: Festb (2014)

#### BionicKangaroo da Festb

Cinemática de salto com eficiência energética baseada no modelo natural: recuperar, armazenar e liberar energia dos tendões. Seu mecanismo de salto permite que o canguru aumente sua velocidade sem usar mais energia ao fazê-lo

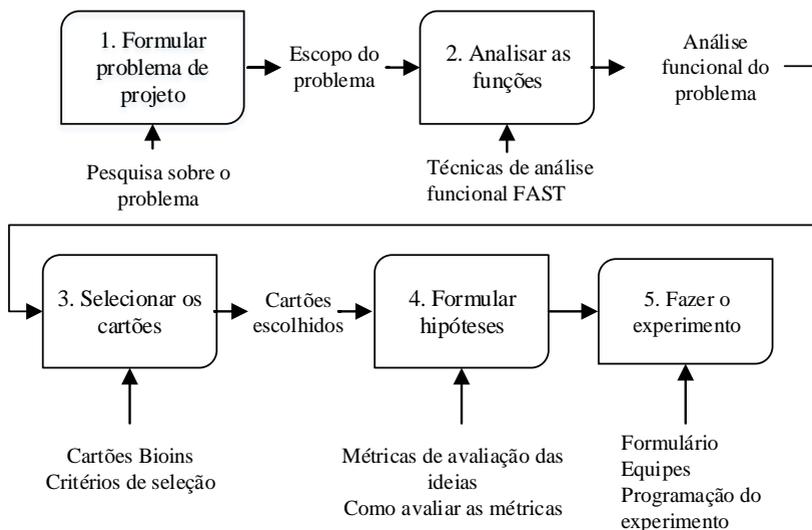


### 4.3 EXPERIMENTO PARA AVALIAÇÃO DOS BIOINS

#### 4.3.1 Materiais e métodos

A fim de verificar a contribuição dos bioinspiradores elaborados sob a sistemática proposta comparando com seu não uso no *brainstorming*, são propostas as seguintes tarefas, conforme a Figura 4.10.

Figura 4.10 - Tarefas para planejamento e execução da avaliação de Bioins.



Fonte: autora.

A avaliação dos bioinspiradores gerados começa com a formulação do problema de planejamento de produtos (tarefa 1). As aplicações para este trabalho estão relacionadas a problemas voltados à tecnologias assistivas para pessoas em diferentes faixas etárias, por exemplo. No Quadro 4.3 são ilustrados típicos problemas nesse campo de aplicação.

Quadro 4.3 -Típicos problemas de tecnologias assistivas.

|                 |  |
|-----------------|--|
| Problema 1 (P1) | <p>Problemas decorrentes do envelhecimento: risco de queda pode ser considerado de grande gravidade devido uma queda poder levar a incapacidades funcionais e motoras, além de ser uma das mais comuns causas de injúrias e poder levar a morte.</p> <p>Assim, a oportunidade de ideação consiste <b>em propor ideias de produtos que auxiliem a idosos e/ou pessoas com mobilidade reduzida a descer escadas independentemente, no lar ou em ambiente público.</b></p>  |
| Problema 2 (P2) | <p>Problemas decorrentes de atividade laboral na saúde: A atividade mais desgastante fisicamente para profissionais da saúde apontada é a de movimentação de pacientes acamados. Atualmente identifica-se a inadequação de mobiliários, a falta de recursos instrumentais sendo que os equipamentos para movimentação mais comuns são basicamente guinchos, constando-se o posicionamento postural incorreto adotado pelos trabalhadores.</p> <p>Assim, a oportunidade de ideação consiste <b>em propor ideias que auxiliem os profissionais da saúde a mover pacientes acamados em tarefas como higienização, banho no leito a fim de diminuir esforço e evitar dores nas costas.</b></p> |

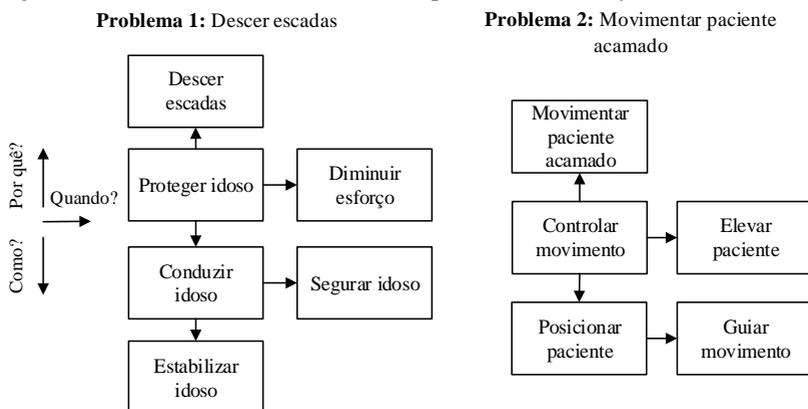
Com a formulação do problema, deve-se proceder na análise funcional do escopo do problema na tarefa 2, sendo recomendado a técnica FAST (anexo D), por auxiliar no pensamento objetivo e na decomposição do escopo de um problema.

O desdobramento funcional dos problemas de ideação mostrados no Quadro 4.3 é ilustrado na Figura 4.11. As funções estabelecidas são base para a escolha dos bioinspiradores, pois estabelecem os problemas de planejamento de modo objetivo e em nível abstrato.

Com as funções do problema definidas, deve-se selecionar os bioinspiradores (tarefa 3) para a sessão de ideação, sob os seguintes critérios:

- o Bioins deve possuir uma ou mais funções da análise funcional do problema de ideação,
- o Bioins deve ser da área tecnológica de interesse do problema de ideação, podendo obter essa relação por meio da matriz tecnologia e funções, fazendo o relacionamento aos pares (como no Quadro 4.2).

Figura 4.11 - Análise funcional FAST dos problemas de ideação.



Os Bioins selecionados são mostrados no Apêndice D1.

Após a definição dos cartões, são definidas as hipóteses para avaliação dos resultados da ideação empregando-se os cartões selecionados (tarefa 4). A definição das hipóteses é realizada com base nas métricas apresentadas no Quadro 4.4, para avaliação da contribuição da ferramenta Bioinspiradores nas soluções dos problemas. O apêndice A2, Quadro A.3 aborda com mais detalhes cada uma das hipóteses consideradas.

Quadro 4.4 - Hipóteses para os experimentos com bioinspiradores

| Hipótese | Métrica    | Suposição  |
|----------|------------|--|
| H1       | Quantidade | Número total de ideias geradas é maior no <i>brainstorming</i> assistido pelos estimuladores biológicos.   |
| H2       | Utilidade  | Ideias geradas no <i>brainstorming</i> usando estimuladores biológicos possuem mais utilidade (maior número de funções) que no <i>brainstorming</i> tradicional. |
| H3       | Novidade   | Ideias geradas no <i>brainstorming</i> usando estimuladores biológicos possuem grau de novidade maior que no <i>brainstorming</i> tradicional.                   |

Fonte: autora.

A avaliação das ideias geradas com e sem Bioins sob as métricas de quantidade, utilidade e novidade é realizada por especialistas em desenvolvimento de produtos, conforme Apêndice A3. Essas métricas foram escolhidas em função do conceito de criatividade trabalhado no capítulo 2.

A fim de verificar as hipóteses do Quadro 4.4 são feitos testes estatísticos, fazendo a comparação das ideias geradas com e sem os bioinspiradores. O Quadro 4.5 apresenta os critérios para a aplicação destes testes.

Quadro 4.5 - Critérios para uso dos testes estatísticos.

| Variáveis independentes | Variáveis dependentes | Distribuição | Teste estatístico            |
|-------------------------|-----------------------|--------------|------------------------------|
| 1                       | 1                     | Normal       | Teste t                      |
| 1 ou mais               |                       |              | Análise de variância (ANOVA) |
| 1                       | 1                     | Não-normal   | Teste de Mann-Whitney        |

Fonte: Adaptado de Field (2009)

Conforme o Quadro 4.5, primeiramente é verificado se os dados relativos a quantidade, utilidade e novidade das ideias encaixam-se em uma distribuição normal através da estatística de Anderson-Darling, para então escolher o teste de hipótese estatístico que melhor represente o experimento.

Se os dados possuem distribuição normal e mesmo tamanho de amostra, o teste t e a análise de variância (ANOVA) são aplicados, enquanto que se não estão em distribuição normal, o teste de Mann-Whitney é o indicado para populações não paramétricas (FIELD, 2009). Para todos os testes estatísticos, é adotado o nível de significância ( $\alpha$ ) igual a 0,05 (FIELD, 2009).

O experimento foi realizado (tarefa 5) com integrantes de uma turma da disciplina de Metodologia de Projeto, do 4º semestre de engenharia mecânica da Universidade Federal de Santa Catarina, durante duas horas-aula de 50 minutos cada.

A turma foi dividida em seis equipes com 4 integrantes cada, distribuídos aleatoriamente, para comporem dois grupos (cada grupo com 3 equipes), de teste e de controle. O grupo de teste realizou o Brainstorming com Bioinspiradores (BRbio) enquanto o grupo de

controle realizou Brainstorming Tradicional (BRt) para cada um dos problemas (P1 e P2).

Os problemas de planejamento, os métodos considerados e os grupos formados no experimento foram estruturados conforme o Quadro 4.6.

Quadro 4.6 - Estrutura do experimento.

|              |                   | <b>Grupo C</b> | <b>Grupo D</b> |
|--------------|-------------------|----------------|----------------|
| <b>Dia 1</b> | <b>Problema 1</b> | BRbio          | BRt            |
| <b>Dia 2</b> | <b>Problema 2</b> | BRt            | BRbio          |

**Legenda:** BRbio: brainstorming com bioinspiradores  
BRt: brainstorming tradicional

Fonte: autora.

Por fim, o experimento seguiu a programação proposta no Quadro 4.7.

Quadro 4.7 - Programação de atividades do experimento 2.

| <b>Programação do experimento 2</b>                           |             |   |             |
|---|-------------|---|-------------|
| <b>Dia 1</b>  |             | <b>Dia 2</b>  |             |
| Atividade   | Tempo (min) | Atividade   | Tempo (min) |
| Apresentação do problema 1                                    | 20          | Apresentação do problema 2                                    | 20          |
| Sorteio e preparação das equipes                              | 5           | Apresentação dos Bioins para grupo D.                         | 5           |
| Apresentação dos Bioins para Grupo C                          | 5           | Leitura do Bioins por todos participantes                     | 5           |
| Leitura do Bioins por todos participantes                     | 5           | Realização do <i>Brainstorming</i> : Grupo D com inspiradores | 50          |
| Realização do <i>Brainstorming</i> : Grupo C com inspiradores | 50          | Aplicação de questionário de avaliação                        | 10          |

Fonte: autora.

Cada equipe recebeu um conjunto de materiais, identificados no Apêndice D: um mapa tecnológico com o problema de planejamento de cada atividade, formulários, bioinspiradores e um questionário para avaliação (apenas no segundo dia). O objetivo do questionário é obter uma avaliação qualitativa dos participantes, informações sobre opinião e críticas a ferramenta e as atividades executadas no experimento.

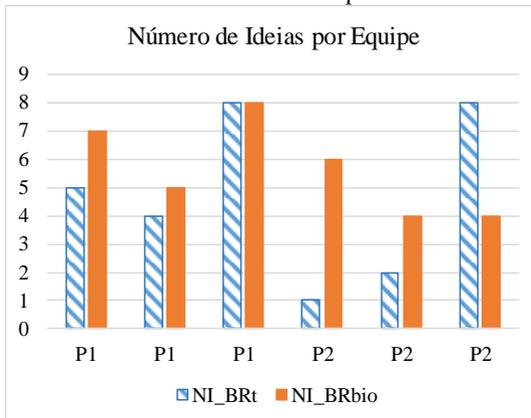
As ideias geradas foram registradas em formulários (Apêndice C), que possuem campos para o desenho da ideia (D), funções (F) que a ideia deve executar e as características (C) presentes na solução. Cada um dos campos é relacionado com as métricas de avaliação das hipóteses de contribuição dos Bioins nas ideias geradas.

### 4.3.2 Resultados da avaliação quantitativa de Bioins

Os testes estatísticos realizados seguem os mesmos critérios (Quadro 4.5) usados para a avaliação do experimento 1 (apêndice A), cujas hipóteses estão no Quadro 4.4. O procedimento da análise individual das métricas através do número de ideias (NI), número de funções (NF) e da novidade (NOV) é o mesmo para o experimento 1, mostrado no apêndice A.3.

Os resultados da análise de cada um dos problemas encontra-se na íntegra nas Tabela E.1 e Tabela E.2 do apêndice E.1. A Figura 4.12 traz o resultado do NI geradas por equipe em cada grupo para cada problema com o devido método.

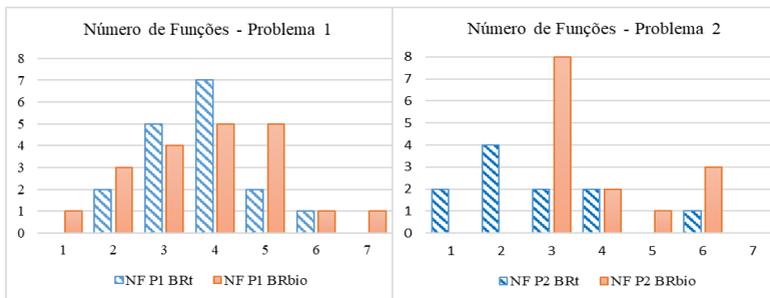
Figura 4.12 - Gráfico de barras do número de ideias (NI) para cada equipe e problema segundo os métodos de criatividade aplicados.



Fonte: autora.

A Figura 4.13 traz o NF por ideia organizados em um histograma para cada um dos problemas.

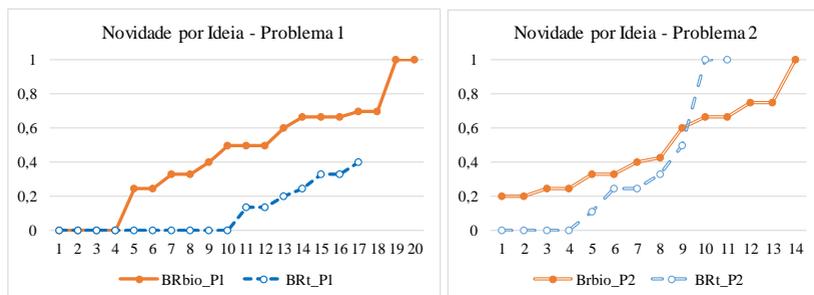
Figura 4.13 - Histograma do número de funções (NF) por ideia para os dois métodos.



Fonte: autora.

A Figura 4.14 mostra os gráficos para o resultado da novidade (eixo vertical) de cada ideia (eixo horizontal) segundo os métodos BRt e BRbio e os problemas.

Figura 4.14 - Gráfico da novidade das ideias em cada método para cada problema.



Fonte: autora.

Com base nos resultados das ideias geradas, o resultado do teste de normalidade das amostras é mostrado na Tabela 4.1, com os correspondentes testes estatísticos indicados.

Tabela 4.1 - Teste de normalidade Anderson-Darling dos dados das métricas número de ideias (NI), número de funções (NF) e novidade das ideias (NOV).

| Métrica                | Problema  | Método | Valor p | Teste indicado     |
|------------------------|---|--------|---------|--------------------|
| Número de Ideias (NI)  | 1   | BRt    | 0,334   | Teste t            |
|                        |   | BRbio  | 0,487   |                    |
|                        | 2   | BRt    | 0,169   | Teste t            |
|                        |   | BRbio  | 0,057   |                    |
| Número de Funções (NF) | 1   | BRt    | 0,047   | Teste Mann Whitney |
|                        |   | BRbio  | 0,296   |                    |
|                        | 2   | BRt    | 0,163   | Teste Mann Whitney |
|                        |   | BRbio  | <0,005  |                    |
| Novidade (NOV)         | 1   | BRt    | <0,005  | Teste Mann Whitney |
|                        |   | BRbio  | 0,239   |                    |
|                        | 2   | BRt    | 0,014   | Teste Mann Whitney |
|                        |   | BRbio  | 0,181   |                    |
| <b>Legenda:</b>        | BRt : Brainstorming tradicional<br>BRbio: brainstorming com bioinspiradores |        |         |                    |

Fonte: autora.

Os testes empregados, a verificação das hipóteses para as métricas consideradas em cada problema e análise deste resultado são mostrados nas Tabela 4.2 e na Tabela 4.3. Para mais detalhes da análise estatística, consultar o apêndice E.

Tabela 4.2 - Resultados estatísticos de verificação das hipóteses para o problema 1.

| Métrica    | Teste estatístico  | Valor – p | Análise do Resultado   |
|------------|--------------------|-----------|--|
| Quantidade | Teste t            | 0,27      | Não houve diferença significativa para o número de ideias do grupo que usou os cartões comparado ao não uso da ferramenta. |
| Utilidade  | Teste Mann Whitney | 0,36      | Não houve aumento da quantidade de funções em cada ideia ao mudar o tipo de estímulo na ideação                            |
| Novidade   | Teste Mann Whitney | 0,0004    | Houve aumento da novidade das ideias usando o estímulo dos bioinspiradores   |

Fonte: autora.

Tabela 4.3 - Resultados estatísticos de verificação das hipóteses para o problema 2.

| <b>Métrica</b> | <b>Teste estatístico</b> | <b>Valor – p</b> | <b>Análise do Resultado</b>  |
|----------------|--------------------------|------------------|--|
| Quantidade     | Teste t                  | 0,35             | Não houve diferença significativa para o número de ideias do grupo que usou os cartões comparado ao não uso da ferramenta. |
| Utilidade      | Teste Mann Whitney       | 0,0187           | Houve aumento da quantidade de funções em cada ideia ao usar o bioinspirador na ideação                                    |
| Novidade       | Teste Mann Whitney       | 0,047            | Houve aumento da novidade das ideias usando os bioinspiradores   |

Fonte: autora.

### 4.3.3 Avaliação pelos participantes

O questionário para avaliação pelos participantes sobre as atividades desenvolvidas no experimento é disponibilizado no Apêndice D. As respostas da avaliação estão no Apêndice F.

Na primeira questão, os participantes teceram comentários, na maioria positivos, relatando as vantagens do uso dos cartões para gerar ideias para os problemas propostos, como os campos de exemplos e de áreas tecnológicas para auxiliar na ideação, mostrando o que já se tem desenvolvido e como é aplicado tal tecnologia. Os pontos negativos são: ao sentir-se obrigado a usar a ferramenta, uma barreira a criatividade e fixação funcional aparece.

Na segunda questão, as dificuldades mais comuns relatadas foram quanto: adaptar os princípios da natureza para o problema proposto; encontrar Bioins com aplicação direta e fixação funcional. Outros participantes acharam o uso intuitivo, sendo um "belo auxílio para o pensamento".

Na questão 5, a respeito das observações gerais do experimento, foi observado que uma maior quantidade de inspiradores auxiliaria a gerar mais ideias. Ressalva-se também que ter uma ideia inicial, seja exemplo de tecnologia ou de biologia, auxilia positivamente para a, partir dela, gerar a concepção.

#### 4.3.4 Considerações finais sobre a avaliação dos Bioins

Os resultados das análises estatísticas e das avaliações dos usuários mostram que há vantagens no uso dos bioinspiradores na ideação de produtos, considerando-se o método utilizado de avaliação destas métricas e as suas definições (apêndice A3). Há evidências estatísticas (Tabela 4.2 e Tabela 4.3) de que os bioinspiradores auxiliam na geração de ideias com maior novidade, sendo isto exposto pelas características diferenciadas e originais das ideias comparado ao não uso da ferramenta.

A hipótese de aumento da utilidade das ideias, através do número de funções, não é conclusiva neste experimento com o uso dos Bioins, pois para um problema mostrou melhoria da métrica e no outro não.

Já a hipótese de aumento na quantidade de ideias evidencia que não houve influência significativa com o uso de Bioins.

A métrica novidade mostra maior grau com uso dos Bioins, evidenciando um potencial inovador das ideias através de características novas, originais usando os conceitos da natureza.

Sobre a observação dos participantes do experimento, com o recurso dos cartões há uma redução do tempo efetivo da geração de ideias. Tempo este utilizado na releitura e análise para compreensão do conteúdo dos cartões em debates e brainstorming. Implicando no não aumento da quantidade de ideias geradas no BRbio mas colabora no aumento das suas novidades.

Sob a avaliação dos participantes do experimento, verifica-se que, com o recurso dos cartões, há redução efetiva no tempo para a geração ideias. Eles usam o tempo da geração de ideias para ler os cartões novamente para absorção de conteúdo para analogia e em debates com a equipe.

No que tange os campos de conteúdo, a apresentação de campos distintos para sua organização se mostra com potencial benéfico à ideação, principalmente o campo com exemplos de áreas tecnológicas e de produtos. Isso reflete nos resultados das ideias na métrica novidade e na opinião dos participantes das atividades do experimento. Eles também apontaram a necessidade de disponibilizar tantos Bioins quanto a equipe queira usar.

Com a análise estatística, conclui-se que os Bioinspiradores aumentam a novidade das ideias geradas, embora não evidenciem melhoria da quantidade de funções das ideias e melhoria na quantidade de ideias geradas pelas equipes.

#### 4.4 A FERRAMENTA BIOINS WEB PARA USO EM SESSÕES DE IDEACÃO

Os bioinspiradores na forma de cartões foram testados e mostraram evidências em beneficiar a ideação de produtos quanto a sua novidade, com a presença de características novas inspiradas na natureza.

A fim de automatizar a sua seleção, gerenciar banco de dados e de tornar a ferramenta acessível ao público é criada a ferramenta BIOINS<sup>6</sup> web.

Esta ferramenta tem o objetivo de aumentar a disponibilidade de conteúdo dos cartões e sua quantidade, sanando assim uma das críticas dos participantes do experimento 2.

Outros ganhos existem com a possibilidade desta ferramenta fazer um banco de dados de mecanismos e organismos, para que o usuário escolha e salve quantos bioins quiser para um brainstorming futuro. Assim, consegue-se eliminar a figura de um facilitador na escolha dos Bioins.

A disponibilidade de uma ferramenta web automatiza o armazenamento de mecanismos, organismos e produtos no banco de dados. A seleção dos Bioins por funções também é facilitada com a possibilidade de pesquisa no site.

Os riscos que se esperam estar associados com a implantação da ferramenta web são referentes a adaptação da interface do software com o usuário além da manutenção do nível e do acesso as informações comparado ao Bioins em cartões. É mandatório que a ferramenta web possua utilidade superior a sua versão em cartões físicos por sua superior capacidade em armazenar e acessar informações.

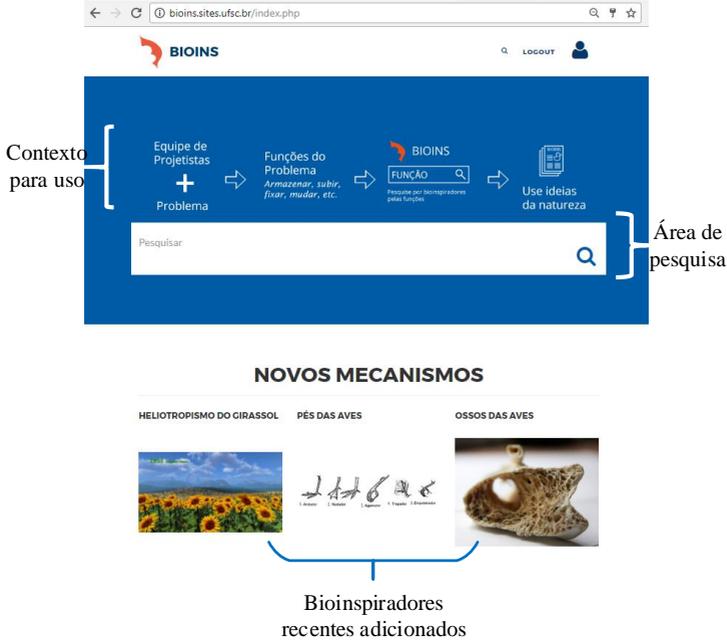
A ferramenta BIOINS web expõe os bioinspiradores em três níveis: mecanismos biológicos, organismos e produtos; sendo que estes níveis correspondem aos campos dos cartões físicos apresentados na seção 4.2

A Figura 4.15 apresenta a página inicial da ferramenta proposta, com os campos destacados do contexto de uso, o símbolo da lupa na área de pesquisa pelos bioinspiradores e os conteúdos recentemente adicionados ao banco de dados.

---

<sup>6</sup> Pode ser acessada em <http://bioins.sites.ufsc.br/registrar.php> onde um cadastro para acesso deve ser feito.

Figura 4.15 - Página inicial BIOINS com explicação dos campos.



Fonte: autora.

A Figura 4.16 mostra o exemplo da página de resultados de mecanismos bioinspiradores para a pesquisa para o verbo *armazenar*.

Abaixo da área da pesquisa, há um campo com opções de filtros para refinamento da pesquisa:

- Funções correlatas à função pesquisada;
- Área tecnológica da função;
- Nível das informações (i.e. mecanismo, organismos, produtos).

Os resultados para a pesquisa na Figura 4.16 trazem os Biosins sobre os *tendões do canguru* e a *bolsa marsupial* sem uso dos filtros.

Figura 4.16 - Resultado de pesquisa para a função "armazenar".

The screenshot shows the BIOINS search results for the function "armazenar". At the top, the BIOINS logo is displayed. Below it, the search term "armazenar" is entered. A filter menu is visible, with options for "Armazenar", "Recuperar", "Liberar", "Carregar", "Proteger", "Permitir", and "Conter" under the "Funções:" category, and "Estruturas", "Mecânica", and "Materials" under the "Área Tecnológica:" category. Below the filters, there are three tabs: "MECANISMOS", "ORGANISMOS", and "PRODUTOS". The "PRODUTOS" tab is selected. The search results section shows "Foram encontrados 2 resultados". The first result is "TENDÕES DO CANGURU", which includes diagrams of kangaroo tendons and a sequence of kangaroo movements. The second result is "BOLSA MARSUPIAL DO CANGURU", which includes a photograph of a kangaroo with its joey in its pouch. A blue bracket on the right side of the interface groups the filter menu and the search results under the label "Filtros para pesquisas avançadas" and "Resultados da pesquisa" respectively.

Fonte: autora.

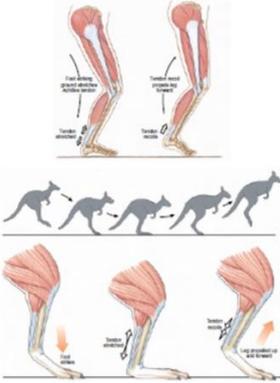
Por exemplo, aplicando o filtro “produtos” na pesquisa da função “armazenar”, o sistema retorna um bioinspirador como exemplo de um produto bioinspirado.

A Figura 4.17 mostra o mecanismo tendões do canguru aberto. Está destacado no canto superior esquerdo o botão para salvar o mecanismo na conta do usuário. Isto visa facilitar a seleção e o armazenamento de Bioins para posterior uso. No canto superior direito aparece o organismo ao qual o mecanismo pertence, abaixo estão os filtros para pesquisa e as ideias de produtos existentes para este mecanismo.

Figura 4.17 - Mecanismo bioinspirador tendões do canguru.



### TENDÕES DO CANGURU



salabioquimica.blogspot.com

Os tendões do canguru são fortes e elásticos para:  
- Armazenar, recuperar e liberar energia durante o salto para impulso, funcionando como um sistema massa mola.

Por: Equipe Bioins 20-07-2017

**CANGURU**



Funções: Armazenar, Recuperar, Liberar  
Áreas tecnológicas: Estruturas, Mecânica, Materiais

**IDEIAS**

**BIONIC KANGAROO**



Fonte: autora.

A Figura 4.18 traz a área do usuário, onde são salvos os mecanismos e organismos bioinspiradores na conta do usuário logado durante a pesquisa e a seleção dos Bioins.

Figura 4.18 - Área do usuário onde consta seus mecanismos bioinspiradores salvos



**BIOINS**  **LOGOUT** 

OLÁ, NATALIA MADALENA BOELTER! **MECANISMOS SALVOS** **PRODUTOS SALVOS** **SUA CONTA**

### MECANISMOS SALVOS

**CAUDA DO LAGARTO**



**UNHAS DO GATO**



**RAÍZES DA PALMEIRA ANDANTE**



Fonte: autora.

## 4.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados de aplicação dos Bioins mostraram evidências de maior novidade das ideias geradas, mas não foram conclusivos com relação ao número de funções, assim como evidências de maior número de ideias em sessões de brainstorming com o uso de bioinspiradores.

Em ambos os experimento, experimento 1 (apêndice A) e experimento 2, a hipótese do aumento do grau de novidade das ideias foi confirmada. Há confirmação que o tipo de estímulo no brainstorming exerce influência nos resultados da novidade. As ideias geradas com o uso dos bioinspiradores foram consideradas com grau de novidade maior nas avaliações e nos testes estatísticos.

É observado que as ideias geradas com uso da biônica contêm mais características e princípios de solução novos comparado aos produtos existentes no mercado. Isto é, as ideias geradas possuem atributos diferenciados derivados do conteúdo apresentado as equipes nos bioinspiradores e de outros conteúdos naturais que a equipe usou durante o processo de ideação. Observa-se assim a ocorrência de estimulação cognitiva, que se refere à estimulação de novas ideias resultado da exposição às ideias dos outros, originária tanto dos cartões quanto do trabalho em grupo.

A quantidade pode ter sido negativamente influenciada pelo processo (leitura dos bioins, interagir, inibição) e utilidade depende de foco em funções para desenvolver novas funções, mas o foco geralmente é nos princípios de solução e as funções acabam sendo em função dos princípios.

A avaliação da ferramenta Bioins indicou uma necessidade dos usuários em ter a sua disposição a maior quantidade possível de bioinspiradores.

Ao encontro com esta necessidade, surge a proposta da ferramenta BIOINS web. Com ela, o usuário pode selecionar tantos bioinspiradores quanto forem a quantidade de funções que precisar, sendo indicado o valor ser em torno da quantidade de funções do problema.

Desta forma, existem evidências que os bioinspiradores apresentam um forte potencial para a melhora da criatividade das equipes de projeto para problemas de planejamento e de projeto onde se buscam soluções inovadoras e de mudança de campo tecnológico.

No âmbito de problemas em que se deseja inovações de cunho incremental, pode-se empregar tanto o brainstorming tradicional quando o bioinspirado. É presumido que apresentando informações, princípios

de funcionamento, características e detalhes dos organismos biológicos, de seus mecanismos e comportamento nos cartões venham a influenciar positivamente na novidade na geração de ideias e desenvolvimento de produtos em equipes.

## 5 SISTEMATIZAÇÃO DO PLANEJAMENTO DE PRODUTOS AUXILIADO POR BIOINSPIRADORES

Neste capítulo é apresentada a sistemática para o planejamento de produtos orientada pela biônica (SPB), desenvolvida para facilitar a aplicação de bioinspiradores na ideação de novos produtos com o uso de BIOINS. Apresenta-se também a avaliação qualitativa da sistemática proposta junto da aplicação da ferramenta BIOINS web.

### 5.1 PROBLEMÁTICA DE PLANEJAMENTO DE PRODUTOS

O planejamento de produtos consiste na organização de informações estratégicas (sobre mercado, produto e tecnologia) para as decisões de desenvolvimento de produtos nas empresas. Estas informações podem ser organizadas com o Mapeamento Tecnológico (MT), facilitando o direcionamento do desenvolvimento de novos produtos por meio do mapa resultante. Conforme revisado no capítulo 2, métodos de criatividade podem ser usados para auxiliar no processo criativo da ideação de novos produtos para o período futuro.

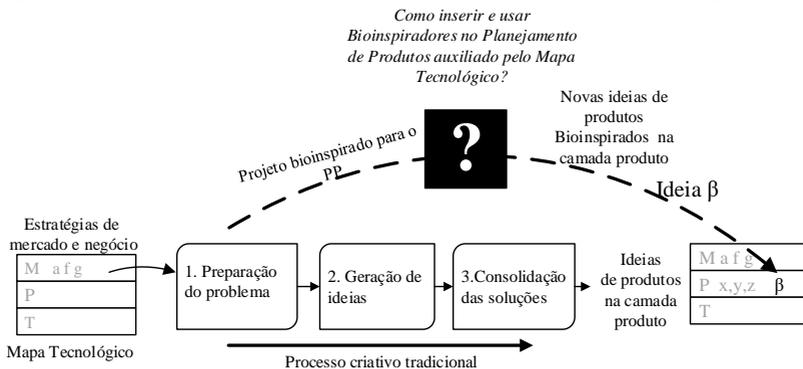
O processo criativo tradicional (baseado no conhecimento tácito) começa pela preparação do problema com coleta de informações (i.e. requisitos e estratégias de planejamento de produtos). Em seguida, segue com a geração de soluções para o problema e a consolidação das soluções (seta linear em negrito na Figura 5.1). Neste método não há cuidado com os efeitos da fixação funcional, que leva a bloqueio de fluxo de ideias, menor variedade e com tendência de repetição de um princípio de solução.

Em comparação, o processo de projeto bioinspirado (seção 3.2.1) também começa com a preparação do problema por meio da coleta de informações. Enquanto no processo tradicional as etapas seguintes são de geração e consolidação das soluções, no processo bioinspirador existem etapas: de pesquisa (1); abstração (2) e transferência (3) do conteúdo biológico; sendo esta última correlata à geração.

Ao usar os bioinspiradores no processo criativo do planejamento de produtos (PP) (processo representado pela seta tracejada na Figura 5.1), pretende-se tomar como fundamento o processo de projeto bioinspirado baseado no problema. A fonte de informações (início do processo) para a definição do problema de planejamento é a camada mercado do MT (i.e. estratégias de mercado e negócio) e as ideias de produtos bioinspiradas (início do processo), resultado do projeto bioinspirado, são alocadas na camada produto do mesmo mapa. As

atividades para obter o planejamento bioinspirado são a “*black box*” problemática da pesquisa, representada pela questão acima da caixa com o sinal de interrogação.

Figura 5.1 - Contextualização da problemática para o planejamento de produtos



Fonte: autora.

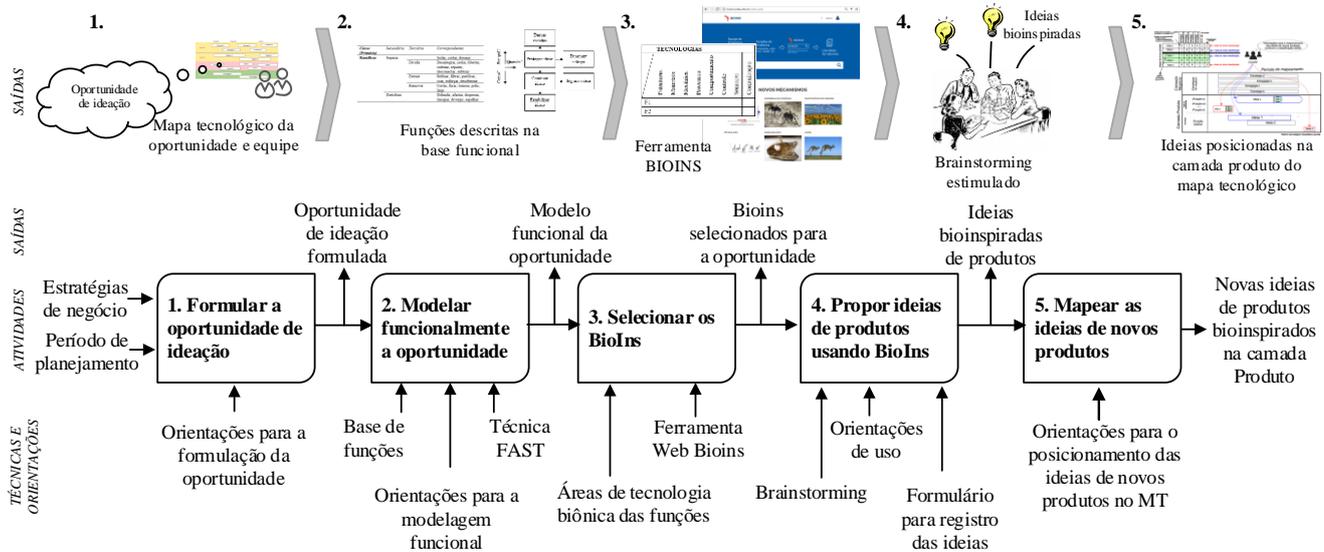
A vantagem da utilização dos bioinspiradores é mitigar o processo de fixação funcional por fornecer analogia com organismos e mecanismos da biologia para a solução de problemas técnicos. As ideias bioinspiradas possuem novidade maior, usam princípios de solução diferentes do usual e em consequência, maior potencial de inovação nos produtos futuros. A ideia de produto que faz uso de princípios diferentes e inovadores e que atendem as expectativas e requisitos dos clientes, tende a despontar na competição de espaço no mercado.

Portanto, **como inserir e usar os bioinspiradores no planejamento de produtos auxiliado pelo mapeamento tecnológico puxado pelo mercado** é a problemática trabalhada neste capítulo, usando o método baseado no problema do processo de projeto bioinspirado.

## 5.2 PLANEJAMENTO DE PRODUTO ORIENTADO POR BIOINSPIRADORES

O planejamento de produtos orientado por bioinspiradores é estruturado conforme o modelo mostrado na Figura 5.2 a fim de responder a questão da problemática da seção anterior.

Figura 5.2 - Fluxo de atividades para a Sistemática para Planejamento de produtos orientada pela bionica com Bioinspiradores (SPB)



Fonte: autora

A sistemática é constituída das atividades de: formulação da oportunidade de ideação (1); modelagem funcional da oportunidade (2); seleção dos Bioins (3); geração de ideias de produtos usando os Bioins (4); e o mapeamento das ideias para os novos produtos (5). Sua visão geral de atividades, entradas e saídas é mostrado na Figura 5.2.

As atividades de formulação da oportunidade e mapeamento das ideias geradas são equivalentes aquelas propostas por Fernandes (2016) por se tratarem de atividades gerais de planejamento de produtos independentemente do método de apoio a ideação.

Durante explicação das atividades, são apresentados exemplos referentes a tecnologias assistivas para idosos e demais pessoas com problemas motores.

Nessa proposta é enfatizada a elaboração e uso de bioinspiradores específicos para a geração de ideias no planejamento de produtos, conforme as atividades, métodos e ferramentas descritos na sequência.

### **5.2.1 Atividade 1: Formular a oportunidade de ideação**

O planejamento de produtos bioinspirados inicia-se pela preparação do problema por meio da formulação da sentença da oportunidade de ideação (Figura 5.3). Esta atividade é desenvolvida por um facilitador do processo.

O papel do facilitador nesta atividade é preparar o problema de projeto para a correta formulação dele como oportunidade de ideação que será entregue a equipe de planejamento. Para isso, o período para o qual será feito o planejamento deve ser delimitado segundo o mapa tecnológico, bem como as estratégias de mercado e de negócio que a empresa segue.

Durante a análise das estratégias para a formulação da oportunidade, deve ser observado aquelas que apresentam objetivos complementares e que possuem objetivos e requisitos para novos produtos.

Além de preparar o problema, o facilitador também faz o registro das decisões do processo, organiza a aplicação da sistemática, comunica informações e divulga resultados para a equipe.

A equipe de planejamento, coordenada pelo facilitador, deve ser composta por pessoas com competências multidisciplinares (e.g. engenharia, marketing, vendas). Esta medida viabiliza a incorporação de diferentes percepções e conhecimento na ideação de novos produtos.

Figura 5.3 - Atividade 1 da sistemática: formulação da oportunidade de ideação.



Fonte: autora.

Em um exemplo hipotético de aplicação, o período de planejamento é de curto prazo e sob a estratégia de negócio de desenvolver a independência de idosos e pessoas com problemas motores em tarefas cotidianas de cuidado pessoal como vestir-se, desdobra-se nas seguintes estratégias de oportunidades de produtos:

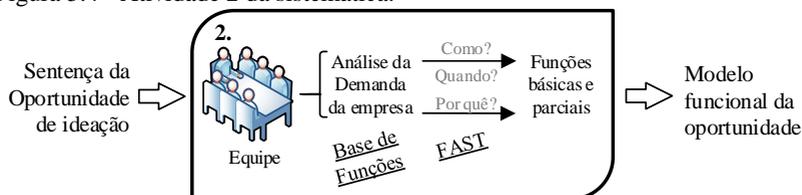
- Aparelho que facilite vestir meias;
- Aparelho auxiliador de vestir sapatos;
- Aparelho auxiliador vestir camisas.

As estratégias de produto para facilitar a vestimenta de meias e de sapatos se mostram com objetivos complementares (auxílio a vestir os pés), sendo delas derivada a oportunidade de ideação. A partir deste objetivo comum é sintetizada uma sentença global que define a oportunidade: *novo produto que auxilie vestir os pés com meias*, aumentando alcance e manuseio, tanto por idosos quanto para pessoas com problemas motores. Esta sentença serve de informação de entrada para a atividade seguinte.

## 5.2.2 Atividade 2: Modelar funcionalmente a oportunidade

Nesta segunda atividade, a partir da sentença da oportunidade de ideação, é elaborado o modelo funcional da oportunidade (Figura 5.4). Este modelo sintetiza o que a oportunidade de ideação deve fazer em termos abstratos, através de verbos de ação e substantivos. A abstração do problema é importante para a redução da fixação funcional durante a ideação das soluções.

Figura 5.4 - Atividade 2 da sistemática.



Fonte: autora

A modelagem funcional da oportunidade é auxiliada pela: Base funcional de Hirtz; Técnica FAST e Orientações para executar a atividade.

Os verbos de ação servem para a definição das funções da oportunidade, e devem ser escolhidos de acordo com os verbos da base funcional de Hirtz et al. (2002a), anexo B. A base funcional de Hirtz é importante para a categorização dos bioinspiradores, com base nas funções de ação que os organismos e mecanismos biológicos executam. As funções da oportunidade são divididas em básica e parciais. A função básica corresponde ao escopo do desenvolvimento, sendo a função de maior abrangência do modelo. As funções parciais são funções dependentes da função básica que auxiliam a contextualização do problema em abrangência.

A técnica FAST (anexo D) é usada para construir o modelo funcional, pois permite estabelecer uma relação entre as tendências de mercado e estratégias de negócio (do mapa tecnológico) e as funções (do modelo funcional). A função básica e as funções parciais da modelagem possuem relação direta com a camada produto do mapa (FERNANDES, 2016). Estas funções devem pertencer a base de funções supracitada.

A técnica FAST guia a modelagem funcional sob a lógica das questões 'por quê?' 'como?' e 'quando?'. A função básica é identificada com a questão 'por que a oportunidade deve ser satisfeita?', enquanto as funções parciais são identificadas a partir das questões 'como e quando fazer a função básica?'. Mais informações sobre a técnica FAST são apresentadas no Anexo D.

As orientações da demanda guiam melhorias de produto existente ou de novidades. Se a demanda de planejamento for para melhoria de produtos e processos, o modelo funcional deve possuir mais funções parciais que detalham seus subsistemas. Na demanda de novidade busca-se promover novos produtos, componentes ou processos.

O facilitador é o responsável pela modelagem funcional, material este que vai para a equipe selecionar os BioIns e gerar as ideias para o problema formulado.

O exemplo de modelagem funcional apresentado é para a oportunidade *auxiliar idosos ou pessoas com problemas motores a vestir meias*.

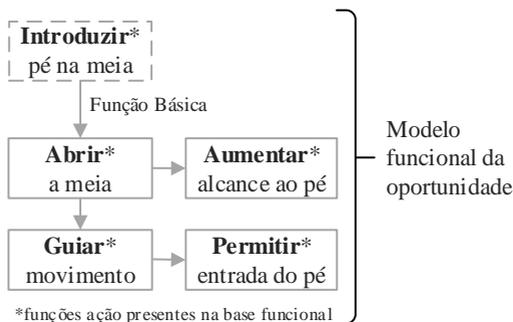
O facilitador, através de uma análise da demanda de novidade da empresa, utiliza a base de funções de Hirtz e a técnica FAST, sob sua lógica de questões *por quê?*, *como?* e *quando?* na definição das funções.

A função básica do exemplo, como indicado na Figura 5.5 é: “**Introduzir** pé na meia”. Pois o ato de introduzir é o escopo para atender a oportunidade da atividade 1.

Na sequência, as funções parciais que auxiliam na contextualização do problema são definidas e relacionadas, Figura 5.5, para satisfazer a função básica:

- **Abrir** meia;
- **Aumentar** alcance ao pé;
- **Guiar** movimento;
- **Permitir** entrada do pé.

Figura 5.5 - Modelo funcional da oportunidade de ideação trabalhada no exemplo.



Fonte: autora

Como informação resultante desta atividade tem-se o modelo funcional da oportunidade, cujas funções, além de apresentar os problemas de forma mais abstrata, são fundamentais para a seleção dos bioinspiradores na atividade seguinte.

### 5.2.3 Atividade 3: Selecionar os BioIns

A terceira atividade da SPB consiste na pesquisa do conteúdo biológico adequado (Bioins) para a oportunidade de ideação, analisando sob a ótica do projeto bioinspirado baseado no problema.

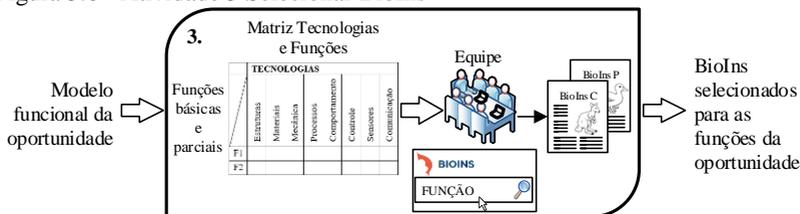
As orientações gerais da atividade é quanto a quantidade de bioins e a quem faz a seleção. A quantidade de funções do modelo funcional é um indicador da quantidade de Bioins a ser usados. É indicado que este número não seja grande, pois pode demandar muito tempo e recurso para sua leitura e compreensão.

O facilitador pode direcionar quais bioinspiradores a equipe irá usar na sequência do planejamento orientado pela biônica. Se a equipe ou se o facilitador fará a seleção, dependerá do tempo disponível pela equipe para a reunião.

A seleção dos bioinspiradores é por meio das funções do modelo funcional da oportunidade de ideação. As funções são usadas para descrever tanto um sistema técnico como um organismo biológico de modo abstrato, sendo então este o ponto onde há a transição e a interface entre a engenharia e a natureza.

A Figura 5.6 ilustra as tarefas da atividade 3. Na primeira tarefa, a equipe faz o relacionamento das funções do modelo funcional com as áreas de tecnologias biônicas (anexo C) com o objetivo de fornecer uma opção de filtro para refinar a pesquisa dos bioinspiradores, como mostrado na Figura 4.16. Exemplo do preenchimento da matriz já foi apresentado no Quadro 4.2.

Figura 5.6 - Atividade 3 Selecionar BioIns



Fonte: autora.

Na segunda tarefa, a seleção dos bioinspiradores é feita por meio da pesquisa na ferramenta Bioins web sobre cada uma das funções do modelo funcional da oportunidade de ideação. A ferramenta consulta seu banco de dados, retornando uma tela com os bioinspiradores que

possuem o verbo ação pesquisado. Se usar a seleção manual, deve-se selecionar um cartão para cada função.

Uma função pode retornar vários bioinspiradores. O refinamento da seleção é então feito com a área de tecnologia, feita na matriz, no campo do Bioins web “área tecnológica” que possui a área que se relaciona com a função pesquisada.

No contexto da oportunidade de ideação trabalhada no exemplo, para a função **Guiar**, é identificado o relacionamento com a área **Mecânica** e **Processos** da árvore de tecnologias biônicas, sob o raciocínio “*algo guia algo por meio de um processo e precisa de um mecanismo*”.

Em seguida, na ferramenta Bioins web é pesquisada esta função, obtendo o retorno de dois Bioinspiradores em seu banco de dados: a ecolocalização dos morcegos (Bioins 1 na Figura 5.7) e a cauda do canguru (Bioins 2 na Figura 5.7).

Figura 5.7 - Bioins resultado da pesquisa para o verbo "guiar"



Fonte: <http://bioins.sites.ufsc.br/pesquisa.php?pesquisa=guiar>

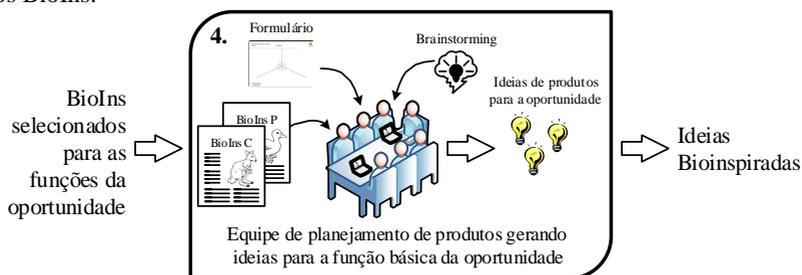
Realizando o filtro do software para a área **Mecânica**, ocorre a pesquisa no banco de dados de funções e Bioinspiradores cadastrados, retornando somente o Bioins2 ‘cauda do canguru’ como possuindo a função **Guiar** dentro do contexto da área **Mecânica**, enquanto que a ecolocalização dos morcegos não possui aplicação nesta área.

Deste modo, o Bioinspirador ‘cauda do canguru’ é selecionado para ser utilizado na atividade seguinte da sistemática de planejamento de produtos.

#### 5.2.4 Atividade 4: Propor ideias de produtos usando os BioIns

Na quarta atividade da sistemática proposta acontece a geração de ideias usando os bioinspiradores. Para isso, é recomendado realizar brainstorming com orientações para uso dos bioinspiradores e uso de formulário para registro das ideias, conforme ilustrado na Figura 5.8.

Figura 5.8 - Atividade 4 da sistemática: propor ideias para de produtos usando os BioIns.



Fonte: autora.

As informações de entrada da atividade são os Bioinspiradores selecionados de acordo com a função. Eles são o estímulo externo ao brainstorming para propor ideias de novos produtos para a oportunidade de ideação. O facilitador do processo deve orientar a equipe a ler os BioIns antes do começo da discussão, para facilitar a abstração das suas informações e a execução de analogias.

Como orientações de uso, a equipe deve, após a leitura dos BioIns, discutir como solucionar a função principal com auxílio do conteúdo extraído dos cartões selecionados e suas experiências individuais. As soluções propostas devem ser registradas em um formulário para posterior consulta e seleção das mais promissoras para compor o mapa tecnológico.

O formulário (Apêndice C1) proposto possui três campos: um para o desenho geral da ideia, um para a escrita das funções presentes e outro para a descrição das características. As ideias geradas são selecionadas na atividade 5 da sistemática para compor o mapa tecnológico de novos produtos.

## 5.2.5 Atividade 5: Mapear ideias de novos produtos

A última atividade da sistemática tem o propósito de mapear as ideias dos novos produtos obtidas no *brainstorming* bioinspirado. Esse mapeamento consiste em relacionar e alinhar as ideias de produtos bioinspiradas com as estratégias de mercado e negócio para o período de planejamento considerado.

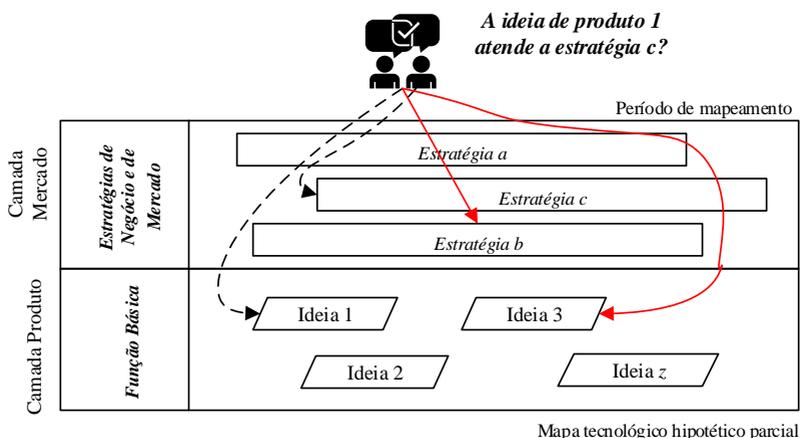
Aqui são dadas recomendações gerais para o mapeamento. Para maiores detalhes do processo, deve-se consultar os trabalhos de Fernandes (2016), Ibarra Gonzales (2015) e Ibarra (2007).

As recomendações gerais são:

- agrupar as ideias por semelhança;
- relacionar as ideias com as estratégias de negócio e de mercado do período de planejamento com o seguinte questionamento “A ideia de novo produto x atende à estratégia de negócio a?”;
- alocar as ideias abaixo da estratégia que atende.

Nesta atividade, as ideias de novos produtos bioinspirados são organizadas para configurar a camada produto do mapa tecnológico, conforme ilustrado na Figura 5.9.

Figura 5.9 - Mapeamento genérico das ideias de novos produtos na camada Produto.



Fonte: adaptado de Fernandes (2016).

### 5.3 AVALIAÇÃO QUALITATIVA DA SISTEMÁTICA PROPOSTA

A sistemática proposta é avaliada com a finalidade de verificar sua **aplicabilidade, viabilidade, clareza e contribuição**. Assim, averigua-se se seu desdobramento de atividades responde a problemática da seção 5.1.

Esta seção faz o procedimento de pesquisa-ação, pois o pesquisador e os participantes estão envolvidos de modo ativo em um estudo experimental para avaliação da eficácia da sistemática em aplicação prática.

#### 5.3.1 Materiais e Métodos da Avaliação

A avaliação foi realizada em seis etapas: apresentação oral e gráfica das 5 atividades da sistemática SPB (1); apresentação da ferramenta BIOINS web (2); apresentação do problema (3); realização da atividade 3 da sistemática, de seleção de bioins (4); realização da atividade 4 da sistemática, de ideação (5); e aplicação do questionário (6).

As etapas (1), (3), (4) e (5) visam sobretudo analisar a aplicabilidade e a contribuição da sistemática. Na etapa (1) são apresentadas as atividades da SPB e conduzidos exemplos com os avaliadores; na etapa (2) é apresentada a problemática do estudo de caso e nas etapas (3) e (4) a execução de parte da SPB, analisando sua viabilidade. A etapa (6) registra as impressões e opiniões dos avaliadores quanto aos objetivos da avaliação. A etapa (2) faz uma apresentação e capacitação da ferramenta BIOINS web.

A organização das etapas de avaliação com os correspondentes tempos é mostrada no Quadro 5.1.

Quadro 5.1 - Organização da avaliação da sistemática SPB.

| <b>Etapas da avaliação</b>  | <b>Duração</b> |
|---|----------------|
| 1. Apresentação da sistemática proposta: <i>Apresentação das 5 atividades da sistemática</i>  | 20 min         |
| 2. Apresentação da Ferramenta Bioinspiradores: <i>Apresentação e capacitação para uso do software BIOINS web para seleção dos bioinspiradores</i> | 15 min         |
| 3. Apresentação do estudo de caso: <i>Apresentação da problemática para planejamento</i>  | 5 min          |

| <b>Etapas da avaliação</b>   | <b>Duração</b> |
|--|----------------|
| 4. Realização da atividade 3: <i>seleção dos bioinspiradores no BIOINS web</i>   | 10 min         |
| 5. Realização da atividade 4: <i>Geração de ideias para o estudo de caso usando a sistemática e os bioinspiradores</i> | 40 min         |
| 6. Aplicação dos Questionários sobre a sistemática e a ferramenta  | 15 min         |

Fonte: autora.

A avaliação se deu por meio de um questionário (apêndice G) na etapa (6), respondido pelos participantes do estudo. Os perfis dos avaliadores é mostrado no Quadro 5.2

Quadro 5.2 - Perfil dos avaliadores da sistemática

| <b>Perfil dos Participantes</b> |   |
|---------------------------------|---|
| Participante 1                  | Engenheiro mecânico, mestrando em engenharia mecânica com 3,5 anos de experiência em projeto de máquinas industriais  |
| Participante 2                  | Engenheiro mecânico, mestrando em engenharia mecânica com 3 anos de experiência em projeto de máquinas industriais  |
| Participante 3                  | Engenheiro mecânico, mestre na área de projeto de sistemas mecânicos, doutorado em andamento, 7 anos de experiência em projeto de sistemas mecânicos e confiabilidade de sistemas mecânicos |
| Participante 4                  | Engenheiro mecânico, mestrando em engenharia mecânica com 1,5 anos de pesquisa em projeto universal   |
| Participante 5                  | Engenheiro mecânico, mestre na área de projeto de sistemas mecânicos, doutorado em andamento, 7 anos de experiência em desenvolvimento de produtos  |

Fonte: autora.

Os exemplos ilustrativos nas atividades 1 e 2 da SPB abordaram a oportunidade de ideação, descrita como *produtos para auxiliar idosos e pessoas com problemas motores a vestir meias*. Um texto, orientativo e um mapa tecnológico hipotético parcial do produto e o modelo funcional da oportunidade foram entregues aos participantes, mostrados no Quadro 5.3

**Quadro 5.3 - Oportunidade de ideiação entregue aos participantes. (continua)**

*O aumento na expectativa de vida mundial e a diminuição da natalidade está encaminhando a população para um aumento expressivo na parcela de idosos. Visando preservar a independência e inclusão social, a tecnologia assistiva, com seu caráter interdisciplinar, é uma ferramenta de grande importância em estudos e projetos destinados a idosos, contribuindo para a segurança, conforto e desenvolvimento das atividades rotineiras da vida diária com baixo gasto de energia física, e aumentando sua autonomia e autoestima. O bem-estar em idosos tem relação estreita com o equilíbrio entre as limitações impostas pela idade e as potencialidades individuais, que irá possibilitar o convívio com as perdas de funcionalidades e destrezas adquiridas na velhice (PAIVA; SANTOS, 2012).*

*Por exemplo, auxílios com vestuário são muito importantes para autonomia e autoestima dos idosos. Çivitci (2004) afirma que para os idosos, a roupa representa um papel muito importante, devido às mudanças sociais e físicas decorrentes do envelhecimento, pois os idosos desejam estabelecer novas conexões sociais, criar uma imagem e, especialmente, esconder as imperfeições que resultam das mudanças físicas causadas pela idade avançada. Dentre os aspectos físicos que sofrem impacto com o envelhecimento estão mudanças na pele, perda de altura e de flexibilidade, aumento do índice de massa corporal, perda de massa óssea, da área dos músculos esqueléticos e da força muscular (ÇIVITI, 2004).*

*A fim de amenizar as limitações, tecnologias assistivas para ajudar a vestir são disponíveis, sendo simples de usar e com custo baixo. Com base no texto, visando auxiliar idosos e pessoas com dificuldades motoras a vestir, **proponho ideias de produtos que auxiliem a vestir meias** (introduzir o pé na meia) para médio prazo de acordo com o mapa tecnológico parcial e hipotético (Figura 1) e com o modelo funcional (Figura 2).*

|            |  | 2013-2017   | 2017-2022   | → tempo |
|------------|--|---|---|---------|
| Mercado    | Tendências das Necessidades dos usuários | ↓ Preço ↑ Qualidade<br>.....  | ↑ Utilidade ↑ Segurança<br>↑ Usabilidade .....                                    | .....   |
|            | Tendências sociais e ambientais          | ↓ Consumo de energia nos processos<br>.....                                       | ↑ População idosa<br>.....  | .....   |
|            | Tendências das necessidades de mercado   | ↓ Custo<br>.....  | ↑ Facilitar tarefas diárias<br>.....  | .....   |
| Produto    | Linha de produtos 1<br>.....             |  |  | .....   |
| Tecnologia | Manufatura                               | Estampagem →  | Qualquer processo   | .....   |
|            | Materiais                                | Ligas não ferrosas →  | Qualquer material   | .....   |
| .....      | .....                                    |   |   | .....   |

Figura 1. Mapa tecnológico parcial e hipotético da oportunidade

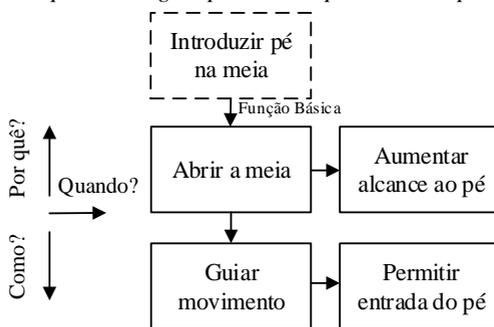


Figura 2. Modelo funcional da oportunidade

Fonte: autora.

Para executar a tarefa, os participantes receberam formulários para preencher durante o brainstorming, o mapa tecnológico sobre a oportunidade (Quadro 5.3) e acesso ao ferramenta Bioins. O uso desta ferramenta também foi registrado com o uso de um questionário (apêndice G).

A Figura 5.10 mostra os participantes durante o brainstorming, usando a ferramenta Bioins (etapa 4).

Figura 5.10 - Participantes realizando o *brainstorming* estimulado pelos bioinspiradores.



Fonte: autora.

### 5.3.2 Resultados e observações da avaliação

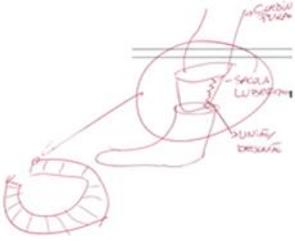
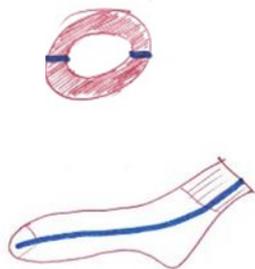
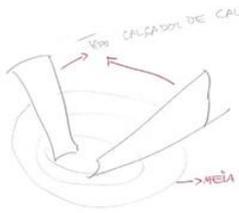
O Quadro 5.4 mostra as ideias geradas para a oportunidade de ideação usando a sistemática SPB e os bioinspiradores. Em suas colunas estão a imagem da ideia, as funções, as características, o conteúdo bioinspirador e a relação da ideia com o conteúdo da natureza. O bioinspirador usado para a ideia, na maioria dos casos foi identificado no formulário.

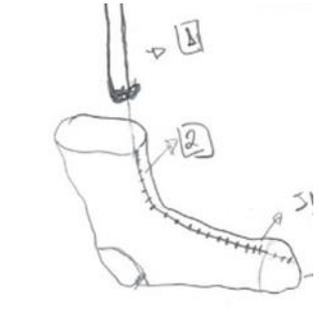
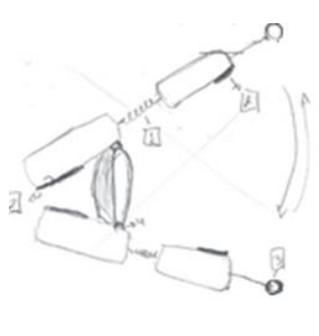
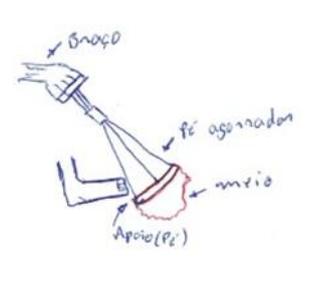
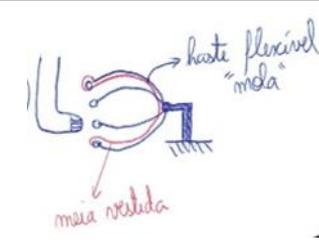
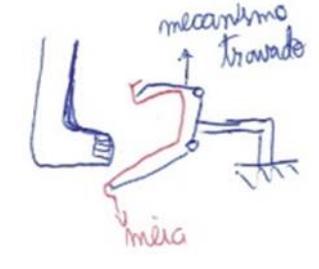
Foi observado que os avaliadores se organizaram em duas equipes, com 3 e 2 participantes em cada. A primeira equipe (3 participantes) fez uso de 5 bioinspiradores distintos e gerou 6 ideias (linhas de A à F no Quadro 5.4). A segunda equipe usou 4 bioinspiradores distintos, gerando 3 ideias (G1 a G3 no Quadro 5.4).

Os formulários preenchidos com as ideias estão no Apêndice H.

Ressalta-se que todas as ideias geradas apresentam destacadas uma ou mais características retiradas dos bioinspiradores selecionados com as funções do modelo funcional do problema.

Quadro 5.4 - Análise das ideias geradas para o estudo de caso.

|   | Ideia   | Funções                      | Características   | Bioinspi-<br>rador | Relação da ideia com conteúdo<br>da natureza  |
|---|---|------------------------------|---|--------------------|---|
| A |    | 1. Ser desmontável           | 1. Grampo   | Cobra              | A característica de suporte em que o pé desprende o molde foi inspirado na troca de pele das cobras. Neste evento da natureza, a pele a ser trocada é retirada devido o atrito do animal com a superfície, ficando preso onde o animal passou. A ideia do produto foi inspirada de forma inversa ao estímulo apresentado, o pé veste a meia tal como se esta fosse a pele velha da cobra e o faz pela meia estar presa em um suporte. |
|   |   | 2. Armazenar pé              | 2. "Meia 3d" -> molde   | Escamas das cobras |   |
|   |   | 3. Prender meia              | 3. Suporte para meia  |                    |   |
| B |    | 1. Deslizar facilmente       | 1. Cordinha para puxar  | Cobra              | A característica de lubrificante é inspirada no atrito reduzido das escamas do ventre das cobras com o solo, que lhes permite a locomoção. Assim, o pé desliza para ser introduzido na meia em uma superfície de baixa fricção que se destaca após vestir a meia (por meio das cordinhas), assim como a pele da cobra se destaca para permitir seu crescimento.   |
|   |   |                              | 2. Sacola Lubrificante  | Escamas das cobras |   |
|   |   |                              | 3. União desunião   |                    |   |
| C |  | 1. Abrir a meia              | 1. Duas hastes enroláveis (traço contínuo) enrolam a meia, o idoso coloca o pé dentro da meia, como uma camisinha | Escamas das cobras | A característica de funcionamento sobre a remoção das hastes após o vestimento da meia é inspirada na perda das escamas da cobra.   |
|   |   | 2. Guiar movimento           | 2. Depois o idoso puxa as hastes, desenrolando-as juntamente com as meias   |                    |   |
|   |   | 3. Enrolar / desenrolar meia | 3. Remove as hastes.  |                    |   |
| D |  | 1. Abrir a meia              | 1. Estrutura tipo calçador de calçado dentro da meia  | Mandíbula da cobra | O funcionamento de forçar a abertura da meia por meio de talas é inspirado na mandíbula da cobra. Este mecanismo da natureza é capaz de aumentar seu perímetro para permitir a ingestão de presas maiores que a própria cobra.  |
|   |   |                              | 2. Inse os "calçadores" e inse o pé   |                    |   |
|   |   |                              | 3. Tira os calçadores   |                    |   |

|    | Ideia   | Funções   | Características   | Bioinspirador                                   | Relação da ideia com conteúdo da natureza  |
|----|---|---|---|---|--|
| E  |    | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Fechar meia</li> <li>2. Aumentar alcance da mão</li> <li>3. Prender meia no pé</li> </ol>                       | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Haste</li> <li>2. "Zíper"</li> <li>3. Ao puxar a haste, a meia se fecha, prendendo no pé</li> </ol>   | Vértebras da cobra                              | A característica do zíper é inspirada no esqueleto da cobra, devido a maleabilidade que este confere ao animal, juntamente com a musculatura forte para locomoção. A maleabilidade é necessária para zíper adaptar-se ao contorno do pé, tal qual as vértebras e musculatura da cobra diante de superfícies acidentadas.   |
| F  |    | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Aderir à perna</li> <li>2. Movimentar gradualmente a meia</li> <li>3. Prender a meia</li> </ol>                 | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Mola</li> <li>2. Textura para aderir à perna</li> <li>3. Haste</li> <li>4. Ganchos para segurar a meia</li> </ol>   | <p>Mandíbula da cobra</p> <p>Língua do sapo</p> | O movimento de abertura das hastes é inspirado no movimento da mandíbula da cobra. Este mecanismo se abre além do perímetro normal da cobra para que a presa capturada seja ingerida. A textura das partes que se aderem a perna é inspirada na língua do sapo, que possui textura pegajosa, com grande capacidade de adesão e força de tração para a captura de presas de grande tamanho. |
| G1 |  | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Abrir a meia</li> <li>2. Permitir a entrada</li> <li>3. Aumentar alcance</li> <li>4. Guiar movimento</li> </ol> | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Garras espaçam as meias</li> <li>2. Garras são retráteis (aumentam o alcance)</li> <li>3. Existe um apoio para guiar o usuário onde (pôr) o pé</li> </ol> | <p>Pés das Aves</p> <p>Unha do Gato</p>         | A característica de garras que espaçam a meia é inspirada no pé agarrador das aves. Ao contrário do funcionamento deste mecanismo da natureza, que serve para segurar a ave ao fechar as garras no galho, a garra na ideia do produto abre a meia para permitir a entrada do pé.   |
| G2 |  | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Permitir a entrada</li> <li>2. Abrir a meia</li> </ol>  | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Haste flexível que apalpa o pé e carrega no pé</li> <li>2. Mecanismo preso ao chão</li> <li>3. Meia vestida como guelras.</li> </ol>                      | Pés das aves                                    | A característica da haste flexível é inspirada nos dedos das aves, mais especificamente no pé nadador. Onde a haste flexível seria os dedos e a meia seria como a membrana.  |
| G3 |  | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Abrir a meia</li> <li>2. Guiar movimento</li> <li>3. Permitir entrada</li> </ol>                                | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Mecanismo armado e travado</li> <li>2. Com o destrave ao colocar o pé</li> <li>3. Mecanismo preso ao chão</li> </ol>                                      | Mandíbula da cobra                              | O "mecanismo travado" na posição da mandíbula da cobra quando esta se abre além do perímetro normal da cobra para que a presa capturada seja ingerida. Ao encaixar o pé no mecanismo, ele destrava e solta a meia, fechando como a mandíbula da cobra se fecha ao terminar de ingerir uma presa.   |

Em cada uma das ideias há características e princípios de funcionamento que fazem analogia ao conteúdo dos bioinspiradores. Isto mostra que eles foram úteis durante o *brainstorming*, auxiliando no aumento da novidade das características.

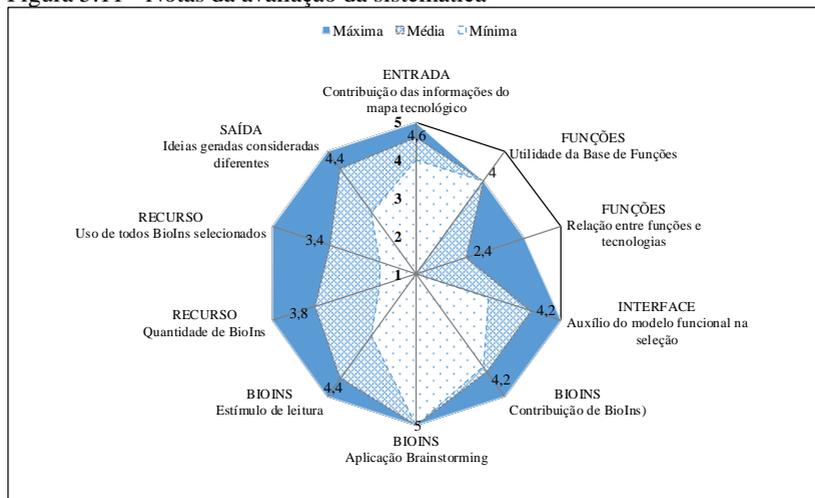
### 5.3.3 Avaliação da sistemática SPB por especialistas em desenvolvimento de produtos

O questionário para avaliação final da sistemática (Apêndice G1), foi elaborado com base nos modelos utilizados por Reinert (2013), Geisler (2011) e Ibarra (2007). O questionário serve para verificar se a sistemática proposta é **aplicável, viável, coerente e clara**. Os critérios são explicados no Apêndice G.

Os resultados (notas máxima, mínima e média) do questionário para as atividades da sistemática são apresentados na Figura 5.11, em forma de gráfico de radar, e detalhadamente no Apêndice G2.

As possíveis respostas às questões são: 1 - Não; 2 - Pouco; 3 - Parcial; 4 - Bem e 5 - Muito. As médias são compostas por cinco notas de avaliadores, e estão representadas em cada questão. Para cada quesito são registradas notas de 1 a 5, sendo 5 a melhor. As dez questões referentes à sistemática são categorizadas nos seguintes aspectos: Entrada; Funções; Interface; Bioins; Recurso; e Saída.

Figura 5.11 - Notas da avaliação da sistemática



Fonte: autora.

As estratégias de negócio e as tendências de mercado contribuem para a formulação da oportunidade de ideação (nota média de 4,6). A avaliação é diretamente relacionada com a atividade 1 da sistemática e sua estruturação, ou seja, como a atividade está planejada e sua saída em forma de sentença global que define a oportunidade.

O uso da base de funções para a construção do modelo funcional da oportunidade é considerado bem pertinente (nota 4) por todos os avaliadores corroborando a importância de categorizar os bioinspiradores para pesquisa em função do que organismos e mecanismos executam.

Apesar da boa avaliação geral sobre a atividade 3, a tarefa de relacionar as funções do modelo funcional com as áreas de tecnológicas biônicas não foi bem avaliada, não sendo considerada aplicável e útil por 2 dos avaliadores e com nota média 2,4.

Isto deve-se ao fato que as áreas de tecnologia usadas, propostas por (AYRE et al., 2004) na Agência Espacial Europeia (ESA), são abrangentes em suas definições para cada uma das áreas. Então, isso gerou dúvidas no momento de relacionar uma função (do modelo funcional), com a área de tecnologia, a fim de usar esta relação para melhor filtrar e selecionar o Bioinspirador adequado para o brainstorming.

Os participantes declararam que o uso da matriz não auxiliou na seleção, gerou ruídos e levou tempo para fazer a correlação. Uma solução para esta situação seria um procedimento de compreensão e entendimento de cada área que durasse por um tempo suficiente para que ocorra uma melhor assimilação dos conceitos para a classificação.

A interface entre a ferramenta Bioins e a modelagem funcional da oportunidade, ou seja, o auxílio do modelo funcional na seleção dos Bioinspiradores, obteve uma boa avaliação entre os participantes (nota média de 4,2). Isto demonstra aderência entre as atividades propostas dentro da sistemática, bem como a boa relação de entrada/saída entre as atividades 2 e 3.

Os resultados da categoria BIOINS mostram que a realização do brainstorming usando BioIns contribui muito (nota média igual a 5) para a estimulação pela biônica para gerar as ideias. Isto também é verificado no resultado das ideias Bioinspiradas, mostrando que os Bioinspiradores contribuíram positivamente nos resultados obtidos.

Ainda, a leitura dos cartões contribui para a estimulação pela biônica (nota média 4,4). Quanto à questão sobre se foi útil a quantidade de cartões (quantidade de Bioins indicada pela quantidade de funções do modelo funcional) os participantes atribuíram nota média 3,8.

Foi observado que os participantes usaram com maior frequência um organismo bioinspirador para basear suas soluções, conforme as ideias do Quadro 5.4, com o recorrente uso da inspiração nos mecanismos da cobra. Isso sugere que nem sempre uma grande quantidade de Bioinspiradores é relevante para solucionar um problema de forma inovadora.

Com relação a obtenção de ideias distintas do usual por usar a sistemática proposta com os Bioinspiradores, a nota média da avaliação é 4,4. Este resultado é bastante positivo para a sistemática de planejamento e para uso dos Bioinspiradores como meio para inovar nos produtos, corroborando com os resultados do experimento de avaliação da ferramenta mostrados no capítulo 4 e no Apêndice A.

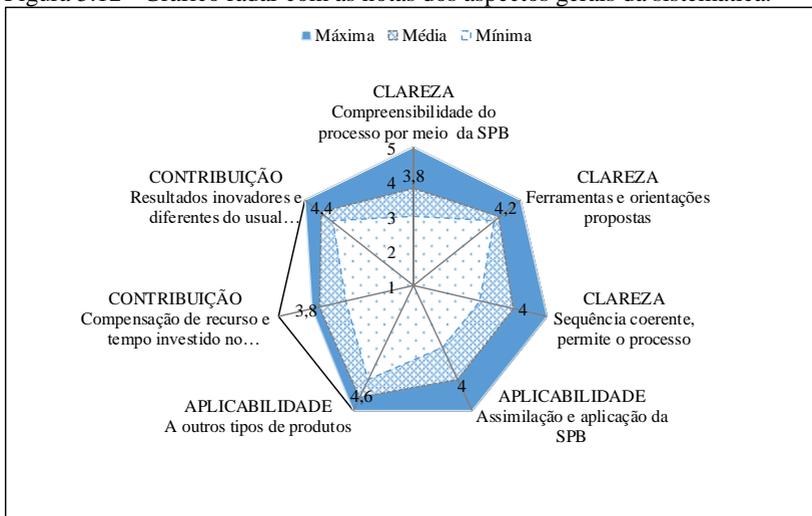
Quanto aos aspectos gerais de clareza, viabilidade de aplicação e contribuição da sistemática, os resultados gerais são classificados quanto ao: Processo de planejamento; Adequação; Atividades; Potencial; Aplicação e Resultados. A Figura 5.12 traz de forma gráfica o resultado desta avaliação.

A clareza do processo de planejamento, ou seja, a compreensão por meio do SPB obteve nota média de 3,8, enquanto o entendimento na adequação através das ferramentas e orientações propostas alcançou nota 4,2. A clareza das atividades e sua sequência obteve nota média 4. Os três resultados mostram índices muito próximo ao valor 4, correspondente a nota bom, sendo que as variações entre máximo e mínimo sempre estiveram muito próximas à média.

Aplicabilidade da SPB é tratada em seu potencial e aplicação a outros tipos de produtos em duas questões, as notas médias obtidas foram 4 e 4,6 respectivamente. Estes resultados mostram uma interessante viabilidade que a sistemática possui.

A contribuição dos resultados é avaliada em função da contrapartida do uso de recursos e tempo para realizar a sistemática (nota média 3,8) e com relação a inovação dos resultados obtidos (nota 4,4). Ambos valores estão próximos ou acima do considerado bom, embora está mais clara a capacidade de inovação da sistemática em projetos de engenharia.

Figura 5.12 - Gráfico radar com as notas dos aspectos gerais da sistemática.



Fonte: autor.

De modo geral, todos os participantes consideraram positivos os resultados ao gerar ideias que não teriam sido pensadas sem o contato com os bioinspiradores, sendo possível observar características da natureza nas ideias geradas usando a sistemática em conjunto com os bioinspiradores. Com exceção de uma questão, todas obtiveram ao menos uma nota máxima 5 dos especialistas e todas as questões possuem notas médias próximas a 4.

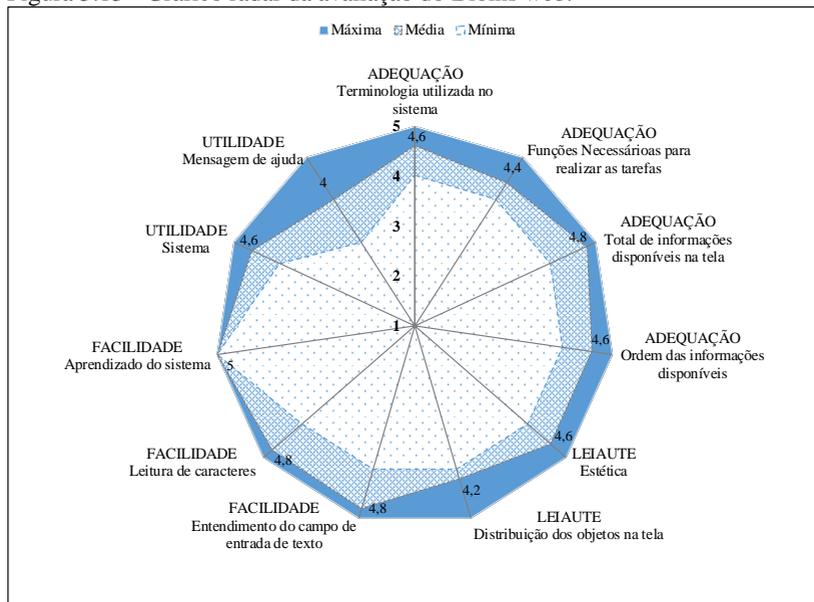
#### 5.3.4 Avaliação do uso da ferramenta BIOINS web na ideação

Os resultados da avaliação da ferramenta Bioins são classificados em: Adequação; Estética; Distribuição dos objetos; Facilidade e Utilidade. A avaliação do uso do software foi realizada através do questionário exposto no gráfico em radar da Figura 5.13 (resultados no apêndice G3). As questões foram apresentadas aos participantes no término da avaliação da sistemática de planejamento de produtos da seção 5.3.

A avaliação obteve um retorno muito positivo com relação às notas atribuídas, revelando uma adequação do site com os critérios propostos para a tela, sobre as informações do sistema e sua terminologia. Em especial, todos os participantes julgaram com notas

muito altas sobre a facilidade de operação do ambiente web e sua adequação à sistemática.

Figura 5.13 - Gráfico radar da avaliação do Bioins web.



Fonte: autora.

O processo avaliativo do software se faz necessário para dissociar particularidades da elaboração do ambiente web com o seu propósito de aplicação. O bom resultado nas notas da Figura 5.13 indica que o desempenho da sistemática SPB via BIOINS web não é contingenciado por aspectos construtivos do software, pelo contrário, o mesmo pode ser utilizado adequadamente como proposto.

#### 5.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O fluxo de atividades previsto no SPB sugere sistematicamente como inserir e usar os bioinspiradores no Planejamento de Produtos auxiliado pelo mapa tecnológico. Esta problemática, levantada na Figura 5.1, é abordada com a sequência de cinco atividades descritas na seção 5.2, somada a sua aplicação com especialistas.

Os resultados do questionário preenchido pelos participantes da avaliação e suas ideias geradas, mostraram que a sistemática atende bem

ao objetivo geral desta dissertação: “propor uma sistemática para planejamento de produtos usando ferramenta bioinspiradora, que auxilie na geração de ideias inovadoras”. As ideias apresentadas via o SPB sobre auxiliar a vestir meias possuem características particulares baseadas no conteúdo da biologia e maior novidade frente a produtos existentes no mercado, segundo a experiência dos avaliadores especialistas.

Ademais, este capítulo explorou os dois últimos objetivos específicos ao “Aplicar a ferramenta proposta em situação de planejamento de produtos”, na seção 5.3.1 e 5.3.2 e ao “Desenvolver e avaliar uma plataforma web para estímulo externo em brainstorming durante sessões de ideações de produtos com base na sistemática e na ferramenta bioinspiradora proposta”. Os questionários aplicados sobre a ferramenta Bioins web mostraram que a interface web e sua estrutura não limitam a capacidade da ferramenta, sendo assim, a versão web pode ser utilizada com o mesmo propósito do que a versão com cartões, embora, com uma capacidade de armazenamento e acesso de dados muito maior e dinâmica.

A avaliação geral identificou como pontos fortes da sistemática a sua Clareza, Aplicabilidade e Contribuição.

As questões 2.1 e 2.2 indicam a sistemática apresentada como compreensível e as orientações relativas às atividades propostas como bem adequadas. Estes dados corroboram a clareza com a qual as atividades foram expostas e como o nível de informação, em âmbito geral, foi suficiente e adequado para o desenvolvimento do experimento.

A aplicabilidade da SPB é tratada pelas questões 2.4 e 2.5, onde os especialistas apontam que existe potencial para que a sistemática seja efetivamente assimilada e, além disso, ser aplicada a outros tipos de produtos. Logo, a utilidade da sistemática SPB pode alcançar resultados além do experimento desenvolvido.

A contribuição da sistemática é considerada relevante por cumprir sua viabilidade, ou seja, se sua aplicação compensa os recursos e tempo investidos para realizar o processo e se os resultados estão alinhados com o proposto. Para ambos pontos, a avaliação se mostrou positiva, primeiro, na boa avaliação da questão 2.6 e em segundo ao considerar fortemente que os resultados são considerados inovadores na questão 2.7.

Ideias bioinspiradas inovadoras como a ideia A e G1, ilustradas no Quadro 5.4, são baseadas na troca de pele da cobra e no pé das aves, respectivamente. Ambas soluções são consideradas criativas por usar princípios de funcionamento inspirados nas informações dos

bioinspiradores consultados, sendo diferenciadas frente a produtos existentes no mercado.

A Figura 5.11, acerca dos resultados da avaliação das atividades da SPB realizada pelos especialistas consultados, ilustra distintamente as boas notas atribuídas aos aspectos da sistemática (Contribuição, aplicação e estímulo) e sua interface com modelo funcional para pesquisa.

A contribuição das informações do mapa tecnológico e as ideias geradas também foram bem avaliadas, o que indica, a princípio, uma adequada delimitação da abrangência da sistemática e por fim, a sua importância ao cumprir seu objetivo geral.

Por outro lado, se faz necessário um comentário sobre as funções e a aplicabilidade do uso de matriz funções e áreas tecnológicas. A sua execução foi criticada pelos participantes devido as definições das áreas, onde 40% a considerou não aplicável e 40% a julgou parcialmente aplicável. O uso da matriz de funções e áreas tecnológicas esbarra no nível de conhecimento necessário sobre as áreas e para a classificação das funções.

Como pôde-se perceber bons índices relacionados à clareza do experimento, julga-se que o baixo conhecimento dos participantes acerca das áreas tecnológicas, somado ao curto tempo para assimilar e compreender sua classificação, geraram dificuldades em seu uso e, portanto, as devidas críticas foram feitas.

Inferese que os recursos para o experimento foram considerados suficientes pelos especialistas, pois quatro entrevistados (80%) não utilizaram todos os Bioinspiradores à disposição, embora somente um (20%) afirmou que a quantidade de Bioinspiradores foi insuficiente. Embora, mantem-se a posição de acordo com a conclusão do capítulo 4, sendo o mais indicado ter a disposição a maior quantidade de Bioinspiradores possível.

Embora existam sugestões de melhoria na condução da sistemática SPB, conclui-se que existe uma resposta qualitativa muito positiva sobre o método SPB em seu desempenho e que isto não impacta na boa avaliação da sistemática.



## 6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES DE TRABALHOS FUTUROS

O presente capítulo apresenta as conclusões gerais do trabalho e as recomendações de trabalhos futuros.

### 6.1 CONCLUSÕES

Em busca de atender ao objetivo estabelecido e em conformidade com a metodologia de pesquisa, primeiramente foi feita a etapa de fundamentação teórica, visando contextualizar a fase de planejamento de produtos e o mapeamento tecnológico no PDP através dos requisitos, limitações e benefícios do método. Sendo também apresentado o conteúdo de criatividade e os métodos e ferramentas usados na projeção inspirada na natureza.

Constatou-se nesta etapa da pesquisa que o Mapeamento Tecnológico é um método bastante referenciado e que possui lacunas para a geração de ideias inovadoras para a camada produto. A revisão sobre criatividade mostra que o uso de estímulos e analogias no processo criativo altera positivamente seus resultados, potencializando a novidade e utilidade de ideias de produtos.

Ainda por meio da revisão da literatura, a pesquisa sobre biônica, suas ferramentas e métodos no projeto bioinspirado, mostrou-se promissora para a inovação através de estímulos a criatividade, diminuindo a fixação funcional do processo criativo. Verificou-se que o nível da informação (i.e. abstrata e detalhada em linguagem biológica) do estímulo da natureza influencia na fixação funcional. A descrição destas informações em nível funcional de organismos biológicos e suas partes, usando figuras e esquemas se mostra promissora.

Considerando-se os subsídios identificados na fundamentação teórica, foi elaborada a proposta da ferramenta bioinspiradores e a sistemática para o planejamento de produtos orientado pela biônica usando os bioinspiradores.

Os Bioins foram criados sob as hipóteses de aumento da: quantidade (1), utilidade (2) e novidade (3) das ideias bioinspiradas frente as tradicionais. A quantidade (1) e a utilidade (2) das ideias não mostraram evidência de melhoria nos dois experimentos. Foi comprovado o aumento da novidade (3) das ideias.

A quantidade de ideias (1) pode ser influenciada pelo processo (e.g. interagir com o grupo e inibição, fatores não controlados no experimento). A utilidade (2) depende de foco em funções do Bioins

para desenvolver novas funções, mas o foco das ideias geralmente é dado aos princípios de solução, as funções acabam sendo para explicar o porquê dos princípios. Nas características dos princípios de solução, onde a novidade (3) foi medida, há a presença de características geradas usando a analogia com os bioinspiradores que são diferentes do usual.

As ideias geradas com uso da biônica contém mais características e princípios de solução novos. Ou seja, estas ideias possuem atributos diferenciados derivados do conteúdo dos bioinspiradores observando-se assim a ocorrência de estimulação cognitiva, que se refere à estimulação de novas ideias resultado da exposição às ideias dos outros, originária tanto dos cartões quanto do trabalho em grupo.

A sistemática para o planejamento de produtos orientado pela biônica usando bioinspiradores (SPB), apresentada no capítulo 5, organiza 5 atividades para incorporar a projeção bioinspirada baseada no problema dentro da fase de planejamento de produtos. Utiliza o mapa tecnológico puxado pelo mercado para o subsídio de informações para o início do planejamento.

Estas atividades são detalhadas mostrando o fluxo de informações para desde a formulação da oportunidade de ideação até o mapeamento dos produtos bioinspirados. Também são indicados orientações e ferramentas de como realizar cada atividade. A sistemática é proposta de maneira genérica, sendo aplicável em qualquer segmento de produtos.

A avaliação da sistemática mostrou que atende bem sua proposta por apresentar uma sequência lógica e consistente de atividades, que geram as ideias diferenciadas de produtos bioinspirados por suas características possuírem maior novidade. Como principal vantagem da sistemática, tem-se o potencial inovador das ideias usando os bioinspiradores. Como desvantagem e como ponto a melhorar, a atividade 3 deve ser revista em trabalhos futuros a fim de se tornar otimizada e não gerar ruído na seleção dos bioinspiradores quanto a sua área tecnológica de aplicação.

À face do exposto, acredita-se que o objetivo geral de propor uma sistemática de planejamento de produtos orientada pela biônica usando bioinspiração foi alcançado. Considerando os objetivos específicos, conclui-se que:

- A fundamentação teórica permitiu identificar processos, métodos e ferramentas para o projeto orientados pela biônica e as lacunas do planejamento de produtos, concluindo que esta técnica de criatividade tem potencial de aplicação nesta fase do PDP;
- A fundamentação teórica também auxiliou a: propor ferramenta bioinspiradores quanto seu formato e conteúdo; a

aplicar a ferramenta no processo criativo. Esta ferramenta teve sua contribuição positiva confirmada na novidade das ideias geradas;

- A sistemática desenvolvida arranja as atividades de planejamento de produtos usando os bioinspiradores como estímulo criativo na proposição de ideias de produtos novos ao longo do tempo,

- A sistemática foi avaliada positivamente por especialistas em desenvolvimento de produtos, sendo considerada aplicável e consistente, colaborando a ideias inovadoras;

- A ferramenta BIOINS web é aplicável, consistente e contribui com a SPB.

Em termos gerais, conclui-se que a sistemática proposta é apropriada e tem potencial de utilização para a ideação de produtos bioinspirados otimizando o planejamento de produtos inovadores.

## 6.2 RECOMENDAÇÕES DE TRABALHOS FUTUROS

Considerando a importância de prosperar e ampliar o conhecimento sobre biônica, a seguir são propostas algumas recomendações para pesquisas futuras nesta área.

Sugere-se como primeira recomendação a aplicação da sistemática e da ferramenta bioins em empresas em estudos de caso específicos.

Como segunda recomendação de melhoria sinaliza-se colocar a sistemática proposta junto à ferramenta BIOINS web, bem como opção para impressão dos conteúdos dos bioinspiradores, podendo ser usado cartões físicos no brainstorming.

Como terceira recomendação, indica-se adaptar a sistemática de planejamento de produtos utilizando o mapa tecnológico empurrado pela tecnologia juntamente com os bioinspiradores.

Outra possibilidade de estudo é adaptar a sistemática para o uso com brainwriting como técnica de criatividade para o trabalho em grupo.

Finalmente, espera-se que o conteúdo apresentado seja utilizado pelas empresas, auxiliando na tomada de decisão e na competitividade com produtos inovadores usando biônica.



## REFERÊNCIAS

- AYRE, Mark et al. (Org.). **BIONICS & SPACE SYSTEM DESIGN: BIOMIMICRY – A REVIEW**. Noordwijk: European Space Agency, 2004. 86 p.
- AYRE, Mark et al. (Org.). **ESA BIOMIMICRY TECHNOLOGY TREE**. Noordwijk: European Space Agency, 2003. 7 p.
- BACK, Nelson; OGLIARI, André; DIAS, Acires; SILVA, Jonny Carlos da. **Projeto integrado de produto: planejamento, concepção e modelagem**. Barueri, SP: Manole, 2008. 601p.
- BANNASCH, Rudolf. Bionics. In: BULLINGER, Hans-jörg et al. **Technology Guide: Principles – Applications – Trends**. München: Springer, 2009. Cap. 4. p. 178-183.
- BAXTER, Mike. **Projeto de Produto: guia prático para o design de novos produtos**. 3. Ed. São Paulo: Blucher, 2011.
- BIOMIMICRY INSTITUTE (Estados Unidos) (Org.). **The power of the Biomimicry Design Spiral**. 2016. Disponível em: <<https://biomimicry.org/biomimicry-design-spiral/>>. Acesso em: 20 ago. 2016.
- CALMANOVICI, Carlos Eduardo. **A inovação, a competitividade e a projeção mundial das empresas brasileiras**. *Rev. USP*[online]. 2011, n.89, pp. 190-203. ISSN 0103-9989.
- CANADA, Value Analysis (Org.). **FUNCTION ANALYSIS SYSTEM TECHNIQUE (FAST)**. 2016. Disponível em: <<http://scav-csva.org/fast.php>>. Acesso em: 17 jul. 2017.
- CANADA, Value Analysis (Org.). **FUNCTION ANALYSIS SYSTEM TECHNIQUE (FAST)**. 2016. Disponível em: <<http://scav-csva.org/fast.php>>. Acesso em: 17 jul. 2017.
- CHAKRABARTI, Amaresh et al. A functional representation for aiding biomimetic and artificial inspiration of new ideas. **Ai Edam**, [s.l.], v. 19, n. 02, p.113-132, maio 2005. Cambridge University Press (CUP). <http://dx.doi.org/10.1017/s0890060405050109>.

CHANG, Yu-shan et al. Effect of TRIZ on the creativity of engineering students. **Thinking Skills And Creativity**, S.l., n. 19, p.112-122, mar. 2016.

CHIU, Ivey; SHU, L.h.. Biomimetic design through natural language analysis to facilitate cross-domain information retrieval. **Artificial Intelligence For Engineering Design, Analysis And Manufacturing**, S.l., n. 21, p.45-59, 2007.

ÇIVITCI, S. An ergonomic garment design for elderly Turkish men. **Applied Ergonomics**, [S.l.], v. 35, n. 3, p.243-251, maio 2004.

COHEN, Y.h.; REICH, Y.. **Biomimetic Design Method for Innovation and Sustainability**. S.l: Springer, 2017. 258 p.

CON, Jorge et al. Falls from ladders: age matters more than height. **Journal Of Surgical Research**, [s.l.], v. 191, n. 2, p.262-267, out. 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jss.2014.05.072>.

CORNÉLIO PROCÓPIO. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ministério da Educação (Org.). **Plano de Ensino: TÉCNICO EM ELETROTÉCNICA - UNIDADE CURRICULAR Biologia 2**. 201?. Disponível em: <[http://www.cp.utfpr.edu.br/planodeensino/P.E Tec. Eletrotecnica/2 ano/QB22H\\_BIOLOGIA\\_E13.pdf](http://www.cp.utfpr.edu.br/planodeensino/P.E Tec. Eletrotecnica/2 ano/QB22H_BIOLOGIA_E13.pdf)>. Acesso em: 20 abr. 2016.

EVERSHEIM, Walter. Methods Description. In: EVERSHEIM, Walter. **Innovation Management for Technical Products: Systematic and Integrated Product Development and Production Planning**. Berlin: Springer, 2009. Cap. 4. p. 165-174.

EVERSHEIM, Walter. **Innovation Management for Technical Products: Systematic and Integrated Product Development and Production Planning**. Berlin: Springer, 2009. 447 p.

FABRÍCIO, Suzele Cristina Coelho; RODRIGUES, Rosalina A Partezani; COSTA JUNIOR, Moacyr Lobo da. Causas e conseqüências de quedas de idosos atendidos em hospital público. **Rev Saúde Pública**, São Paulo, v. 1, n. 38, p.93-99. 2004.

FERNANDES, Rodrigo Bastos. **Metodologia para o planejamento de novos produtos por meio de estimuladores biológicos**. 2016. 274 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Mecânica, Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.

FESTO (Alemanha). **Bionic Learning Network: What does Festo want to achieve with bionics?**. 2016. Disponível em: <<https://www.festo.com/group/en/cms/10156.htm>>. Acesso em: 15 jul. 2017.

FESTO (Org.). **Bionic Handling Assistant: Safe human-machine interaction**. 2011. Disponível em: <<https://www.festo.com/group/en/cms/10241.htm>>. Acesso em: 01 dez. 2016.

\_\_\_\_\_ (Org.). **BionicANTs: Cooperative behaviour based on a natural model**. 2015. Disponível em: <<https://www.festo.com/group/en/cms/10157.htm>>. Acesso em: 01 dez. 2016.

FIELD, Andy. **Discovering Statistics using SPSS**. 3. ed. S.l: Sage, 2009. 854 p.

FLORIANÓPOLIS. Instituto Federal de Santa Catarina. Ministério da Educação (Org.). **Curso Técnico em Eletrotécnica Integrado: UNIDADES CURRICULARES DA 3ª FASE: BIOLOGIA**. 2014. Pág. 57. Disponível em: <[http://florianopolis.ifsc.edu.br/images/stories/ppc/Integrados/ppc\\_cti\\_eleterechnica\\_2015.pdf](http://florianopolis.ifsc.edu.br/images/stories/ppc/Integrados/ppc_cti_eleterechnica_2015.pdf)>. Acesso em: 20 abr. 2016.

FLORIANÓPOLIS. Marina Guazzelli Soligo. Ministério da Educação (Org.). **Planos de Ensino Biologia/Ciências 2016 COLÉGIO DE APLICAÇÃO: PLANO DE ENSINO**. 2016. Pág. 12. Disponível em: <<http://www.ca.ufsc.br/files/2011/04/BIOLOGIA-CIÊNCIAS-2016.pdf>>. Acesso em: 20 abr. 2016.

GEBESHUBER, I.c.; MAJLIS, B.y.; STACHELBERGER, H.. Biomimetics in Tribology. In: GRUBER, Petra et al. (Ed.). **Biomimetics – Materials, Structures and Processes: Examples, Ideas and Case Studies**. Berlin: Springer, 2011. p. 25-49.

GEISLER, Lisiane. **Sistematização do Planejamento de Produtos Orientado pela Evolução do Mercado**. 2011. 206 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011.

GLIER, Michael W. et al. Evaluating the Directed Method for Bioinspired Design. **Volume 7: 9th International Conference on Design Education; 24th International Conference on Design Theory and Methodology**, [s.l.], p.403-413, 12 ago. 2012. ASME International. <http://dx.doi.org/10.1115/detc2012-71511>.

GOEL, Ashok. **DANE 2.0 HOME**. 2011. Disponível em: <<http://dilab.cc.gatech.edu/dane/>>. Acesso em: 20 set. 2016.

GONÇALVES, Milene; CARDOSO, Carlos; BADKE-SCHAUB, Petra. What inspires designers? Preferences on inspirational approaches during idea generation. **Design Studies**, [s.l.], v. 35, n. 1, p.29-53, jan. 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.destud.2013.09.001>.

GRUBER, Petra. Biomimetics in Architecture. In: GRUBER, P. et al. **Biomimetics – Materials, Structures and Processes: Examples, Ideas and Case Studies**. Berlin: Springer, 2011. Cap. 7. p. 127-148.

HIRTZ, Julie et al. **A Functional Basis for Engineering Design: Reconciling and Evolving Previous Efforts**. S.l., 2002a. 43 p. NIST Technical Note 1447.

HIRTZ, Julie et al. A functional basis for engineering design: Reconciling and evolving previous efforts. **Research In Engineering Design**, [s.l.], v. 13, n. 2, p.65-82, mar. 2002b. Springer Nature. <http://dx.doi.org/10.1007/s00163-001-0008-3>.

HOWARD, T. J.; CULLEY, S.; DEKONINCK, E. A.. Reuse of ideas and concepts for creative stimuli in engineering design. **Journal Of Engineering Design**, [s.l.], v. 22, n. 8, p.565-581, ago. 2011. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/09544821003598573>.

IBARRA GONZÁLEZ, Cindy J.. **Metodologia para mapeamento tecnológico de produtos auxiliado pelas tendências de evolução da TRIZ**. 2015. 234 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Mecânica,

Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015

IBARRA, Cindy Johanna. **Sistematização do Processo de Mapeamento Tecnológico de Produtos**. 2007. 160 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

JACOBS, Shoshanah R.; NICHOL, Emily C.; HELMS, Michael E.. "Where Are We Now and Where Are We Going?" The BioM Innovation Database. **Journal Of Mechanical Design**, [s.l.], v. 136, n. 11, p.1111011-11110110, 8 out. 2014. ASME International. <http://dx.doi.org/10.1115/1.4028171>. Jersey (USA): John Wiley & Sons Inc, 2006.

KASSIM, Hafizoah; NICHOLAS, Howard; NG, Wan. Using a multimedia learning tool to improve creative performance. **Thinking Skills And Creativity**, [s.l.], v. 13, p.9-19, set. 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tsc.2014.02.004>.

KAUFMAN, Jerry J.; WOODHEAD, Roy. **Stimulating innovation in**

**KAUFMAN, Jerry J.; WOODHEAD, Roy. Stimulating innovation in products and services: with functions analysis and mapping**. New Jersey (USA): John Wiley & Sons Inc, 2006.

KENNEDY, Emily Barbara; MARTING, Thomas Andrew. Biomimicry Streamlining the Front End of Innovation for Environmentally Sustainable Products. **Research-technology Management**, S.l., v. 4, n. 59, p.40-48, jan. 2016.

KNAPP, Laura. Imite a natureza. **Época Negócios**, São Paulo, p.45-52, 06 jul. 2009. Disponível em: <<http://epocanegocios.globo.com/Revista/Common/0,,EMI80791-16368,00-IMITE+A+NATUREZA.html>>. Acesso em: 20 out. 2015.

LACERDA, D. P.; et al.; **Design Science Research: método de pesquisa para a engenharia de produção**. Gestão da Produção, v.20, n.4, p. 741-761, 2013.

LENAU, T. A., KESHWANI, S., CHAKRABARTI, A., & Ahmed-KRISTENSEN, S. (2015). Biocards and Level of Abstraction. In

**Proceedings of the 20th International Conference on Engineering Design (ICED15).** Design Society. (ICED; No. 15).

LEONEL, Carlos Eduardo Lozano. **Sistematização do processo de planejamento da inovação de produtos com enfoque em empresas de pequeno e médio porte.** 2006. 253 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

MASSON, Pascal Le; HATCHUEL, Armand; WEIL, Benoit. The Interplay between Creativity Issues and Design Theories: A New Perspective for Design Management Studies?. **Creativity And Innovation Management**, [s.l.], v. 20, n. 4, p.217-237, 15 nov. 2011. Wiley-Blackwell. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1467-8691.2011.00613.x>.

MELO, Leonardo Menezes. **SISTEMATIZAÇÃO DA CONFIGURAÇÃO DA FORMA DE PRODUTOS POR MEIO DE ANALOGIAS COM A NATUREZA.** 2015. 245 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015.

NAGEL, J. K. Stroble; STONE, R. B.; MCADAMS, D. A.. Function-Based Biology Inspired Concept Generation. In: MUKHERJEE, Amitava (Ed.). **Biomimetics, Learning from Nature.** Vukovar, Croatia: In-tech, 2010a. Cap. 5. p. 93-116.

NAGEL, Jacquelyn K. S.; STONE, Robert B.; MCADAMS, Daniel A.. AN ENGINEERING-TO-BIOLOGY THESAURUS FOR ENGINEERING DESIGN. **Proceedings of the Asme 2010 International Design Engineering Technical Conferences & Computers and Information in Engineering Conference**, S.l., v. 1, p.1-11, ago. 2010b.

NAGEL, Jacquelyn K.s.; STONE, Robert B.. A computational approach to biologically inspired design. **Artificial Intelligence For Engineering Design, Analysis And Manufacturing**, [s.l.], v. 26, n. 02, p.161-176, 20 abr. 2012. Cambridge University Press (CUP). <http://dx.doi.org/10.1017/s0890060412000054>

PAHL, G. et al. **Engineering Design: A Systematic Approach.** 3. ed. London: Springer, 2007. 617 p.

PAIVA, M. M. B.; SANTOS, V. M. V. Ergonomia no ambiente construído em moradia coletiva para idosos: estudo de caso em Portugal. **Ação Ergômica**, [S.l.], v. 7, n. 3, p.56-75, 2012.

PARVAN, M. I.; SCHWALMBERGER, A.; LINDEMANN, U. Application of basic design principles for solution search in biomimetics. In: 8th International Conference on Engineering Design, ICED'11, 22 jul. 2011, København. **Proceedings of the 18<sup>th</sup> International Conference on Engineering Design** København, p. 1–10, 2011.

PAULUS, Paul B; YANG, Huei-chuan. Idea Generation in Groups: A Basis for Creativity in Organizations. **Organizational Behavior And Human Decision Processes**, [s.l.], v. 82, n. 1, p.76-87, maio 2000. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1006/obhd.2000.2888>.

PERTTULA, Matti Kalevi. **Idea Generation in Engineering Design: Application of a Memory Search Perspective and Some Experimental** Studie. 2006. 64 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engineering Design And Cognitive Psychology, Mechanical Engineering, Helsinki University Of Technology, Helsinki, 2006.

PHAAL, R., FARRUKH, C. J. P., MILLS, J. F. AND PROBERT, D. R. Customizing the technology roadmapping approach. **Portland International Center for Management of Engineering and Technology (PICMET)**, 2003

PHAAL, Robert; FARRUKH, Clare J. P.; PROBERT, David R.. Technology Roadmapping - a planning framework for evolution and revolution. **Technological Forecasting & Social Change**, [s.l.], v. 5, n. 71, p.5-26, 2004.

PHAAL, Robert; YOSHIDA, Satoshi. Architecting Strategy: Visual Form and Function of Roadmaps. **Proceedings of PICMET '14: Infrastructure and Service Integration**. 2014.

RAMOS, Jaime; SELL, Ingeborg. A biônica no projeto de produtos. **Prod.**, Dez 1994, vol.4, no.2, p.95-108. ISSN 0103-6513

REDIG, Joaquim. Não há cidadania sem informação, nem informação sem Design. **Revista Brasileira de Design da Informação**, S.l., p.58-66, 2004.

REINERT, Fabíola. **Planejamento de produtos orientado pela atratividade ao usuário**. 2013. 190 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013.

RITTER, Simone M.; VAN BAAREN, Rick B.; DIJKSTERHUIS, Ap. Creativity: The role of unconscious processes in idea generation and idea selection. **Thinking Skills And Creativity**, [s.l.], v. 7, n. 1, p.21-27, abr. 2012. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tsc.2011.12.002>.

SARKAR, Prabir; CHAKRABARTI, A.; CHAKRABARTI, Amaresh. STUDYING ENGINEERING DESIGN CREATIVITY: Developing a Common Definition and Associated Measures. In: INTERNATIONAL WORKSHOP ON STUDYING DESIGN CREATIVITY, 1., 2008, Provence. **Proceedings of the NSF International Workshop on Studying Design Creativity**. S.l: Ed, 2008. p. 1 – 20

SARKAR, Prabir; CHAKRABARTI, Amaresh. Assessing design creativity. **Design Studies**, [s.l.], v. 32, n. 4, p.348-383, jul. 2011. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.destud.2011.01.002>.

SHAH, Jami J.; KULKARNI, Santosh V.; VARGAS-HERNANDEZ, Noe. Evaluation of Idea Generation Methods for Conceptual Design: Effectiveness Metrics and Design of Exp. **Journal Of Mechanical Design**, Asme, v. 122, p.377-384, 01 dez. 2000.

SHAH, Jami J.; SMITH, Steve M.; VARGAS-HERNANDEZ, Noe. Metrics for measuring ideation effectiveness. **Design Studies**, [s.l.], v. 24, n. 2, p.111-134, mar. 2003. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0142-694x\(02\)00034-0](http://dx.doi.org/10.1016/s0142-694x(02)00034-0).

SHU, L.h. et al. Biologically inspired design. **Cirp Annals - Manufacturing Technology**, [s.l.], v. 60, n. 2, p.673-693, jan. 2011. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cirp.2011.06.001>.

SILVA, E. L. da; **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação**. 4 Ed. Florianópolis, UFSC, 2005.

SOARES, M. A. R. **Biomimetismo e Ecodesign: Desenvolvimento de uma ferramenta criativa de apoio ao design de produtos sustentáveis**. Lisboa. Universidade Nova de Lisboa - Faculdade de Ciências e Tecnologia, 2008

VANDEVENNE, D.; PIETERS, T.; DUFLOU, J.r.. Enhancing novelty with knowledge-based support for Biologically-Inspired Design. **Design Studies**, [s.l.], v. 46, p.152-173, set. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.destud.2016.05.003>

VARGAS-HERNANDEZ, Noe; SHAH, Jami J.; SMITH, Steven M.. Understanding design ideation mechanisms through multilevel aligned empirical studies. **Design Studies**, [s.l.], v. 31, n. 4, p.382-410, jul. 2010. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.destud.2010.04.001>.

VATANANAN, Ronald S; GERDSRI, Nathasit. The Current State of Technology Roadmapping (TRM) Research and Practice. **International Journal Of Innovation And Technology Management**, [s.l.], v. 9, n. 4, p.1-20, 31 dez. 2012.

VINCENT, Julian F.v. et al. Biomimetics: its practice and theory. **Journal Of The Royal Society Interface**, [s.l.], v. 3, n. 9, p.471-482, 18 abr. 2006. The Royal Society. <http://dx.doi.org/10.1098/rsif.2006.0127>

VINCENT, Julian F.v. et al. Biomimetics: its practice and theory. **Journal Of The Royal Society Interface**, [s.l.], v. 3, n. 9, p.471-482, 18 abr. 2006. The Royal Society. <http://dx.doi.org/10.1098/rsif.2006.0127>.

WILSON, Jamal O. et al. The effects of biological examples in idea generation. **Design Studies**, [s.l.], v. 31, n. 2, p.169-186, mar. 2010. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.destud.2009.10.003>.

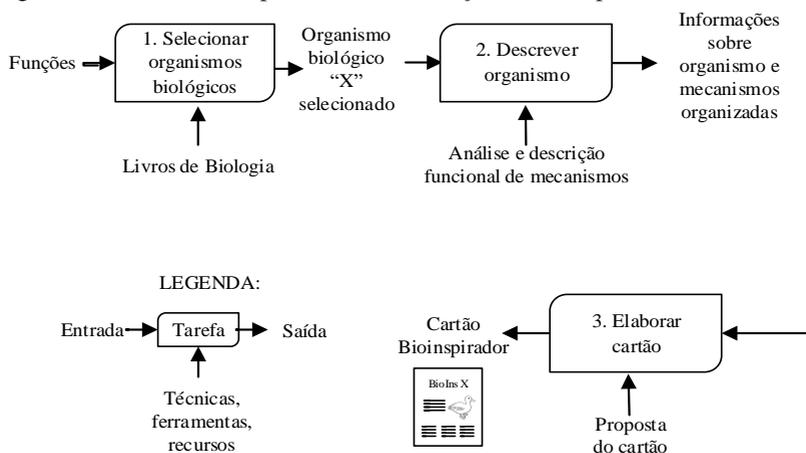


## APÊNDICE A - ELABORAÇÃO E AVALIAÇÃO PRELIMINAR DE BIOINS

### A.1 – PROCESSO DE ELABORAÇÃO PRELIMINAR DE BIOINSPIRADORES

Para a elaboração dos bioinspiradores e avaliação de sua viabilidade na inspiração em sessões de ideação, seguiu-se o processo mostrado na Figura A.1

Figura A.1 - Processo simplificado de elaboração de bioinspiradores



A proposta de BioIns inicia pelas funções de produtos a serem resolvidas sob determinados princípios de solução. Essas funções representam os problemas de planejamento.

Primeiramente, deve-se selecionar organismos biológicos (tarefa 1) que possam ser utilizados para atender a função definida. Esta seleção é feita pesquisando por organismos biológicos em livros e fontes abertas de informação sobre biologia especificamente aspectos de zoologia e botânica<sup>7</sup>. Exemplos de referências são mostradas no apêndice B.

Na tarefa (2) é feita descrição do organismo detalhando suas características e funcionamento. Procura-se identificar e descrever os

<sup>7</sup> Zoologia e botânica referem-se as áreas da biologia que estudam o reino animal e o reino das plantas, respectivamente.

mecanismos envolvidos no funcionamento do organismo para atender dada função. Com essa descrição procura-se abstrair os princípios de funcionamento do organismo por meio de esquemas e em seguida selecionam-se imagens para representar as respectivas abstrações.

Na tarefa (3) tem-se a elaboração do cartão com a distribuição das informações no modelo proposto mostrado na Figura A.2.

A imagem do organismo fica centralizada e ao seu redor, o detalhamento da funcionalidade dos mecanismos são escritos. A Figura A.2 mostra um exemplo de bioinspired elaborado para as funções carregar e proteger, satisfeitas pelo Canguru.

Figura A.2 - Detalhamento das Informações do Bioinspirador baseado no canguru.

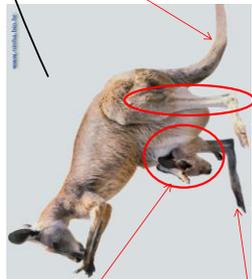
# Bioinspiradores



Imagem representativa do organismo

## Canguru

Nome do Organismo



Presença de bolsa marsupial com glândulas mamárias para:

- Carregar e abrigar filhote recém nascido.
- Proteger filhote,
- Conter o filhote durante seu desenvolvimento.

Função do organismo mostrada na forma verbo + substantivo

**Patas** posteriores longas e robustas desenvolvidas para:

- Apoiar animal parado e em movimento.
- Impulsionar para saltos e deslocamentos,
- Amortecer durante movimento e nas quedas,
- Defender-se com cotovelos.

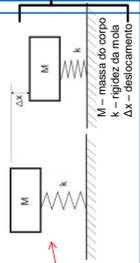
**Tendões** das pernas, são fortes e elásticos para armazenar energia durante o salto para impulso, funcionando como um sistema massa mola.

Introdução do mecanismo

**Cauda** forte e musculosa usada para:

- Apoiar durante caminhada (usa a cauda como quinta perna).
- Equilibrar durante deslocamento em saltos,
- Estabilizar corpo do canguru durante saltos, funcionando como contrapeso para as patas traseiras

Princípio funcional do mecanismo



## A.2 – MATERIAIS E MÉTODOS DA AVALIAÇÃO PRELIMINAR DE USO DOS BIOINS

Para avaliação preliminar do uso dos Bioins como estimuladores foi realizado um experimento com um conjunto inicial de cartões bioinspiradores, disponíveis no Apêndice C, seção C.2

Nesse experimento foi proposto o planejamento de tecnologia assistivas de produtos para evitar quedas de idosos no banho e ao caminhar. Os participantes são estudantes da 4ª fase de engenharia mecânica da UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina. A turma foi dividida em dez equipes com 4 integrantes cada, para comporem dois grupos (com 5 equipes cada), de teste e de controle, em dias alternados. Os problemas de planejamento, os métodos considerados e os grupos formados no experimento foram estruturados conforme o Quadro A.1.

Quadro A.1 - Estrutura do experimento.

|              |                   | <b>Grupo A</b>    | <b>Grupo B</b>    |
|--------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| <b>Dia 1</b> | <b>Problema 1</b> | Sem bioinspirador | Com bioinspirador |
| <b>Dia 2</b> | <b>Problema 2</b> | Com bioinspirador | Sem bioinspirador |

O problema 1 tem objetivo de gerar ideias de produtos para evitar quedas durante o banho de chuveiro, em banheiro com ou sem box e azulejos e sem banheira, e problema 2 para evitar quedas de idosos ao caminhar em ambientes externos ao lar, como passear em ruas e parque.

Conforme o Quadro A.1, o experimento foi realizado em dois dias diferentes, um dia para cada problema de planejamento e em cada dia um dos grupos foi considerado como grupo de controle. As atividades programadas são mostradas no Quadro A.2.

Quadro A.2 - Programação do experimento.

| <b>Programação do experimento</b>          |             |  |             |
|--|-------------|--|-------------|
| <b>Dia 1</b>                               |             | <b>Dia 2</b>                               |             |
| Atividade                                  | Tempo (min) | Atividade                                  | Tempo (min) |
| Apresentação do problema 1 de planejamento | 20          | Apresentação do problema 2 de planejamento | 20          |
| Sorteio e preparação das equipes           | 5           | Apresentação dos Bioins para grupo A.      | 5           |

| <b>Programação do experimento</b>                             |             |   |             |
|---|-------------|---|-------------|
| <b>Dia 1</b>  |             | <b>Dia 2</b>  |             |
| Atividade   | Tempo (min) | Atividade   | Tempo (min) |
| Apresentação dos Bioins para Grupo B                          | 5           | Realização do <i>Brainstorming</i> : Grupo A com inspiradores | 50          |
| Realização do <i>Brainstorming</i> : Grupo B com inspiradores | 50          | Questionário de avaliação das atividades                      | 10          |

No primeiro dia, o problema de planejamento, juntamente com sua contextualização e mapa tecnológico, Apêndice C, foi apresentado a todos os participantes. Na sequência, o sorteio dos grupos e equipes foi realizado e os grupos organizaram-se em salas diferentes para executar a tarefa.

Cada equipe recebeu um conjunto de materiais, identificados no Apêndice C: um mapa tecnológico com o problema de planejamento de cada atividade, formulários, bioinspiradores e um questionário para avaliação das atividades (apenas no segundo dia).

As ideias geradas foram registradas em formulários, que possuem campos para o desenho da ideia (D), funções (F) que a ideia deve executar e as características (C) presentes na solução. Cada um dos campos é relacionado com as métricas para avaliação das soluções e as correspondentes hipóteses, conforme descritas no Quadro A.3. As hipóteses foram elaboradas com base na revisão de conteúdo, no capítulo 2, sob a definição e a medição da criatividade na avaliação de um processo de ideação e das métricas para verificação de sua eficácia.

Para avaliar a colaboração dos bioinspiradores na geração de ideias, é feita uma comparação do brainstorming tradicional (BRT) com um brainstorming com bioinspiradores (BRbio).

O Quadro 4.5 apresenta os critérios usados para a aplicação dos testes estatísticos, que também foram usados no experimento 2 do capítulo 4.

Quadro A.3 - Métricas e hipótese para os experimentos com bioinspiradores

| Métrica considerada  | Hipótese   |
|----------------------|--|
| Quantidade de ideias | O número de ideias (NI) total gerado é previsto ser maior no brainstorming assistido pelos bioinspiradores. Isso porque estes acrescentam informações para a solução dos problemas, aumentando a interação e debate entre os integrantes durante brainstorming. Ela é um importante comparativo para o brainstorming com e sem estímulo externo, uma vez que a <u>geração de muitas ideias aumenta a chance de ocorrência de ideias melhores</u> (SHAH; KULKARNI; VARGAS-HERNANDEZ, 2000).   |
| Utilidade            | Por possuírem diversas funções nos organismos biológicos, espera-se que as ideias geradas com os bioinspiradores possuam um maior número de funções (NF), caracterizando a maior utilidade das ideias. A quantidade de funções em produtos é importante, pois <u>proporciona um aumento no seu valor agregado no mercado e para o consumidor</u> (SARKAR, CHAKRABARTI; 2011) <u>devido ao atendimento de requisitos</u> .  |
| Novidade             | As ideias geradas no BRbio possuem grau de novidade (0 a 1, onde 1 é ideia nova, original) maior que no BRt. Esta hipótese refere-se à ocorrência de maior quantidade de características desconhecidas para as funções presentes na ideia do produto obtida com o uso dos bioinspiradores, uma vez que o cartão deverá contribuir com novas características de acordo com as informações do organismo biológico presente. A medida da novidade nas ideias geradas é importante para mostrar que têm um grau de novidade (NOV) e originalidade maior comparada ao processo de brainstorming tradicional, uma vez que o principal objetivo da novidade é dar ao <u>projeto “robustez” para a inovação na forma, nas estruturas e mecanismos originais do produto</u> (CHANG et al., 2016). |

Fonte: autora

### A.3 – PROCEDIMENTO DE AVALIAÇÃO DAS IDEIAS DO EXPERIMENTO 1

As ideias desenvolvidas pelas equipes e descritas no formulário (Apêndice C) foram tabuladas em uma planilha conforme mostrado na Figura A.3.

Figura A.3 - Transcrição dos campos do formulário preenchido pela equipe B2 para as colunas da planilha.

Formulário para registro das ideias  
Equipe: B2

Problema:

\* FORNECER SEGURANÇA AO USUÁRIO DE FRAGUEZA NAS PERNAS  
\* MOBILIZAR DURANTE O BANHO

D F  
C

1- Apoio: sustentação baseada na cauda de canguru;  
2- Banco: prevenir a queda;  
3- Cinto: evitar escorregamento;  
4- Superfície antiderrapante;

D = desenho da ideia  
F = funções presentes  
C = características

Atividade 1 - Brainstorming com Biônica Grupo B

Natalia

| Ideia | Função   | Característica   | Nº Ideias | Nº funções | Novidade | Comentários                        |
|-------|--|--|-----------|------------|----------|------------------------------------|
|       | 1. Fornecer segurança no caso de fraqueza nas pernas<br>2. Mobilizar durante o banho | 1. Apoio: sustentação baseada na cauda do canguru<br>2. Banco: prevenir a queda<br>3. Cinto: Evitar escorregamento<br>4. Superfície antiderrapante | 1         | 2          | 0,5      | Carac. 1 e 2 considerada como nova |
|       |  |  |           |            |          |                                    |
|       |  |  |           |            |          |                                    |
|       |  |  |           |            |          |                                    |
|       |  |  |           |            |          |                                    |

Fonte: autor.

Os campos da planilha destinados à avaliação das ideias são: Nº de Ideias, Nº de funções por ideia e Novidade. Há também um campo destinado a comentários sobre a avaliação feita. A Figura A.4 mostra um exemplo de como foi feito o preenchimento dos campos de avaliação por um especialista em desenvolvimento de produtos.

No campo para o número de ideias, cada uma conta como uma unidade a ser somada no final por equipe. No campo número de funções são contabilizados a quantidade de funções descritas no formulário.

Figura A.4 - Esquemática do processo de preenchimento do campo de avaliação da planilha.

|    | A | B                         | C  | D  | E              | F                      | G                      | H   |
|----|---|---------------------------|--|--|----------------|------------------------|------------------------|---|
| 1  |   |                           |  |  |                |                        |                        |   |
| 2  |   |                           |  |  |                |                        |                        |   |
| 3  |   |                           | Atividade 1 - Brainstorming com Biônica Grupo B  |  |                |                        |                        |   |
| 4  |   |                           |  |  |                |                        |                        |   |
| 5  |   |                           |  |  | Natalia        |                        |                        |   |
| 72 |   | B2_2                      | Função<br>1. Fornecer segurança no caso de fraqueza nas pernas<br>2. Mobilizar durante o banho<br><b>2 Funções</b> | Característica<br>1. Apoio: sustentação baseada na cauda do canguru<br>2. Banco: prevenir a queda<br>3. Cinto: evitar escorregamento<br>4. Superfície antiderrapante<br><b>4 Características</b> | Nº ideias<br>1 | Nº funções<br><b>2</b> | Novidade<br><b>2/4</b> | Comentários<br>Carac. 1 e 2 considerada como nova |
| 73 |   | <a href="#">\B2_2.jpg</a> |  |  |                |                        |                        |   |
| 74 |   |                           |  |  |                |                        |                        |   |
| 75 |   |                           |  |  |                |                        |                        |   |
| 76 |   |                           |  |  |                |                        |                        |   |
| 77 |   |                           |  |  |                |                        |                        |   |
| 78 |   |                           |  |  |                |                        |                        |   |

**2 consideradas novas**  
**Novidade = 2/4 = 0,5**

Fonte: autor.

Já o campo Novidade é preenchido com a razão das características novas sobre o total de características por ideia. A avaliação da novidade das ideias foi realizada por um painel com 3 especialistas experientes em desenvolvimento de produtos que julgaram as características de acordo com seu conhecimento e produtos existentes no mercado, como esquematizado na Figura A.5. Seus perfis são apresentados no Quadro A.4. O painel de especialistas na avaliação da novidade é recomendado por Amabile (1996) apud SARKAR e CHAKRABATI (2008).

Quadro A.4 - Perfil dos especialistas avaliadores

| Especialista   | Perfil  |
|----------------|---|
| Especialista 1 | Graduada em engenharia mecânica, 3 anos de experiência em desenvolvimento de produtos |
| Especialista 2 | Mestre em engenharia mecânica, 6 anos de experiência em desenvolvimento de produtos   |
| Especialista 3 | Pesquisador em desenvolvimento de produtos  |

Fonte: autor.



## A.4 – RESULTADOS DO EXPERIMENTO 1

A Tabela A.1 possui o resultado das ideias geradas quanto as métricas relacionadas a quantidade de ideias, utilidade e novidade na atividade 1 (Problema 1) e a Tabela A.2, para a atividade 2(Problema 2).

Tabela A.1 - Resultado por equipe da análise das ideias da atividades 1 do experimento 1

| Atividade 1 – Evitar quedas de idosos no banho |        |                       |                                    |  |
|--|--------|-----------------------|------------------------------------|--|
| Grupo - Método                                 | Equipe | Número de Ideias (NI) | Número de Funções (NF) por Ideia   | Novidade (NOV) por Ideia   |
| Grupo A - BRt                                  | A1     | 9                     | 4;3;2;5; 2; 2; 2; 3; 4             | 0,67; 0,75; 0,33; 1,00; 0,00; 0,67; 0,50; 0,40; 0,00                         |
|  | A2     | 8                     | 3;2;2;3; 3; 3; 3; 2                | 0,33; 0,00; 0,33; 0,00; 0,00; 0,00; 0,40; 0,00                               |
|  | A3     | 13                    | 2;3;1;1; 1; 2; 4; 4; 3; 4; 3; 4; 4 | 0,00; 0,00; 0,25; 0,00; 1,00; 1,00; 1,00; 1,00; 0,00; 0,00; 0,50; 0,00; 0,20 |
|  | A4     | 13                    | 3;3;2;2; 2; 2;1; 2; 2; 1; 1;2; 2   | 0,33; 0,00; 0,33; 0,67; 1,00; 0,50; 0,00; 1,00; 0,00; 1,00; 1,00; 1,00; 0,43 |
|  | A5     | 7                     | 2;5;2;3;4;3;2                      | 1,00; 0,40; 0,33; 1,00; 0,67; 0,50; 1,00                                     |
| <b>Total de ideias</b>                         |        | <b>50</b>             |                                    |  |
| Grupo B - BRbio                                | B1     | 8                     | 3; 4; 3; 3; 4; 4; 4; 6             | 1,00; 0,75; 1,00; 0,33; 0,50; 0,67; 1,00; 0,20                               |
|  | B2     | 5                     | 3; 2; 3; 3; 2                      | 1,00; 0,50; 0,40; 0,50; 1,00   |
|  | B3     | 4                     | 5; 5; 3; 4                         | 1,00; 0,25; 0,00; 0,67   |
|  | B4     | 5                     | 4; 3; 7; 5; 6                      | 0,67; 0,75; 0,80; 1,00; 0,75   |
|  | B5     | 3                     | 3;3;1                              | 1,00; 1,00; 1,00   |
| <b>Total de ideias</b>                         |        | <b>25</b>             |                                    |  |

Tabela A.2 - Resultado por equipe da análise das ideias da atividades do experimento 1

| Atividade 2 – Evitar quedas de idosos ao movimentar pela casa: levantar, sentar e andar |        |                       |   |   |
|---|--------|-----------------------|---|---|
| Grupo - Método  | Equipe | Número de Ideias (NI) | Número de Funções (NF) por Ideia            | Novidade (NOV) por Ideia  |
| Grupo B - BRt   | B1     | 10                    | 3; 2; 4; 3; 2;<br>3; 6; 3; 4; 4             | 1,00; 1,00; 0,33;<br>0,25; 0,80; 0,33;<br>0,33; 0,00; 0,25; 0,25                      |
|   | B2     | 6                     | 4; 3; 3; 4; 1; 2                            | 0,33; 0,25; 0,50;<br>0,00; 0,50; 0,00   |
|   | B3     | 7                     | 3; 8; 4; 5;<br>5; 7; 5                      | 1,00; 1,00; 0,33;<br>1,00; 0,00; 0,00; 0,67   |
|   | B4     | 6                     | 4; 3; 5;<br>3; 3; 5                         | 0,50; 0,20; 0,50;<br>0,00; 0,25; 0,00   |
|   | B5     | 5                     | 2; 2; 1; 2; 2                               | 0,25; 1,00; 1,00;<br>1,00; 0,00   |
| <b>Total de ideias</b>  |        | <b>34</b>             |   |   |
| Grupo A - BRbio   | A1     | 9                     | 2; 2; 2; 4; 3;<br>2; 3; 3; 3                | 0,00; 0,60; 0,33;<br>1,00; 0,67; 0,50;<br>0,67; 1,00; 1,00                            |
|   | A2     | 8                     | 4; 3; 2; 4;<br>3; 1; 1; 2                   | 0,25; 0,33; 0,20;<br>0,25; 0,00; 1,00;<br>1,00; 1,00                                  |
|   | A3     | 13                    | 2; 4; 2; 2; 4;<br>4; 1; 2; 3; 2;<br>2; 3; 3 | 1,00; 0,75; 0,67;<br>1,00; 1,00 ;1,00; 0,67<br>;0,67; 0,50; 0,00;<br>0,00; 0,67; 1,00 |
|   | A4     | 9                     | 2; 2; 2; 1; 2;<br>3; 1; 1; 1                | 0,50; 1,00; 0,80;<br>1,00; 0,67; 0,00;<br>1,00; 0,20; 0,67                            |
|   | A5     | 9                     | 3; 1; 1; 2; 2;<br>1; 2; 3; 2                | 1,00; 1,00; 1,00;<br>0,50; 1,00; 1,00;<br>0,67; 0,67; 1,00                            |
| <b>Total de ideias</b>  |        | <b>48</b>             |   |   |

Fonte: autor.

## A.5 – DISCUSSÃO DOS TESTES ESTATÍSTICOS

O teste de normalidade Anderson-Darling e o teste estatístico indicado para avaliação dos resultados é apresentado na Tabela A.3, com nível de significância de 0,05.

Tabela A.3 - Teste de normalidade Anderson-Darling dos dados das métricas número de ideias (NI), número de funções (NF) e novidade das ideias (NOV) no experimento 1.

| Métrica                | Problema  | Método | Valor p | Teste indicado     |
|------------------------|---|--------|---------|--------------------|
| Número de Ideias (NI)  | 1   | BRt    | 0,184   | Teste t e ANOVA    |
|                        |   | BRbio  | 0,314   |                    |
|                        | 2   | BRt    | 0,159   | Teste t e ANOVA    |
|                        |   | BRbio  | 0,014   |                    |
| Número de Funções (NF) | 1   | BRt    | <0,005  | Teste Mann Whitney |
|                        |   | BRbio  | 0,010   |                    |
|                        | 2   | BRt    | 0,014   | Teste Mann Whitney |
|                        |   | BRbio  | <0,005  |                    |
| Novidade (NOV)         | 1   | BRt    | <0,005  | Teste Mann Whitney |
|                        |   | BRbio  | <0,005  |                    |
|                        | 2   | BRt    | <0,005  | Teste Mann Whitney |
|                        |   | BRbio  | <0,005  |                    |
| <b>Legenda:</b>        | BRt : Brainstorming tradicional<br>BRbio: brainstorming com bioinspiradores |        |         |                    |

Fonte: autora.

Para o número de ideias utilizou-se o ANOVA e o teste t e para as demais métricas o teste não paramétrico de Mann-Whitney. Em ambas as análises, o nível de significância adotado é de 0,05. Os testes empregados, as hipóteses consideradas e análise dos resultados são mostrados na Tabela A.4, Tabela A.5 e Tabela A.6.

### 1. Análise da quantidade de ideias geradas

A hipótese do aumento da quantidade de ideias basea-se na suposição de que o brainstorming combinado aos Bioins favorece o pensamento criativo dos participantes durante o trabalho em grupo, gerando assim, maior quantidade de ideias em comparação ao método tradicional, e esse aumento no número de ideias favoreceria a composição de um portfólio de produtos. A avaliação desta métrica é mostrada na Tabela A.4.

Tabela A.4 - Resultados Estatísticos para a métrica quantidade de ideias no Experimento 1.

|   |   |  |
|---|---|--|
| <b>Quantidade de ideias – número de ideias (NI)</b> | $H_0: \mu (NI_t) - \mu (NI_{bio}) = 0$<br>$H_1: \mu (NI_t) - \mu (NI_{bio}) < 0$<br>Nível de significância $\alpha = 0,05$<br><b>Rejeita <math>H_0</math> se <math>p &lt; 0,05</math></b> |  |
| Teste t   | Atividade 1<br>P = 0,985  | Atividade 2<br>P = 0,036   |
| Análise do Resultado                                | Aceita $H_0$ .<br>Não houve diferença significativa para o número de ideias que o grupo que usou os cartões comparado ao não uso da ferramenta.   | Rejeita $H_0$ .<br>Houve diferença para o número de ideias geradas usando Bioins, sendo este maior comparado ao não uso da ferramenta. |
| ANOVA<br>Teste F                                    | $H_0: \tau_{BRt} = \tau_{BRbio}$ variâncias são iguais<br>$H_1: \tau_{BRt} \neq \tau_{BRbio}$ ao menos uma variância é diferente<br>Nível de significância $\alpha = 0,05$                |  |
|   | P = 0,011   | P = 0,052  |
| Análise do Resultado                                | Rejeita $H_0$ .<br>Houve diferença significativa para o número de ideias entre os grupos.   | Aceita $H_0$ .<br>Não houve diferença significativa para o número de ideias entre os grupos.   |

Fonte: autora.

Com o teste t é verificado que na atividade 1 não há diferença na quantidade de ideias geradas com o uso dos Bioins ( $p = 0,985$ ). Já para a atividade 2 acontece o aumento da quantidade das ideias geradas com o uso dos Bioins ( $p = 0,036$ ).

Com o teste estatístico ANOVA é comparado o desempenho dos grupos entre si. É verificado que há diferença significativa na variância dos grupos que executaram a atividade 1 ( $p = 0,011$ ), enquanto que na atividade 2 ( $p = 0,052$ ) não há diferença de variância entre os grupos. Foi constatado que na primeira atividade o Grupo B, que fez o uso dos bioinspiradores, gerou 25 ideias, a metade de ideias que o Grupo A (50 ideias) que utilizou o *brainstorming* tradicional, considerando a soma das ideias geradas por todas as equipes de cada grupo, evidenciando a diferença entre a quantidade de ideias entre os grupos. Já, na segunda atividade o Grupo A, que então fez uso dos bioinspiradores, gerou 48 ideias, enquanto que o Grupo B, realizando *brainstorming* tradicional,

gerou 34 ideias, o que segundo o teste ANOVA não gerou diferença significativa com nível de significância ( $\alpha$ ) de 0,05.

Observa-se que a ferramenta proposta pode ter introduzido uma barreira ao processo criativo, reduzindo o número de ideias. Os fatores que podem ter contribuído para o número de ideias, como:

- a definição aleatória dos integrantes da equipe, conseqüente dificuldade de alguns em interagir em sessão de brainstorming (inibição) ou fixação funcional em suas ideias;
- dificuldade em gerenciar o tempo para a geração de ideias, de leitura dos cartões e discussão de ideias;
- a natureza dos problemas abordados nas atividades, que pode não ser do conhecimento cotidiano dos alunos, tomando-lhes mais tempo para entendimento da tarefa.

## 2. Análise da utilidade das ideias: número de funções

O número de funções nas ideias é a segunda métrica, que corresponde a hipótese de aumento da utilidade das ideias com o uso de biônica. Esta hipótese é prevista considerando os conteúdos dos bioinspiradores. Este conteúdo é escrito objetivamente, na forma de verbo e substantivo, focando nas funcionalidades presentes nos organismos biológicos e seus mecanismos, explicando assim seus princípios de solução. A avaliação desta métrica é apresentada na Tabela A.5.

Tabela A.5 - Resultados estatísticos para a métrica utilidade, verificada pelo número de funções (NF) para o Experimento1.

|   |   |  |
|---|---|--|
| <b>Utilidade –<br/>Número de<br/>funções (NF)</b> | $H_0 : \eta_t = \eta_{bio}$<br>$H_1 : \eta_t < \eta_{bio}$<br><i>Nível de significância <math>\alpha = 0,05</math></i><br><b>Rejeita <math>H_0</math> se <math>p &lt; 0,05</math></b> |  |
| Mann-Whitney                                      | Atividade 1<br>P = 0,0004   | Atividade 2<br>P = 0,9999  |
| Análise do<br>Resultado                           | Rejeita $H_0$ e aceita $H_1$ .<br>Houve aumento da utilidade das ideias usando os bioinspiradores   | Não pode rejeitar $H_0$ .<br>Não houve aumento da utilidade das ideias usando os bioinspiradores |

Fonte: autora.

Segundo a Tabela A.5, na atividade 1, usando o teste de Mann-Whitney para comparar as medianas das funções geradas com e sem estímulo, a mediana do número de funções presentes nas ideias geradas no com uso dos Bioins é superior ao do brainstorming tradicional ( $p = 0,0004$ ). Entretanto, para a atividade 2, a hipótese de aumento de funções no com uso dos Bioins é refutada ( $p = 0,999$ ). Verifica-se assim que não há evidências suficientes de que os bioinspiradores auxiliaram na quantidade de funções para cada ideia, uma vez que os grupos se mostraram com desempenhos diferentes na utilidade de seus pensamentos. Mais experimentos devem ser feitos para que maiores evidências sejam percebidas sobre a contribuição positiva do conteúdo dos bioinspiradores nas utilidades das ideias geradas.

### 3. Análise da novidade das ideias geradas

A terceira métrica analisada é a novidade das ideias. O pressuposto sob a métrica novidade é um aumento de características novas no conjunto total das características presentes em uma ideia devido a inspiração com os conteúdos da natureza presentes nos bioinspiradores. É presumido que apresentando informações, princípios de funcionamento, características e detalhes dos organismos biológicos, de seus mecanismos e comportamento nos cartões venham a influenciar positivamente na novidade na geração de ideias e desenvolvimento de produtos em equipes. A avaliação desta métrica é apresentada na Tabela A.6.

Tabela A.6 - Resultados estatísticos para a métrica novidade para o experimento1

|                       |   |             |
|-----------------------|---|-------------|
| <b>Novidade (NOV)</b> | $H_0: \eta_t = \eta_{bio}$<br>$H_1: \eta_t < \eta_{bio}$<br><i>Nível de significância <math>\alpha = 0,05</math></i><br><b>Rejeita <math>H_0</math> se <math>p &lt; 0,05</math></b> |             |
| Mann-Whitney          | Atividade 1   | Atividade 2 |
|                       | 0,0039  | 0,0035      |
| Análise do Resultado  | Rejeita $H_0$ e aceita $H_1$ .<br>Houve aumento da novidade das ideias usando os bioinspiradores  |             |

Fonte: autora.

O teste de Mann-Whitey ( $\alpha = 0,05$ ) mostra que as ideias geradas usando o estímulo biológico, em ambos os problemas, possuem

novidade maior ( para o problema 1  $p = 0,0039$ ; problema 2  $p = 0,0035$ ) que as ideias geradas no brainstorming tradicional.

Em ambas as atividades, a hipótese do aumento do grau de novidade das ideias foi confirmada. As ideias geradas com o uso dos bioinspiradores foram consideradas com grau de novidade maior nas avaliações no painel de especialistas. É observado que as ideias geradas com uso da biônica contém mais características e princípios de solução novos comparado aos produtos existentes no mercado. Isto é, as ideias geradas possuem atributos diferenciados derivados do conteúdo apresentado as equipes nos bioinspiradores e de outros conteúdos naturais que a equipe usou durante o processo de ideação. Observa-se assim a ocorrência de estimulação cognitiva, que se refere à estimulação de novas ideias resultado da exposição às ideias dos outros, originária tanto dos cartões quanto do trabalho em grupo.

Evidencia-se que o conteúdo dos inspiradores promove maiores possibilidades de analogias e isso leva a uma maior novidade nas ideias, mas não necessariamente quantidade e utilidade. A quantidade pode ter sido negativamente influenciada pelo processo (leitura dos bioins, interagir, inibição) e utilidade depende de foco em funções para desenvolver novas funções, mas o foco geralmente é nos princípios de solução e as funções acabam sendo em função dos princípios.

Para maiores conclusões sobre este primeiro experimento com a primeira proposta dos Bioins, a avaliação qualitativa realizada pelos participantes é abordada na sequência.

## A.6 – AVALIAÇÃO QUALITATIVA

Ao final do segundo dia do experimento 1, os grupos responderam um questionário com 5 questões de avaliação sobre as atividades executadas. O resultado encontra-se no Apêndice C, seção C.3.

Os questionários mostraram que 98% dos participantes responderam “sim” para a questão 1, relatando haver diferença nas ideias geradas com e sem o uso dos bioinspiradores. Ao justificar o porquê das respostas, foram apontados tanto pontos positivos quanto negativos do uso da ferramenta, como trazido resumidamente no Quadro A.5.

Quadro A.5 - Pontos positivos e negativos do uso dos bioinspiradores registrados pelos participantes do experimento 1.

| <b>Pontos positivos</b>  |
|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- As ideias surgem com mais facilidade, sendo diferentes do usual;</li> <li>- Auxiliam visão mais objetiva e funcional da realidade;</li> <li>- Soluções diversas e criativas;</li> <li>- Servir de <i>insight</i> para resolver determinado problema;</li> <li>- As características dos “bioinspiradores aumentam a analogia para uma solução plausível”;</li> <li>- Ser uma fonte de ideias não considerada anteriormente;</li> <li>- Aumentou a diversidade e eficiência na geração de ideias;</li> <li>- Se torna um ponto de partida, facilitando o brainstorming;</li> <li>- Soluções já encontradas na natureza para outros tipos de funções auxiliam e otimizam o processo de criação;</li> <li>- Maior fluidez de ideias com os bioinspiradores;</li> <li>- Facilidade para empregar mecanismos desses bioinspiradores.</li> </ul> |
| <b>Pontos negativos</b>  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- Limitação das ideias;</li> <li>- Espaço amostral de ideias geradas é menor;</li> <li>- Ideias um pouco presas em comparação ao método tradicional;</li> <li>- As sugestões de bioins apresentadas dificultou a geração de ideias;</li> <li>- Processo rígido, mas ajudou a pensar em ideias;</li> <li>- Restringir o conhecimento ali contido;</li> <li>- A imposição de soluções usando bioinspiradores acaba limitando as opções, mas ao mesmo tempo abre oportunidades para pensar em bioinspirações diferentes.</li> </ul>  |

Fonte: autora

Quanto a facilidade de uso (questão 2), 7% dos participantes consideraram “difícil”, 63% dos participantes “regular” e 30% considerou “fácil”. As respostas sobre quais as dificuldades encontradas no uso dos bioinspiradores foram: gerar ideias factíveis; selecionar o bioins mais eficiente para o sistema; falta de intuição; limitação da criatividade. Correlacionar os organismos com problemas de engenharia foi uma dificuldade relatada com frequência: “Houve inércia inicial para a visualização de adaptações do mundo biológico para problemas reais de engenharia. Os exemplos trazidos não trouxeram muitas ideias a serem desenvolvidas.”; “A dificuldade é observar o melhor meio de se aproveitar a solução da natureza para tal problema”; “No início houve dificuldades pois parecia uma barreira para ideias, parecia limitar as ideias.” No entanto, houveram participantes que não encontraram dificuldades. Consideraram a ferramenta foi de fácil inserção e relação no problema, mesmo que algum tenha sido de difícil, acabou surgindo ideias a partir deste e do trabalho em grupo, cuja diversidade de pensamentos ajudou a formar ideias com os bioinspiradores. Apontaram também que as abstrações apresentadas facilitaram, tornando o uso intuitivo.

No que tange a satisfação dos participantes com os resultados da geração de ideias (questão 4), 2% considerou-se muito insatisfeito, 27% com satisfação regular, 46% satisfeito, e 25% muito satisfeitos.

Na última questão foi reservado espaço para que os participantes deixassem suas observações e comentários sobre a experiência. Dentre as observações mais relevantes estão: limitação na quantidade de bioinspiradores entregues a solução do problema, mais cartões auxiliariam em maior quantidade de soluções; as características dos bioins auxiliam em ideias consideradas melhores.

## A.7 – CONSIDERAÇÕES SOBRE O EXPERIMENTO 1 COM BIOINSPIRADORES

Por meio do experimento realizado evidenciou-se que houve influência significativa na novidade das ideias geradas. Isto é, foi observado que as ideias geradas com uso de Bions contém mais características e princípios de solução novos comparado aos produtos existentes no mercado. Os participantes também fizeram a observação de que os cartões contribuíram positivamente em seu desempenho, através dos “insights” presentes nos Bioins para as ideias geradas.

Apesar de sua avaliação majoritariamente positiva quanto a diferença nas ideias geradas com o uso dos cartões bioinspiradores, os participantes também relataram haver uma amostragem menor de ideias e uma “rigidez” no processo. Isto foi evidenciado também na análise estatística de quantidade de ideias, onde não foi possível comprovar a hipótese inicial de aumento dessa métrica. Para a métrica de quantidade de funções e hipótese de aumento da utilidade das ideias, estatisticamente não se obteve esta confirmação. Isso pode ser devido à dificuldade encontrada por alguns dos participantes em usar e ler os cartões.

Mesmo com o resultado positivo para uma das hipóteses iniciais, mais estudos e experimentos devem ser realizados para que maiores evidências de que o conteúdo e a proposta dos bioinspiradores contribuem ou não na utilidade das ideias geradas bem como na quantidade.

Assim, é proposto uma otimização da sistematização, do conteúdo e dos campos presentes nos cartões bioinspiradores, com maior desdobramento das atividades e tarefas, bem como de um novo modelo. Essa necessidade de melhoria visa para intensificar o desempenho nas hipóteses, visando eliminar algumas barreiras durante a ideação. Para isso, informações de exemplos de aplicação e outras funções presentes nos organismos podem ser agregadas para aprimorar o processo de seleção de qual Bioins usar na ideação.



## APÊNDICE B – REFERÊNCIAS DE CONTEÚDOS DA BIOLOGIA

| <b>Título</b>   | <b>Autores</b>  | <b>Editora e Ano</b>       |
|---|---|----------------------------|
| Biologia dos Organismos vol. 2                              | AMABIS, J.M.;<br>MARTHO, G.R..  | Moderna: 2005              |
| Cinco reinos: um guia ilustrado dos filós da vida na Terra. | MARGULIS, L.;<br>SCHWARTZ, K.V.   | Guanabara<br>Koogan, 2001. |
| Pequenos Seres Vivos.                                       | MARTHO, G.  | São Paulo:<br>Ática, 1990  |
| Atlas de botânica   | MORANDINI, C.   | São Paulo:<br>Nobel, 1981. |
| Biologia vol.1 e 2  | SILVA JÚNIOR, César;<br>SASSON, Sezar.  | Saraiva. 2011              |
| Blog Só Biologia  | <a href="http://www.sobiologia.com.br/">http://www.sobiologia.com.br/</a>                 |                            |
| Enciclopedia of life  | <a href="http://eol.org/info/discover_articles">http://eol.org/info/discover_articles</a> |                            |

Fonte: autora.



## APÊNDICE C – EXPERIMENTO 1 – ESTUDO PRELIMINAR

### C.1 – INSTRUMENTOS UTILIZADOS

Figura C.1 - Atividade 1 – Brainstorming tradicional (BRT)

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA  
EMC 5302 – METODOLOGIA DE PROJETO EM ENGENHARIA MECÂNICA

**Geração de Ideias de Produtos de Tecnologia Assistiva**

Mestranda Natalia Madalena Boelter  
Orientador Prof. André Ogliari

**Atividade 1** – Evitar quedas de idosos durante o banho.

- Uma empresa decide planejar uma linha de produtos que auxiliem a idosos e/ou pessoas com mobilidade reduzida a evitar quedas durante o banho de chuveiro, em banheiro com ou sem box e azulejos e sem banheira. O mapa tecnológico da Figura 1 mostra o planejamento para este produto.

**Figura 1.** Mapa tecnológico para produtos que auxiliem a evitar quedas durante o banho de chuveiro, em banheiro com ou sem box e azulejos e sem banheira.

|            |  | 2012 - 2016                        | 2017 - 2021  | ..... tempo |
|------------|--|------------------------------------|--|-------------|
| Mercado    | Necessidades dos usuários              | ↓ Preço ↑ Qualidade<br>↑ Segurança | ↑↑ Segurança ↑ Utilidade<br>↑ Versatilidade de uso | .....       |
|            | Tendências sociais e ambientais        | ↓ Consumo de energia nos processos | ↑ Reciclabilidade e reuso                          | .....       |
|            | Tendências das necessidades da empresa | ↓ Custo                            | ↑ Lucratividade ↑ Variedade                        | .....       |
| Produto    | Linha de produtos 1<br>.....           |                                    |  | .....       |
| Tecnologia | Manufatura                             | Processo de Injeção                | Impressão 3D                                       | .....       |
|            | Materiais                              | Polímero                           |  |             |
|            | .....                                  |                                    |  | .....       |

- Gerar ideias de produtos que evite quedas no banho para o tempo futuro (2017-2021) utilizando as informações do mapa tecnológico em sessão de *brainstorming*;
- Registrar nos devidos campos do formulário: o desenho da ideia, descrição das características e funções presentes.

Figura C.2 -Atividade 1 – Brainstorming com Biônica (BRbio)

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA  
EMC 5302 – METODOLOGIA DE PROJETO EM ENGENHARIA MECÂNICA

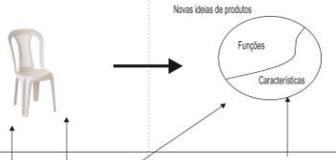
**Geração de Ideias de Produtos de Tecnologia Assistiva**

Mestranda Natalia Madalena Boelter  
*boelternm@gmail.com*  
Orientador Prof. André Ogliari

**Atividade 1** – Evitar quedas de idosos durante o banho.

- Uma empresa decide planejar uma linha de produtos que auxiliem a idosos e/ou pessoas com mobilidade reduzida a evitar quedas durante o banho de chuveiro, em banheiro com ou sem box e azulejos e sem banheira. O mapa tecnológico da Figura 1 mostra o planejamento para este produto.

**Figura 1.** Mapa tecnológico para produtos que auxiliem a evitar quedas durante o banho de chuveiro, em banheiro com ou sem box e azulejos e sem banheira.

|            |  | 2012 - 2016  | 2017 - 2021  | ..... tempo |
|------------|--|--|--|-------------|
| Mercado    | Necessidades dos usuários              | ↓ Preço ↑ Qualidade<br>↑ Segurança   | ↑↑ Segurança ↑ Utilidade<br>↑ Versatilidade de uso | .....       |
|            | Tendências sociais e ambientais        | ↓ Consumo de energia nos processos   | ↑ Reciclabilidade e reuso                          | .....       |
|            | Tendências das necessidades da empresa | ↓ Custo  | ↑ Lucratividade ↑ Variedade                        | .....       |
| Produto    | Linha de produtos 1<br>.....           |  | .....  | .....       |
| Tecnologia | Manufatura                             | ↑ Processo de Injeção  | ↑ Impressão 3D                                     | .....       |
|            | Materiais                              | ↑ Polímero   |  | .....       |
|            | .....                                  |  |  | .....       |

- Gerar ideias de produtos que evite quedas no banho para o tempo futuro (2017-2021) utilizando as informações do mapa tecnológico e os bioinspiradores em sessão de *brainstorming*;
- Registrar nos devidos campos do formulário: o desenho da ideia, descrição das características e funções presentes.

Figura C.3 - Atividade 2 – Brainstorming tradicional (BRt)

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA  
EMC 5302 – METODOLOGIA DE PROJETO EM ENGENHARIA MECÂNICA

### Geração de Ideias de Produtos de Tecnologia Assistiva

Mestranda Natalia Madalena Boelter

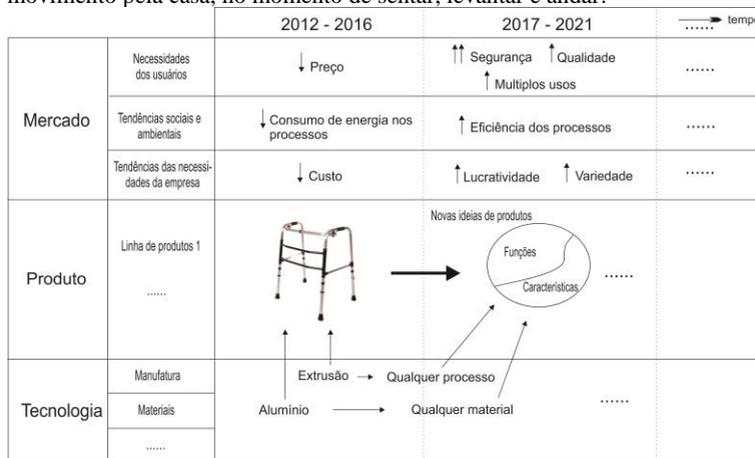
*boelterm@gmail.com*

Orientador Prof. André Ogliari

**Atividade 2** – Evitar quedas de idosos ao movimentar pela casa: levantar, sentar e andar.

• A empresa decide em planejar uma linha de produtos que evite quedas no movimento pela casa, no momento de sentar e levantar em cadeira, cama e andar, oferecendo suporte e equilíbrio à pessoa durante caminhadas e mudança de estado sentado para em pé. O mapa tecnológico da Figura 1 mostra o planejamento para este produto.

**Figura 1.** Mapa tecnológico para produtos que auxiliem idosos a evitar quedas no movimento pela casa, no momento de sentar, levantar e andar.



• Gerar ideias de produtos que evite quedas de idosos ao levantar, sentar e andar para o tempo futuro (2017-2021) utilizando as informações do mapa tecnológico em sessão de *brainstorming*;

• Registrar nos devidos campos do formulário: o desenho da ideia, descrição das características e funções presentes.

Fonte: autora.

Figura C.4 - Atividade 2 – Brainstorming com Biônica (BRbio)

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA  
EMC 5302 – METODOLOGIA DE PROJETO EM ENGENHARIA MECÂNICA

**Geração de Ideias de Produtos de Tecnologia Assistiva**

Mestranda Natalia Madalena Boelter  
*boelternm@gmail.com*  
Orientador Prof. André Ogliari

**Atividade 2** – Evitar quedas de idosos ao movimentar pela casa: levantar, sentar e andar.

A empresa decide em planejar uma linha de produtos que evite quedas no movimento pela casa, no momento de sentar e levantar em cadeira, cama e andar, oferecendo suporte e equilíbrio à pessoa durante caminhadas e mudança de estado sentado para em pé. O mapa tecnológico da Figura 1 mostra o planejamento para este produto.

**Figura 1.** Mapa tecnológico para produtos que auxiliem idosos a evitar quedas no movimento pela casa, no momento de sentar, levantar e andar.

|            |  | 2012 - 2016                        | 2017 - 2021                                  | ..... tempo |
|------------|--|------------------------------------|--|-------------|
| Mercado    | Necessidades dos usuários              | ↓ Preço                            | ↑↑ Segurança ↑ Qualidade<br>↑ Múltiplos usos | .....       |
|            | Tendências sociais e ambientais        | ↓ Consumo de energia nos processos | ↑ Eficiência dos processos                   | .....       |
|            | Tendências das necessidades da empresa | ↓ Custo                            | ↑ Lucratividade ↑ Variedade                  | .....       |
| Produto    | Linha de produtos 1<br>.....           |                                    |  |             |
| Tecnologia | Manufatura                             | .....                              |  |             |
|            | Materiais                              | .....                              |  |             |
|            | .....                                  | .....                              |  |             |

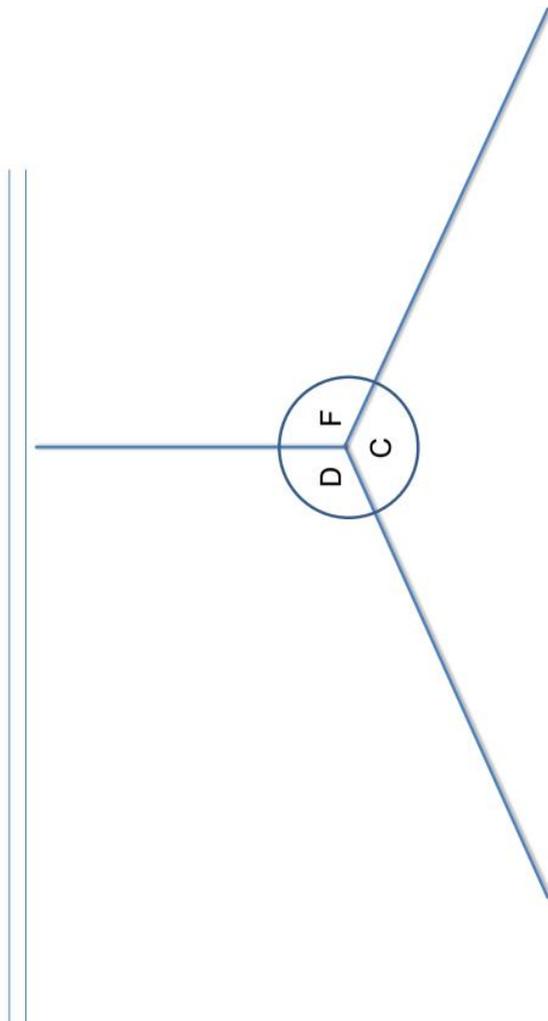
- Gerar ideias de produtos que evite quedas de idosos ao levantar, sentar e andar para o tempo futuro (2017-2021) utilizando as informações do mapa tecnológico e os bioinspiradores em sessão de *brainstorming*;
- Registrar nos devidos campos do formulário: o desenho da ideia, descrição das características e funções presentes.

Figura C.5 - Formulário de preenchimento das ideias geradas



Formulário para registro das ideias  
Equipe: \_\_\_\_\_

Problema: \_\_\_\_\_



D = desenho da ideia  
F = funções presentes  
C = características



## C.2 – BIOINSPIRADORES PRELIMINARES

## Bioinspiradores



### Palmeira Andante



Fonte: (5)

Possui ampla base de raízes para:

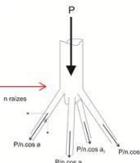
- Captar por absorção nutrientes do solo;
- Sustentar e decompor peso (P) do tronco e copa;
- Equilibrar seu peso e resistir ao vento (esforços externos verticais e horizontais);
- A planta alcançar luz com menor gasto energético;

**Andar:** a palmeira andante pode mudar de lugar para sair de região sombreada a procura de luz solar, andando um metro durante sua vida. O lado mais iluminado produz novas raízes, enquanto que o lado sombreado perde raízes.

- Na figura, raízes novas crescendo

Tronco em formato de cone;

Raízes aéreas espaçadas, chegam a 2 m de comprimento



Fonte: (6)

## Bioinspiradores



### Tronco de árvore

Possui base com diâmetro maior (D) que seu topo para:

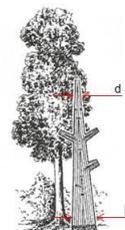
- Suportar copa e ramificações;
- Conduzir a seiva bruta e elaborada por capilaridade nos tecidos condutores;

Distribuir forças de tração (T) e compressão (C) em função do diâmetro e conforme resistência necessária.



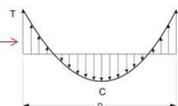
Fonte: (7)

$D > d$



Fonte: (8)

- O interior do tronco possui fibras solicitadas com esforços de compressão (C) e o diâmetro externo (D) do tronco possui fibras sujeitas a esforços de tração (T).



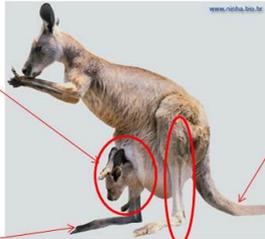
# Bioinspiradores



## Canguru

Presença de **bolsa marsupial** com glândulas mamárias para:

- Carregar e abrigar filhote recém nascido,
- Proteger filhote,
- Conter o filhote durante seu desenvolvimento.



Fonte: (9)

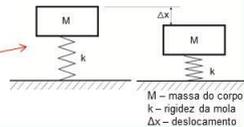
**Patas** posteriores longas e robustas desenvolvidas para:

- Apoiar animal parado e em movimento,
- Impulsionar para saltos e deslocamentos,
- Amortecer durante movimento e nas quedas,
- Defender-se com coices.

**Tendões** das pernas são fortes e elásticos para armazenar energia durante o salto para impulso, funcionando como um sistema **massa mola**.

**Cauda** forte e musculosa usada para:

- Apoiar durante caminhada (usa a cauda como quinta perna),
- Equilibrar durante deslocamento em saltos,
- Estabilizar corpo do canguru durante saltos, funcionando como contrapeso para as patas traseiras



# Bioinspiradores



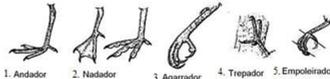
## Aves



Fonte: (1)

**Pés:**

- Possuem formato otimizado de acordo com:
- tipo de locomoção;
  - sustentar e distribuir peso no solo;
  - segurar presas e capturar alimento;
  - agarrar a galhos e troncos.



Fonte: Adaptado de (4)

**Ossos das aves**



Oso em seção longitudinal mostrando armações internas semelhantes as de asas de aeroplano.

Fonte: Adaptado de (2)



Fonte: (3)

**Ossos pneumáticos:**

São finos e leves, não maciços segmentados em cavidades para:

- diminuir densidade do animal;
- facilitar o voo e natação;
- resistir aos esforços em voo.

**1. Pé andador** – dedos esparramados para melhor distribuir peso da ave no solo e não afundar em pântanos. Ex: jacarã;

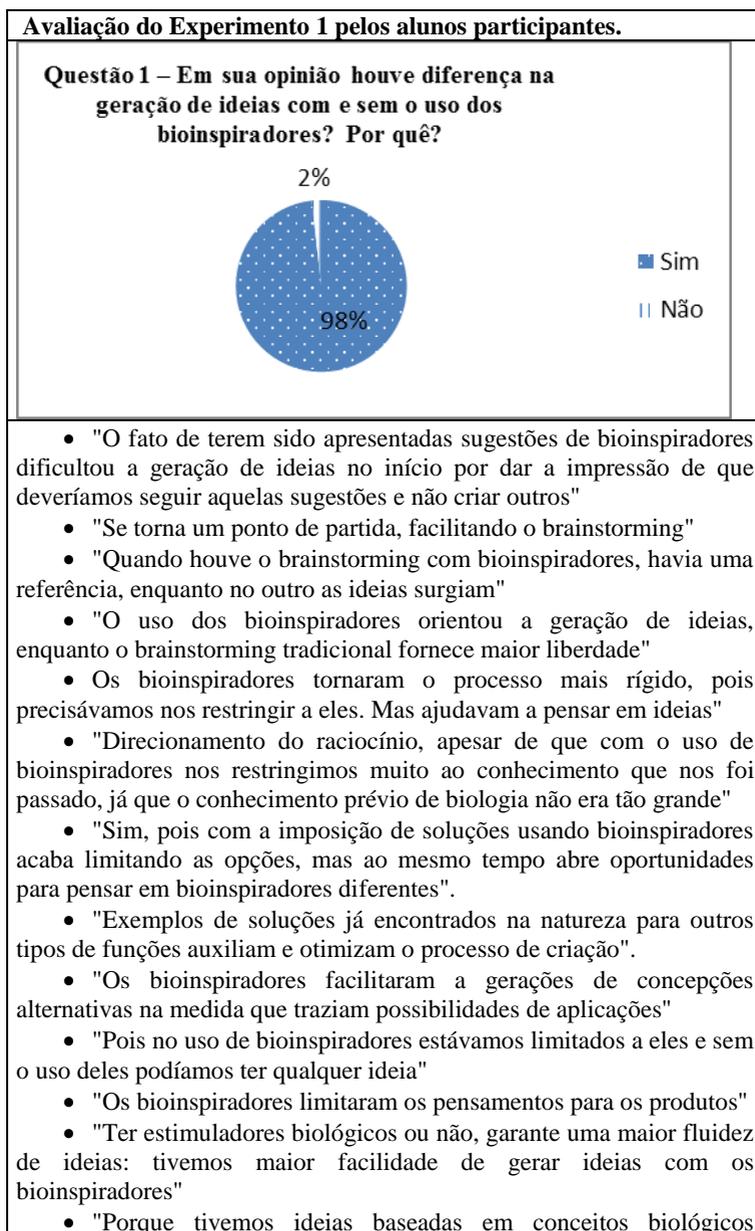
**2. Pé nadador** – dedos unidos por membrana para maior superfície de contato para propulsão na água. Ex: pato;

**3. Pé agarrador** – possui garras para capturar alimento e melhor segurar presas. Ex: águia;

**4. Pé trepador** – Dois dedos na parte posterior e dois na parte anterior com garras agudas para agarrar a troncos. Ex: pica-pau;

**5. Pé empoleirador** – dedos dispostos para segurar ao poleiro ou galho. Ex: Bem-te-vi

### C.3 – AVALIAÇÃO DO EXPERIMENTO 1 – RESPOSTAS AO QUESTIONÁRIO

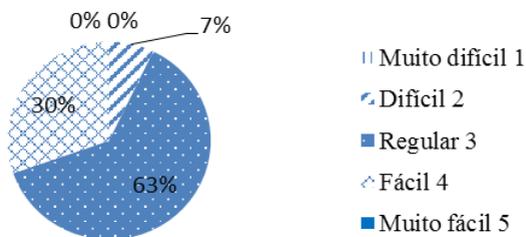


### **Avaliação do Experimento 1 pelos alunos participantes.**

quando tínhamos informações, enquanto na geração de ideias sem o uso de bioinspiradores, não associamos com conceitos de natureza"

- "Utilizando os bioinspiradores a forma de pensar era mais direcionada"
- "Com bioinspiradores as ideias surgiram mais rapidamente, entretanto as ideias ficaram mais semelhantes entre si, pois ficaram, de certa forma, restritas pelos bioinspiradores"
- "Em ambos precisamos buscar inspiração externas que acabavam sempre indo para exemplos da natureza"

**Questão 2 – Usando uma escala de 1 a 5, responda quão fácil foi para você utilizar os bioinspiradores para gerar ideias. Existiram dificuldades? Quais?**

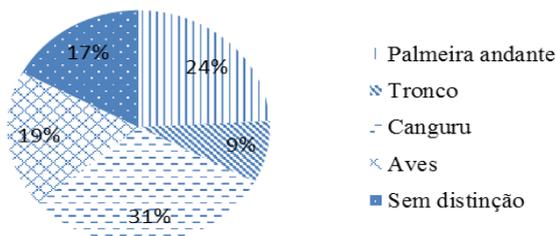


- "De início a dificuldade foi utilizar aqueles bioinspiradores específicos para o problema do dia"
- "Todos os exemplos de bioinspiradores foram de fácil inserção no problema proposto"
- "Após compreender de modo completo a função que cada estrutura desempenha nos animais, ficou mais fácil"
- "Alguns bioinspiradores ficam fáceis de ver a relação, outros já ficam mais difíceis, mas acabam surgindo ideias a partir."
- "A dificuldade é observar o melhor meio de se aproveitar a solução da natureza para tal problema"
- "O fato que abstrações foram apresentadas facilitou. Transferiu parte da criatividade do projetista (nós) para o pesquisador (professor). Por outro lado, houve momentos em que senti que tentávamos justificar nossas ideias, e não buscar inspiração nos inspiradores"
- Existem dificuldades de adaptação, pois normalmente os bioinspiradores não exercem todas as funções requeridas no produto"
- "No início houve dificuldades, pois, parecia uma barreira para ideias, parecia limitar as ideias. Mas depois as ideias foram fluindo mais fácil."
- "As vezes não surgiam ideias relacionadas a certo aspecto da planta. Porém alguns aspectos ajudaram a otimizar o produto"

### **Avaliação do Experimento 1 pelos alunos participantes.**

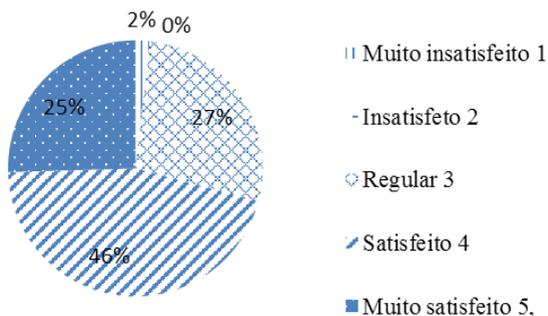
- "Pensar de maneira mais focada facilita na criação de ideias"
- "A dificuldade inicial foi de se adaptar com isso, mas após uns minutos as ideias foram fluindo"
- "A adaptação das soluções naturais foi mais difícil em alguns casos, quando já havia sido usada em outra concepção esta solução limitação de certo modo a criatividade e a diferenciação entre conceitos de diferentes produtos"
- "Não existiram dificuldades, o uso foi bem intuitivo"
- "Existiram dificuldades como a limitação de ideias aos bioinspiradores, por exemplo"
- "As dificuldades foram aliar a característica dos bioinspiradores com o produto desejado"
- "Sempre existem dificuldades, mas o trabalho em grupo e a diversidade de ideias nos ajudou a formar ideias para todos os bioinspiradores"
- "Às vezes a falta de conhecimento nos ramos de biologia e afins atrapalha no uso de bioinspiradores"

**Questão 3 – Qual bioinspirador foi mais influente nas ideias geradas na sua equipe?**



### Avaliação do Experimento 1 pelos alunos participantes.

**Questão 4 – Você está satisfeito com os resultados do processo de geração de ideias?**



**Questão 5 – Você teria observações, ou comentários adicionais ou sugestões sobre sua experiência nesta atividade? Por favor, descreva-as.**

- "Foi interessante ver que alguns bioinspiradores apresentaram vários princípios de soluções para o problema proposto. Outro ponto foram os insights que foram gerados a partir dos bioinspiradores, nesse caso alguns eram mais subjetivos"
- "Acho que poderia generalizar mais os bioinspiradores, já que apenas aqueles que foram solucionados induzem a um campo de soluções que já se sabe que é aplicável e gera soluções já conhecidas"
- "A parte sem os bioinspiradores foi mais complicada, parecia meio "sem rumo". Poderia estar melhor explicada a folha da atividade para ajudar na atividade"
- "Acredito que o uso de bioinspiradores ajudaram muito a geração de ideias, entretanto, se houvessem mais cartões disponíveis, o processo seria mais produtivo. A quantidade de cartão de certa forma limitou as concepções"
- "Foi uma atividade diferente, porém interessante. Uma sugestão seria diversificar mais os objetivos, não fazendo as duas atividades sobre como evitar quedas de idosos"
- "Colocar mais animais bioinspiradores como o polvo e suas ventosas por exemplo"
- "Acredito que os bioinspiradores não deviam ser limitados"
- "Achei interessante a maneira dinâmica como as ideias são geradas e acho que poderiam ser pensadas outras formas de inspiração além da biônica, como por exemplo perguntas estimulantes"
- "Um maior número de bioinspiradores poderia fornecer um maior número de soluções; as características dos bioinspiradores analisadas individualmente geram ideias melhores"

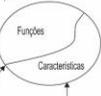
**Avaliação do Experimento 1 pelos alunos participantes.**

- "Fazer uma dinâmica em que houvesse bioinspiradores, mas o uso não fosse obrigatório"
- " Poderia haver mais itens da natureza para inspiração"
- "Foi ótimo! Temas mais abrangentes estimulariam mais a criatividade"
- "Achei os bioinspiradores bastante completos, com várias características utilizáveis em cada exemplo, evidenciando a complexidade dos projetos da natureza. ”
- Boa atividade para desenvolver habilidade como trabalho em grupo, geração de ideias e visão sistemática de problema"



## APÊNDICE D – MATERIAL USADO NO EXPERIMENTO 2

Figura D.1 - Problema 1 – Brainstorming tradicional (BRt)

|            |  | 2012 - 2016   | 2017 - 2021   | ..... tempo |
|------------|--|---|---|-------------|
| Mercado    | Necessidades dos usuários              | ↓ Esforço para descer<br>↑ Segurança  | ↑↑ Segurança ↑ Independência da pessoa<br>↑ Estabilidade  | .....       |
|            | Tendências sociais e ambientais        | ↓ Consumo de energia nos processos  | ↑ População idosa<br>↑ Reciclabilidade e reuso  | .....       |
|            | Tendências das necessidades da empresa | ↓ Custo   | ↑ Lucratividade ↑ Variedade   | .....       |
| Produto    | Linha de produtos 1<br>.....           |  | Novas ideias de produtos<br> | .....       |
| Tecnologia | Manufatura                             | Processo de Injeção   | Qualquer processo   | .....       |
|            | Materiais                              | Alumínio  | Qualquer material   | .....       |
|            | .....                                  |   |   | .....       |

• Uma empresa decide planejar uma linha de produtos que auxiliem a idosos e/ou pessoas com mobilidade reduzida a descer escadas independentemente, no lar ou em ambiente público. O mapa tecnológico da Figura 1 mostra o planejamento para este produto.

**Figura 1.** Mapa tecnológico para produtos que auxiliam pessoa a descer escadas independentemente.

- Gerar ideias de produtos para descer escadas para o tempo futuro (2017-2021) utilizando as informações do mapa tecnológico em sessão de *brainstorming*;
- Registrar nos devidos campos do formulário: o desenho da ideia, descrição das características e funções presentes.

Figura D.2 - Problema 1 – Brainstorming com Biônica (BRbio)

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA  
EMC 5302 – METODOLOGIA DE PROJETO EM ENGENHARIA MECÂNICA

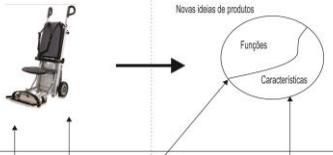
**Geração de Ideias de Produtos de Tecnologia Assistiva**

Mestranda Natalia Madalena Boelter  
*boelterm@gmail.com*  
Orientador Prof. André Ogliari

**Atividade 1 – Auxiliar pessoa a descer escadas independentemente**

- Uma empresa decide planejar uma linha de produtos que auxiliem a idosos e/ou pessoas com mobilidade reduzida a descer escadas independentemente, no lar ou em ambiente público. O mapa tecnológico da Figura 1 mostra o planejamento para este produto.

**Figura 1.** Mapa tecnológico para produtos que auxiliam pessoa a descer escadas independentemente.

|            |  | 2012 - 2016  | 2017 - 2021  | ..... tempo |
|------------|--|--|--|-------------|
| Mercado    | Necessidades dos usuários              | ↓ Esforço para descer<br>↑ Segurança   | ↑↑ Segurança ↑ Independência da pessoa<br>↑ Estabilidade | .....       |
|            | Tendências sociais e ambientais        | ↓ Consumo de energia nos processos   | ↑ População idosa<br>↑ Reciclabilidade e reuso           | .....       |
|            | Tendências das necessidades da empresa | ↓ Custo  | ↑ Lucratividade ↑ Variedade                              | .....       |
| Produto    | Linha de produtos 1<br>.....           |  | .....  | .....       |
| Tecnologia | Manufatura                             | ↑ Processo de Injeção  | Qualquer processo  | .....       |
|            | Materiais                              | ↑ Alumínio   | Qualquer material  | .....       |
|            | .....                                  |  |  | .....       |

- Gerar ideias de produtos para descer escadas para o tempo futuro (2017-2021) utilizando as informações do mapa tecnológico e os bioinspiradores em sessão de *brainstorming*;
- Registrar nos devidos campos do formulário: o desenho da ideia, descrição das características e funções presentes.

Figura D.3 - Problema 2 – Brainstorming tradicional (BRt)

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA  
EMC 5302 – METODOLOGIA DE PROJETO EM ENGENHARIA MECÂNICA

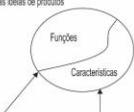
**Geração de Ideias de Produtos de Tecnologia Assistiva**

Mestranda Natalia Madalena Boelter  
*boelternm@gmail.com*  
Orientador Prof. André Oliari

**Atividade 2** – Auxiliar cuidadores na movimentação de pessoas acamadas.

- A empresa decide em planejar uma linha de produtos que auxilie cuidadores a mover pacientes acamados em tarefas como higienização, banho no leito a fim de diminuir esforço e evitar dores nas costas. O mapa tecnológico da Figura 1 mostra o planejamento para este produto.

**Figura 1.** Mapa tecnológico para produtos que auxiliam cuidadores a mover pessoas acamadas.

|            |  | 2012 - 2016   | 2017 - 2021  | ..... tempo |
|------------|--|---|--|-------------|
| Mercado    | Necessidades dos usuários              | ↓ Esforço físico do cuidador  | ↓ Esforço físico do cuidador<br>↑ Qualidade de vida do cuidador  | .....       |
|            | Tendências sociais e ambientais        | ↓ Consumo de energia nos processos  | ↑ Eficiência do processo<br>↑ Reciclabilidade  | .....       |
|            | Tendências das necessidades da empresa | ↓ Custo   | ↑ Lucratividade    ↑ Variedade   | .....       |
| Produto    | Linha de produtos 1                    | Guincho para mover pacientes acamados<br> | Novas ideias de produtos<br> | .....       |
|            | .....                                  |   |  |             |
| Tecnologia | Manufatura                             | Soldagem  | Qualquer processo  | .....       |
|            | Materiais                              | Aço<br>Nylon  | Qualquer material  | .....       |
|            | .....                                  |   |  |             |

- Gerar ideias de produtos para mover pacientes acamados para o tempo futuro (2017-2021) utilizando as informações do mapa tecnológico em sessão de *brainstorming*;
- Registrar nos devidos campos do formulário: o desenho da ideia, descrição das características e funções presentes.

Figura D.4 - Problema 2 – Brainstorming com Biônica (BRbio)

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA  
EMC 5302 – METODOLOGIA DE PROJETO EM ENGENHARIA MECÂNICA

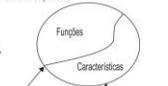
**Geração de Ideias de Produtos de Tecnologia Assistiva**

Mestranda Natalia Madalena Boelter  
*boelternm@gmail.com*  
Orientador Prof. André Ogliari

**Atividade 2** – Auxiliar cuidadores na movimentação de pessoas acamadas.

• A empresa decide em planejar uma linha de produtos que auxilie cuidadores a mover pacientes acamados em tarefas como higienização, banho no leito a fim de diminuir esforço e evitar dores nas costas. O mapa tecnológico da Figura 1 mostra o planejamento para este produto.

**Figura 1.** Mapa tecnológico para produtos que auxiliam cuidadores a mover pessoas acamadas.

|            |  | 2012 - 2016   | 2017 - 2021  | ..... tempo |
|------------|--|---|--|-------------|
| Mercado    | Necessidades dos usuários              | ↓ Esforço físico do cuidador  | ↓↓ Esforço físico do cuidador<br>↑ Qualidade de vida do cuidador   | .....       |
|            | Tendências sociais e ambientais        | ↓ Consumo de energia nos processos  | ↑ Eficiência do processo<br>↑ Reciclabilidade  | .....       |
|            | Tendências das necessidades da empresa | ↓ Custo   | ↑ Lucratividade    ↑ Variedade   | .....       |
| Produto    | Linhas de produtos 1                   | Guincho para mover pacientes acamados<br> | Novas ideias de produtos<br> | .....       |
|            | .....                                  |   |  |             |
| Tecnologia | Manufatura                             | Soldagem  | Qualquer processo  | .....       |
|            | Materiais                              | Aço<br>Nylon  | Qualquer material  | .....       |
|            | .....                                  |   |  |             |

• Gerar ideias de produtos para mover pacientes acamados para o tempo futuro (2017-2021) utilizando as informações do mapa tecnológico e os bioinspiradores em sessão de *brainstorming*;

• Registrar nos devidos campos do formulário: o desenho da ideia, descrição das características e funções presentes.

Figura D.5 - Questionário de Avaliação.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
 Mestranda Natalia Madalena Boelter  
*boelternm@gmail.com*  
 Orientador Prof. André Ogliari

**Questionário de avaliação das atividades**

Prezados participantes: é importante conhecermos sua opinião sobre as atividades práticas que acabaram de desenvolver. Solicitamos sua cooperação marcando a resposta apropriada para as questões apresentadas a seguir, com base nos resultados obtidos.

**Questão 1** – Em sua opinião houve diferença na geração de ideias com e sem o uso dos bioinspiradores?  
 Por quê?  Sim  Não

**Questão 2** – Usando uma escala de 1 a 5, responda quão fácil foi para você utilizar os bioinspiradores para gerar ideias. Existiram dificuldades? Quais?

1  2  3  4  5   
 Muito difícil Muito fácil

**Questão 3** – Qual bioinspirador foi mais influente nas ideias geradas na sua equipe?

Palmeira andante Gato Canguru Aves Cobra Sem distinção

**Questão 4** – Você está satisfeito com os resultados do processo de geração de ideias?

1  2  3  4  5   
 Muito insatisfeito Muito satisfeito

**Questão 5** – Você teria observações, ou comentários adicionais ou sugestões sobre sua experiência nesta atividade? Por favor, descreva-as.

Muito obrigado pela participação!

## D1 – BIOINSPIRADORES USADOS NO EXPERIMENTO 2

## Aves



## Funções destaque

Locomover – Sustentar – Distribuir – Segurar  
– Capturar – Resistir – Agarrar

O pato é uma ave, sendo um dos poucos animais da natureza que anda, nada e voa com razoável competência. Aves em geral são dotadas de senso de direção e comunidade.

## Ossos



Fonte: (3)

São pneumáticos, não maciços, segmentados em cavidades para:  
- diminuir densidade;  
- facilitar voo e natação;  
- resistir aos esforços em voo.

## Tipos de pés



1. Andador

2. Nadador

3. Agarrador

4. Trepador

5. Empoleirador

Possuem formato otimizado para:  
- locomover;  
- sustentar e distribuir peso;  
- segurar e capturar;  
- agarrar;

- Pé andador** - dedos esparramados para distribuição do peso da ave no solo e não afundar em pântanos;
- Pé nadador** - dedos unidos por membrana para maior superfície de contato para propulsão na água;
- Pé agarrador** - possui garras para capturar alimento;
- Pé trepador** - Dedos com garras agudas para agarrar a troncos;
- Pé empoleirador** - dedos dispostos para segurar a galhos.

## Área tecnologia para aplicação: Estruturas, Materiais, Mecânica

## Exemplos de Aplicações de Produtos

Estruturas



Aviação



Ossos em seção longitudinal mostrando armações internas semelhantes as de asas de aeroplano.

Fonte: Adaptado de (2)

Materiais



Pesquisadores da Universidade de Cambridge observaram o voo das corujas, que se deslocam silenciosamente, graças à estrutura das suas asas (penas com geometria uniforme e suave que oferece pouca resistência ao ar), otimizada para impedir a detecção prematura por suas presas. Criaram um material baseado nas penas, cuja superfície permite dissipar os fluxos de ar que originam o ruído, e aplicaram a pás de turbinas eólicas, reduzindo o seu ruído sem perda de rendimento. (14)

## Canguru



Fonte: (9)

### Funções destaque

Carregar – Abrigar – Apoiar – Impulsionar –  
Amortecer – Defender – Armazenar –  
Equilibrar – Aumentar

Cangurus possuem patas posteriores robustas e uma bolsa (o marsúpio) presente apenas nas fêmeas, na qual o filhote completa seu desenvolvimento. O canguru, quando jovem permanece com a mãe na bolsa para se alimentar e ficar seguro, até que tenha mais que um ano de idade.

### Bolsa Marsupial



Fonte: (11)

- Carregar e abrigar filhote;
- Proteger filhote;
- Contar o filhote durante seu desenvolvimento

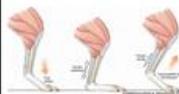
### Patas



Fonte: (12)

- Apoiar animal;
- Impulsionar para saltos e deslocamentos;
- Amortecer durante movimento e nas quedas;
- Defender-se com coices.

### Tendões



Fonte: (13)

São fortes e elásticos para:  
- Armazenar, recuperar e liberar energia durante o salto para impulso, funcionando como um sistema massa mola.

### Cauda



- Apoiar durante caminhada;
- Equilibrar e estabilizar durante saltos;
- Atuar como contrapeso para as patas traseiras.

Área tecnologia para aplicação: Estruturas, Mecânica, Materiais

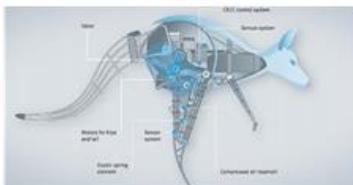
### Exemplos de Aplicações de Produtos

Robótica



Fonte: Festo (2014)

BionicKangaroo da Festo  
Cinemática de salto com eficiência energética baseada no modelo natural: recuperar, armazenar e liberar energia dos tendões. Seu mecanismo de salto permite que o canguru aumente sua velocidade e sem usar mais energia ao fazê-lo



## Gato



### Funções destaque

Locomover – Suportar – Controlar –  
Amortecer – Estabilizar – Capturar – Dividir  
– Elevar – Agrupar – Proteger – Mover

Os gatos são felinos que durante a queda, consegue girar instintivamente o corpo e prepará-lo para aterrisar em pé devido seu sentido agudo de equilíbrio e flexibilidade. Possuem vibrissas (bigodes) que funcionam como sensores de tamanho e movimento. Em um salto, os gatos podem elevar-se 5 vezes sua altura.

### Pernas



Os mamíferos possuem três divisões em suas pernas (braço, antebraço e pé/mão) além da omoplata que rotaciona  $\frac{1}{4}$  do comprimento de seu passo para:

- locomover e sustentar animal;
- prover movimentos mais flexíveis e ágeis;
- estabilizar dinamicamente a corrida com o balançar das costas, sem dispender grande controle para estabilidade.

### Patas



Os gatos andam sobre os dedos, possuem sistema de amortecimento coberto com pele sob as patas para:

- controlar precisamente a movimentação e temperatura corporal,
- amortecer quedas.

### Unhas



Dedos, com garras afiadas e móveis, dispostos e em formato especializado para:

- proteger-se,
- capturar alimento,
- agrupar e dividir alimento.

Área tecnologia para aplicação: Estruturas, Mecânica, Controle

### Exemplos de Aplicações de Produtos

Tecnologia Assistiva



Robótica



Estruturas



Fonte Boston Dynamics (2015)

- O robô WildCat consegue alcançar a velocidade de 26 km/h e fazer curvas com pouca desaceleração possuindo movimentos flexíveis e ágeis.
- Tecnologias desenvolvidas em projetos como este podem ser empregadas em aparelhos criados para ajudar na locomoção de pessoas com restrição de mobilidade.

## Palmeira Andante



Fonte: (5)

### Funções destaque

Captar – Sustentar – Equilibrar

A palmeira andante pode mudar de lugar para sair de região sombreada a procura de luz solar, andando um metro durante sua vida. O lado mais iluminado produz novas raízes, enquanto que o lado sombreado perde raízes.

### Raízes

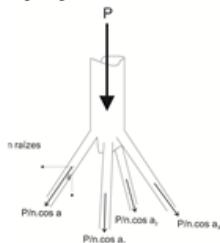


Fonte: (6)

Raízes aéreas espaçadas chegam a 2m de comprimento, possui ampla base de raízes para:

- Captar por absorção nutrientes do solo;
- Sustentar e decompor peso;
- Equilibrar peso e resistir ao vento;
- Alcançar a luz com menor gasto energético;

Exemplo de decomposição de peso pelas raízes:



Área tecnologia para aplicação: Estruturas, Mecânica

### Exemplos de Aplicações de Produtos

Tecnologia Assistiva



Estruturas



## Serpente



Fonte (16)

### Funções destaque

Locomover – Mover – Deslizar – Elevar –  
Mudar – Proteger – Girar – Unir

As serpentes são répteis sem patas, bastante próximos dos lagartos, que rastejam-se em “S” pelo solo. A sua pele é coberta de escamas, sofrendo trocas de escamas (muda ou ecdise) periodicamente para crescimento corporal. As espécies de serpente voadora achatam seu corpo para adquirir formato aerodinâmico e planar durante saltos de árvores. Combinam ainda a mudança de formato com movimentos da cabeça de um lado para o outro durante a planagem.

### Esqueleto



Fonte: Chris Mattioli

- Locomover e elevar: músculos fixam-se em projeções das vértebras
- Unir: cada vértebra possui duas costelas articuladas a ela, dando flexibilidade ao corpo.

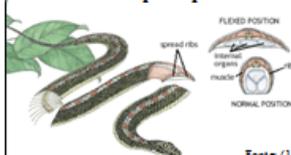
### Escamas



Foto: Getty Images

- Mover e deslizar: a fricção das escamas com o chão, somada a contrações dos músculos do ventre, resulta em movimento frontal;
- Proteger o corpo como amadureza devido sua rigidez;

### Mecanismo para planar



Fonte (10)

- Girar costelas para frente em direção à cabeça e para cima em direção à coluna;
- Mudar formato: quando a serpente voadora eleva-se em um salto, ela se contrai apertando todo o corpo.

Área tecnologia para aplicação: **E struturas, Mecânica, Controle**

### Exemplos de Aplicações de Produtos

Brinquedos



Rubik's Snake é um brinquedo segmentado em 24 prismas triangulares que podem ser girados por suas faces e modificar o seu formato de linear – semelhante a serpente.

Robótica



Anna Konda  
Cobra-robô bombeiro equipado com esguichos para apagar incêndio (SINTEF 2005).



Devido seu formato longo, flexível e alongado, este tipo de robô pode auxiliar na procura por sobreviventes em ruínas de terremotos e para inspeção e manutenção de instalações subaquáticas de petróleo, por exemplo.

## APÊNDICE E – RESULTADOS DO EXPERIMENTO 2

### E.1 – ANÁLISE DAS IDEIAS

As ideias geradas no experimento 2 foram avaliadas conforme o procedimento demonstrado no apêndice A3.

A Tabela E.1 e a Tabela E.2 trazem os resultados da avaliação das ideias, que serão usados nos testes estatísticos de hipóteses.

Tabela E.1 - Resultado da avaliação para o problema 1.

| Problema 1 – Auxiliar pessoa a descer escadas independentemente |        |                       |                                  |                                       |
|---|--------|-----------------------|----------------------------------|---------------------------------------|
| Grupo - Método  | Equipe | Número de Ideias (NI) | Número de Funções (NF) por Ideia | Novidade (NOV) por Ideia              |
| Grupo C - BRt   | C1     | 5                     | 4; 5; 5; 3; 6                    | 0,2; 0,4; 0; 0; 0                     |
|   | C2     | 4                     | 3; 4; 3; 4                       | 0,14; 0; 0; 0                         |
|   | C3     | 8                     | 2; 4; 3; 4;<br>4; 4; 3; 2        | 0,14; 0,25; 0; 0;<br>0; 0,33; 0,33; 0 |
| <b>Total de ideias</b>  |        | <b>17</b>             |                                  |                                       |
| Grupo D - BRbio   | D1     | 7                     | 4; 4; 5; 3;<br>4; 5; 4           | 0,5; 0,4; 0; 0,67;<br>0,25; 0; 0,25   |
|   | D2     | 5                     | 5; 3; 5; 4; 6                    | 0,5; 0,67; 0,6; 0,33;<br>0,67         |
|   | D3     | 8                     | 1; 3; 2; 5;<br>2; 2; 7 ;3        | 0,7; 0; 0; 0,7;<br>0,5; 0,33; 1; 1    |
| <b>Total de ideias</b>  |        | <b>20</b>             |                                  |                                       |

Fonte: autor.

Tabela E.2 - Resultados da avaliação para o problema 2.

| Problema 2 – Auxiliar cuidadores na movimentação de pessoas acamadas |        |                       |                                  |                                   |
|--|--------|-----------------------|----------------------------------|-----------------------------------|
| Grupo - Método   | Equipe | Número de Ideias (NI) | Número de Funções (NF) por Ideia | Novidade (NOV) por Ideia          |
| Grupo D - BRt  | D1     | 1                     | 6                                | 0,11                              |
|  | D2     | 2                     | 4; 3                             | 0; 0,25                           |
|  | D3     | 8                     | 3; 4; 2; 2;<br>2; 2; 1; 1        | 0; 0; 0; 1;<br>1; 0,25; 0,5; 0,33 |
| <b>Total de ideias</b>   |        | <b>11</b>             |                                  |                                   |
| Grupo C - BRbio  | C1     | 6                     | 4; 6; 6; 3;<br>5; 6              | 0,4; 0,2; 0,33; 0,6;<br>0,2; 0,67 |
|  | C2     | 4                     | 3; 3; 3; 3                       | 0,25; 0,25; 0,33; 0,43            |
|  | C3     | 4                     | 4; 3; 3; 3                       | 1; 0,75; 0,75; 0,67               |
| <b>Total de ideias</b>   |        | <b>14</b>             |                                  |                                   |

Fonte: autor.

## E.2 – ANÁLISE ESTATÍSTICA DETALHADA

Os dados da Tabela E.1 e Tabela E.2 são usados para os testes estatísticos de verificação das hipóteses de benefícios dos bioinspirados, demonstrados na sequência.

- Quantidade de ideias

O teste t e o ANOVA mostram que o uso dos bioinspiradores não aumentou a quantidade de ideias geradas, conforme a Tabela E.3.

Tabela E.3 -Teste t para número de ideias do experimento 2.

|   |  |            |
|---|--|------------|
| <b>Quantidade de ideias – número de ideias (NI)</b> | $H_0: \mu (NI_t) - \mu (NI_{bio}) = 0$ (média das ideias é igual)<br>$H_1: \mu (NI_t) - \mu (NI_{bio}) < 0$ (média é diferente, NI <sub>bio</sub> maior)<br><i>Nível de significância</i> $\alpha = 0,05$<br><b>Rejeita <math>H_0</math> se <math>p &lt; 0,05</math></b> |            |
| Teste t   | Problema 1   | Problema 2 |
|   | P = 0,27   | P = 0,35   |
| Análise do Resultado                                | Aceita $H_0$ .<br>Não houve diferença significativa para o número de ideias que o grupo que usou os cartões comparado ao não uso da ferramenta.  |            |
| ANOVA Teste F                                       | $H_0: \tau_{BRt} = \tau_{BRbio}$ (variâncias são iguais)<br>$H_1: \tau_{BRt} \neq \tau_{BRbio}$ (ao menos uma variância é diferente)<br><i>Nível de significância</i> $\alpha = 0,05$  |            |
|   | P = 0,628  | P = 0,136  |
| Análise do Resultado                                | Aceita $H_0$ .<br>Não houve diferença significativa para o número de ideias entre os grupos.   |            |

Fonte: autor.

Em ambos os testes da Tabela E.3, em cada problema, o valor da estatística p é maior que o nível de significância adotado. Este resultado evidencia que não houve diferença significativa para o número de ideias do grupo que usou os cartões comparado ao não uso da ferramenta. Aceita-se a hipótese nula ( $H_0$ ) de que a quantidade de ideias geradas foi igual em ambas as atividades dos dois grupos.

- Utilidade das ideias: número de funções

Para a análise do número de funções por ideias em cada problema, a hipótese alternativa trabalhada espera que este número aumente com BRbio em comparação ao BRt. Esta análise é feita usando teste não paramétrico de Mann Whitney, resultados apresentados na Tabela E.4.

Tabela E.4 - Teste de Mann Whitney para o número de funções (NF) por ideia .

|   |   |  |
|---|---|--|
| <b>Utilidade –<br/>Número de<br/>funções (NF)</b> | $H_0 : \eta_t = \eta_{bio}$ (mediana igual)   |  |
|   | $H_1 : \eta_t < \eta_{bio}$ (mediana maior com Bioins)  |  |
|   | Nível de significância $\alpha = 0,05$  |  |
|   | <b>Rejeita <math>H_0</math> se <math>p &lt; 0,05</math></b>   |  |
| Mann-Whitney                                      | Problema 1  | Problema 2   |
|   | P = 0,36  | P = 0,0187   |
| Análise do<br>Resultado                           | Aceita $H_0$ .<br>Não houve aumento da<br>utilidade por meio do<br>número de funções nas<br>ideias usando os<br>bioinspiradores | Rejeitar $H_0$ aceitando $H_1$ .<br>Houve aumento da utilidade<br>das ideias usando os<br>bioinspiradores. |

Fonte: autor.

De acordo com a Tabela E.4, no problema 1, o valor da estatística p calculado é 0,36, maior que o nível de significância ( $\alpha = 0,05$ ). Isto mostra que neste problema não houve aumento da quantidade de funções em cada ideia ao mudar o tipo de estímulo na ideação. Entretanto, no problema 2 o valor da estatística p é 0,0187, menor que o nível de significância adotado, revelando que houve aumento na quantidade de funções por ideias com o uso dos bioinspiradores.

- Novidade das ideias

Os resultados do teste de Mann Whitney constam na Tabela E.5. A hipótese atrelada a métrica novidade (hipótese alternativa  $H_3$ , Quadro A.3) espera que com o uso dos bioinspiradores na ideação a novidade das ideias seja maior.

Tabela E.5 - Teste de Mann Whitney para a novidade (NOV) por ideia.

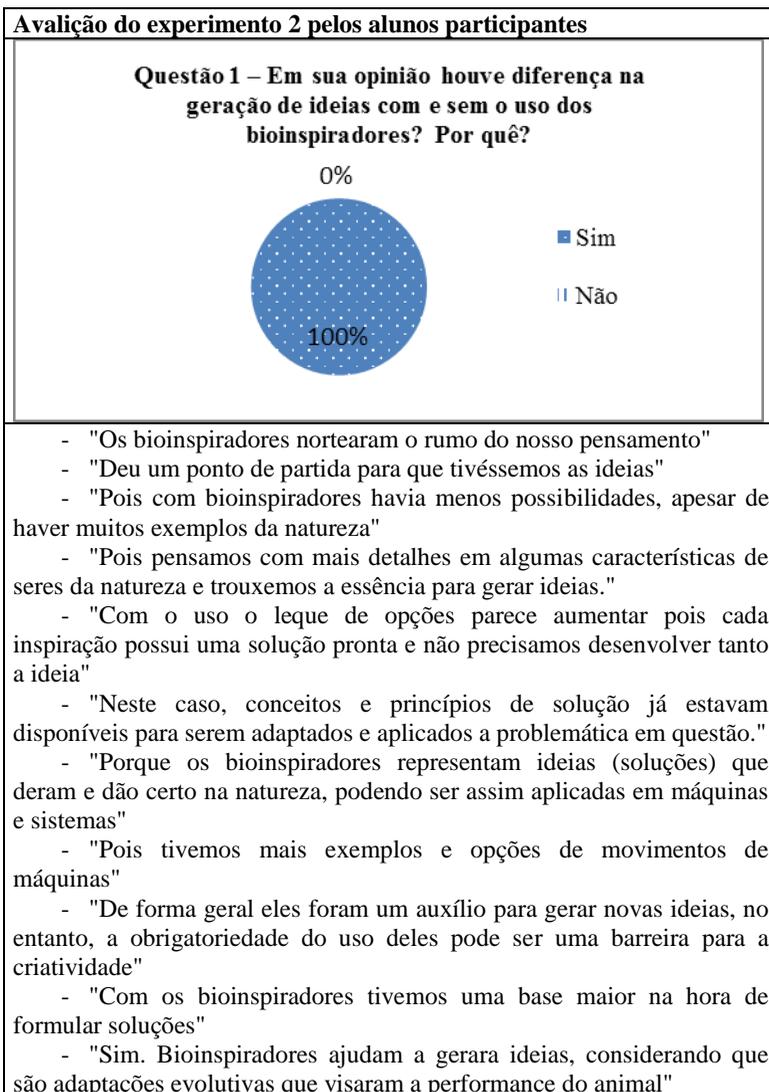
|                       |  |            |
|-----------------------|--|------------|
| <b>Novidade (NOV)</b> | H <sub>0</sub> : $\eta_t = \eta_{bio}$ (mediana igual)   |            |
|                       | H <sub>1</sub> : $\eta_t < \eta_{bio}$ (mediana da novidade maior com Bioins)                                      |            |
|                       | <i>Nível de significância</i> $\alpha = 0,05$  |            |
|                       | <b>Rejeita H<sub>0</sub> se <math>p &lt; 0,05</math></b>   |            |
| Mann-Whitney          | Problema 1   | Problema 2 |
|                       | P = 0,0004   | P = 0,047  |
| Análise do Resultado  | Rejeita H <sub>0</sub> e aceita H <sub>1</sub> .<br>Houve aumento da novidade das ideias usando os bioinspiradores |            |

Fonte: autor.

Para o problema 1 é encontrado o valor estatístico p de 0,0004. No problema 2, o valor estatístico p é 0,047. Ambos os valores p são menores que o nível de significância, indicando que houve aumento da novidade das ideias usando o estímulo dos bioinspiradores, mesmo que não muito significativo para o problema 2.

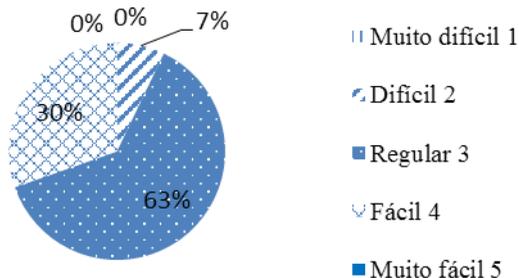


## APÊNDICE F – RESULTADOS DA AVALIAÇÃO DO EXPERIMENTO 2 PELOS ALUNOS PARTICIPANTES



### Avaliação do experimento 2 pelos alunos participantes

**Questão 2 – Usando uma escala de 1 a 5, responda quão fácil foi para você utilizar os bioinspiradores para gerar ideias. Existiram dificuldades? Quais?**



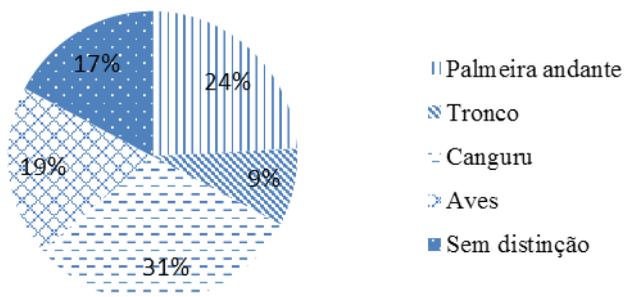
- "Foram um belo auxílio para desencadear meu pensamento"
- ""As dificuldades foram em encontrar exemplos que realmente otimizassem a resolução do problema"
- "Há dificuldades, pois nem sempre conseguimos materializar uma ideia de forma viável"
- "Sim, pensar em soluções para a aplicação já é complicado, restringir em bioinspiradores nesse ponto dificulta"
- "No início foi difícil até pela falta de prática com o método, depois o fluxo de ideias foi mais fácil"
- "Sim, pois pode ter havido uma fixação funcional às concepções presentes, sendo que foi fácil extrair vantagens de concepções bioinspiradoras."
- "Aplicar prática nas máquinas mesmo sendo boas ideias"
- "Sim, existiram dificuldades ao identificar onde os bioinspiradores podem ser aplicados. "
- " A dificuldade foi decidir quais bioinspiradores a utilizar"
- "Dificuldade de, obrigatoriamente, utilizar bioinspiradores para gerar soluções para nosso problema"
- "A dificuldade foi resolver um problema que animais não encontram na natureza, fica difícil achar diretamente as características para relacionar"
- "Dificuldade de encontrar bioinspiradores com aplicação direta, além de falta de pesquisa dos bioinspiradores"
- "Os bioinspiradores possuem uso intuitivo"
- "Às vezes é difícil achar uma ideia que cumpra os requisitos pedidos e acoplar ao problema"
- "A principal dificuldade foi validar se a ideia realmente funcionava. Enquanto que na atividade passada (com os bioins) era mais fácil, pois já tínhamos experiência se os outros produtos funcionavam ou

### Avaliação do experimento 2 pelos alunos participantes

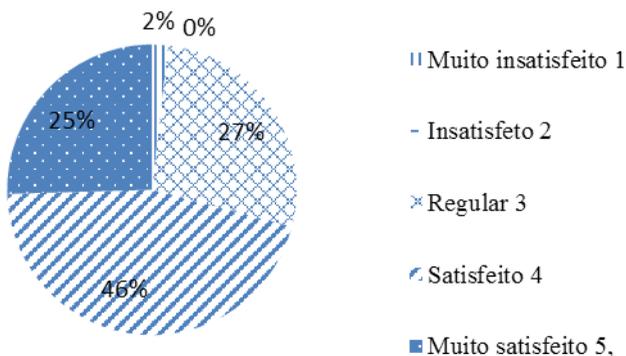
não"

- "Adequar soluções pré-existentes a um problema específico"
- "É difícil associar a solução para o problema do animal com o problema a ser solucionado"
- "Foi complicado adaptar as características dos animais adaptados ao nosso problema, mas mesmo assim considero os bioinspiradores uma saída interessante"
- "Ajudou na inspiração, entretanto houve dificuldade em adaptar a componentes mecânicos pré-existentes"

#### Questão 3 – Qual bioinspirador foi mais influente nas ideias geradas na sua equipe?



#### Questão 4 – Você está satisfeito com os resultados do processo de geração de ideias?



Questão 5 – Você teria observações, ou comentários adicionais ou sugestões sobre sua experiência nesta atividade? Por favor, descreva-

|  |
|--|
| <b>Avaliação do experimento 2 pelos alunos participantes</b> |
|--|

|            |
|------------|
| <b>as.</b> |
|------------|

- |   |
|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- "Só os problemas tinham dificuldades diferentes, o que talvez mude a percepção da facilidade de usar bioinspiradores"</li> <li>- "Exposição prévia da problemática, permitindo pesquisa de outros bioinspiradores"</li> <li>- "Às vezes dá pra acrescentar mais tempo no brainstorming"</li> <li>- "Seria interessante ter na avaliação final algum tipo de feedback ou debate sobre a viabilidade das ideias descritas."</li> <li>- "Aumentar o tempo para discussão das ideias"</li> <li>- "O assunto é meio distante de alguns de nós, no sentido de que não pensamos muito na situação para saber quais problemas solucionar"</li> <li>- "Gostei de ter uma ideia inicial para partir dela e gerar pensamento e concepção"</li> <li>- "Mais inspiradores ajudariam a ter mais ideias"</li> <li>- "A questão do tempo nos ajuda a não ficarmos muito tempo na mesma ideia, o que ajuda na variedade de opções de resposta"</li> <li>- "Interessante inserir a natureza como base para geração de ideias, com isso podemos parar para observar melhor a natureza afim de buscar novas ideias e soluções"</li> <li>- "Foram muito boas, mas o resultado da primeira foi melhor ao meu ver, talvez pela aplicação ser mais factível"</li> <li>- "Mais exemplos e explicados com calma"</li> <li>- "Trazer problemas de outras áreas (além de tecnologias assistivas)"</li> <li>- "Bastante interessante, mas talvez o brainstorming tira um pouco o foco do trabalho em conjunto"</li> </ul> |
|---|

**APÊNDICE G – QUESTIONÁRIO DE AVALIAÇÃO DA  
SISTEMÁTICA DE PLANEJAMENTO DE PRODUTOS  
ORIENTADO PELA BIÔNICA POR MEIO DE  
BIOINSPIRADORES (BIOINS) - SPB**

O questionário para avaliação final da sistemática, foi elaborado com base nos modelos utilizados por Reinert (2013), Geisler (2011) e Ibarra (2007) para verificar:

- Aplicabilidade: avaliar se a sistemática e suas atividades são úteis, viáveis e contribuem para a geração de ideias de produtos usando biônica por meio dos bioinspiradores;

- Coerência: avaliar se as atividades, tarefas, ferramentas e técnicas propostas possuem harmonia, se são adequadas, concordantes e contribuem para alcançar o objetivo geral da sistemática proposta;

- Clareza: verificar a compreensibilidade das atividades e da sistemática como um todo.

Para isso, no Quadro G.1 são apresentados os objetivos delineados e as questões que abordam estes para o questionário

Quadro G.1 - Critérios abordados no questionário e as respectivas questões.

| <b>Critérios abordados</b>   | <b>Questões</b>  |
|------------------------------|--|
| Aplicabilidade e Viabilidade | Q1.1 Q1.6 Q1.7 Q1.8 Q1.9 Q1.11 Q1.13<br>Q1.14 Q2.3 Q2.4 Q2.5 Q2.6 Q2.7 |
| Coerência                    | Q1.3 Q1.8 Q1.9 Q1.10 Q1.12 Q2.1 Q2.6<br>Q2.7                           |
| Clareza                      | Q1.2 Q1.4 Q1.5 Q1.8 Q2.1 Q2.2 Q2.3<br>Q2.6 Q2.7                        |

## G1 – QUESTIONÁRIO DE AVALIAÇÃO DA SPB

## FORMAÇÃO DO AVALIADOR

## ÁREA DE ATUAÇÃO / EXPERIÊNCIA DO AVALIADOR

Solicita-se aos participantes o estabelecimento de notas de 1 a 5 conforme tabela abaixo para os critérios sugeridos no questionário de avaliação no quadro a seguir.

| Não    | Pouco  | Parcial | Bem    | Muito  |
|--------|--------|---------|--------|--------|
| 1<br>○ | 2<br>○ | 3<br>○  | 4<br>○ | 5<br>○ |

Ao final existe um campo destinado a comentários gerais, opiniões e sugestões quanto às propostas deste trabalho.

| <b>Questionário de Avaliação da Sistemática SPB</b>   |        |        |        |        |        |
|---|--------|--------|--------|--------|--------|
| <b>1.SOBRE AS ATIVIDADES DA SISTEMÁTICA SPB</b>   |        |        |        |        |        |
| <b>Sobre a formulação da oportunidade (Atividade 1) apresentada:</b>                            |        |        |        |        |        |
| 1.1 As estratégias de negócio e tendências de mercado contribuem na formulação da oportunidade? | 1<br>○ | 2<br>○ | 3<br>○ | 4<br>○ | 5<br>○ |
| 1.2 As orientações para a atividade são suficientes?  | 1<br>○ | 2<br>○ | 3<br>○ | 4<br>○ | 5<br>○ |
| <b>Sobre a modelagem funcional (Atividade 2) apresentada:</b>                                   |        |        |        |        |        |
| 1.3 O uso da base de funções para construção do modelo funcional é pertinente?                  | 1<br>○ | 2<br>○ | 3<br>○ | 4<br>○ | 5<br>○ |
| 1.4 As orientações para a atividade são suficientes?  | 1<br>○ | 2<br>○ | 3<br>○ | 4<br>○ | 5<br>○ |
| <b>Sobre a seleção dos BioIns (Atividade 3) executada pelos respondentes:</b>                   |        |        |        |        |        |
| 1.5 As orientações de seleção de BioIns são suficientes?  | 1      | 2      | 3      | 4      | 5      |

| <b>Questionário de Avaliação da Sistemática SPB</b>   |                            |                            |                            |                            |                            |
|---|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
|   | <input type="radio"/>      |
| 1.6 Considera aplicável e útil a relação das funções com as áreas de tecnologias biônicas para uso como critério de pesquisa? | 1<br><input type="radio"/> | 2<br><input type="radio"/> | 3<br><input type="radio"/> | 4<br><input type="radio"/> | 5<br><input type="radio"/> |
| 1.7 As funções do modelo funcional auxiliaram na pesquisa por BioInspiradores?  | 1<br><input type="radio"/> | 2<br><input type="radio"/> | 3<br><input type="radio"/> | 4<br><input type="radio"/> | 5<br><input type="radio"/> |
| 1.8 Considera que a ferramenta BioIns contribui na seleção dos bioinspiradores por função?                                    | 1<br><input type="radio"/> | 2<br><input type="radio"/> | 3<br><input type="radio"/> | 4<br><input type="radio"/> | 5<br><input type="radio"/> |
| <b>Sobre o uso dos BioIns na ideação de produtos (Atividade 4) executado pelos respondentes:</b>                              |                            |                            |                            |                            |                            |
| 1.9 A realização do brainstorming estimulado por BioIns contribui para a estimulação pela biônica?                            | 1<br><input type="radio"/> | 2<br><input type="radio"/> | 3<br><input type="radio"/> | 4<br><input type="radio"/> | 5<br><input type="radio"/> |
| 1.10 A leitura dos cartões contribui para a estimulação pela biônica?   | 1<br><input type="radio"/> | 2<br><input type="radio"/> | 3<br><input type="radio"/> | 4<br><input type="radio"/> | 5<br><input type="radio"/> |
| 1.11 A quantidade de BioIns selecionada foi útil?   | 1<br><input type="radio"/> | 2<br><input type="radio"/> | 3<br><input type="radio"/> | 4<br><input type="radio"/> | 5<br><input type="radio"/> |
| 1.12 Todos os BioIns selecionados foram usados?   | 1<br><input type="radio"/> | 2<br><input type="radio"/> | 3<br><input type="radio"/> | 4<br><input type="radio"/> | 5<br><input type="radio"/> |
| 1.13 Considera ter gerado ideias diferentes com base nos BioIns?  | 1<br><input type="radio"/> | 2<br><input type="radio"/> | 3<br><input type="radio"/> | 4<br><input type="radio"/> | 5<br><input type="radio"/> |
| <b>Sobre o preenchimento do mapa tecnológico (Atividade 5) apresentado:</b>   |                            |                            |                            |                            |                            |
| 1.14 Considera as orientações propostas coerentes?  | 1<br><input type="radio"/> | 2<br><input type="radio"/> | 3<br><input type="radio"/> | 4<br><input type="radio"/> | 5<br><input type="radio"/> |
| <b>2. SOBRE ASPECTOS GERAIS DA SISTEMÁTICA</b>  |                            |                            |                            |                            |                            |
| <b>Clareza da Sistemática SPB</b>   |                            |                            |                            |                            |                            |
| 2.1 O processo de planejamento e ideação de produtos através da sistemática apresentada é compreensível?                      | 1<br><input type="radio"/> | 2<br><input type="radio"/> | 3<br><input type="radio"/> | 4<br><input type="radio"/> | 5<br><input type="radio"/> |
| 2.2 As orientações e ferramentas das atividades propostas são adequadas?  | 1<br><input type="radio"/> | 2<br><input type="radio"/> | 3<br><input type="radio"/> | 4<br><input type="radio"/> | 5<br><input type="radio"/> |
| 2.3 A sequência das atividades é coerentes e permite o andamento do processo ?  | 1<br><input type="radio"/> | 2<br><input type="radio"/> | 3<br><input type="radio"/> | 4<br><input type="radio"/> | 5<br><input type="radio"/> |
| <b>Aplicabilidade da Sistemática SPB</b>  |                            |                            |                            |                            |                            |
| 2.4 A sistemática tem potencial para ser efetivamente assimilada e aplicada?  | 1<br><input type="radio"/> | 2<br><input type="radio"/> | 3<br><input type="radio"/> | 4<br><input type="radio"/> | 5<br><input type="radio"/> |
| 2.5 A sistemática pode ser aplicada a outros tipos de produtos?   | 1<br><input type="radio"/> | 2<br><input type="radio"/> | 3<br><input type="radio"/> | 4<br><input type="radio"/> | 5<br><input type="radio"/> |
| <b>Contribuição da Sistemática SPB</b>  |                            |                            |                            |                            |                            |

| <b>Questionário de Avaliação da Sistemática SPB</b>  |        |        |        |        |        |
|--|--------|--------|--------|--------|--------|
| 2.6 Os resultados da aplicação da sistemática compensam os recursos e tempo investidos para realizar o processo?                         | 1<br>○ | 2<br>○ | 3<br>○ | 4<br>○ | 5<br>○ |
| 2.7 Considera que os resultados obtidos com a sistemática e a ferramenta BioIns podem ser considerados inovadores e diferentes do usual? | 1<br>○ | 2<br>○ | 3<br>○ | 4<br>○ | 5<br>○ |
| <b>3. COMENTÁRIOS FINAIS</b>   |        |        |        |        |        |
| 3.1 Qual a sua opinião geral sobre a sistemática SPB proposta? Apresente suas críticas, sugestões, oportunidades de melhoria.            |        |        |        |        |        |
| _____  |        |        |        |        |        |
| _____  |        |        |        |        |        |
| _____  |        |        |        |        |        |
| _____  |        |        |        |        |        |

## **QUESTIONÁRIO DE AVALIAÇÃO QUANTO A UTILIZAÇÃO DA FERRAMENTA BIOINS WEB**

Com relação ao software usado, avalie sua satisfação demonstrando sua percepção em relação aos itens abaixo. Marque o número mais apropriado (de 1 a 5) que reflete suas impressões no uso do sistema.

Ao final existe um campo destinado a comentários gerais, opiniões e sugestões.

| <b>Questionário de Avaliação do uso do Bioins web</b> |                  |        |        |        |        |        |                 |
|---|------------------|--------|--------|--------|--------|--------|-----------------|
| <b>Sobre a Tela</b>                                   |                  |        |        |        |        |        |                 |
| 1. Leitura de caracteres na tela                      | Difícil          | 1<br>○ | 2<br>○ | 3<br>○ | 4<br>○ | 5<br>○ | Fácil           |
| 2. Disposição dos objetos na tela                     | Mal distribuídos | 1<br>○ | 2<br>○ | 3<br>○ | 4<br>○ | 5<br>○ | Bem distribuído |

| <b>Questionário de Avaliação do uso do Bioins web</b> |                |        |        |        |        |        |                 |
|---|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|-----------------|
| 3. Total de informações disponíveis na tela           | Inadequado     | 1<br>○ | 2<br>○ | 3<br>○ | 4<br>○ | 5<br>○ | Adequado        |
| 4. Ordem das informações disponíveis na tela          | Ilógica        | 1<br>○ | 2<br>○ | 3<br>○ | 4<br>○ | 5<br>○ | Lógica          |
| 5. Estética   | Desagradável   | 1<br>○ | 2<br>○ | 3<br>○ | 4<br>○ | 5<br>○ | Agradável       |
| <b>Sobre a Terminologia e Informação do Sistema</b>   |                |        |        |        |        |        |                 |
| 6. Terminologia utilizada no sistema                  | Nunca adequada | 1<br>○ | 2<br>○ | 3<br>○ | 4<br>○ | 5<br>○ | Sempre adequada |
| 7. Campo para entrada de texto na tela                | Confuso        | 1<br>○ | 2<br>○ | 3<br>○ | 4<br>○ | 5<br>○ | Claro           |
| 8. Mensagem de ajuda na tela                          | Inútil         | 1<br>○ | 2<br>○ | 3<br>○ | 4<br>○ | 5<br>○ | Útil            |
| <b>Sobre a Aprendizagem e Utilização do Sistema</b>   |                |        |        |        |        |        |                 |
| 9. Aprender a operar o sistema                        | Difícil        | 1<br>○ | 2<br>○ | 3<br>○ | 4<br>○ | 5<br>○ | Fácil           |
| 10. Funções necessárias para realização das tarefas   | Insuficiente   | 1<br>○ | 2<br>○ | 3<br>○ | 4<br>○ | 5<br>○ | Suficiente      |
| 11. Utilidade do sistema                              | Inútil         | 1<br>○ | 2<br>○ | 3<br>○ | 4<br>○ | 5<br>○ | Útil            |

Comentários e sugestões (indique o número do item que deseja comentar na frente do comentário / utilize o verso da folha, se necessário):

---



---



---



---



---

## G2 – RESULTADOS<sup>8</sup> DO QUESTIONÁRIO DE AVALIAÇÃO DA SISTEMÁTICA SPB

| <b>Questionário de Avaliação da Sistemática SPB</b>  |     |       |         |     |       |
|--|-----|-------|---------|-----|-------|
| <b>1.SOBRE AS ATIVIDADES DA SISTEMÁTICA SPB</b>  |     |       |         |     |       |
| <b>Sobre a formulação da oportunidade (Atividade 1) apresentada:</b>   |     |       |         |     |       |
|  | Não | Pouco | Parcial | Bem | Muito |
| Q1.1 As estratégias de negócio e tendências de mercado contribuem na formulação da oportunidade?                               |     |       |         | 2   | 3     |
| Q1.2 As orientações para a atividade são suficientes?  |     |       | 2       |     | 3     |
| <b>Sobre a modelagem funcional (Atividade 2) apresentada:</b>  |     |       |         |     |       |
|  | Não | Pouco | Parcial | Bem | Muito |
| Q1.3 O uso da base de funções para construção do modelo funcional é pertinente?  |     |       |         | 5   |       |
| Q1.4 As orientações para a atividade são suficientes?  |     |       | 1       | 3   | 1     |
| <b>Sobre a seleção dos BioIns (Atividade 3) executada pelos respondentes:</b>  |     |       |         |     |       |
| Q1.5 As orientações de seleção de BioIns são suficientes?  |     |       | 1       | 4   |       |
| Q1.6 Considera aplicável e útil a relação das funções com as áreas de tecnologias biônicas para uso como critério de pesquisa? | 2   |       | 2       | 1   |       |
| Q1.7 As funções do modelo funcional auxiliaram na pesquisa por BioInspiradores?  |     |       | 2       |     | 3     |
| Q1.8 Considera que a ferramenta BioIns contribui na seleção dos bioinspiradores por função?                                    |     |       |         | 4   | 1     |
| <b>Sobre o uso dos BioIns na ideação de produtos (Atividade 4) executado pelos respondentes:</b>                               |     |       |         |     |       |
| Q1.9 A realização do brainstorming estimulado por BioIns contribui para a estimulação pela biônica?                            |     |       |         |     | 5     |

<sup>8</sup> Referente aos cinco avaliadores.

| <b>Questionário de Avaliação da Sistemática SPB</b>   |  |   |   |   |   |
|---|--|---|---|---|---|
| Q1.10 A leitura dos cartões contribui para a estimulação pela biônica?  |  |   | 1 | 1 | 3 |
| Q1.11 A quantidade de BioIns selecionada foi útil?  |  | 1 |   | 3 | 1 |
| Q1.12 Todos os BioIns selecionados foram usados?  |  | 1 | 2 | 1 | 1 |
| Q1.13 Considera ter gerado ideias diferentes com base nos BioIns?   |  |   | 1 | 1 | 3 |
| <b>Sobre o preenchimento do mapa tecnológico (Atividade 5) apresentado:</b>   |  |   |   |   |   |
| Q1.14 Considera as orientações propostas coerentes?   |  |   | 1 | 3 | 1 |
| <b>2. SOBRE ASPECTOS GERAIS DA SISTEMÁTICA</b>  |  |   |   |   |   |
| <b>Clareza da Sistemática SPB</b>   |  |   |   |   |   |
| Q2.1 O processo de planejamento e ideação de produtos através da sistemática apresentada é compreensível?                                 |  |   | 2 | 2 | 1 |
| Q2.2 As orientações e ferramentas das atividades propostas são adequadas?   |  |   |   | 4 | 1 |
| Q2.3 A sequência das atividades é coerentes e permite o andamento do processo ?   |  |   | 1 | 3 | 1 |
| <b>Aplicabilidade da Sistemática SPB</b>  |  |   |   |   |   |
| Q2.4 A sistemática tem potencial para ser efetivamente assimilada e aplicada?   |  |   | 2 | 1 | 2 |
| Q2.5 A sistemática pode ser aplicada a outros tipos de produtos?  |  |   |   | 2 | 3 |
| <b>Contribuição da Sistemática SPB</b>  |  |   |   |   |   |
| Q2.6 Os resultados da aplicação da sistemática compensam os recursos e tempo investidos para realizar o processo?                         |  |   | 1 | 4 |   |
| Q2.7 Considera que os resultados obtidos com a sistemática e a ferramenta BioIns podem ser considerados inovadores e diferentes do usual? |  |   |   | 3 | 2 |

### G3 – RESULTADOS DO QUESTIONÁRIO DE AVALIAÇÃO PARA BIOINS WEB

| <b>Sobre a Tela</b>                                  |                  |  |  |   |   |   |                 |
|--|------------------|--|--|---|---|---|-----------------|
| Q1. Leitura de caracteres na tela                    | Difícil          |  |  |   | 1 | 4 | Fácil           |
| Q2. Disposição dos objetos na tela                   | Mal distribuídos |  |  |   | 4 | 1 | Bem distribuído |
| Q3. Total de informações disponíveis na tela         | Inadequado       |  |  |   | 1 | 4 | Adequado        |
| Q4. Ordem das informações disponíveis na tela        | Ilógica          |  |  |   | 2 | 3 | Lógica          |
| Q5. Estética   | Desagradável     |  |  |   | 2 | 3 | Agradável       |
| <b>Sobre a Terminologia e Informação do Sistema</b>  |                  |  |  |   |   |   |                 |
| Q6. Terminologia utilizada no sistema                | Nunca adequada   |  |  |   | 2 | 3 | Sempre adequada |
| Q7. Campo para entrada de texto na tela              | Confuso          |  |  |   | 1 | 4 | Claro           |
| Q8. Mensagem de ajuda na tela                        | Inútil           |  |  | 2 | 1 | 2 | Útil            |
| <b>Sobre a Aprendizagem e Utilização do Sistema</b>  |                  |  |  |   |   |   |                 |
| Q9. Aprender a operar o sistema                      | Difícil          |  |  |   |   | 5 | Fácil           |
| Q10. Funções necessárias para realização das tarefas | Insuficiente     |  |  |   | 3 | 2 | Suficiente      |
| Q11. Utilidade do sistema                            | Inútil           |  |  |   | 2 | 3 | Útil            |

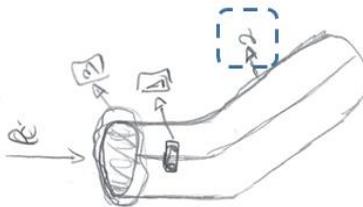
## APÊNDICE H – IDEIAS GERADAS COM A SISTEMÁTICA SPB



Formulário para registro das ideias

Aluno: Z, H, G

Problema:



↳ SER DESMONTÁVEL  
 ↳ DIFÍCIL A ARMAZENAR E PE  
 ↳ DIFÍCIL REENDER A MEÇA



1) GRAMPO  
 2) "MEÇA 3D" → MOLDE  
 3) SUPORTE V MEÇA

Característica inspirada no organismo cobra, mecanismo pelo

↳ ENTRA O PE NO SUPORTE E DESPRENDE O MOLDE  
 ↳ INSPIRADO NA PELE DA COBRA

D = desenho da ideia  
 F = funções presentes  
 C = características

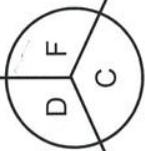


**B**olário para registro das ideias  
pe: Z H, G

Condições para  
Problema:



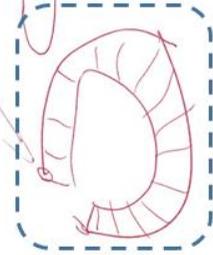
FUNÇÃO:  
- DESLIZAR FACILMENTE



PELE DA COBRA  
- CURBANTE



Característica da ideia inspirada no mecanismo pele da cobra



- D = desenho da ideia
- F = funções presentes
- C = características



**C** mullário para registro das ideias  
 Tipo: **S, H, G**

Problema:

FOURÇÃO: - **ABRIR A MEIA**  
 - **GOIAR MOVIMENTO**  
 - **ENCOLAR/DESENCOLAR MEIA**



- 1** - Característica da ideia inspirada no Bionis pele da cobra
  - 2** - Característica inspirada em experiências prévias
- 1** - INSPIRADO NA TROCA DE ESCAMAS DA COBRÁ.
- 2** - INSPIRADO NA CAMISIUNHA
- DAS HASTES ENCOLÁVEIS (AZUL) ENCOLAM A MEIA, O IDOSO COLCA O PÉ DEENTRO DA MEIA, COMO UMA CAMISIUNHA.
  - DEPOIS O IDOSO PUXA AS HASTES, DESENCOLANDO -AS JUNTAMENTE COM AS MEIAS.
  - REMOVE AS HASTES E DEU

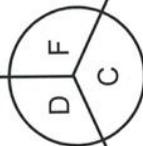
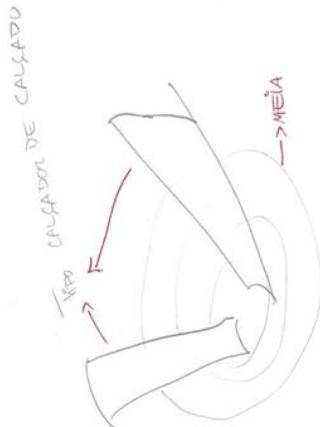
D = desenho da ideia  
 F = funções presentes  
 C = características

**D** Formulário para registro das ideias  
 de: **Z, H, G**

Problema:

Função: **ABRIR A MEIA**

Princípio de abertura da ideia  
 inspirado no Bionis mandíbula da  
 cobra



ESTRUTURA TIPO CALÇADO  
 DE CALÇADO BEM DA  
 MEIA.  
 É INSERE OS CALÇADOS E  
~~INSERE~~ INSERE O PÉ  
 3 = TIPO OS CALÇADOS

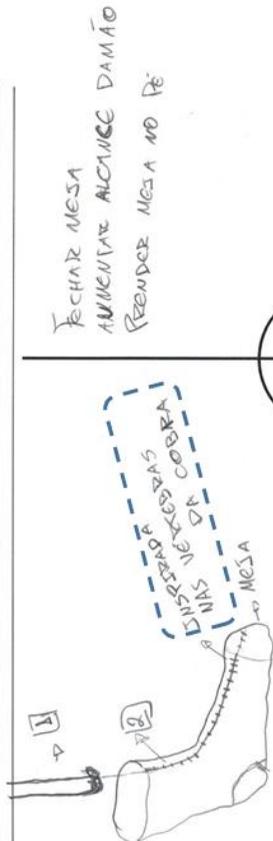
D = desenho da ideia  
 F = funções presentes  
 C = características



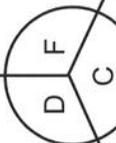
Formulário para registro das ideias

Nome: Z. H. G.

Problema:



Característica inspirada nas  
vértebras do organismo  
Cobra



AO PUNHAZ A HASTE A MESA  
SE FECHA, PREENDEMO NO PÊ  
DO JOGO

D = desenho da ideia  
F = funções presentes  
C = características

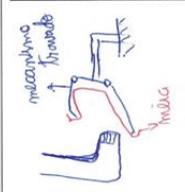


Formulário para registro das ideias  
Equipe: ELSON & LUCAS

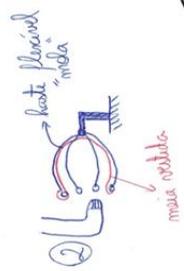
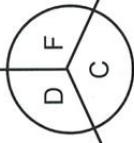
Problema:

3 Permitir entrada  
abrir a mão  
abrir e fechar  
garras retráteis

1 abrir a mão  
permitir entrada  
aumentar alcance  
girar movimento



2 abrir a mão  
girar movimento  
permitir entrada



“... garras são retráteis...”  
característica inspirada no Bioms Gato

1 garras suportam as mãos / garras são retráteis (aumentam o alcance); existe um corpo para girar e travar onde o pé.

2 haste flexível que engloba o pé e trava no chão. O pé machuca a mão, travado como quebras, mecanismo preso ao chão.  
3 boca da cobra. Mecanismo armado e travado. Com o destravar ao voltar o pé, mecanismo preso ao chão.

características inspiradas nos Bioms Aves e Cobra  
Ideias plausíveis  
C = características

## ANEXO A – Princípios Inventivos da TRIZ

Princípios Inventivos de Altshuller.

|                                  |  |
|----------------------------------|--|
| 1. Segmentação ou fragmentação   | 21. Travessia rápida                     |
| 2. Remoção ou extração           | 22. Conversão de danos em benefícios     |
| 3. Qualidade local               | 23. Retroalimentação                     |
| 4. Assimetria                    | 24. Mediação                             |
| 5. Combinação                    | 25. Auto-serviço                         |
| 6. Universalidade                | 26. Cópia                                |
| 7. Aninhamento                   | 27. Uso de objeto barato e de vida curta |
| 8. Contrapesos                   | 28. Substituição de meios mecânicos      |
| 9. Contra-actuação preliminar    | 29. Uso de pneumática e hidráulica       |
| 10. Ação prévia                  | 30. Uso de filmes e membranas flexíveis  |
| 11. Atenuação prévia             | 31. Uso de materiais porosos             |
| 12. Equipotencialidade           | 32. Mudança de cor                       |
| 13. Inversão                     | 33. Homogeneidade                        |
| 14. Esferoidicidade              | 34. Descarte e recuperação de partes     |
| 15. Dinamicidade                 | 35. Mudança de parâmetros e propriedades |
| 16. Ação parcial ou excessiva    | 36. Mudança de fase                      |
| 17. Movimento para nova dimensão | 37. Expansão térmica                     |
| 18. Uso de vibrações mecânicas   | 38. Uso de oxidantes fortes              |
| 19. Ação periódica               | 39. Uso de atmosferas inertes            |
| 20. Continuidade da ação útil    | 40. Uso de materiais compostos           |

Fonte: Back et al. (2008)



## ANEXO B – Base Funcional

(continua)

| <i>Classe<br/>(Primária)</i>   | <i>Secundária</i> | <i>Terciária</i>            | <i>Correspondentes</i>  |
|--------------------------------|-------------------|-----------------------------|---|
| <b>Ramificar</b>               | Separar           |                             | Isolar, cortar, desunir   |
|                                |                   | Dividir                     | Desintegrar, isolar, libertar, ordenar, repartir, desconectar, subtrair |
|                                |                   | Extraír                     | Refinar, filtrar, purificar, coar, esforçar, desobstruir                |
|                                |                   | Remover                     | Cortar, furar, torneiar, polir, lixar                                   |
|                                | Distribuir        |                             | Difundir, afastar, dispersar, dissipar, divergir, espalhar              |
| <b>Canalizar</b>               | Importar          |                             | Admitir, permitir, introduzir, captar                                   |
|                                | Exportar          |                             | Dispor, ejetar, emitir, esvaziar, remover, danificar, eliminar          |
|                                | Transferir        |                             | Levar, entregar   |
|                                |                   | Transportar                 | Avançar, elevar, mover  |
|                                |                   | Transmitir                  | Conduzir, carregar  |
|                                | Guiar             |                             | Direcionar, mudar, conduzir, endireitar, trocar, subir, descer          |
|                                |                   | Transladar                  | Mover, realocar,  |
|                                |                   | Rotacionar                  | Girar, rodar  |
|                                |                   | Permitir Graus de liberdade | Restringir, desprender, soltar  |
|                                | <b>Conectar</b>   | Acoplar                     |   |
| Juntar                         |                   |                             | Montar, fixar/fechar  |
| Unir/Vincular                  |                   |                             | Anexar  |
| Misturar/<br>Combinar          |                   |                             | Adicionar, misturar, aglutinar, combinar, comprimir                     |
| <b>Controlar<br/>Magnitude</b> | Atuar             |                             | Permitir, iniciar, ligar, acionar                                       |
|                                | Regular           |                             | Controlar, equalizar, limitar, manter                                   |
|                                |                   | Aumentar                    | Permitir, abrir   |
|                                |                   | Diminuir                    | Fechar, atrasar, interromper  |

| <i>Classe<br/>(Primária)</i> | <i>Secundária</i> | <i>Terciária</i> | <i>Correspondentes</i>  |  |
|------------------------------|-------------------|------------------|---|--|
|                              | Mudar             |                  | Ajustar, modular, limpar, demodular, inverter, normalizar, retificar, reiniciar, escalar, variar, modificar |  |
|                              |                   | Incrementar      | Ampliar, aumentar, magnificar, multiplicar  |  |
|                              |                   | Diminuir         | Atenuar, amortecer, reduzir, atritar  |  |
|                              |                   | Formar           | Compactar, comprimir, quebrar, perfurar, deformar, formar   |  |
|                              |                   | Condicionar      | Preparar, adaptar, tratar   |  |
|                              | Parar             |                  | Finalizar, parar, pausa, interromper, conter  |  |
|                              |                   | Evitar           | Desabilitar, desligar   |  |
|                              |                   | Inibir           | Defender, isolar, proteger, resistir  |  |
|                              | <b>Converter</b>  | Converter        |   | Condensar, criar, decodificar, diferenciar, digitalizar, codificar, evaporar, gerar, integrar, liquidificar, processar, solidificar, transformar |
|                              | <b>Prover</b>     | Armazenar        |   | Acumular   |
| Conter                       |                   |                  | Capturar, incluir   |  |
| Coletar                      |                   |                  | Absorver, consumir, encher, reservar  |  |
|                              | Suprir            |                  | Prover, reabastecer, recuperar  |  |
| <b>Sinalizar</b>             | Sentir            |                  | Notar, determinar   |  |
|                              |                   | Detectar         | Discernir, perceber, reconhecer   |  |
|                              |                   | Medir            | Identificar, localizar  |  |
|                              | Indicar           |                  | Anunciar, mostrar, denotar, gravar, registrar,  |  |
|                              |                   | Localizar        | Marcar, cronometrar   |  |
|                              |                   | Exibir           | Emitir, expor, selecionar   |  |
|                              | Processar         |                  | Comparar, calcular, checar  |  |
| <b>Suportar</b>              | Estabilizar       |                  | Estabilizar   |  |
|                              | Segurar           |                  | Apertar, segurar, colocar, fixar  |  |

| <i>Classe</i><br><i>(Primária)</i> | <i>Secundária</i> | <i>Terciária</i> | <i>Correspondentes</i>       |
|------------------------------------|-------------------|------------------|------------------------------|
|                                    | Posicionar        |                  | Alinhar, localizar, orientar |

**Grau crescente de especificação**

Fonte: Adaptado de Hirtz et.al (2002a)



## ANEXO C – Árvore de áreas de tecnologias biomiméticas da agência espacial europeia

A seguir, as definições para cada uma das áreas de tecnologias biomiméticas e a visualização das subdivisões das áreas na Figura C.1 (AYRE et al., 2003). Mais informações sobre as áreas de tecnologias biomiméticas, consultar em Ayre et al. (2004).

**Estruturas:** Estruturas são responsáveis pela resistência e/ou sustentação e estão presentes em muitos processos naturais, particularmente locomoção e proteção.

**Materiais:** engenharia de materiais é um campo que produziu uma enorme gama de materiais para atender a uma ampla gama de papéis. Materiais naturais ou seus derivados são ainda utilizados extensivamente devido ao seu baixo preço e também porque eles possuem características específicas que os tornam superiores aos materiais sintéticos.

**Mecânica:** Foco em transformação da energia, de química para cinética. Mecanismos mecânicos no mundo natural são vitais para tanto para locomoção como em processos mecânicos como troca de fluidos e térmica. Uma variedade de mecanismos de atuação estão presentes por todo o mundo natural, apoiando-se na conversão direta de energia química em cinética através da utilização do músculo, assim como os mecanismos de armazenamento de energia elástica. Estes são usados em uma grande variedade de modos de movimento, o princípio aqueles de interesse do ponto de vista biônico sendo modos locomotores, como caminhar, voar e nadar.

**Processos:** Refere-se à ação continuada, realização contínua e prolongada de alguma atividade. Exemplos de processos de mecanismos naturais para filtração, circulação de fluidos, mecanismos de geração de potência como fotossíntese, fabricação de material e regulação de temperatura nos animais.

**Comportamento:** Esta é a aplicação de princípios biológicos de comportamento para o controle de sistemas robóticos e ou mecânicos, que podem ou não conter elementos biônicos na sua concepção mecânica (por exemplo algoritmos de comportamento animal podem ser usados para controlar robôs de rodas simples com nenhum componente biônico na sua concepção física). Reproduzir elementos do comportamento dos sistemas biológicos tem uma longa história, desde a busca clássica da inteligência artificial com capacidades de raciocínio e abstração que espelham as do cérebro humano, através da formulação e implementação de padrões de comportamento de animais puramente

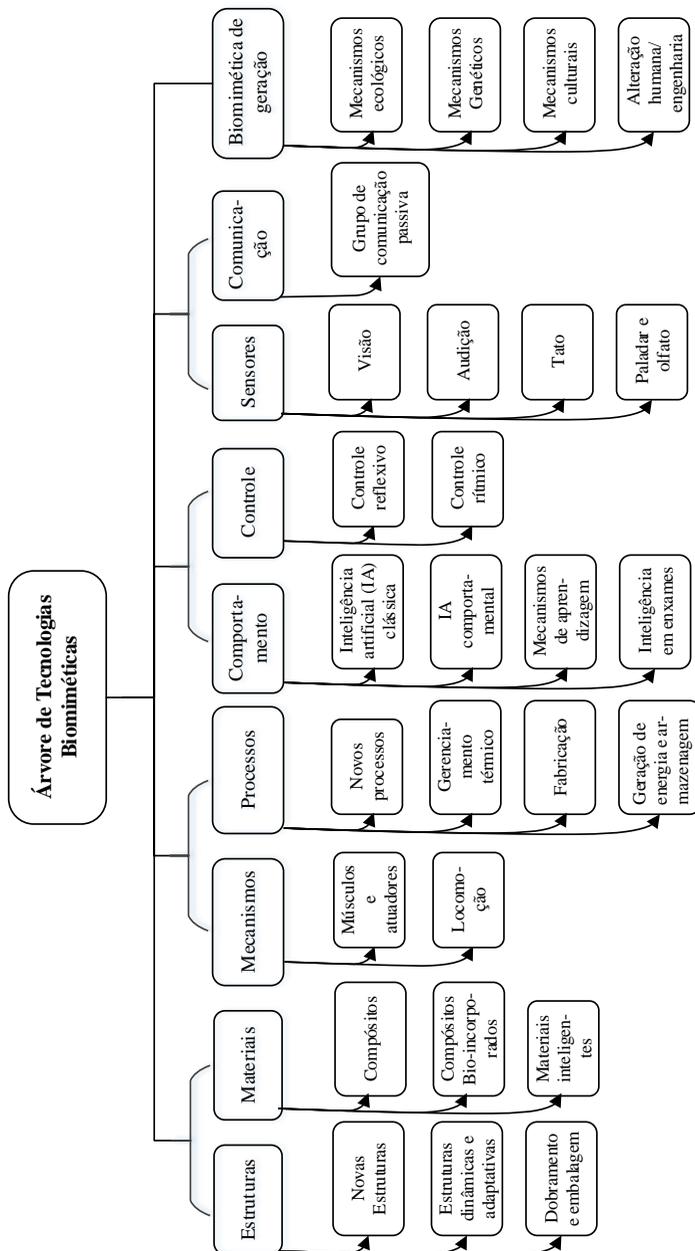
reativas simples, como formigas. Inteligência Artificial pode ser dividida em duas categorias principais: inteligência artificial (IA) clássica e comportamental. IA Clássica pretende reproduzir os padrões de pensamento e capacidades de raciocínio abstrato encontrados em seres humanos. IA Comportamental está centrado em agentes autônomos, que exibem comportamentos semelhantes a animais, ao nível do animal individual e também o comportamento inteligente, como resultado da adaptação ao nível de grupo.

**Controle:** o controle pode ser definido como a atuação das decisões comportamentais, como o movimento das pernas durante uma tentativa de capturar presas.

**Sensores:** A fim de sobreviver e funcionar de forma eficaz, todas as formas de vida em todos os filos empregam mecanismos sensoriais para coletar informações sobre seu ambiente. Plantas empregam um mecanismo (fototropismo), através do qual fotorreceptores são usados para detectar a direção da luz solar. Um mecanismo semelhante (geotropismo) existe para a percepção de gravidade, e mais uma vez conduz a uma resposta de crescimento. Em animais, a percepção sensorial é mediada pelo sistema nervoso central. Os animais geralmente têm um número de órgãos sensoriais, todos os quais têm certos elementos comuns; todos os órgãos dos sentidos são posicionados no corpo para responder a certos estímulos.

**Comunicação:** Muitas formas de vida empregam mecanismos para comunicar informação a outras criaturas, para uma variedade de razões. O mecanismo geralmente envolve o uso de alguma característica fisiológica do comunicador, como para reprodução, mas também pode ser mecanismo de comunicação indireta envolvendo elementos do ambiente. Há muitas outras razões para a comunicação entre as formas de vida do que apenas o comportamento de acasalamento, por exemplo sinais para outros membros do grupo (críticos na construção e manutenção da cultura) e sinais de alerta para outras espécies, como predadores.

Figura C.1 - Árvore de tecnologias biomiméticas.



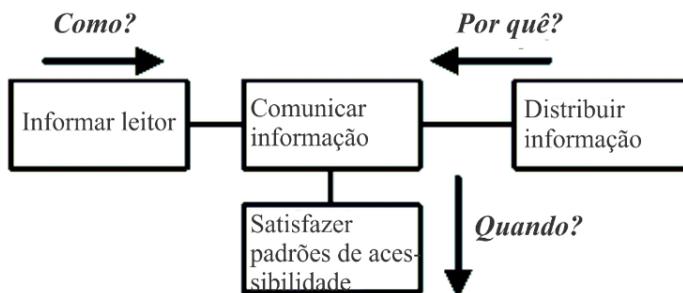
Fonte: Adaptado de Ayre (2004)



## ANEXO D – Técnica FAST - Técnica de análise funcional de sistemas

A técnica FAST, do inglês *Function Analysis System Technique*, é uma técnica usada para desenvolver uma representação gráfica que demonstra os relacionamentos lógicos entre as funções de um projeto, produto, processo ou serviço, baseando-se nas questões: *como?*, *por que?* e *quando?*. A Figura D.1 mostra um exemplo do diagrama FAST de funções.

Figura D.1 - Exemplo de aplicação da técnica FAST.



Fonte: Adaptado de Canada (2016).

A técnica FAST auxilia no pensamento objetivo sobre o problema e em identificar o escopo do projeto ao mostrar as relações lógicas entre as funções. A organização das funções habilita os participantes a identificar todas as funções requeridas a solução do problema.

O diagrama FAST pode ser usado para verificar e ilustrar como, uma solução proposta atinge as necessidades do projeto e identificar funções desnecessárias, duplicadas ou ausentes. Canada (2016) aponta que os benefícios da técnica é o processo criativo que estimula a comunicação entre os membros da equipe durante o seu desenvolvimento, auxiliando a equipe a:

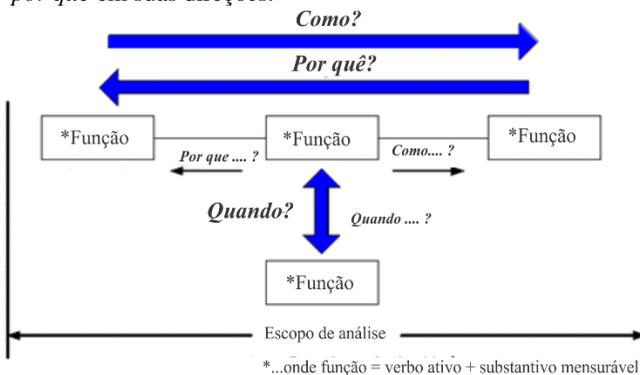
- Desenvolver uma compreensão compartilhada do projeto;
- Identificar as funções que faltam;
- Definir, simplificar e esclarecer o problema;
- Organizar e compreender as relações entre as funções;
- Identificar a função básica do projeto, processo ou produto;
- Melhorar a comunicação e o consenso;

- Estimular a criatividade.

Para Kaufman e Woodhead (2006), a criação do diagrama FAST deve satisfazer três questionamentos, mostrados na Figura D.2:

- Como cada função será realizada? (sentido da esquerda para a direita);
- Por que realizar esta função? Por que esta função é necessária? (sentido da direita para a esquerda);
- Quando dever ser feita esta função? (sentido vertical).

Figura D.2 - Diagrama ilustrando como a função é desdobrada com as questões *como* e *por quê* em suas direções.



Fonte: adaptado de Kaufman e Woodhead (2006)

Algumas recomendações para a construção do diagrama e uso da técnica FAST:

- Expanda as funções nas instruções "Como" e "Por quê";
- Construa o caminho "Como" perguntando "como a função é alcançada"? Coloque a resposta à direita em termos de um verbo ativo e substantivo mensurável;
- Teste a lógica na direção do caminho "Por quê" (da direita para a esquerda) perguntando "por que essa função é realizada?";
- Quando a lógica não funcionar, identifique quaisquer funções em falta ou redundantes ou ainda, ajuste a ordem;
- Para identificar as funções que ocorrem ao mesmo tempo, pergunte "quando esta função é feita, o que mais é feito ou causado pela função?"

As funções para a esquerda no Diagrama FAST descrevem o que está sendo realizado e as funções para a direita descrevem como eles estão sendo realizados; "Quando" não se refere ao tempo medido por um relógio, mas as funções que ocorrem simultaneamente com ou como resultado uma da outra.