



**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**  
**CAMPUS CURITIBA**  
**DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA E DE**  
**MATERIAIS**

**GIOVANNI SOUZA MALINOSKI**

**ADAPTAÇÃO DO PROCESSO UNIFICADO DE BIOMIMÉTICA:**  
**APLICAÇÃO NO DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO PARA A**  
**IMOBILIZAÇÃO DE PACIENTES INFANTIS EM EXAMES**  
**RADIOGRÁFICOS**

**CURITIBA**

**2019**

**Giovanni Souza Malinoski**

**ADAPTAÇÃO DO PROCESSO UNIFICADO DE BIOMIMÉTICA:  
APLICAÇÃO NO DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO PARA A  
IMOBILIZAÇÃO DE PACIENTES INFANTIS EM EXAMES  
RADIOGRÁFICOS**

Dissertação de mestrado apresentada como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Mecânica e de Materiais, do Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais, do Campus Curitiba, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

**Orientador:** Prof. Dr. Marco Aurélio de Carvalho.

**CURITIBA**

**2019**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação

---

Malinoski, Giovanni Souza

Adaptação do processo unificado de biomimética : aplicação no desenvolvimento de produto para a imobilização de pacientes infantis em exames radiográficos / Giovanni Souza Malinoski.-- 2019.

1 arquivo de texto (153 f.) : PDF ; 4,38 MB

Disponível via World Wide Web

Texto em português com resumo em inglês

Dissertação (Mestrado) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais, 2019

Bibliografia: p. 123-124

1. Engenharia mecânica - Dissertações. 2. Biomimética. 3. Inovações tecnológicas. 4. Projeto de produto. 5. Produtos novos. 6. Tórax - Radiografia. I. Carvalho, Marco Aurélio de, orient. II. Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais, inst. III. Título.

CDD: 620.1

---

Biblioteca Ecoville da UTFPR, Câmpus Curitiba  
Lucia Ferreira Littiere - CRB 9/1271

## TERMO DE APROVAÇÃO DE DISSERTAÇÃO Nº 357

A Dissertação de Mestrado intitulada: **Adaptação do Processo Unificado de Biomimética: Aplicação no Desenvolvimento de Produto Para a Imobilização de Pacientes Infantis em Exames Radiográficos**, defendida em sessão pública pelo Candidato **Giovanni Souza Malinoski**, no dia 12 de junho de 2019, foi julgada para a obtenção do título de Mestre em Engenharia, área de concentração: Engenharia de Manufatura, e aprovada em sua forma final, pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais – PPGEM.

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Marco Aurélio de Carvalho - Presidente - UTFPR

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Maria Lúcia Leite Ribeiro Okimoto - UFPR

Prof. Dr. Júlio Cesar de Moura Leite - PUC-PR

A via original deste documento encontra-se arquivada na Secretaria do Programa, contendo a assinatura da Coordenação após a entrega da versão corrigida do trabalho.

Curitiba, \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 20\_\_\_\_.

Carimbo e assinatura do Coordenador do Programa

---

Dedico este trabalho a meu pai, aquele que sempre acreditou em mim. Minha irmã, para que tenha inspiração. Meus tios, que me mostraram os frutos do estudo.

E a minha namorada Gislaine, para que ela saiba o quão longe ela me trouxe.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço à Universidade Tecnológica do Paraná (UTFPR) pela oportunidade de continuar minha busca por novos conhecimentos.

Agradeço à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela bolsa fornecida durante o período de desenvolvimento da pesquisa.

Agradeço meu orientador Prof. Dr. Marco Aurélio de Carvalho, pela experiência e conhecimento compartilhado. Sua liderança e rigidez me mostraram uma nova maneira de aprender e ensinar, me direcionando a áreas do conhecimento que nunca imaginei conhecer.

Agradeço ao Prof. Dr. Jaime Ramos por compor a banca de qualificação e contribuir com suas ideias ao trabalho.

Agradeço à Prof. Dra. Maria Lúcia Leite Ribeiro Okimoto por compor a banca de defesa e compartilhar seu conhecimento de maneira a agregar ao desenvolvimento do trabalho.

Agradeço ao Professor Dr. Júlio Cesar de Moura Leite, por compor a banca de defesa e contribuir com informações valiosas a respeito do sistema natural, elemento chave do projeto desenvolvido.

Agradeço a meus colegas de mestrado, que me ajudaram, mesmo sem saber, durante todo este tempo.

Por último, a minha família, meu pai Nelson, minha irmã Sarah, tios José e Juliana e minha namorada Gislaine, que me motivaram a seguir por este caminho.

A todos, meus sinceros agradecimentos.

Qual a tarefa mais difícil do mundo?

Pensar.

(Ralph Waldo Emerson)

## RESUMO

MALINOSKI, Giovanni Souza. **Adaptação do Processo Unificado de Biomimética: aplicação no desenvolvimento de produto para a imobilização de pacientes infantis em exames radiográficos.** 2019. 160 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2019.

A natureza fornece um enorme portfólio de características que podem servir como inspiração para a solução de problemas práticos do ser humano. Esta interpretação dos princípios naturais replicados para o sistema técnico recebe o nome de biomimética. Contudo, há uma grande dificuldade em entender como ocorre a transferência de informações entre os sistemas natural e técnico, o que prejudica a disseminação desta prática. Este obstáculo justificou o desenvolvimento de diversos métodos e ferramentas, entre eles o Processo Unificado de Biomimética. Este projeto tem como objetivo adaptar e aplicar o Processo Unificado de Biomimética, para o desenvolvimento de um produto, que deverá solucionar o problema relacionado à imobilização de pacientes pediátricos durante o procedimento radiográfico de tórax. Neste trabalho foi utilizado o método *Design Science Research*, cujo a intenção é o desenvolvimento de artefatos para a resolução de problemas específicos. A pesquisa do referencial teórico e identificação de lacunas de pesquisa, foi feita por meio de uma análise bibliométrica e sistêmica. Além disso, o Processo Unificado de Biomimética contou com o uso de um grupo pré-estabelecido de ferramentas. Dos resultados obtidos, foi identificado o excesso da proposta de novos métodos de biomimética se comparado as validações dos mesmos. Durante a aplicação do Processo Unificado de Biomimética, adaptações foram feitas e, ao todo, cinco novas ferramentas foram adicionadas para suprir as deficiências do grupo inicial. A utilização deste processo unificado se revelou rápido e intuitivo, tanto para iniciantes quanto experientes na área de biomimética. A solução proposta, apesar de imobilizar e posicionar os pacientes de maneira eficaz, apresentou alto nível de dificuldade e tempo de uso se comparado com a rápida duração do procedimento radiográfico de tórax. Contudo, a solução apresentou potencial para ser utilizado em procedimentos mais longos como a ressonância e tomografia. Por fim, os resultados podem ser considerados como uma união satisfatória entre os sistemas tecnológico e biológico.

**Palavras-chave:** Biomimética; Inovação; Design de Produto; Desenvolvimento de Produtos; Imobilização de Pacientes.



## ABSTRACT

MALINOSKI, Giovanni Souza. **Adaptation of the Unified Biomimetic Process: product development application for child patients immobilization for radiographic examinations.** 2019. 160 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2019.

Nature provides a huge portfolio of features that can serve as an inspiration for the solution of practical human's problems. This interpretation of the natural principles replicated to the technical system is called Biomimetics. However, it is very difficult to understand how to transfer of information between natural and technical systems, which harms the dissemination of this practice. This obstacle justified the development of various methods and tools, among them the Unified Process of Biomimetics. This Project aims to adapt and apply the Unified Process of Biomimetics for the development of a product that should solve the problem related to the immobilization of pediatric patients during the chest radiographic procedure. In this work, the Design Science Research method was used, whose intention is the development of artifacts for solving specific problems. The research of the theoretical reference and identification of research gaps was done through a bibliometric and systemic analysis. In addition, the Unified Process of Biomimetics relied on the use of a pre-established set of tools. From the obtained results, it was identified the excess of the proposal of new biomimetic methods when comparing the validations of the same. During the application of the Unified Process of Biomimetics, adaptations were made and, altogether, five new tools have been added to meet the shortcomings of the initial set of tools. The use of this unified process has proven to be fast and intuitive, for beginners and experienced in the field of biomimetics. The proposed solution, although effectively immobilizing and positioning the patients, presented a high level of difficulty and time of use compared to the fast duration of the chest radiographic procedure. However, the solution has the potential to be used in longer procedures such as resonance and tomography. Finally, the results can be considered as a satisfactory union between the technological and biological systems

**Key words:** Biomimetics. Innovation. Product design; Product development; Patient's immobilization.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Crescimento da pesquisa sobre a biomimética.....	15
Figura 2 - Campos da bioinspiração.....	26
Figura 3 - Processos de biomimética com abordagem direcionada ao problema. Parte 1.....	33
Figura 4 - Processos de biomimética com abordagem direcionada ao problema. Parte 2.....	34
Figura 5 - Processo Unificado de Biomimética com Abordagem Direcionada ao Problema.....	37
Figura 6 - Árvore de utilidades .....	51
Figura 7 - Tipos de artefatos .....	56
Figura 8 - Modelo Caixa Preta.....	82
Figura 9 - Modelagem Funcional.....	82
Figura 10 - Modelo Biológico.....	83
Figura 11 - Alternativa 01 .....	88
Figura 12 - Alternativa 03 .....	88
Figura 13 - Alternativa 04 .....	89
Figura 14 - Alternativa 07 .....	89
Figura 15 – Protótipo – Parte da frente 1 .....	90
Figura 16 – Protótipo – Parte da frente 2 .....	91
Figura 17 – Protótipo – Parte de trás 1 .....	91
Figura 18 – Protótipo – Parte de trás 2 .....	92
Figura 19 - Protótipo em uso - 01. Manequim de 1 ano .....	94
Figura 20 - Protótipo em uso - 02. Manequim de 1 ano .....	94
Figura 21 - Protótipo em uso - 03. Manequim de 1 ano .....	95
Figura 22 - Protótipo em uso - 04. Manequim de 6 anos .....	95
Figura 23 - Protótipo em uso – 05. Manequim de 6 anos.....	96
Figura 24 - Protótipo em uso – 06. Manequim de 6 anos.....	96
Figura 25 – Relação de periódicos e SJR .....	117
Figura 26 - Relação dos autores mais citados .....	117
Figura 27 - Palavras-Chave.....	118
Figura 28 - Relação lentes/artigos.....	121
Figura 29 - Estrutura do sistema atual .....	126

Figura 30 - Site USPTO .....	131
Figura 31 - Seleção de filtros PatFT - A61F5/37 .....	133
Figura 32 - Resultados PatFT- A61F5/37 .....	133
Figura 33 - Seleção de filtros AppFT - A61F5/37 .....	134
Figura 34 - Resultados AppFT - A61F5/37 .....	134
Figura 35 - Seleção de Filtros INPI .....	135
Figura 36 - Resultados INPI - A61F5/37 .....	136
Figura 37 - Página inicial do AskNature .....	140
Figura 38 - Resultado da busca pelo termo.....	141
Figura 39 - Pesquisa por grupos .....	142
Figura 40 - Seleção dos grupos .....	142

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Relação entre as etapas do processo e as classes de ferramentas .....	41
Quadro 2 - Relação entre as ferramentas e as etapas do Processo Unificado de Biomimética.....	52
Quadro 3 - Etapas do DSR.....	57
Quadro 4 - Relação das etapas do Processo Unificado de Biomimética e as ferramentas utilizadas .....	60
Quadro 5 – Classes de patentes .....	67
Quadro 6 - 5 Porquês .....	69
Quadro 7 - Novas perguntas .....	70
Quadro 8 - Abordagens: Verbo e Entrevista.....	70
Quadro 9 - Grupos da Taxonomia.....	71
Quadro 10 – Abordagem 1 - Verbos .....	72
Quadro 11 – Abordagem 2 - Grupos .....	72
Quadro 12 - Modelo 4-Box do problema .....	74
Quadro 13 - Gráfico em T - Folhas de feijão preto .....	75
Quadro 14 - Gráfico em T - Drosera.....	76
Quadro 15 - Gráfico em T - Folhas.....	77
Quadro 16 - Gráfico em T - Constrição da cobra .....	78
Quadro 17 - Fontes de informação.....	79
Quadro 18 - Análise de recursos.....	84
Quadro 19 - Requisitos .....	85
Quadro 20 – Matriz morfológica das funções/soluções.....	86
Quadro 21 – Soluções disponíveis.....	87
Quadro 22 – Avaliação das alternativas.....	87
Quadro 23 – Estágios evolutivos.....	136
Quadro 24 - Grupo de questionamentos .....	137
Quadro 25 - Novas perguntas .....	138
Quadro 26 - Caminhos da Taxonomia .....	139
Quadro 27 - Modelo 4-Box utilizado .....	143
Quadro 28 - Gráfico T .....	144
Quadro 29 - Etapas da modelagem biológica segundo Nagel <i>et al.</i> (2010) .....	144
Quadro 30 - Categorias biológicas .....	145

Quadro 31 - Análise de recursos.....	147
Quadro 32 - Matriz morfológica.....	148

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Relação das patentes A61F5/37 .....	67
Tabela 2 - Relação das patentes e seus grupos .....	68
Tabela 3 - Base de dados <i>Scopus</i> .....	115
Tabela 4 - Base de dados <i>Web of Science</i> .....	115
Tabela 5 – Relação dos artigos mais relevantes.....	118

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AIEDAM	- <i>Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing.</i>
AppFT	- <i>Application Full-Text Database</i>
BID	- <i>Biologically Inspired Design</i>
BioM	- <i>Biological Modeling</i>
BIOPS	- <i>Biology Inspired Problem Solving</i>
CT	- <i>Contradições Técnicas</i>
CW	- <i>Closed World</i>
DANE	- <i>Design Analogy to Nature Engine</i>
DMT	- <i>Diagrama Multi-Telas</i>
DSC	- <i>Data-Based/ Static List/Catalogue</i>
DSR	- <i>Design Science Research</i>
EPIs	- <i>Equipamentos de Proteção Individual</i>
FBS	- <i>Function-Behaviour-Structure</i>
INPI	- <i>Instituto Nacional da Propriedade Industrial</i>
ISO	- <i>International Organization for Standardization</i>
ISQ	- <i>Innovation Situation Questionnaire</i>
JCR	- <i>Journal Citation Reports</i>
KLP	- <i>Knowledge Acceleration and Responsible Innovation Meta Network Based on Life's Principles</i>
LP	- <i>Life's Principles</i>
PatFT	- <i>Patent Full-Text Database</i>
PB	- <i>Portfólio Bibliográfico</i>
PDP	- <i>Processo de Desenvolvimento de Produto</i>
PI	- <i>Princípios Inventivos</i>
ProKnow-C	- <i>Knowledge Development Process – Constructivist</i>
QSI	- <i>Questionário de Situação de Inovação</i>
RFI	- <i>Resultado Final Ideal</i>
SAPPHiRE	- <i>The State Change, Action, Part, Phenomenon, Input, Organ and Effect Model.</i>
SJR	- <i>Scientific Journal Ranking</i>
TRIZ	- <i>“Teoriya Resheniya Izobretatelskikh Zadatch” - Theory of Inventive Problem Solving</i>
Uno-BID	- <i>United Ontology Biologically Inspired Design</i>

USPTO - *United States Patent and Trademark Office*  
UTI - Unidade de Tratamento Intenso



# SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
1.1	APRESENTAÇÃO DO TEMA .....	13
1.2	APRESENTAÇÃO DA OPORTUNIDADE.....	14
1.3	OBJETIVOS .....	18
1.3.1	Objetivo geral .....	18
1.3.2	Objetivos específicos.....	18
1.4	JUSTIFICATIVA .....	19
1.5	ESTRUTURA DO TRABALHO.....	20
2	REFERENCIAL TEÓRICO .....	22
2.1	TERMINOLOGIA.....	22
2.2	PAPEL DA BIOMIMÉTICA NO PROCESSO DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS .....	26
2.3	ANALOGIAS.....	28
2.4	ABORDAGENS DO PROCESSO DE BIOMIMÉTICA .....	29
2.4.1	Abordagem baseada em soluções.....	30
2.4.2	Abordagem direcionada ao problema .....	30
2.5	PROCESSO DE BIOMIMÉTICA .....	31
2.6	PROCESSO UNIFICADO DE BIOMIMÉTICA .....	36
2.7	FERRAMENTAS PARA A BIOMIMÉTICA .....	39
2.7.1	Ferramentas de análise.....	41
2.7.2	Ferramentas de abstração .....	43
2.7.3	Ferramentas de transferência .....	46
2.7.4	Ferramentas de aplicação.....	47
2.8	ÁRVORE DE UTILIDADES .....	48
2.9	EXAMES RADIOGRÁFICOS .....	48
2.9.1	Radiografia de tórax .....	49
2.10	CONSIDERAÇÕES.....	50
3	MATERIAIS E MÉTODOS .....	54
3.1	CLASSIFICAÇÃO.....	54
3.2	METODOLOGIA EMPREGADA.....	55
3.3	PROCEDIMENTO REALIZADO.....	58
3.3.1	Identificação do problema e motivação.....	58
3.3.2	Definição dos objetivos da solução .....	59
3.3.3	Projeto e desenvolvimento da solução.....	60
3.3.4	Demonstração da solução.....	63
3.3.5	Avaliação da solução.....	63
3.3.6	Comunicação dos resultados .....	63
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	64
4.1	IDENTIFICAÇÃO DO PROBLEMA .....	64
4.2	DEFINIÇÃO DOS OBJETIVOS DA SOLUÇÃO .....	64
4.3	PROJETO DE DESENVOLVIMENTO DA SOLUÇÃO.....	65

4.3.1	Análise do problema.....	65
4.3.2	Abstração do problema técnico.....	69
4.3.3	Transposição para a biologia .....	70
4.3.4	Identificação de potenciais modelos biológicos .....	71
4.3.5	Seleção dos modelos biológicos .....	73
4.3.6	Abstração do modelo biológico .....	79
4.3.7	Transposição para o sistema técnico.....	84
4.3.8	Implementação e testes .....	92
4.4	DEMONSTRAÇÃO DA SOLUÇÃO .....	98
4.5	AVALIAÇÃO DA SOLUÇÃO .....	99
4.6	COMUNICAÇÃO DOS RESULTADOS.....	99
5	CONCLUSÃO .....	100
	REFERÊNCIAS.....	104
	ANEXO A – TAXONOMIA .....	110
	APÊNDICE A – ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA.....	111
	APÊNDICE B – PROCEDIMENTOS DAS FERRAMENTAS.....	125

# 1 INTRODUÇÃO

O mundo natural apresenta uma imensa e rica quantidade de estruturas multifuncionais, auto organizadas, ecologicamente e economicamente efetivas. A análise do sistema natural através de uma perspectiva mais inventiva, e não tão didática, pode proporcionar a inspiração necessária com fins de encontrar novas soluções para diversos problemas técnicos (HILL, 2005). Entre os exemplos famosos de soluções inspiradas na natureza há o velcro e estruturas com base nas colmeias de abelhas.

O conceito relacionado a “aprender com a natureza” é representado por diversas expressões. Termos como *biomimesis*, *biognosis*, design biologicamente inspirado (do original *Biologically Inspired Design* – BID), *biomimicry*, bioinspiração, biônica e biomimética, são muitas vezes tratadas como sinônimos na literatura científica (VINCENT *et al.*, 2006 e SHU *et al.*, 2011).

Entretanto, há certas diferenças quando se analisa o foco e o processo realizado, que acabam por justificar os diferentes termos utilizados (FAYEMI *et al.*, 2017). Assim, neste trabalho será abordada a prática da biomimética, que segundo Bar-Cohen (2006), possui maior foco na emulação das capacidades mecânicas presentes na natureza.

O termo “biomimética” foi criado pelo biofísico americano Otto Herbert Schmitt, em 1969, o qual remete às palavras gregas *bios* (vida) e *mimesis* (imitação) (BAR-COHEN, 2006). A palavra biomimética foi definida por Schmitt como o estudo da formação, estrutura, função de substâncias, processos e mecanismos biológicos com a intenção de emular suas características em produtos artificiais (SHU *et al.*, 2011). Para Bar-Cohen (2006), esta área representa o estudo e imitação dos métodos e processos do sistema natural.

Utilizar a natureza como inspiração não é algo inédito. Diversos exemplos estão presentes em trabalhos artísticos e de engenharia de séculos anteriores (JACOBS, 2014). Contudo, o uso do termo biomimética foi apenas introduzido durante a década de 1950, para se referir à aeronaves, veículos e navios projetados com base em modelos naturais, através da transferência dos princípios biológicos para sistemas técnicos. Com o passar do tempo, avanços tecnológicos permitiram a transferência de informações de sistemas biológicos cada vez mais complexos

expandindo a atuação da área e possibilitando novas soluções (KESSEL, 2005 *apud*. ISO 18458:2015, 2015).

Entretanto, uma das maiores dificuldades deste campo de estudo diz respeito à transferência de informações entre o sistema natural e tecnológico (BIANCIARDI *et al.*, 2017 e MALINOSKI e DE CARVALHO, 2018). Desta forma, diversas pesquisas foram desenvolvidas com o intuito de sistematizar a transferência de conhecimento através do uso de métodos e ferramentas para facilitar a aplicação do processo de biomimética (NAGEL e STONE, 2012 e WANIECK *et al.*, 2017). Em seus estudos, Fayemi *et al.* (2017) identificaram uma grande quantidade de métodos de biomimética com o objetivo de realizar um levantamento dos procedimentos existentes e compilar as suas principais características em um processo único. Em relação às ferramentas, Wanieck *et al.*, (2017) catalogaram cerca de 40 ferramentas dedicadas a transferência de informações entre os sistemas natural e técnico, classificando-as de acordo com cada etapa do processo envolvido.

De acordo com este panorama, percebe-se a importância desta área de estudo como uma alternativa para o desenvolvimento de novos produtos.

## **1.1 APRESENTAÇÃO DO TEMA**

A biomimética aborda a pesquisa e desenvolvimento de soluções práticas, através do conhecimento adquirido a partir da análise de sistemas biológicos e transferindo este conhecimento para sistemas técnicos, sociais ou de negócios (ISO/TC 266, 2014). Segundo Cheong *et al.* (2014), é preciso abstrair as informações do sistema natural de forma a identificar similaridades com soluções técnicas através da aplicação de analogias. Dessa forma, o elemento principal da biomimética pode ser entendido como a transferência dos princípios biológicos para a tecnologia.

Historicamente, o termo biomimética foi utilizado pela primeira vez na década de 1950, para relacionar os estudos que envolviam a biologia e a engenharia. Nesta época, seu uso era destinado ao desenvolvimento de diferentes meios de transporte, com base nas similaridades entre os sistemas biológicos e técnicos. A partir dos anos de 1960, foi possível entender melhor a transferência de informações entre a biologia e tecnologia, graças aos avanços da cibernética. Desde então, a biomimética vem se beneficiando do rápido desenvolvimento tecnológico que

permitiu a busca por soluções em escalas micro e nanométrica, bem como a transferência e produção de informações biológicas cada vez mais complexas (ISO 18458:2015, 2015).

Entretanto, com o passar o tempo, outros termos surgiram relacionando o uso da biologia com a busca de soluções. Desta forma, com o intuito de evitar complicações acerca do entendimento das definições, a Organização Internacional para Padronização (do original ISO), criou o documento 18458:2015, que especifica diretamente os termos relacionados à biomimética.

Segundo essa ISO 18458:2015, a biomimética trata da cooperação interdisciplinar entre a biologia e tecnologia ou qualquer outra área de inovação com o objetivo de solucionar problemas práticos através de três etapas: (1) análise do sistema biológico; (2) abstração em modelos; e (3) aplicação do modelo em soluções. Qualquer projeto que se submeta à estas etapas do processo, pode ser considerado como um sistema biomimético (ISO 18458:2015, 2015).

## **1.2 APRESENTAÇÃO DA OPORTUNIDADE**

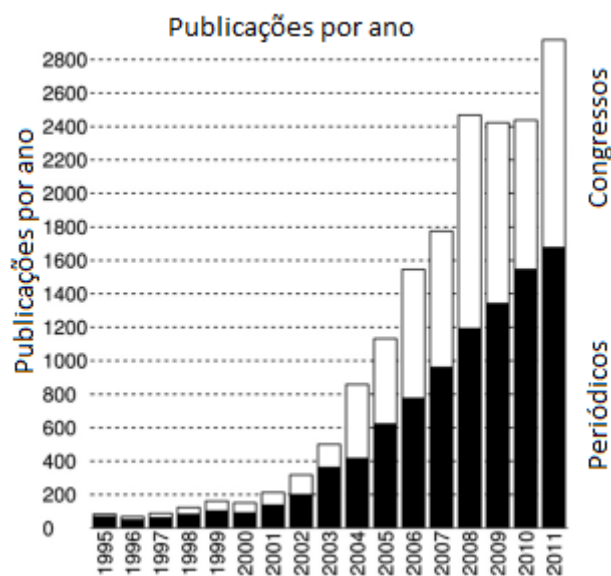
Segundo Burt (2002), por exigir um grande trabalho colaborativo entre diversas áreas de estudo (biologia, engenharia, medicina entre outras), a biomimética é definida como uma área multidisciplinar com grande potencial para a inovação.

Na última década, houve uma grande quantidade de descobertas envolvendo a biomimética. Através de tais descobertas, relacionadas com a tecnologia da computação, nanotecnologia, entre outras áreas, espera-se que os impactos econômicos e sociais tragam benefícios para a nossa saúde e qualidade de vida (LEPORA *et al.*, 2013). Devido a seu alto grau de inovação e potenciais impactos, a biomimética acabou tornando-se objeto de estudo em diversas universidades e institutos de pesquisa. Além disso, empresas também passaram a se interessar pelas capacidades da biomimética e começaram a utilizar alguns de seus métodos para desenvolver novos produtos ou otimizar os já existentes (ISO 18458:2015, 2015).

A quantidade de artigos relacionados à biomimética sofreu um aumento expressivo na última década. Em meados dos anos 90 a quantidade de artigos sobre o assunto não chegava a 100 publicações por ano. Em 2002 a quantidade de

artigos havia dobrado e a partir de 2005, já havia mais de 1000 publicações. Estudos mais recentes mostram que o número de publicações já chegou próximo a 3000 por ano (Figura 1). Contudo, este amplo e rápido crescimento ainda não está saturado, e espera-se que continue se expandindo futuramente (LEPORA *et al.*, 2013).

**Figura 1 - Crescimento da pesquisa sobre a biomimética**



Fonte: Adaptado de Lepora *et al.*, 2013

Entretanto, apesar do aumento de pesquisas na área, a transferência do conhecimento biológico para o tecnológico ainda se mostra um processo complexo e que exige muito dos pesquisadores, até que se tenha uma participação ativa no desenvolvimento de produtos. Esta dificuldade é visível ao analisar a quantidade de produtos comerciais advindos de projetos em que foram aplicados métodos de biomimética. De acordo com Wanieck *et al.* (2017), de 303 casos de produtos biomiméticos estudados, apenas 28% se encontravam disponíveis no mercado. Contudo, segundo Bonser (2006), o constante crescimento no número de patentes com conteúdo biomimético indicam um período de inovação tecnológica na área. Isto significa um rápido desenvolvimento de novas tecnologias derivadas de sistemas naturais e conseqüentemente maiores chances da viabilidade de comercialização das soluções geradas (BONSER, 2006 e VINCENT, 2007).

Segundo Oertel (2006), a natureza possui diversas soluções as quais podem ser entendidas intuitivamente. Entretanto, é difícil entender como a natureza pode ser aplicada junto à tecnologia. Cheong *et al.* (2014), seguem o mesmo pensamento,

para eles, apesar do sistema natural inspirar muitas soluções inovadoras, parte delas ocorrem ao acaso, pois o processo é pouco compreendido. Esta é uma das maiores contradições da área da biomimética (OERTEL, 2006).

A utilização da natureza como inspiração pode ser aplicada em diversas etapas do desenvolvimento de produtos ou serviços. Contudo, seu uso é mais notável na fase da geração de conceito, onde a inspiração na forma de analogia é utilizada para desenvolver novas soluções (NAGEL e STONE, 2012).

De acordo com Back *et al.* (2008), o processo de geração de soluções pode ser separado em dois grupos, métodos intuitivos e sistemáticos. Os métodos intuitivos trabalham com uma abordagem mais dinâmica e englobam técnicas como *brainstorming*, método de Delphi e analogias. Os métodos sistemáticos utilizam de um procedimento mais lógico para alcançar as soluções. Deste grupo fazem parte o método morfológico e análise de valor, por exemplo. A biomimética apresenta características de ambos os grupos, pois, apesar de envolver diretamente o uso de analogias, sua complexidade exige a aplicação de um processo sistemático.

A analogia pode ser interpretada como um tipo de comparação. De forma geral, a analogia ocorre através da transferência das características funcionais da solução projetada, para as características da solução análoga (HILL, 1999 *apud*. HILL, 2005). Segundo Cheong *et al.* (2014), o raciocínio análogo é apenas um dos processos cognitivos que devem ser utilizados, ademais, a biomimética também exige a formulação do problema, geração de soluções, análise e avaliação.

Além do uso da analogia, existem outros itens que definem a base para a biomimética. Nachtigall (1997 *apud*. DETANICO *et al.*, 2010) considerou a biônica como um processo de aprendizagem com a natureza, onde se tirava inspiração para a concepção técnica independente. Assim, ele foi um dos primeiros a formular uma série de princípios para projetos biônicos, que também se aplicam à biomimética. Além dele, Janine Benyus e Edwin Datschewski, também propuseram princípios para o desenvolvimento de produtos que tomam a natureza como inspiração (DETANICO *et al.*, 2010). Porém, suas ideias eram mais voltadas à sustentabilidade, seja ela ambiental ou social. Contudo, o ponto comum entre os três pesquisadores é que um produto inspirado na natureza deve considerar a economia de recursos, prezar pela multifuncionalidade, ter o processo de experimentação como parte importante do seu processo e focar na otimização, ao invés da maximização dos elementos.

Apesar de todos os recursos e pesquisas desenvolvidas, existem diversos desafios que dificultam a efetividade da biomimética no desenvolvimento de produtos. Segundo Malinoski e De Carvalho (2018), muitas pesquisas estão focadas no desenvolvimento de novos processos e ferramentas, deixando de lado sua validação. Na prática, o principal desafio está na transformação de informações entre os sistemas, ou seja, na identificação e entendimento dos sistemas biológicos (HELMS *et al.*, 2009). Isto acaba por dificultar o desenvolvimento de um modelo sistemático para o uso da biomimética. Sendo assim, não há como prever os resultados de projetos que procuram se beneficiar da natureza como fonte de inspiração. Por este motivo, a avaliação dos métodos e ferramentas se faz necessária.

Desta forma, para a avaliação do processo de biomimética na busca por soluções, o cenário escolhido foi a área de saúde, junto a indústria de produtos médicos, pois engloba uma grande variedade de produtos, tecnologia e serviços (BUTTON e OLIVEIRA, 2012). Mais especificamente, foi selecionado o setor hospitalar e os problemas relacionados a imobilização de pacientes pediátricos para o procedimento de radiografia.

De acordo com Button e Oliveira (2012), o setor de produtos médicos possui grande potencial para o desenvolvimento de bens e serviços inovadores, bem como relevância para o fornecimento de tecnologias essenciais aos procedimentos médicos-assistenciais. Contudo, a rápida evolução tecnológica dos produtos médicos acaba por trazer duas consequências: uma acelerada obsolescência dos produtos e a ausência da busca por registros de patentes por parte das empresas (BUTTON e OLIVEIRA, 2012).

Os exames de diagnóstico por imagens estão entre os mais solicitados nos hospitais apesar da utilização de radiação ionizante, prejudicial à saúde, principalmente quando relacionados a pacientes pediátricos (ROSA *et al.*, 2016). Para Oliveira e Khoury (2003), a especialização para este tipo de paciente se faz necessária devido as diferentes características e composição do corpo da criança, bem como a falta de cooperação para a realização do exame. A principal diferença diz respeito a maior sensibilidade à radiação pelas crianças, quando comparada a adultos, além disso, devido a sua maior expectativa de vida, as crianças apresentam maior probabilidade de apresentarem efeitos colaterais tardios a exposição da radiação (OLIVEIRA e KHOURY, 2003).



Deste modo, é preciso que precauções sejam tomadas para evitar a exposição excessiva de radiação aos pacientes pediátricos. As mais comuns, entre elas, são a real verificação da necessidade do exame, restrição do número de radiografias e a otimização de técnicas radiográficas (OLIVEIRA e KHOURY, 2003). Além destas precauções, Rosa *et al.* (2016), sugerem o uso de EPIs (Equipamento de Proteção Individual), para isolar a região do exame e diminuir a incidência de radiação nos acompanhantes e técnicos durante o procedimento.

Desta maneira, o setor hospitalar, com suas deficiências e oportunidades, se mostra como uma alternativa apta para a utilização do processo de biomimética. A aplicação do processo e realização de uma análise crítica sobre os métodos e ferramentas que desdobram ou realizam a biomimética no desenvolvimento de produtos, ajudariam a diminuir o nível de incerteza e a definir o grau de efetividade em relação às soluções geradas.

### **1.3 OBJETIVOS**

#### **1.3.1 Objetivo geral**

Este projeto tem por objetivo realizar a adaptação e aplicação do Processo Unificado da Biomimética, de acordo com uma abordagem direcionada ao problema, utilizando um grupo de ferramentas pré-estabelecidas, no desenvolvimento de uma solução relacionada a imobilização de pacientes pediátricos durante o procedimento radiográfico. A avaliação do processo será feita através do desempenho do produto criado em resolver o problema.

#### **1.3.2 Objetivos específicos**

Os objetivos específicos do trabalho são:

- Caracterizar os principais métodos e ferramentas aplicados na biomimética para o desenvolvimento de produtos.
- Correlacionar as ferramentas com as etapas do processo de biomimética apropriadas para sua aplicação no desenvolvimento de produtos.

- Compreender como ocorre o processo de tradução das informações biológicas para o desenvolvimento de produtos.
- Conciliar as etapas do Processo unificado da Biomimética com as demais etapas do Processo de Desenvolvimento de Produtos (PDP).
- Aplicar as ferramentas selecionadas, de acordo com seus requisitos, em cada etapa do Processo Unificado da Biomimética.
- Propor alternativas de soluções de acordo com os resultados das ferramentas utilizadas.

## 1.4 JUSTIFICATIVA

Diversas invenções humanas resolveram problemas através de soluções que, de certa forma, já se encontravam existentes na natureza por milhares de anos. Os custos e esforços para o desenvolvimento de tais soluções poderiam ser consideravelmente reduzidos com existência de uma maneira sistemática para retirar as informações da natureza (HILL, 2005).

Apesar de pesquisadores definirem princípios, métodos e ferramentas para utilizar a biomimética no desenvolvimento de produtos, como visto nas seções anteriores, ainda existem obstáculos que dificultam a disseminação da prática no cenário industrial. De acordo com Jacobs *et al.* (2014), são três os principais motivos, sendo eles: a falta de um método claro; a dificuldade em atingir a multidisciplinaridade necessária; e a complexidade dos modelos biológicos. Além disso, questões relacionadas a requisitos do comércio e da indústria, como a incerteza do sucesso comercial e a alta demanda das empresas, não permitem a realização de pesquisas tão longas que acabam por formar barreiras plausíveis para a aceitação do tema no desenvolvimento de novos produtos.

Ciente de tais dificuldades, Fayemi *et al.* (2017) realizaram uma análise dos principais métodos de biomimética dos últimos anos, compilando suas características comuns para criar um modelo unificado de biomimética. O objetivo deste novo modelo é facilitar a aplicação e a disseminação da biomimética no desenvolvimento de produtos.

Contudo, além dos métodos existentes, há uma grande quantidade de ferramentas disponíveis para auxiliar no processo da biomimética. Wanieck *et al.*

(2017), desenvolveram um estudo rigoroso para identificar, catalogar e avaliar as ferramentas de biomimética existentes. Ao todo foram encontradas cerca de 40 ferramentas, que ao serem avaliadas, permitiram identificar em qual etapa do processo de biomimética cada ferramenta era mais efetiva, auxiliando na decisão sobre qual deve ser utilizada.

Uma exploração sobre os métodos e ferramentas da biomimética proporcionaria identificar possíveis pré-requisitos desconhecidos para sua utilização, bem como reconhecer quais são os mais eficientes e efetivos de acordo com a sua aplicação.

Sobre o cenário selecionado para o desenvolvimento do trabalho, Rosa *et al.* (2016), consideram como poucas as opções de imobilizadores e protetores adequados às crianças para a prática do exame. Muitas vezes os pacientes infantis acabam submetidos a técnicas improvisadas para a realização do procedimento radiológico. O desenvolvimento de soluções nesta área, proporcionaria melhores condições para a realização do exame e conseqüentemente melhoria na qualidade do mesmo. Com a solução adequada, os exames seriam mais precisos, evitando erros de posicionamento, repetição do procedimento, bem como a exposição excessiva de radiação aos pacientes, acompanhantes e principalmente aos técnicos, que são submetidos constantemente a estes exames. Além da melhoria da imagem gerada (ROSA *et al.*, 2016). Assim, esta área se mostra propícia ao desenvolvimento de soluções.

Levando em conta este panorama, a avaliação do modelo proposto por Fayemi *et al.* (2017), através de uma aplicação prática, ajudaria a ampliar o estado da arte em relação à eficácia dos processos e ferramentas de biomimética do desenvolvimento de produtos. Além disso, proporcionaria a oportunidade de solucionar um problema, mesmo que específico, para um setor com alto grau de inovação, mas que carece de soluções eficazes.

## **1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO**

No capítulo 1 foi apresentada uma breve introdução sobre os conceitos que envolvem a biomimética e uma contextualização histórica sobre o assunto. Foram apresentadas também o tema e a oportunidade, evidenciando seu potencial

científico. Por fim, o capítulo especifica os objetivos e a justificativa para o desenvolvimento do estudo.

O capítulo 2 apresenta o referencial teórico, seu objetivo foi proporcionar as informações necessárias para o entendimento acerca do trabalho. Tópicos como a terminologia a ser adotada durante o projeto, a etapa do Processo de Desenvolvimento de Produto (PDP) em que a biomimética se encontra, descrição sobre os processos e ferramentas da biomimética utilizados neste estudo e uma introdução ao cenário da radiografia torácica são mostrados.

No capítulo 3 são descritos os materiais e métodos utilizados. Foram apresentados a classificação da pesquisa, a metodologia *Design Science Research* (DSR) empregada e os procedimentos que compõem o Processo Unificado de Biomimética.

O capítulo 4 foi dedicado a exposição, discussão e avaliação dos resultados. A exposição dos resultados está subdividida em tópicos de acordo com as etapas do Processo Unificado de Biomimética e das ferramentas pré-estabelecidas, exibidas na fase de materiais e métodos.

Por fim, o capítulo 5 destinou-se a conclusão do trabalho. Neste item os resultados foram comparados aos objetivos propostos no início do projeto. Além disso, houve a discussão dos pontos fortes e fracos do Processo Unificado da Biomimética e da árvore de utilidades, bem como as alterações realizadas ao longo do processo. Também foi debatido sobre o produto desenvolvido e a relevância do projeto ao estado da arte.

Após a conclusão e referências, estão disponíveis os apêndices relacionados ao desenvolvimento da análise bibliométrica e os procedimentos executados relacionados ao Processo Unificado de Biomimética.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo são abordados os tópicos responsáveis por fornecer os subsídios teóricos necessários para um completo entendimento acerca do assunto proposto. Nesta seção são apresentados os principais termos de biomimética a serem considerados no projeto, a etapa do PDP onde a biomimética se encontra, quais os tipos de métodos e ferramentas utilizados para que ocorra a transferência de informações entre os sistemas biológico e técnico, além de uma breve descrição sobre o procedimento radiográfico. No apêndice A, pode ser conferido o método de pesquisa utilizado para a coleta das informações presentes, a análise bibliométrica e sistêmica.

### 2.1 TERMINOLOGIA

Utilizar a natureza como fonte de inspiração não é novidade, vários exemplos desta prática estão presentes em trabalhos de engenharia e artistas ao longo da história (JACOBS, 2014).

O conceito “aprender com a natureza” é representado por diversos termos (VON GLEICH *et al.*, 2010). Na literatura científica, expressões como *biomimesis*, *biognosis*, *BID*, *biomimicry*, bioinspiração, biônica, bioanalogia e biomimética, bem como outras palavras similares que indiquem um referencial biológico, são em sua maioria consideradas como sinônimos (VINCENT *et al.*, 2006 e SHU *et al.*, 2011). Segundo Fayemi *et al.* (2017), consideram-se tais termos similares, pois possuem um resultado que só foi possível devido a um conhecimento originário da natureza. Contudo, o foco e o processo utilizado acabam por ocasionar a alteração na nomenclatura.

De acordo com SHU *et al.* (2011), várias áreas de estudos utilizam da biologia como fonte de referência. Desta forma, definir os termos a serem utilizados serve para distinguir a especificidade do campo relacionado. Entretanto, para Vincent (2009), a criação de novos termos serve apenas para rotular a área e criar uma noção de exclusividade.

A ausência de um padrão para o uso dos termos e falta de um ponto comum, que una as áreas que usufruem da natureza como inspiração enquanto reconhece

suas diferenças, leva à ambiguidade acerca do tema, tornando difícil seu entendimento (IOUGUINA *et al.*, 2014). Por este motivo se faz necessário um esclarecimento sucinto sobre os termos existentes para uma melhor compreensão do tema.

Ciente da importância da clareza dos termos, os elaboradores da ISO 18458:2015, providencia um guia com a descrição dos termos relacionado à inspiração da natureza, que reflita sua diversidade e ao mesmo tempo ofereça um consenso em torno da terminologia chave, conceitos e métodos. Desta forma, espera-se que não haja confusão e equívocos em relação ao uso de cada expressão. Nos próximos parágrafos, segue a descrição dos termos relacionados ao uso da natureza como fonte de inspiração segundo a ISO e outros pesquisadores da área.

Ponto central deste trabalho, a biomimética foi introduzida formalmente como área de pesquisa no final da década de 1950, pelo biofísico americano Otto Herbert Schmitt, quando em um de seus trabalhos, imitou a propagação de energia elétrica do sistema nervoso de um cefalópode para desenvolver o “disparador de Schmitt” (HARKNESS, 2002 e JACOBS, 2014). Porém, o termo foi utilizado pela primeira vez na década de 1970, pelo dicionário *Merriam-Webster*, definindo a biomimética como o estudo da formação, estrutura ou função de substâncias biológicas, bem como mecanismos e processos, com o propósito de sintetizar produtos similares por mecanismos artificiais (BIOMIMETIC).

Com o passar do tempo, pesquisadores foram refinando as definições adicionando novos conceitos. Segundo Vincent *et al.* (2006), a biomimética engloba o uso prático de funções e mecanismos presentes nas ciências biológicas na engenharia, design, química e eletrônica. Bar-Cohen (2005), por sua vez, define que o foco da biomimética está voltado para a imitação das capacidades mecânicas da natureza, através do estudo de métodos e processos biológicos. Além disso, outras características também são levadas em conta, como a transferência de informações entre os sistemas biológico e técnico (SARTORI *et al.*, 2010), a destilação dos princípios biológicos (LEPORA *et al.*, 2013) e uso de analogias para a busca de informações (MAK e SHU, 2008; HELMS *et al.*, 2009; e VATTAM *et al.*, 2010). Ademais, a ISO 18458:2015 (2015), considera a biomimética como a cooperação interdisciplinar entre a biologia e tecnologia (ou qualquer outra área de inovação),

com o objetivo de solucionar problemas práticos através da análise de sistemas biológicos, sua abstração e aplicação.

O termo Biônica é a união entre as palavras “biologia” e “tecnologia”, foi criada pelo integrante da força aérea americana, Jack Steele, na década de 1960 (IOUGUINA *et al.*, 2014). Steele definiu a biônica como a ciência sobre o estudo de sistemas com funções copiadas, ou com características representantes do sistema natural (VINCENT *et al.*, 2006). O dicionário *Merriam-Webster*, adicionou a palavra biônica em seu vocabulário em 1960, definindo-a como a ciência destinada à aplicação de dados sobre o funcionamento de sistemas biológicos para a solução de problemas de engenharia (BIONIC). Com o passar dos anos, a biônica estabeleceu-se na Europa como um campo de pesquisa, porém perdeu força na América do Norte e países de língua inglesa (IOUGUINA *et al.*, 2014). Parte disso deve-se às séries televisivas dos anos 1970, que passaram a relacionar a biônica a implantes eletromecânicos e a substituição de órgãos ou membros por dispositivos eletrônicos. Porém, o termo “biônica” ainda é utilizado no campo da medicina, robótica e inteligência artificial, sendo preferida por países de língua alemã (JACOBS, 2014 e SHU *et al.*, 2011). Segundo a ISO 18458:2015 (2015), a biônica trata da disciplina técnica que procura replicar, aprimorar ou substituir funções biológicas pelos seus equivalentes eletrônicos e mecânicos.

De acordo com Jacobs (2014), a biomimética e a biônica em sua origem, não compartilhavam dos conceitos de sustentabilidade e ecologia, seus focos estavam direcionados apenas ao desenvolvimento de produtos por meio da cooperação entre a biologia e engenharia. Características sustentáveis e ecológicas passaram a ser consideradas apenas após a introdução de princípios comuns aos sistemas biológicos (multifuncionalidade, economia de energia, reutilização, adaptação, otimização entre outros) propostos por Nachtigall (*apud*. DETANICO *et al.*, 2010). O termo que melhor se relaciona com estas características surgiria apenas mais tarde, com o nome de *biomimicry*.

A *biomimicry* surgiu nos anos de 1990, mesclando as disciplinas de biologia, ecologia e ciências ambientais, com ênfase na inovação e com foco na sustentabilidade (ROWLAND, 2017). A expressão popularizou-se pelas mãos de Janine Benyus, que em 1997 lançou o livro intitulado *Biomimicry: Innovations Inspired by Nature*. Benyus descreve a *biomimicry* como uma ciência que procura emular modelos, sistemas e processos da natureza em busca de resolver problemas

humanos, considerando o conceito de replicação do comportamento dos organismos biológicos. A *biomimicry* aplica as lições aprendidas com a natureza, para desenvolver novas tecnologias que sejam mais saudáveis e sustentáveis para as pessoas (BENYUS, 1997). Ou seja, o seu foco está voltado a um desenvolvimento sustentável. Segundo a ISO 18458:2015 (2015), a *biomimicry* é uma filosofia e abordagem interdisciplinar que toma a natureza como modelo para superar desafios por meio de um desenvolvimento sustentável, seja ele social, ambiental ou até econômico.

*Biologically Inspired Design* (BID) é um termo muitas vezes confundido com a biomimética e *biomimicry* (SHU *et al.*, 2011; e VINCENT *et al.*, 2006). A expressão é muitas vezes utilizada como termo guarda-chuva, para processos que usem a natureza como inspiração (ISO/TC 266, 2014). Entretanto, sua principal característica é uma metodologia baseada em analogias (NELSON *et al.*, 2009 *apud.* ISO/TC 266, 2014). Para Cheong *et al.* (2014), o design biologicamente inspirado utiliza de analogias entre o sistema natural e o problema para encontrar soluções. Helms *et al.*, (2009), seguem a mesma linha de pensamento, segundo eles, o BID utiliza de analogias do sistema biológico para solucionar problemas de engenharia. O foco na analogia, vem do aspecto de inspiração desta palavra, que permite uma maior abstração, além de uma imitação do modelo biológico (ISO/TC 266, 2014).

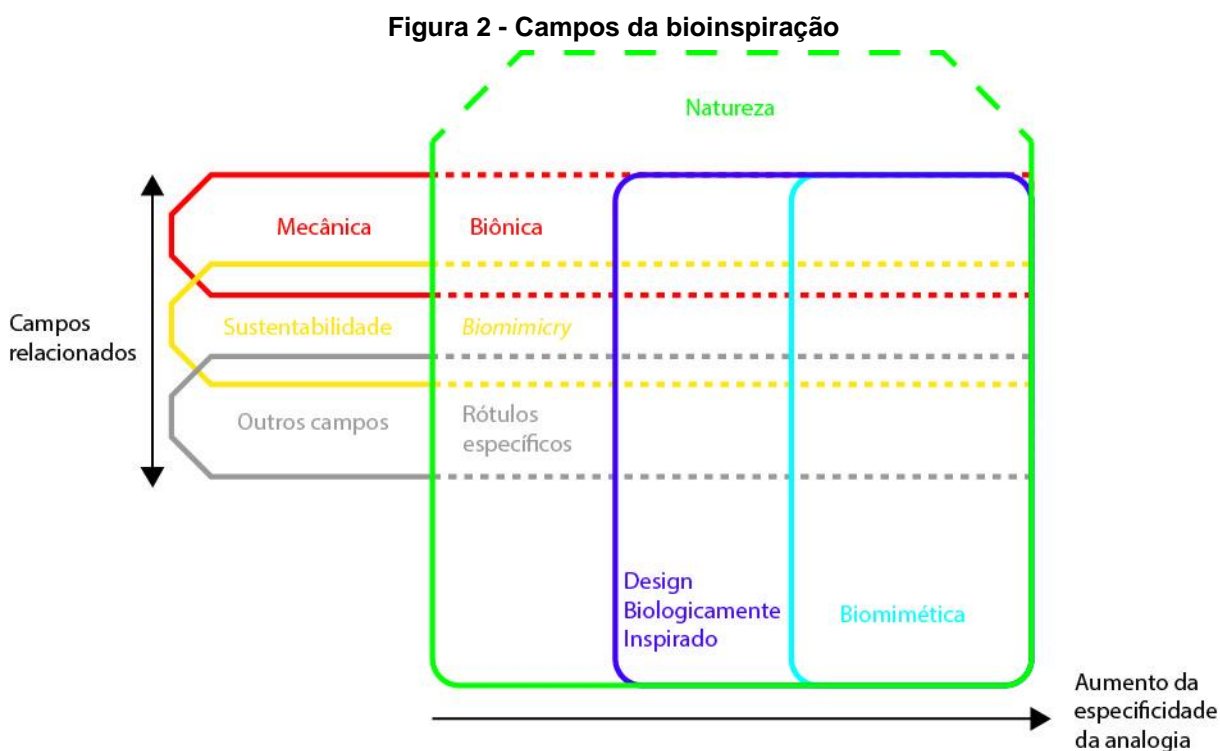
Segundo Shu *et al.* (2011) os termos “bioengenharia”, “engenharia biológica” e “engenharia biotécnica”, tratam da aplicação de princípios da engenharia, como física e matemática, para solucionar problemas das ciências da vida, que podem ou não integrar sistemas naturais à engenharia. A ISO 18458:2015 (2015) atribui à bioengenharia, a aplicação de conhecimento da engenharia e campos da medicina ou biologia. Porém, quando direcionado para a medicina em específico, recebe o nome de engenharia biomédica, onde seu foco é o desenvolvimento e produção de equipamentos médicos ou órgãos artificiais (SHU *et al.*, 2011). A biomecânica, por sua vez, é a aplicação de princípios mecânicos no estudo e modelagem de estruturas biológicas (SHU *et al.*, 2011).

Por fim, há o termo “bioinspiração”, que diz respeito a uma abordagem criativa baseada na observação de sistemas biológicos (ISO 18458:2015, 2015).

Com tantos termos direcionados ao mesmo conceito, Von Gleich (2010) acredita que a área da biomimética está em uma fase de desenvolvimento onde



diversas definições coexistem. Contudo, para Fayemi *et al.* (2017), o nome de cada abordagem à natureza pode ser distinguido de acordo com a especificidade da analogia utilizada. Ou seja, é possível ramificar as áreas que tomam a natureza como inspiração de acordo com o grau de intensidade das analogias presentes em cada área. Na Figura 2 é possível visualizar como ocorre esta ramificação e identificar os campos da bioinspiração.



Fonte: Adaptado de Fayemi *et al.*, 2017

As informações apresentadas nesta seção tiveram como objetivo esclarecer os termos mais utilizados na área da biomimética e assim evitar possíveis erros de interpretação. Desta maneira, este trabalho teve como foco a abordagem proposta pela definição de biomimética.

## 2.2 PAPEL DA BIOMIMÉTICA NO PROCESSO DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS

O Processo de Desenvolvimento de Produto é um conceito que pode ser compreendido como o processo de transformação das informações para a criação de um produto, isso inclui a identificação da demanda, sua produção, uso e

descarte. O produto por sua vez, é o resultado da transformação destas informações em um objeto com características e funções próprias, fabricado industrialmente (BACK *et al.*, 2008).

Por possuir um conceito amplo, há vários processos de desenvolvimento de produtos que variam de acordo com as necessidades das empresas que os aplicam. Rozenfeld *et al.* (2006), dividem o PDP em três macro fases, o pré-desenvolvimento, desenvolvimento e pós-desenvolvimento cada qual é composta por fases divididas em tarefas e atividades. Pahl *et al.* (2005), por sua vez, estabelecem o PDP em quatro fases principais, começando pela definição da tarefa, seguindo para o projeto conceitual, depois a fase de projeto preliminar e por fim o projeto detalhado. Entretanto, independente da referência utilizada, cada modelo possui um conjunto de atividades organizadas que partem desde a identificação da necessidade (problema) até à descrição técnica do produto.

Apesar das diferenças entre os modelos, o ponto crítico para o processo de desenvolvimento de produto se encontra nas etapas iniciais. As decisões tomadas nesta etapa são as que possuem maior impacto durante o desenvolvimento do produto, pois é no planejamento que são definidas as principais propriedades do produto (BACK *et al.*, 2008). De acordo com Baxter (1998), nesta etapa os gastos são relativamente pequenos, pois os esforços despendidos consistem em pesquisas, desenhos e modelos baratos, fáceis de serem alterados. Mudanças nestas atividades possuem baixos custos para o projeto, se comparado com as alterações em etapas mais avançadas, que envolvem moldes, peças, entre outros fatores de elevado custo.

A aplicação da biomimética se enquadra justamente nas fases iniciais do PDP, quando é preciso definir os problemas e as principais propriedades do produto, bem como utilizar do processo criativo para gerar possíveis soluções. O processo de geração de soluções, segundo Back *et al.* (2008), pode ser dividido em métodos intuitivos e métodos sistemáticos. Os métodos intuitivos trabalham com uma abordagem mais dinâmica e estão associados à imaginação e inspiração, como os métodos *brainstorming* e uso de analogias (BACK *et al.*, 2008 e BASSETTO, 2004). Os métodos sistemáticos, como o nome sugere, utilizam de um procedimento mais lógico para alcançar soluções, dividindo o problema em partes menores ou utilizando problemas similares para estimular o processo criativo. Exemplos de métodos sistemáticos são o método da Matriz Morfológica e a Análise de Valor (BACK *et al.*,

2008 e BASSETTO, 2004). O método da Matriz Morfológica consiste na combinação de diferentes parâmetros, de acordo com cada função do sistema, para propor uma nova solução ao problema, enquanto a Análise Valor constitui uma revisão em etapas, do projeto de produto, de maneira a introduzir modificações que aumentarão a qualidade e valor agregado do mesmo (BACK *et al.*, 2008).

Ciente destas definições, podemos classificar a biomimética como um método misto, pois apresenta características de ambos os grupos. Apesar das relações com a natureza na busca por soluções estar principalmente conectada aos métodos de analogia (DETANICO *et al.*, 2010), o grau de complexidade de certos sistemas biológicos exige um processo sistemático para se alcançar os resultados.

## 2.3 ANALOGIAS

Segundo HILL (1999 *apud*. HILL, 2005), a formação de analogias é o método básico para a biomimética, onde as ideias do domínio análogo já resolvido são transferidas para o domínio do problema em questão. Assim, também é possível inferir uma solução análoga para o problema inicial.

Para Cheong *et al.* (2014), o raciocínio análogo não trata apenas de um processo de associação, mas sim, um pensamento que requer raciocínio complexo. Além da analogia, outros processos cognitivos estão presentes como a formulação de problemas, criação, análise e avaliação estão presentes na biomimética. Contudo, o raciocínio análogo é o essencial para a busca por novas soluções. É através dele que o designer/engenheiro consegue identificar as similaridades entre os princípios naturais e técnicos e abstrair a relação entre suas funções, permitindo ir além de pontos comuns superficiais (CHEONG *et al.*, 2014).

Gentner (1983), considera o raciocínio análogo como ponto principal para o pensamento criativo. Em seus estudos, ele identificou dois níveis de similaridade presentes neste raciocínio, o superficial e o relativo. O nível superficial é simples, e está relacionado diretamente aos atributos do objeto. O nível relativo, entretanto, divide-se em outros dois: a relação entre objetos e as relações de ordem maior. O primeiro corresponde às funções dos objetos em análise, já a relação de ordem maior diz respeito à estratégia possibilitada pelas funções. Percebe-se que quanto maior o nível de abstração, maior a complexidade da analogia. Goel (1997) enfatiza

que a transferência análoga requer o uso das abstrações, para expressar a relação entre objetos e processos.

Apesar do raciocínio análogo ser um dos principais componentes da biomimética, seus praticantes demonstram uma má adaptação ao aplicá-lo no desenvolvimento de novos conceitos (CHEONG *et al.*, 2014). Helms *et al.* (2009), identificaram um total de oito erros comuns realizados no processo da biomimética, são eles: definição vaga do problema; pareamento pobre entre as soluções; simplificação excessiva das funções; usar soluções biológicas prontas; simplificação do problema; fixação da solução; erro análogo; e transferência análoga imprópria. Tais dificuldades devem-se ao fato de que os designers/ engenheiros que optam pelo uso das analogias biológicas, estão limitados pela falta de conhecimento biológico (CHIU e SHU, 2007).

Para facilitar o uso do raciocínio análogo durante a prática da biomimética, diversas ferramentas foram desenvolvidas, tais como: base de dados (*AskNature*); ontologias (VINCENT, 2014); pesquisas baseadas em linguagem natural (CHIU e SHU, 2007); ferramentas computacionais (VANDEVENNE *et al.*, 2016); e modelo funcional (NAGEL e STONE, 2012). Contudo, todas estas ferramentas dependem de uma base de dados pré-estabelecida, bem como da habilidade do usuário em manipular os sistemas biológicos que serão utilizados no processo (SALGUEIREDO e HATCHUEL, 2016). Algumas destas ferramentas são vistas mais à frente, na seção 2.7.

## 2.4 ABORDAGENS DO PROCESSO DE BIOMIMÉTICA

Segundo Helms *et al.* (2008), o processo de design biologicamente inspirado pode iniciar através de dois pontos: a partir do problema ou da solução. Estas abordagens são conhecidas como “baseada em solução” (do original *solution-based*) e “direcionado ao problema” (do original *problem-driven*), respectivamente. Apesar das etapas de cada abordagem serem as mesmas, alterando apenas sua ordem (HELMS *et al.*, 2008), cada uma possui características particulares em seu desenvolvimento (GOEL *et al.*, 2014 *apud.* FAYEMI *et al.*, 2017). A seguir veremos cada uma delas.

### 2.4.1 Abordagem baseada em soluções

As abordagens baseadas em soluções descrevem um processo onde o interesse por um determinado conhecimento biológico é o ponto inicial. Desta forma, o sistema biológico de interesse deve ser emulado em um sistema técnico (FAYEMI *et al.*, 2017). De acordo com Helms *et al.* (2009), os estudos de casos desta abordagem se iniciam com uma solução biológica definida, onde seus princípios são extraídos para em seguida encontrar problemas ao qual estas soluções possam ser aplicadas. Ou seja, é quando uma tecnologia primeiro é criada para em seguida procurar-se uma aplicação.

A utilização da abordagem baseada em solução é semelhante ao processo realizado para transferir o conhecimento tecnológico de organizações científicas para a indústria (FAYEMI *et al.*, 2017). Esta abordagem também é conhecida como *bottom-up* (SPECK *et al.*, 2008) e *biology-to-design* (BAUMEISTER, 2013 *apud.* FAYEMI *et al.*, 2017).

### 2.4.2 Abordagem direcionada ao problema

A abordagem direcionada ao problema é um processo que procura uma solução prática, tendo um problema já estabelecido como ponto de início (GOEL *et al.*, 2014 *apud.* FAYEMI *et al.*, 2017 e ISO/TC 266, 2014). Através desta abordagem, a transferência de informações entre os sistemas biológicos e técnico acabam por adicionar ou aprimorar funções ao novo produto (FAYEMI *et al.*, 2017). De acordo com Helms *et al.* (2008), esta abordagem segue um processo iterativo que permite o refinamento das informações. Outros nomes que esta abordagem recebe são *top-down* (SPECK *et al.*, 2008) e *challenge-to-biology* (BAYMEISTER, 2013 *apud.* FAYEMI *et al.*, 2017).

Esta abordagem é muito semelhante ao processo de solução de problemas estipulado por Massey e Wallace (1996), que resumem este processo em cinco etapas: identificação do problema, definição do problema, geração de alternativas, escolha da solução e implementação com testes.

Apesar de ambas as abordagens, “baseada na solução” e “direcionadas ao problema” tratarem do mesmo tema, apresentam diferenças intrínsecas em seus processos, que podem afetar diretamente o resultado do produto final. Entretanto, a

abordagem direcionada ao problema apresenta maior relevância ao cenário industrial, uma vez que necessita de um problema já estabelecido para seu início, no caso, um campo tecnológico, situação comum na indústria (FAYEMI *et al.*, 2017).

Mesmo assim, esta abordagem possui pouca representatividade no desenvolvimento dos produtos disponíveis comercialmente (JACOBS *et al.*, 2014).

## 2.5 PROCESSO DE BIOMIMÉTICA

Existem duas maneiras de abordar um projeto através da biomimética. Devido a semelhança com o ambiente industrial, este trabalho irá considerar apenas a abordagem direcionada ao problema, como proposto por Helms *et al.* (2008). Desta forma, foram pesquisados modelos de processos de biomimética, com base nesta abordagem, no intuito de realizar um levantamento acerca dos métodos utilizados para o desenvolvimento de produtos.

Wanieck *et al.* (2017) entendem o processo como uma série de passos, ações, tarefas e operações que levam a um determinado fim, ou seja, trata do caminho percorrido para se atingir certo objetivo. Apesar de designers e engenheiros utilizarem a biologia como inspiração, não há um processo sistemático específico para a sua prática (HELMS *et al.*, 2008). Esta falta de uma metodologia clara, além dos motivos citados por Jacobs *et al.* (2014) na seção 1.4, tem como causa a dispersão de pesquisas e resultados importantes sobre o tema, o que faz com que eles se encontrem escondidos em diferentes áreas de estudo (FAYEMI *et al.*, 2017).

Ciente destas dificuldades, Fayemi *et al.* (2017) reuniram os principais processos de biomimética direcionado ao problema descrito na literatura, desde 2005. Ao todo, doze processos foram selecionados e alinhados à abordagem de solução de problemas proposta por Massey e Wallace (1996), com o intuito de evidenciar suas perspectivas holísticas (Figura 3 e Figura 4). Desta forma, é possível relacionar as etapas de cada processo da biomimética estudado de acordo com etapas da abordagem de solução de Massey e Wallace (1996). Assim, foi possível identificar suas principais semelhanças e diferenças. Cada um destes processos será descrito ao longo dos próximos parágrafos.

O processo de engenharia utilizando princípios biológicos proposto por Lindemann e Gramann (2004), é composto por quatro etapas. Primeiro, o objetivo do projeto é formulado. Em seguida, analogias biológicas são relacionadas ao objetivo

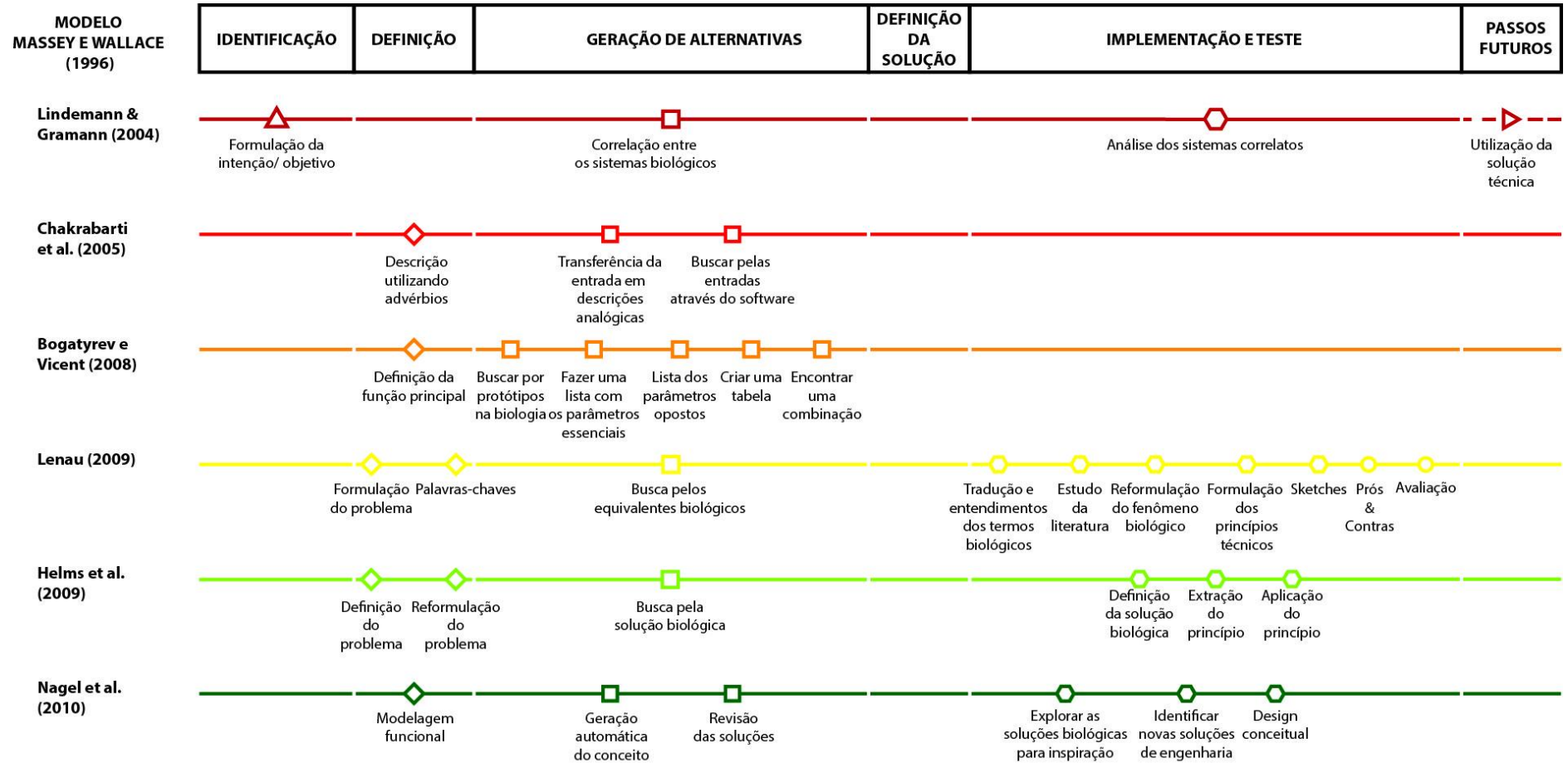
(problema). O terceiro passo consiste na dedução das analogias técnicas, de acordo com o sistema biológico escolhido e a avaliação das analogias geradas. Por fim, a última etapa é destinada à realização da solução técnica. Este processo é guiado por um *check-list* e permite uma iteração entre as etapas caso os resultados não se mostrem satisfatórios, neste caso é preciso rever o nível de abstração das analogias e em último caso, o objetivo.

Chakrabarti *et al.* (2005) apresentam um processo cujo o foco não é imitar algum fenômeno natural, mas sim ter as propriedades naturais como inspiração no desenvolvimento de novas ideias. O resultado do projeto é um *software* que permite uma busca analógica de ideias relevantes de acordo com uma base de dados composta por diversos sistemas biológicos. A utilização deste processo apresenta três passos: uma descrição das características desejadas através de uma junção de três palavras; a transferência destas entradas em descrições análogas; e a busca das informações pelo *software*.

Bogatyrev e Vincent (2008) propõem um processo cujo principal objetivo é traduzir a essência e as principais características dos sistemas biológicos em uma linguagem acessível à engenharia. Para atingir este objetivo, os autores sugerem uma sequência de seis passos a serem seguidos. Primeiro é preciso definir a função principal, ambiente e tamanho do projeto a ser desenvolvido. Em seguida, deve-se buscar por referências no sistema natural de acordo com a função principal. Após a pesquisa é preciso criar uma lista com os parâmetros essenciais para desempenhar a função principal. O quarto passo é estender a lista, adicionando parâmetros opostos. Assim, no passo cinco, através de uma tabela é possível criar combinações entre as variáveis. Por último, basta apenas encontrar a combinação que melhor se encaixa de acordo com os requisitos do projeto.

Lenau (2009) apresenta um processo de biomimética com foco em projetos de engenharia, uma vez que seu principal objetivo é desenvolver novos princípios funcionais. Este processo envolve um total de quatro etapas principais, divididas em tarefas, que trabalham de maneira iterativa, o que permite uma constante atualização do projeto durante todo o tempo de desenvolvimento. Seu trabalho tem início pela busca de analogias relevantes, seguida da análise de possíveis soluções biológicas, passando pela interpretação e identificação dos princípios biológicos e por fim chegando ao desenvolvimento do produto desejado.

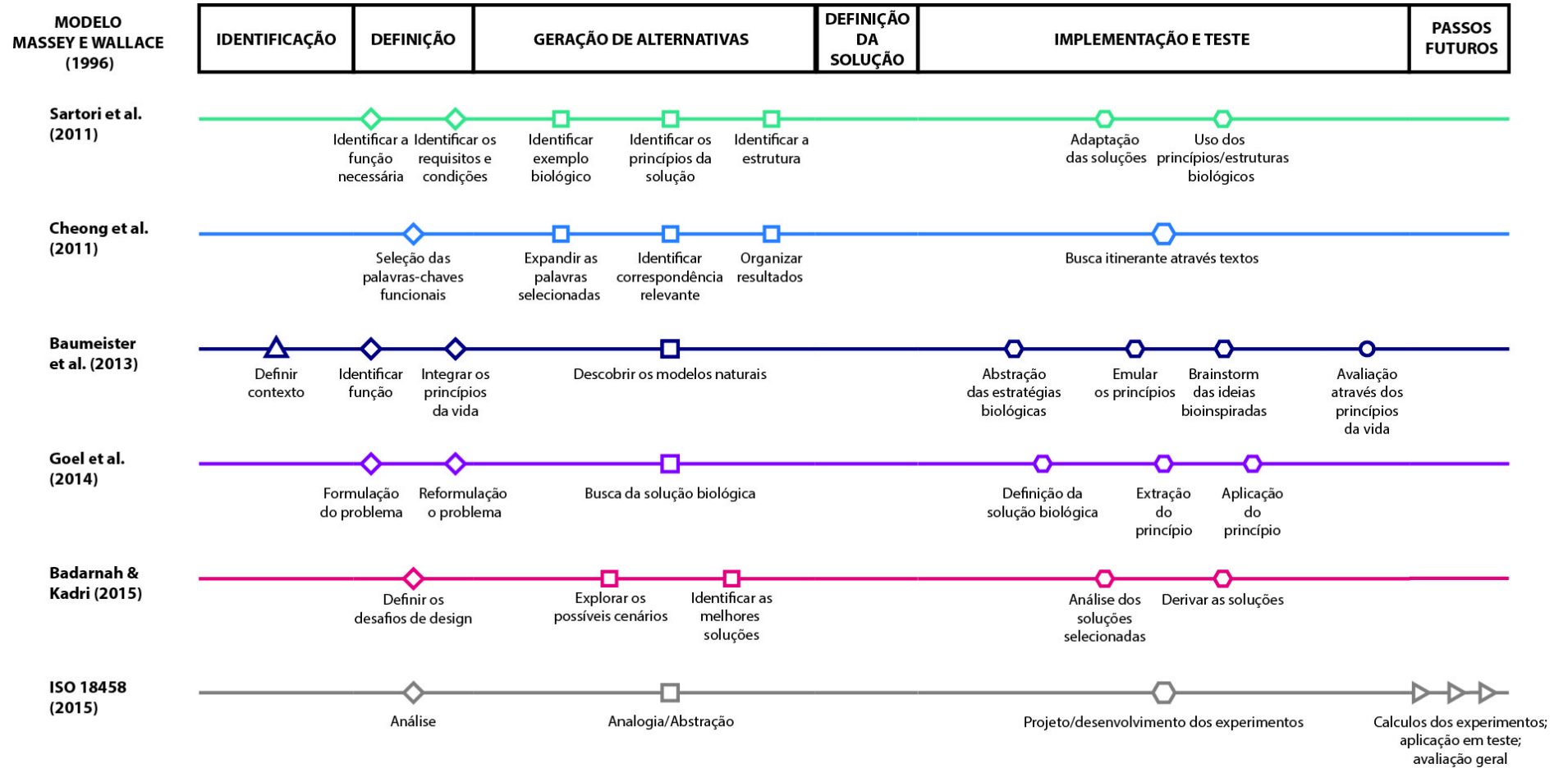
Figura 3 - Processos de biomimética com abordagem direcionada ao problema. Parte 1



Fonte: Adaptado de Fayemi *et al.*, 2017



Figura 4 - Processos de biomimética com abordagem direcionada ao problema. Parte 2



Fonte: Adaptado de Fayemi et al., 2017

O método de Helms *et al.* (2009) demonstra um processo dinâmico, com muitas iterações, *feedbacks* e *loops* de atualização de projeto, que ajudam a reformular e a entender melhor o problema em análise. Ao todo são seis passos: definição do problema; reestruturação do problema; busca por soluções biológicas; definição da solução biológica; extração do princípio natural; e aplicação.

Nagel *et al.* (2010) propõem um método geral para traduzir as informações presentes no sistema natural em um contexto de engenharia, através de representações funcional e técnicas de abstração. O principal objetivo é tornar a informação biológica acessível aos designers/ engenheiros, independente do seu grau de conhecimento em biologia. O modelo geral é composto por sete passos: identificação de uma fonte de referência adequada para a busca por sistemas biológicos; estudar sobre o sistema biológico escolhido e entender sobre sua funcionalidade; definir os requisitos de projeto; definir a categoria do modelo funcional; definir a escala do modelo funcional; desenvolver um modelo biológico de acordo modelagem funcional; e conferir e/ou validar o modelo funcional gerado. Este processo utiliza-se de um dicionário específico desenvolvidos pelos autores, intitulado de Tesouro da Engenharia para a Biologia (NAGEL; STONE e MCADAMS *et al.*, 2010).

Sartori *et al.* (2010) desenvolveram um modelo baseado em Função/Comportamento/Ambiente (do original *Function-Behaviour-Structure* - FBS), para buscar por analogias biológicas. Este modelo apresenta aprimoramentos a serem adicionados à ferramenta SAPPhIRE (*The State Change, Action, Part, Phenomenon, Input, Organ and Effect Model*), desenvolvida por Chakrabarti *et al.* (2005). Ao todo o modelo engloba sete passos, onde três deles encontram-se na geração de alternativas, como pode-se conferir na Figura 4 acima.

Cheong *et al.* (2011) descrevem um processo que visa traduzir os termos presentes na modelagem funcional em palavras-chave biológicas. Assim, é possível ampliar a área de busca, organizar e encontrar resultados através de trabalhos publicados pouco conhecidos pelos designers/ engenheiros. Este processo é a continuação de um trabalho desenvolvido por Chiu e Shu (2007).

Baumeister (2013 *apud*. Fayemi *et al.*, 2017) utiliza uma metodologia em espiral para emular os princípios do sistema natural. Seu processo ocorre de forma circular através de oito passos, que tem como objetivo identificar e emular os princípios biológicos. Dentre todos os processos, este é o que participa da maioria

das etapas da prática de solução de problemas. Ela se inicia pela definição do contexto seguindo para a identificação da função principal, integração com princípios naturais, busca por modelos naturais, abstração das estratégias biológicas, extração dos princípios, *brainstorming* com ideias bioinspiradas e, por fim, a definição dos princípios naturais.

Goel (2014 *apud*. Fayemi *et al.*,2017) propõe um grupo de tarefas genéricas presentes no uso de analogias e as compara com ambas as abordagens baseadas em soluções e direcionadas à problemas.

Badarnah & Kadri (2015) retratam um processo de biomimética que pode ser aplicado em qualquer área de pesquisa, uma vez que utiliza de ferramentas comuns à outros projetos. Isso permite procurar informações, criar analogias e transferir princípios naturais para conceitos de projeto, usando ferramentas conhecidas, em vez de utilizar técnicas específicas para imitar as estratégias da natureza. Desta forma, é apresentado um processo com um total de sete passos: definição do problema; exploração dos cenários possíveis; análise do sistema biológico; geração das alternativas do sistema biológico; criação do esboço do conceito; definição do conceito e avaliação da performance.

A ISO 18458:2015 (2015), por sua vez, apresenta um processo simplificado para a aplicação da biomimética onde a sequência e os passos específicos a serem seguidos se alteram de acordo com a área que está sendo abordada em conjunto à biomimética. Este processo, inclusive, se encontra na própria definição do termo e é dividido em: análise; analogia/abstração; e projeto e experimentação. Junto com o modelo de Lindemann e Gramann (2004), a ISO 18458:2015 é a única que dedica parte de seu processo aos passos futuros da solução do problema.

É possível perceber que, assim como cada área apresenta uma nomenclatura específica (SHU *et al.*, 2011), o mesmo vale para os métodos aqui apresentados. Cada processo é aplicável de acordo com os requisitos determinados pelo tipo de produto a ser desenvolvido.

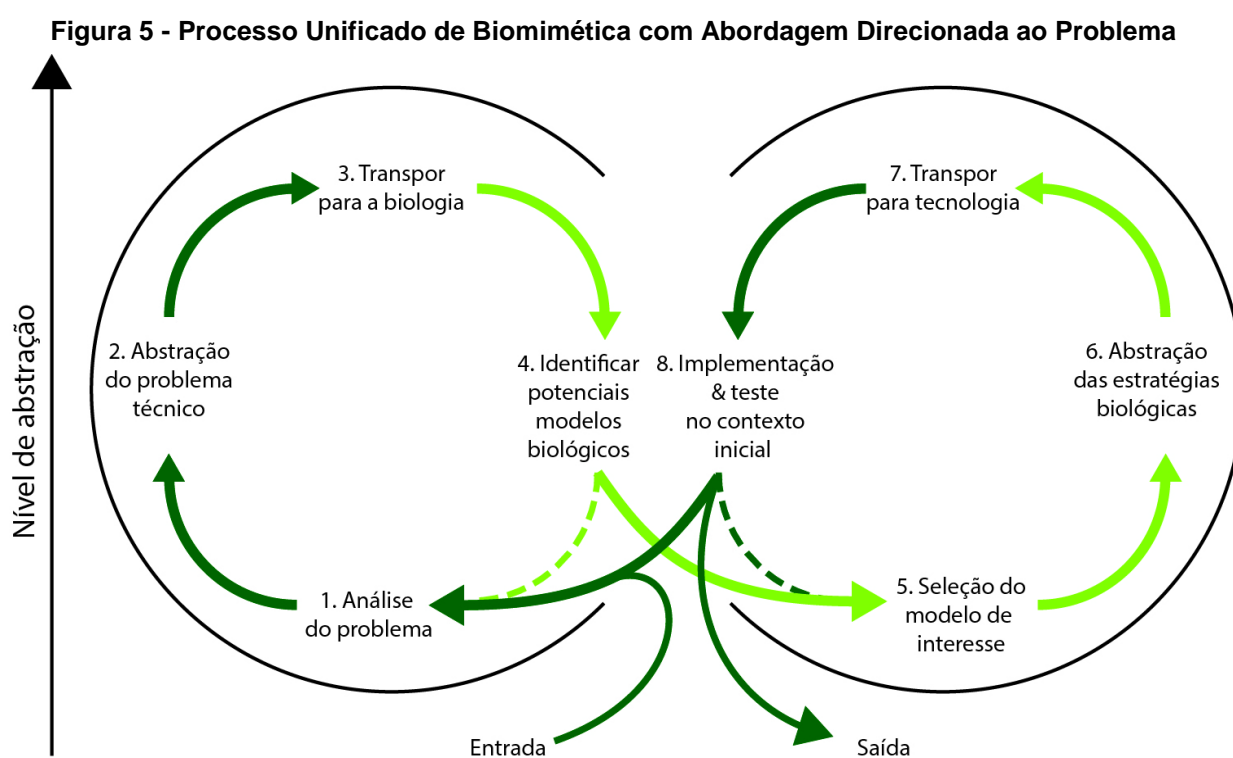
## **2.6 PROCESSO UNIFICADO DE BIOMIMÉTICA**

A prática da biomimética envolve muitas variáveis complexas, o que exige de seus usuários um profundo conhecimento sobre diversos processos e ferramentas,

além do entendimento sobre variados sistemas técnicos e biológicos a serem avaliados.

Com o propósito de oferecer um melhor entendimento sobre a área para seus praticantes, Fayemi *et al.* (2017) propuseram a criação de um processo formado pela combinação das principais características e pontos em comum dos métodos mais relevantes da biomimética, apresentados na seção anterior. O resultado recebeu o nome de Processo Unificado de Biomimética com abordagem direcionada ao problema.

Este processo é composto por oito passos divididos em duas fases, sendo representado graficamente por um duplo ciclo simétrico (Figura 5).



**Fonte: Adaptado de Fayemi *et al.*, 2017**

A primeira fase, que compreende dos passos 1 a 4, tem como foco a transição entre o sistema técnico e o sistema biológico. A fase dois, por sua vez, integra dos passos 5 a 8, e segue o caminho contrário, transferindo as informações biológicas recém adquiridas para um novo sistema técnico (FAYEMI *et al.*, 2017). As cores de cada seta indicam o tipo de contribuição necessária para a realização daquela etapa. Setas claras indicam profissionais da área biológica e setas escuras profissionais da tecnologia.

O Processo Unificado de Biomimética tem início com a análise do problema. Nesta etapa ocorre a avaliação da situação e a descrição do problema que deve ser solucionado. Seu objetivo é identificar o sistema técnico que deve ser desenvolvido ou otimizado. Em seguida, na etapa dois, acontece a abstração do problema técnico. Neste momento, o problema deve ser abstraído de forma a gerar um modelo funcional que irá contextualizar e restringir o problema analisado. Desta forma deixa-se claro qual a função principal que deve ser desempenhada pela solução. Na etapa três ocorre a transposição para a biologia, ou seja, toda a informação técnica adquirida sobre o problema, sua função e o ambiente do sistema técnico são transferidos para o sistema natural. As questões formuladas nesta etapa são feitas de forma a explorar como a natureza atinge a função requisitada pelo problema. Os resultados desta etapa variam de acordo com as perguntas feitas. Na etapa quatro é feita a identificação dos potenciais modelos biológicos a serem traduzidos para o sistema técnico, por meio da busca de modelos naturais capazes de realizar as funções exigidas pelo problema. A pesquisa desta etapa é feita através de bases de dados, literatura ou por experiências pessoais dos pesquisadores (FAYEMI *et al.*, 2017).

Após o passo quatro, ocorre o fim da primeira fase e a realização da primeira volta de iteração. Como a identificação dos modelos biológicos pode levar a um maior entendimento do problema inicial e algumas vezes a insatisfação com os resultados até então produzidos, é possível retornar ao passo um, de análise do problema, até que se obtenha uma resolução adequada. Havendo satisfação com os resultados obtidos, inicia-se a fase dois (FAYEMI *et al.*, 2017).

Após identificar os modelos biológicos relevantes, no quinto passo ocorre a seleção do modelo biológico que melhor se enquadra de acordo com os requisitos do problema. Para este passo, existem várias ferramentas que ajudam a quantificar e avaliar a escolha correta. Após selecionar a estratégia biológica mais adequada, no passo seis, é feita a sua abstração de maneira a entender como o sistema natural funciona de acordo com uma visão técnica. Este passo é de extrema importância, pois uma comparação ao pé da letra entre os sistemas natural e técnico não é possível, assim, este entendimento permite criar analogias que podem ajudar a solucionar o problema inicial. No passo sete, tem-se a transposição para a tecnologia, onde os princípios biológicos do passo anterior devem ser incluídos ao sistema técnico. Esta transferência de conhecimento entre as áreas exige um

grande conhecimento tecnológico para possibilitar a interpretação correta das informações biológicas de maneira técnica. Por fim, no passo oito, é realizada a aplicação e avaliação da nova proposta. Neste ponto do processo, ocorre a segunda volta de iteração. Assim como na primeira, o conhecimento adquirido ou a insatisfação com o resultado podem fazer com que os projetistas optem por uma nova iteração. Contudo, no fim da segunda fase, é possível optar por retomar o projeto a partir do passo um ou voltar ao passo cinco (FAYEMI *et al.*, 2017).

O objetivo deste processo não é ser um novo modelo, mas sim se tornar um instrumento que converge os processos de biomimética existentes, de forma a facilitar a aplicação da biomimética com abordagem direcionada ao problema no desenvolvimento de produtos (FAYEMI *et al.*, 2017).

## **2.7 FERRAMENTAS PARA A BIOMIMÉTICA**

As ferramentas são diferentes dos métodos, pois além de apresentarem variáveis, são responsáveis por desenvolver as diferentes etapas e tarefas do processo em geral. Seu objetivo é auxiliar o usuário a superar os desafios encontrados durante o processo (WANIECK *et al.*, 2017).

Com o crescimento do interesse pela bioinspiração, diversas pesquisas são constantemente desenvolvidas com o intuito de criar ferramentas que auxiliem na transferência de conhecimento entre os sistemas (NAGEL e STONE, 2012 e GOEL *et al.*, 2013 *apud.* WANIECK *et al.*, 2017). Além das várias ferramentas produzidas exclusivamente para o tema, ferramentas de áreas distintas também passaram a ser adaptadas para o assunto (FAYEMI *et al.*, 2017).

Apesar de vários trabalhos tratarem da criação e validação das ferramentas, nenhum deles tem como foco o desenvolvimento de uma visão geral acerca das ferramentas existentes (WANIECK *et al.*, 2017). Desta forma, Wanieck *et al.* (2017) catalogaram e avaliaram qualitativamente uma vasta quantidade de ferramentas criadas especificamente para uso na biomimética. Seu objetivo é descrever as principais características para ajudar a identificar em quais tipos de projeto cada ferramenta é mais útil, além de contribuir para o entendimento sobre o seu contexto e sua acessibilidade.

Em sua pesquisa, Wacnieck *et al.* (2017) focaram na análise descritiva das ferramentas, classificando-as de acordo com dez variáveis. A seguir, apresenta-se uma breve explicação de cada variável.

- Classe: é dividida em ferramentas de análise, abstração, aplicação e transferência. Está relacionado com a definição de biomimética proposta pela ISO 18458:2015.
- Tipo: é o meio utilizado pela ferramenta para auxiliar no processo, sendo dividido em DSC (do original *data-base/static list/catalogue*), taxonomia, enciclopédia, ontologias, algoritmos ou métodos.
- Etapas do processo: em qual etapa do processo unificado da biomimética a ferramenta é aplicada.
- Abordagem: qual tipo de abordagem melhor beneficia a ferramenta, divide-se em “baseada em solução” ou “direcionado ao problema”.
- Acessibilidade: descreve o grau de acessibilidade da ferramenta. Elas podem ser gratuitas, gratuitas limitadas ou comerciais.
- Viabilidade: trata de como esta ferramenta está disponível. Pode ser online, software, impressa, etc.
- Sistema do conhecimento: distingue sobre qual área do conhecimento entre biologia ou tecnologia a ferramenta está mais direcionada.
- Dimensão: está relacionada a dependência ou interdependência da ferramenta em relação às outras ferramentas ou processos específicos. Ou seja, a capacidade da ferramenta em ser utilizada sem um conhecimento prévio ou não.
- Sustentabilidade: trata do teor sustentável (ecológico, social, econômico) das ferramentas.
- Prova do conceito: averiguar sobre o uso da ferramenta no processo de desenvolvimento de um produto, incluindo estudos de caso da literatura.

Wacnieck *et al.* (2017) estabeleceram uma relação entre as classes de ferramentas e cada uma das oito etapas do Processo Unificado de Biomimética (FAYEMI *et al.*, 2017). No

Quadro 1 podemos identificar qual classe de ferramenta é mais eficaz para cada etapa do processo.

**Quadro 1 - Relação entre as etapas do processo e as classes de ferramentas**

<b>Etapas do Processo Unificado de Biomimética</b>	<b>Classe</b>
1 - Análise do problema	Análise
2 - Abstração do problema técnico	Abstração
3 - Transferência para o sistema biológico	Transferência
4 - Identificação de modelos biológicos	Aplicação
5 - Seleção dos modelos de interesse	Análise
6 - Abstração das estratégias biológicas	Abstração
7 - Transferência para o sistema técnico	Transferência
8 - Implementação e teste do conceito	Aplicação

**Fonte: Adaptado de Wanieck et al., 2017**

Com base nas variáveis de classe, Fayemi *et al.* (2017) propuseram um grupo de ferramentas que se adequava aos parâmetros considerados relevantes a uma aplicação industrial, para serem aplicados no Processo Unificado de Biomimética. Foram pré-selecionadas 21 ferramentas, exclusivas ou não da biomimética, devidamente catalogadas de acordo com a proposta de Wanieck *et al.* (2017). Além das ferramentas selecionadas por Fayemi *et al.* (2017), outras cinco foram adicionadas: a Busca de Anterioridade; Questionário da Situação de Inovação (QSI - do original *Innovation Situation Questionnaire - ISQ*), Matriz Morfológica; Pensando em Voz Alta; e Questionário de Avaliação de Usabilidade. A Busca de Anterioridade e QSI foram utilizadas na etapa de análise do problema, ou seja, classificadas como ferramentas de análise. A Matriz Morfológica foi utilizada em uma etapa de transferência e o Pensando em Voz Alta junto com o Questionário de Avaliação de Usabilidade, na etapa de aplicação. A seguir são apresentadas as ferramentas de acordo com a sua classe.

### **2.7.1 Ferramentas de análise**

As ferramentas de análise são direcionadas à investigação e estão relacionadas aos passos 1 e 5 do processo unificado da biomimética (WANIECK *et al.*, 2017). Segundo o processo de busca de solução, proposto por Nelson (2003), estas ferramentas são utilizadas na etapa de reflexão, onde ocorre a avaliação e crítica dos elementos envolvidos. De acordo com as pesquisas de Amabile (1983),



podemos considerar que as ferramentas de análise e a etapa de reflexão são essenciais para a validação do que está sendo avaliado. Para Wanieck *et al.*, (2017) é preciso que o problema esteja bem definido antes de dar continuidade ao processo da biomimética. Nos próximos parágrafos, segue a explicação das ferramentas de análise pré-selecionadas para o desenvolvimento deste trabalho.

A *Life's Principles* (LP) trata-se de uma compilação de padrões existentes em criaturas vivas. Esta ferramenta é utilizada como instrumento de medida para princípios naturais, que permite aprimorar a sustentabilidade do objeto de estudo (BAUMEISTER, 2013 *apud*. FAYEMI *et al.*, 2017). Ao todo existem seis princípios (adaptação as mudanças do ambiente, sintonia com o ambiente, utilizar elementos químicos ecológicos, economizar recursos, desenvolvimento integrado com seu crescimento e evolução) que se dividem em subgrupos e totalizam 26 padrões. Segundo Rowland (2017), o uso destes princípios pela natureza garante a manutenção da vida e, conseqüentemente, um produto sustentável.

A ferramenta KARIM's LP (KLP), da sigla em inglês "*Knowledge Acceleration and Responsible Innovation Meta Network Based on Life's Principles*", é um projeto europeu desenvolvido baseado na ferramenta *Life's Principles*. Este modelo apresenta os mesmos princípios apontados por Baumeister, porém algumas questões foram simplificadas, além de adicionar novas vantagens e exemplos técnicos e biológicos (MICHKA MÉLO *et al.* 2015 *apud*. FAYEMI *et al.*, 2017).

O Gráfico T (do original *T-Chart*) tem como objetivo avaliar qualitativamente e selecionar os melhores modelos biológicos. Esta ferramenta consiste na comparação entre dois modelos *4-Box*, em que um modelo contém às informações do problema e a outra com suas propriedades biológicas análogas correspondentes. Entre os modelos, uma coluna é adicionada para comparar suas características, considerando-as similares, iguais, diferentes ou inaplicáveis (HELMS e GOEL, 2014).

A Curva S é uma das bases da TRIZ (sigla russa para "Teoria da Resolução de Problemas Inventivos"), e está relacionada com as leis da evolução de sistemas técnicos (CAVALLUCCI e WEILL, 2001). Esta lei revela que o desenvolvimento máximo das partes de um sistema, levam ao conflito entre outras partes, menos desenvolvidas, que também serão aprimoradas. Assim ocorre um ciclo autossustentável que empurra o sistema para uma estrutura ideal. Entender este processo evolutivo permite prever as tendências sobre o desenvolvimento dos

sistemas técnicos (ALTSHULLER, 1984). Com base nesta declaração, a Curva S foi desenvolvida para evidenciar as etapas do ciclo de vida do produto e assim reconhecer a possibilidades de novas ideias. Desta forma, oferece orientações para a gestão do projeto e investimento de recursos. Considera-se que a Curva S apresenta um ciclo típico composto pela gestação (período entre a geração da ideia e sua revelação), nascimento (momento da concepção do produto), infância (momento após o lançamento), adolescência (rápido desenvolvimento), maturidade (quando o produto está bem alocado no mercado) e declínio (começo do fim) (TERNINKO *et al.*, 1998).

A Busca de Anterioridade tem como objetivo verificar o estado da técnica de um produto, ou processo, em diversas bases de dados nacionais e internacionais. Sua principal função é realizar um levantamento inicial sobre a área tecnológica em que o projeto se encontra. Ao terminar a busca de anterioridade, é possível reconhecer se o produto é único, ou seja, uma invenção, e assim passível de dar início a um processo de depósito de patente (UNIPAMPA). De acordo com Linhares (2017), para que a invenção seja patenteável, deve-se atender aos seguintes requisitos: ser uma novidade; ser uma atividade inventiva; e possuir aplicação industrial.

O Questionário da Situação de Inovação (QSI) é um questionário baseado nas ideias apresentadas pela TRIZ, e que tem como objetivo ajudar nas tarefas preliminares do problema. O QSI providencia a estrutura para juntar as informações necessárias para reformular o problema e, então, transformá-lo em problemas menores que irão facilitar a buscar por soluções (TERNINKO *et al.*, 1998).

### **2.7.2 Ferramentas de abstração**

Utiliza-se as ferramentas de abstração nos passos 2 e 6. Seu objetivo é gerar modelos em diferentes níveis sistêmicos. O foco é encontrar uma maneira alternativa de pensar sobre o problema proposto (FAYEMI *et al.*, 2017). As ferramentas de abstração possuem o propósito de facilitar a comparação entre os sistemas, reduzindo a quantidade de informações presentes enquanto mantém os requisitos contextuais (CHI *et al.*, 1982 e NAGEL *et al.*, 2010). Nos próximos parágrafos segue a explanação das ferramentas de abstração pré-selecionadas para o desenvolvimento deste trabalho.

A ferramenta *Brainstorming* aplica-se na solução de problemas por meio de grupos de pessoas, que aumentam a qualidade e a quantidade de ideias produzidas por cada membro individualmente. Durante as sessões de *brainstorming*, são dadas instruções que inibem os efeitos da autocrítica e da crítica por outros membros durante a sua prática. Para tal, as seguintes regras devem ser seguidas: os envolvidos devem manter a mente aberta; é possível aprimorar ou combinar ideias já sugeridas; e não apresentar uma postura crítica as demais sugestões (DIEHL e STROEBE, 1987). Esta atividade providencia, de maneira democrática, a geração de diversas ideias simultaneamente, além de requerer poucas fontes de materiais e ampliar as interações sociais (OSBORN, 1953 *apud*. FAYEMI *et al.*, 2017).

SAPPhIRE é um *software* desenvolvido para descrever as funções e estruturas de sistemas técnicos e naturais (CHAKRABARTI *et al.*, 2005). Este modelo utiliza de múltiplos níveis de abstração, de maneira a explicar como um sistema funciona para realizar seus objetivos. Para cada par (sistema técnico e natural) biomimético analisado, o modelo SAPPhIRE do sistema biológico é comparado com seus correspondentes técnicos de forma a criar um nível de similaridade entre eles. Baseado neste nível de similaridade, o exemplo biomimético é então classificado. Esta ferramenta enfatiza o fenômeno físico descrito pelas funções (SARTORI *et al.*, 2010).

A ferramenta computacional *Design Analogy to Nature Engine* (DANE) propicia acesso à uma biblioteca de casos que contém o modelo “estrutura-comportamento-função” (do original *Function-Behaviour-Structure* - FBS) de sistemas naturais e técnicos. De acordo com as informações fornecidas pelo DANE, o *designer*/engenheiro pode buscar e acessar vários formulários multimídias (FU *et al.*, 2014).

O UNO-*Biologically Inspired Design* (UNO-BID) é uma fusão entre o sistema de representação SAPPhIRE e a modelagem proposta pelo DANE. Seu objetivo é superar as limitações existentes nestas duas ferramentas. Entretanto, o UNO-BID também serve como uma base semântica comum ao campo de pesquisa do BID (ROSA *et al.*, 2015).

O Diagrama Multi-Telas (DMT), também conhecido como abordagem Multi-Telas ou Operador de Sistema, foi desenvolvido por Altshuller. O DMT combina a evolução tecnológica através do passado, presente e futuro com as ideias dos sistemas técnicos de acordo com a hierarquia de micro sistemas para supersistema

(SAVRANSKY, 2000). Este exercício divide o sistema técnico em quadros, o qual inicia-se com um quadro central, referente ao sistema atual, que varia de acordo com as ramificações do tempo e ambiente (ALTSHULLER, 1984). Segundo Savransky (2000), criar estes quadros permite observar a transição gradual entre os subsistemas.

A ferramenta Resultado Final Ideal (RFI), consiste em imaginar a representação ideal para a solução do problema analisado. Para formar o RFI é preciso que os elementos dos sistemas eliminem um efeito prejudicial, porém preservando a capacidade de produzir o efeito útil desejado por si só, sem efeitos colaterais (SALAMATOV, 1999). O RFI, independente de sua viabilidade, serve como diretriz para encontrar a melhor solução ao problema técnico (ALTSHULLER, 1984).

Segundo Salamatov (1999), Contradições Técnicas (CT) é quando uma parte do sistema técnico, ao ser aprimorado, acaba por prejudicar outra parte deste mesmo sistema. Desta forma, é possível utilizar este conceito para identificar, definir e abstrair os conflitos analisados. Para Altshuller (1984), a criação de uma invenção exige a eliminação das Contradições Técnicas.

O método “5 Por quês”, trata de um processo iterativo focado em identificar a raiz do problema ao explorar a relação entre a causa e o efeito da dificuldade analisada (OHNO, 1997). Ao questionar repetidamente a falha no sistema (onde cada resposta serve como base para a próxima questão) é possível descobrir a raiz do problema para então corrigi-lo, evitando que o problema reapareça. O total de 5 vezes é resultado da quantidade de iterações consideradas necessárias para resolver o problema (SERRAT, 2010).

A Condição Mundo Fechado (do original *Closed World* - CW) é uma ferramenta que providência a análise do problema e a busca por soluções considerando apenas os elementos presentes dentro do sistema de estudo. O uso da CW cria uma atmosfera que restringe o pensamento acerca do problema. Assim, ela previne o uso de ideias familiares, o que exige a busca por pensamentos fora da zona de conforto, incentivando a busca por ideias originais para novas soluções (HOROWITZ, 2004).

O método 4-Box consiste em um diagrama 2x2, utilizado para ajudar na formulação e descrição do problema através da definição de quatro elementos: função; ambiente operacional; especificações; e critérios de desempenho. Esta ferramenta orienta o projetista na definição do problema (HELMS e GOEL, 2014).

A Modelagem biológica (*Biological Modeling* - BioM) compreende um grupo de diretrizes propostos por Nagel *et al.* (2010 e NAGEL *et al.*, 2011), na qual os designers/ engenheiros podem utilizar para construir um modelo funcional baseado na biomimética. No total são sete etapas que direcionam o projetista a um produto final. O auxílio de uma enciclopédia para traduzir os termos da engenharia para biologia facilita o processo (NAGEL; STONE e MCADAMS, 2010).

### 2.7.3 Ferramentas de transferência

Um dos maiores desafios da biomimética é a dificuldade da comunicação entre os sistemas técnicos e natural (HELMS *et al.*, 2009). As ferramentas de transferência são responsáveis por traduzir de forma precisa os conceitos entre estes sistemas (FAYEMI *et al.*, 2017). Segundo Nelson (2003), estas ferramentas se enquadram na etapa de concepção da solução, que têm como objetivo estabelecer limites para o problema. As ferramentas de transferência estão relacionadas aos passos 3 e 7 do Processo Unificado de Biomimética (WANIECK *et al.*, 2017). As ferramentas pré-selecionadas são explicadas a seguir.

A ferramenta Taxonomia (do original *Taxonomy*) categoriza as diferentes maneiras que os organismos e o sistema natural realizam seus desafios, dividindo-os em grupos de acordo com suas funções. Esta catalogação permite aos *designers/* engenheiros traduzirem os problemas técnicos para biológicos (BAUMEISTER, 2013 *apud.* FAYEMI *et al.*, 2017).

Os Princípios Inventivos (PI) fazem parte do trabalho de Altshuller, que ao analisar milhares de patentes, percebeu que todas as invenções eram comuns a 40 princípios. Ele concluiu que estes princípios foram utilizados em todas as invenções do passado e também para as do futuro. Os princípios inventivos foram criados com o objetivo de superar as dificuldades do projeto, porém é preciso utilizá-los em conjunto com os parâmetros do projeto, uma lista composta por 39 itens. Ao cruzar estas informações forma-se uma matriz de contradições, que permite ao projetista formalizar o problema e buscar por novas soluções (ALTSHULLER, 1984).

A ferramenta Análise de Recursos direciona a criatividade do usuário para os possíveis recursos existentes no problema (MUELLER, 2005). Segundo Savransky (2000), esta ferramenta tem como objetivo analisar todos os recursos presentes no sistema e reconhecer aqueles considerados inúteis. Uma vez identificado estes

recursos, deve-se utilizar heurísticas que ajudem os designers/ engenheiros a entendê-los, e tornar um recurso considerado prejudicial em um algo útil.

O software *Biology Inspired Problem Solving* (BIOPS) foi desenvolvido pela Fraunhofer IAO, Alemanha, e está disponível para acesso online como uma versão de demonstração. Trata-se de uma enciclopédia que mapeia as funções técnicas e as relaciona a termos biológicos. A busca tem início pela descrição do problema técnico que irá se conectar aos possíveis modelos biológicos registrados na base de dados (FAYEMI *et al.*, 2017).

A Matriz Morfológica providencia possíveis soluções para cada função/sub função estabelecida pela Modelagem Funcional. Esta ferramenta permite inúmeras combinações com potencial para solucionar o problema analisado (PAHL *et al.*, 2005).

#### **2.7.4 Ferramentas de aplicação**

Estas ferramentas objetivam a concretização, ou seja, são responsáveis por contextualizar os modelos e realizá-los (FAYEMI *et al.*, 2017). A utilização destas ferramentas leva a geração de soluções inventivas para o problema inicial (SAVRANSKY, 2000). Os passos que utilizam destas ferramentas são o 4 e 8 (WANIECK *et al.*, 2017). Segue a explicação das ferramentas pré-selecionadas de aplicação.

Conhecida por ser a maior base de dados relacionados a bioinspiração, o *AskNature* foi criado pelo *The Biomimicry Institute*. Sua metodologia categoriza as funções identificadas em grupos e subgrupos. As funções e estratégias biológicas são identificadas ao questionar o “como” e o “porque” o organismo analisado adaptou-se aos desafios da natureza. Esta base de dados, procura oferecer informações sobre o fenômeno biológico e conectá-los a potenciais ideias ou aplicações (BAUMEISTER, 2013 *apud.* FAYEMI *et al.*, 2017).

A *BionlQuity* trata-se de um grupo de técnicas criativas compostas por 42 princípios dos modelos biológicos. Tais princípios são utilizados para gerar novas ideias em níveis elevados, assim, são úteis para o desenvolvimento de produtos inéditos ou para a solução de problemas (DELL, 2006 *apud.* FAYEMI *et al.*, 2017).

A ferramenta BIOPS, além de ser uma ferramenta de transferência, pode ser considerada como de aplicação também. Isso é possível pois, uma vez que o passo

da transferência está completo, a ferramenta guia para outros sites de patentes e literatura científica (FAYEMI *et al.*, 2017).

Pensando em voz Alta (NIELSEN, 1993 *apud.* CATECATI *et al.*, 2018) é um teste de usabilidade onde o usuário realiza a narração de suas ações, decisões, opiniões e sentimentos durante a utilização do produto avaliado. Esta avaliação permite reconhecer e entender o processo cognitivo do usuário durante a atividade de uso, por meio de suas declarações (CATECATI *et al.*, 2018). Assim, é possível identificar as facilidades e dificuldades encontradas pelo usuário durante o uso, bem como sua opinião acerca do que está sendo avaliado.

O Questionário de Avaliação da Usabilidade, foi desenvolvido com base nos estudos de Garcia *et al.* (2017), que propunha princípios de avaliação da usabilidade com base nos conceitos do design universal e usabilidade. Assim, neste questionário, as perguntas para avaliar o desempenho dos produtos são fundamentadas de acordo com sete princípios. São eles: compatibilidade; advertência; comunicação; adaptabilidade; força; e dimensionamento.

## **2.8 ÁRVORE DE UTILIDADES**

Fayemi *et al.* (2017) uniram o Processo Unificado de Biomimética e as ferramentas propostas para a aplicação na área da biomimética, em uma “árvore de utilidade” (Figura 6). Sua função é guiar os usuários através de um processo de biomimética fornecendo as ferramentas mais adequadas de acordo com seu projeto. Desta forma, os usuários podem montar seu próprio processo adaptando-os de acordo com suas necessidades. Esta árvore foi utilizada neste trabalho como base para validar o Processo Unificado de Biomimética.

## **2.9 EXAMES RADIOGRÁFICOS**

No início da prática radiográfica, a radiologia pediátrica e geral fazia parte de um único grupo. Foi apenas a partir da década de 90 que houve aumento no interesse de uma área especializada em pacientes infantis, independente da radiologia geral (KIRKS e GRISCOM, 1998 *apud.* OLIVEIRA e KHOURY, 2003). Tal interesse ocorreu devido ao entendimento das diferenças de composição, tamanho,

comportamento e diversidades funcionais (respiração, batimentos cardíacos, etc.) entre adultos e crianças para a radiografia (OLIVEIRA e KHOURY, 2003).

A maior diferença identificada, diz respeito sobre a alta sensibilidade à radiação presente nas crianças. Por possuírem uma expectativa de vida maior que um adulto, apresentam maiores probabilidades de exibirem efeitos colaterais tardios relacionados a exposição à radiação. Desta forma, o maior risco associado aos exames radiográficos em crianças é a ocorrência de efeitos estocásticos (onde a probabilidade de ocorrência é proporcional a dose de radiação recebida), uma vez que riscos determinísticos, como queimaduras, são raros (OLIVEIRA e KHOURY, 2003).

Assim sendo, mesmo que a utilização de radiação ionizante se justifique em razão dos seus benefícios a prática médica, técnicas de proteção devem ser atribuídas para que todos os envolvidos recebam a atenção necessária para minimizar a ocorrência de efeitos biológicos agudos e tardios, resultante da exposição à radiação (DE LIMA et al., 2004). Por isso, de acordo com Oliveira e Khoury (2003), se faz indispensável a prática de cuidados que evitem a exposição desnecessária dos pacientes pediátricos a radiação. Tais práticas partem desde a verificação da real necessidade clínica do exame para o diagnóstico à otimização das técnicas radiográficas e equipamentos de proteção a serem utilizados.

Reconhecendo a importância da boa prática do exame radiográfico, a Comissão da Comunidade Europeia, elaborou um documento intitulado de “Critérios de qualidade das imagens para fins diagnósticos em pediatria” onde parâmetros para a obtenção de imagens de alta através de baixas doses foram definidos (DE LIMA et al., 2004). Tais padrões estão voltados às questões tecnológicas, destacando a utilização de geradores de raio-x de 12 pulsos ou superior; tamanho do ponto focal, tensões e distâncias do foco-filme; tempo de exposição curtos e a utilização de filtros (EUROPEAN UNION, 1996). Porém, pouco se fala sobre o uso de equipamentos de imobilização para assistência durante o exame.

### **2.9.1 Radiografia de tórax**

A radiografia de tórax é o procedimento radiológico mais frequente utilizado ao redor do mundo, onde corresponde à cerca de 50% de todo radiodiagnóstico, seja ele geral ou pediátrico (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 1983). Porém de



acordo com De Souza *et al.* (2013), este procedimento recebe certa banalização pelos médicos e assistentes em relação ao número de requisições. O motivo para esta alta frequência está relacionado a viabilidade em visualizar o tórax e pulmões, de maneira a auxiliar na determinação de diagnósticos, como identificação de elementos internos ao corpo, avaliação e análise das condições torácicas, pré e pós procedimentos médicos (HENSCHKE *et al.*, 1997; WORLD HEALTH ORGANIZATION, 1983 e DE SOUZA *et al.* 2013).

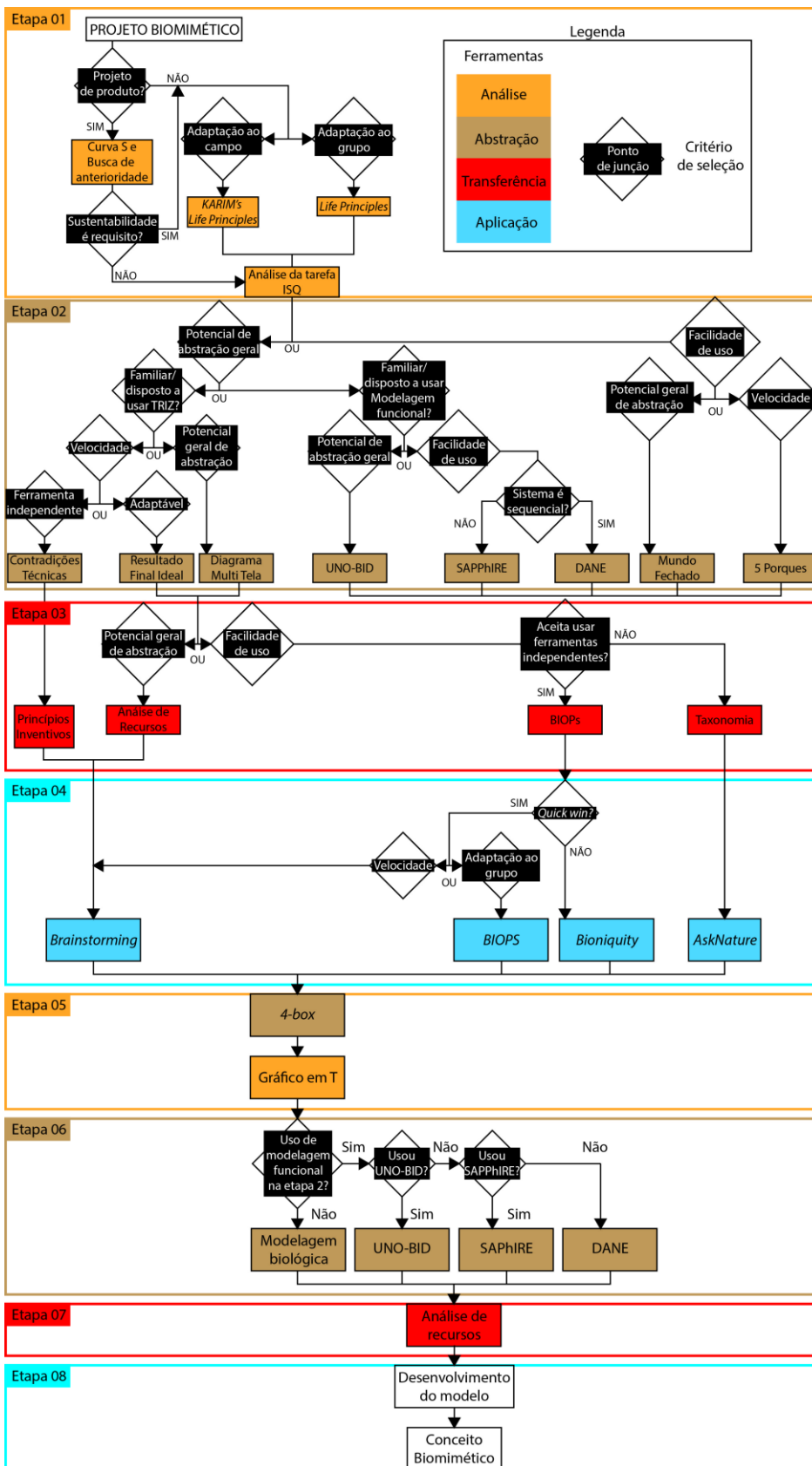
O exame radiográfico de tórax é indispensável para um diagnóstico de qualidade, entretanto, sua eficácia depende de diversos fatores (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 1983), como as condições específicas de cada paciente e a técnica utilizada para o procedimento (DE SOUZA *et al.* 2013). A técnica padrão utilizada na radiografia do tórax em pacientes pediátricos é feita com a centralização da imagem na linha do mamilo, onde o campo colimado se estende entre o processo mastoide do osso temporal até a crista íliaca superior (MERRILL e BALLINGER, 1982 *apud.* DE SOUZA *et al.*, 2013). Contudo, esta técnica pode resultar na exposição desnecessária de estruturas não torácicas à radiação. Para evitar esta exposição excessiva, os braços são elevados, o que permite que as articulações acrômio-claviculares subam e fiquem acima do pulmão e que as costelas sejam sentidas. Desta forma, a área de colimação é reduzida (BONTRAGER, 2006 *apud.* DE SOUZA *et al.*, 2013).

Um exame radiográfico de tórax bem realizado permite visualizar os vasos pulmonares periféricos e reconhecer a coluna torácica através do coração. Contudo, mesmo que a imagem apresente uma qualidade ruim, a repetição do procedimento não é indicada, desde que a informação clínica seja suficientemente clara (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 1983).

## **2.10 CONSIDERAÇÕES**

Entender os termos que se encontram sob o conceito de “aprender com a natureza” é fundamental para reconhecer o papel da biomimética no desenvolvimento de produtos. Após identificar o momento correto para utilizar o processo de biomimética na criação de produtos, é preciso saber qual o tipo de abordagem deve ser aplicado. Desta forma, é possível pesquisar pelos processos de biomimética adequados ao projeto.

Figura 6 - Árvore de utilidades



Fonte: Autor

Com isso em mente, o conjunto de processos apresentados neste trabalho resultou na criação de um modelo unificado de biomimética (FAYEMI *et al.*, 2017), compilando as etapas comuns entre os modelos. Junto a este processo foi incorporado um estudo de ferramentas propostos por (WANIECK *et al.*, 2017), onde cada ferramenta foi categorizada de acordo com sua função e a etapa do processo em que melhor se aplica. Esta classificação permite um maior controle e confiança sobre o uso das ferramentas. Entretanto, é preciso reconhecer que apesar de certas ferramentas pertencerem às classes equivalentes, elas podem não ser úteis para a mesma etapa do processo. Por exemplo, uma ferramenta pode ser eficaz para a etapa quatro (identificação de modelos biológicos), porém ineficaz para a etapa oito (implementação e testes) apesar de ambas serem classificadas como ferramentas de aplicação (WANIECK *et al.*, 2017).

A relação entre as ferramentas analisadas e as etapas do Processo Unificado da Biomimética podem ser vistos no Quadro 2.

**Quadro 2 - Relação entre as ferramentas e as etapas do Processo Unificado de Biomimética**

<b>Passos</b>	<b>Ferramentas</b>
1 - Análise do problema	Curva S, LP, KLP, Busca de anterioridade, QSI
2 - Abstração do problema técnico	DMT, Uno-BID, CT, RFI, CW, DANE, SAPPhIRE, 4-Box, 5- Por Quês.
3 - Transferência para o sistema biológico	PI, Análise de Recursos, Taxonomy, BIOPS
4 - Identificação de modelos biológicos	BIOPS, BionIQity, AskNature, Brainstorming
5 - Seleção dos modelos de interesse	Gráfico em T
6 - Abstração das estratégias biológicas	Uno BID, DANE, SAPPhIRE, BioM, 4-Box
7 - Transferência para o sistema técnico	PI, Análise de Recursos, Matriz Morfológica
8 - Implementação e teste do conceito	Pensando em voz alta, Questionário de Avaliação da Usabilidade.

**Fonte: Adaptado de Fayemi *et al.*, 2017**

Sobre a radiografia, poucos dados relacionam a imobilização do paciente com a qualidade da imagem. Porém é evidente a importância do posicionamento adequado durante o procedimento para a qualidade dos exames. Por isso, equipamentos são utilizados para auxiliar na radiografia, principalmente na pediátrica. Contudo, são poucos os produtos disponíveis e eficazes, o que leva os técnicos a improvisarem nas técnicas de imobilização.

A demanda por uma solução, junto a avaliação do Processo Unificado da Biomimética apresenta um potencial para soluções inovadoras e oportunidade para o desenvolvimento deste trabalho.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo é apresentado a caracterização da pesquisa, a metodologia empregada e as etapas de desenvolvimento desempenhadas para a aplicação e avaliação do Processo Unificado da Biomimética Adaptado proposto. Primeiro, são definidos os aspectos sobre a classificação da pesquisa. Em seguida, o conceito e as principais características do método *Design Science Research* (DSR) são descritos. Por fim, o procedimento metodológico empregado é detalhado.

#### 3.1 CLASSIFICAÇÃO

De acordo com Silva e Menezes (2001), o conceito de pesquisa pode ser definido, de maneira simples, como o ato da procura por respostas. A pesquisa é um conjunto de ações que visam encontrar soluções através de procedimentos racionais e sistemáticos quando há um problema, porém, não se tem informações para solucioná-lo (SILVA e MENEZES, 2001).

Para auxiliar em sua aplicação, a pesquisa pode ser classificada conforme quatro critérios: de acordo com sua natureza; sua abordagem; seus objetivos; e suas técnicas. A seguir, apresenta-se as características da pesquisa realizada.

A pesquisa realizada neste trabalho apresenta uma natureza de teor aplicado, uma vez, que tem como objetivo gerar conhecimentos para uma aplicação prática direcionada a solução de problemas específicos. Desta forma, sua abordagem foi qualitativa, ou seja, se baseia na interpretação dos fenômenos e na atribuição de significados para uma avaliação subjetiva do objeto de estudo. O foco desta abordagem esteve no seu processo e significado (SILVA e MENEZES, 2001).

Em relação ao seu objetivo trata-se de uma pesquisa explicativa pois visa identificar quais os fatores determinantes para a ocorrência dos fenômenos analisados. Do ponto de vista técnico, foi realizado um procedimento bibliográfico, para conhecimento do estado da arte, um estudo de caso para melhor entendimento dos métodos utilizados no tema e a realização de uma pesquisa participante, uma vez que houve uma interação entre o pesquisador e os envolvidos na ação investigada (GIL, 1991).

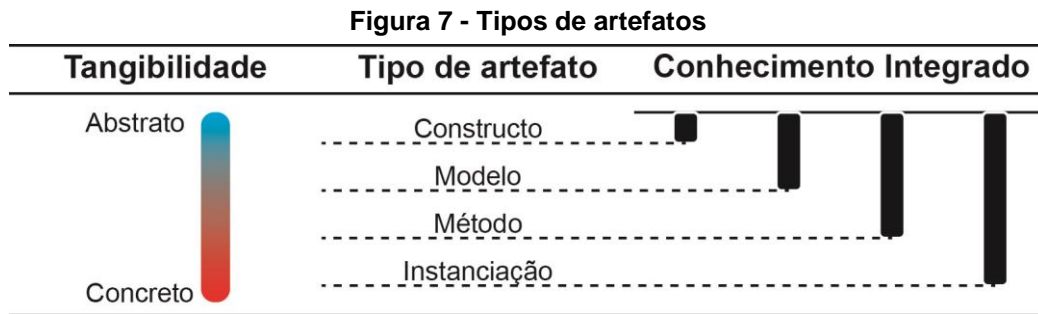
### 3.2 METODOLOGIA EMPREGADA

Este trabalho foi desenvolvido com base na abordagem *Design Science Research* (DSR), também conhecida como ciência do projeto (SIMON, 1996). O DSR é voltado ao conhecimento multidisciplinar com pesquisas direcionadas a resolução de problemas complexos específicos e que consideram o ambiente externo para avaliar o desempenho de seus resultados (MARCH e SMITH, 1995; BURGOYNE e JAMES, 2006). Desta forma, o conhecimento proporcionado pelo DSR apresenta um caráter prescritivo (LACERDA *et al.*, 2013).

O DSR é um método de pesquisa que consiste no desenvolvimento de artefatos que venham a solucionar problemas organizacionais. Tal método exige um rigoroso processo de pesquisa e criação, avaliação do artefato e comunicação do conhecimento adquirido para a comunidade de interesse (PEFFERS *et al.*, 2007). Segundo Simon (1996), a criação de artefatos diz respeito a ciência do artificial, que busca propor como as coisas devem ser para que os objetivos sejam atingidos. Este conceito se opõe aos das ciências naturais e sociais, que procuram entender como as coisas são e funcionam (SIMON, 1996).

Simon (1996), define artefato como algo não natural, uma criação do homem. Contudo, ele não se limita a uma forma física e material. O resultado do DSR não está limitado a produtos materiais, mas também abrange conhecimento aplicável, melhorias de sistemas, entre outras soluções intangíveis, desde que incorpore uma solução para o problema analisado (VENABLE, 2006 e PEFFERS *et al.*, 2007). March e Smith (1995), por sua vez, procuram categorizar os artefatos, considerando seu nível de tangibilidade e a densidade de conhecimento integrado (Figura 7). Quanto maior for a quantidade de conhecimento integrado no artefato maior será sua tangibilidade (artefato concreto), ou seja, maior a capacidade de uma aplicação prática.

Constructos, também chamados de conceito possuem o menor nível de tangibilidade, sendo assim abstratos. Os constructos constituem a linguagem especializada responsável pelo vocabulário de uma disciplina, conhecimento este que é compartilhado. Os constructos definem os termos utilizados dentro de um domínio para descrever as tarefas, problemas e especificar suas soluções. Possuem grande importância para designers e pesquisadores, uma vez que estão presentes na ciência natural e do artificial (MARCH E SMITH, 1995 e LACERDA *et al.*, 2013).



Fonte: Adaptado de Dos Santos, 2018

Modelos são proposições, que juntas expressam as relações entre os constructos, assim, são um pouco menos abstratos. Os modelos são vistos como representações da realidade, descrevendo como as coisas são. Na ciência natural, o termo “modelo” é usado como sinônimo para teoria. Na prática do DSR, entretanto, o foco dos modelos não está em sua representação da verdade, mas sim em sua utilidade. Apesar disso, o modelo precisa capturar a estrutura da realidade, mesmo que de forma imprecisa, para ser uma representação útil (MARCH e SMITH, 1995 e LACERDA *et al.*, 2013).

Os métodos são baseados na união de constructos e modelos relacionados ao problema em questão, desta forma, apresentam maior nível de tangibilidade que estes dois. De forma geral, o método retrata um conjunto de passos que devem ser obedecidos para que um determinado objetivo seja alcançado. A realização das tarefas e interpretação dos resultados são intrínsecos ao uso do método. As ciências naturais usam muitos métodos, porém não criam novos, cabe ao DSR criar os métodos que serão utilizados por estes cientistas. Os métodos do DSR prescrevem formas adequadas para a coleta e análise de evidências, que ajudam a validar as teorias postuladas. Este tipo de artefato está entre as criações mais características das pesquisas de DSR (MARCH e SMITH, 1995 e LACERDA *et al.*, 2013).

Por último, a instanciação consiste em um conjunto coerente de regras que conduzem à operacionalização de constructos, modelos e métodos dentro de seu ambiente de estudo. Este artefato trata da implementação e uso dos artefatos produzidos em seu ambiente, considerando seus possíveis resultados de acordo com o contexto específico. Assim, as instanciações procuram evidenciar a viabilidade e a eficácia dos modelos e métodos contemplados por ela (MARCH e SMITH, 1995 e LACERDA *et al.*, 2013). As instanciações apresentam o maior nível de tangibilidade, uma vez que seus resultados são produtos, serviços ou sistemas.

A condução do DSR ocorre de maneira diferenciada de acordo com cada autor. Contudo, características comuns estão presentes em todos os modelos. Deste modo, Peffers *et al.*, (2007), propuseram uma síntese de DSR, para guiar os pesquisadores a conduzirem suas pesquisas de forma efetiva. Seu método é composto de seis etapas, como pode ser conferido no Quadro 3.

**Quadro 3 - Etapas do DSR**

<b>Etapa</b>	<b>Descrição</b>	<b>Recursos</b>
1 - Identificação do problema e motivação	O pesquisador deve definir o problema específico e justificar sua relevância. Determinar o problema permite identificar a aplicabilidade da solução a ser proposta. Justificar a relevância motiva o público a entender sobre o raciocínio utilizado pelo pesquisador, buscar por novas soluções e aceitar os resultados obtidos.	Conhecimento do estado da arte e reconhecimento da importância da solução.
2 - Definição dos resultados esperados	A partir da identificação do problema, os resultados esperados devem ser inferidos de maneira racional, por meio de objetivos. Tais objetivos podem ser quantitativos ou qualitativos.	Conhecimento sobre o problema, suas atuais soluções e eficácias.
3 - Desenvolvimento da solução	Esta etapa inclui a definição da função desejada do artefato, sua forma de funcionamento e seu desenvolvimento real.	Conhecimento teórico para a proposta de diferentes soluções.
4 - Demonstração da solução	Demonstrar que o artefato desenvolvido é capaz de solucionar o problema proposto. Esta etapa pode ser feita por meio de experimentação, simulações, estudo de caso entre outras formas julgadas apropriadas.	Conhecimento efetivo na utilização do artefato para a resolução do problema.
5 - Avaliação da solução	O objetivo desta etapa é avaliar o desempenho do artefato na resolução do problema. Os resultados da aplicação devem ser comparados com os objetivos propostos na etapa 2.	Conhecimento em métricas e técnicas de análise.
6 - Comunicação dos resultados	Divulgar a pesquisa, incluindo o problema, sua importância, artefato desenvolvido, seus resultados e o rigor aplicado para todos os públicos de interesse.	Conhecimento disciplinar

**Fonte: Adaptado de Peffers *et al.*, 2007**

Para fornecer o referencial teórico necessário para a aplicação do DSR, foi empregado neste trabalho o método *Knowledge Development Process – Constructivist* (ProKnow-C). Segundo Ensslin *et al.* (2014), este método permite construir uma base de conhecimento teórica bem fundamentada, que proporciona reconhecimento científico e relevância ao tema de estudo. Este método é composto por três etapas: seleção de artigos; análise bibliométrica; e análise sistêmica



(ENSSLIN *et al.*, 2010). O resultado desse processo é o Portfólio Bibliográfico (PB), um grupo de artigos com grande relevância ao tema de estudo.

A etapa de seleção de artigos, foi feita com base no trabalho de De Oliveira Lacerda *et al.* (2012), assim, este procedimento foi dividido em duas atividades, a investigação preliminar e a seleção de artigos. A investigação preliminar busca definir as bases de dados e palavras-chave a serem utilizadas na pesquisa. A seleção de artigos irá escolher os artigos que irão compor o PB, através da utilização de filtros de pesquisa.

A análise bibliométrica, procura evidenciar de maneira quantitativa os dados estatísticos de um conjunto pré-determinado de artigos. Seu principal objetivo é fazer a gestão da informação do portfólio bibliográfico. Os principais parâmetros analisados pela análise bibliométrica são, o número de artigos, suas referências, autores, quantidade de citações, relevância dos periódicos publicados e as palavras-chave (ENSSLIN *et al.*, 2010).

A análise sistêmica, por sua vez, é um processo científico utilizado para realizar uma avaliação crítica dos artigos presentes no PB. O desempenho de cada artigo é feito com base em pressupostos (lentes), que servem como requisitos de avaliação para identificar as lacunas de pesquisa acerca do tema (ENSSLIN *et al.*, 2010). Este trabalho adaptou o processo de análise sistêmica proposto por Ensslin *et al.* (2014) que utiliza seis lentes para a avaliação dos artigos. Para esta pesquisa, contudo, nove lentes foram utilizadas para a análise das informações do PB.

Ciente destas informações, este trabalho propôs a avaliação de um método específico para a aplicação da biomimética no desenvolvimento de produtos (Processo Unificado da Biomimética), utilizando os conceitos apresentados pelo método DSR proposto por Peffers *et al.* (2007), cujo o resultado irá gerar uma instanciação.

No próximo item, cada etapa do processo é descrita de maneira a apresentar como o trabalho foi realizado.

### **3.3 PROCEDIMENTO REALIZADO**

#### **3.3.1 Identificação do problema e motivação**

Esta atividade está relacionada à busca por uma lacuna de pesquisa. Para identificar as áreas com potencial de pesquisa foi utilizado o método ProKnow-C (ENSSLIN *et al.*, 2014), dividido em seleção de artigos, análise bibliométrica e análise sistêmica. Contudo, De Oliveira Lacerda *et al.* (2012) adicionam um passo que antecede a seleção de artigos, a investigação preliminar.

A investigação preliminar visa definir as bases de dados e as palavras-chave a serem utilizadas na pesquisa. Sua escolha delimita o campo amostral. Neste trabalho, as bases de dados selecionadas foram *Scopus* e *Web Of Science*, enquanto as palavras-chave foram três: *Bioinspired*, *Biomimicry* e *Biomimicry Design*. A seleção de artigos ocorreu através de cinco filtros, responsáveis por alinhar os artigos com o tema de interesse. Os filtros utilizados foram: palavra-chave; tema (de acordo com o banco de dados); alinhamento com o título; alinhamento com o resumo; e alinhamento da conclusão. Os artigos aprovados irão compor o PB.

A análise bibliométrica foi feita com a ajuda do programa *Endnote*, um software de gerenciamento de artigos. Os principais dados elencados foram as palavras-chave, autores e periódicos publicados, bem como seu *Scientific Journal Ranking* (SJR), além do tipo de cada publicação. Estes dados permitiram inferir quais os artigos mais relevantes do PB, para serem utilizados na análise sistêmica.

A análise sistêmica foi feita de acordo com nove pressupostos (lentes), diferente dos seis propostos por Ensslin *et al.* (2014). O que motivou esta mudança foi a importância dos itens a serem avaliados de acordo com o tema da biomimética. As lentes utilizadas para a análise a avaliação foram: o que está sendo avaliado; objetivo; tipo de artigo; unidade de análise; metodologia; mensuração de dados; principais resultados; motivação da pesquisa; e propostas de pesquisas futuras.

Maiores detalhes acerca destas atividades estão presentes no Apêndice A.

### **3.3.2 Definição dos objetivos da solução**

A definição dos objetivos da solução está diretamente relacionada aos objetivos específicos do trabalho. Assim, nesta etapa, é preciso caracterizar os principais métodos e ferramentas da biomimética e relacionar estes itens de acordo com cada etapa do Processo Unificado da Biomimética. Entender como ocorre o processo de tradução de informação entre os sistemas natural e tecnológico,

conciliar as etapas do PDP ao Processo Unificado de Biomimética e, por fim, propor alternativas de acordo com os resultados das ferramentas utilizadas.

### 3.3.3 Projeto e desenvolvimento da solução

Nesta etapa foi realizada a aplicação e avaliação do Processo Unificado de Biomimética (FAYEMI *et al.*, 2017), com abordagem direcionada ao problema, para o desenvolvimento de novos produtos. Como visto na seção 2.6, este processo é composto por oito etapas. As ferramentas utilizadas em cada etapa são apresentadas no Quadro 4. Neste item, cada uma destas etapas é descrita individualmente, contudo, maiores detalhes sobre o procedimento realizado podem ser conferidos no Apêndice B.

**Quadro 4 - Relação das etapas do Processo Unificado de Biomimética e as ferramentas utilizadas**

<b>Etapas do Processo Unificado da Biomimética</b>	<b>Ferramentas utilizadas</b>
Análise do problema	Curva S; QSI e Busca de anterioridade
Abstração do problema técnico	5 Porquês
Transposição para biologia	Taxonomia
Identificar modelos biológicos	<i>AskNature</i>
Seleção dos modelos	4-box/ Gráfico em T
Abstração das estratégias biológicas	Modelagem biológica
Transpor para tecnologia	Análise de recursos, Matriz Morfológica
Implementação e testes	Pensando em Voz Alta, Questionário de Avaliação da Usabilidade.

Fonte: Autor

#### 3.3.3.1 Análise do problema

Esta etapa foi dividida em duas partes primeiro foi aplicada a ferramenta QSI (TERNINKO *et al.*, 1998), para formalizar e reformular o problema em questão. Na segunda parte, foi realizado um estudo com o objetivo de identificar os produtos relevantes relacionados ao problema e reconhecer seu potencial para possíveis novas invenções. Foram utilizadas as ferramentas Curva S (TERNINKO *et al.*, 1998) e Busca de Anterioridade.

### 3.3.3.2 Abstração do problema técnico

Esta etapa tem como objetivo tornar claro o problema a ser resolvido. A ferramenta utilizada foi “5 Porquês” (Quadro 6), modelo este que é baseado nos trabalhos do sistema de produção da Toyota. Segundo Ohno (1997), questionar repetidamente a falha no sistema permite descobrir a raiz do problema, corrigindo-a de forma que o problema não reapareça.

### 3.3.3.3 Transposição para a biologia

A transposição das informações técnicas para o sistema natural ocorreu por meio da ferramenta Taxonomia. Para esta ferramenta foi utilizado um quadro fornecido pelo *Biomimicry Institute* (Anexo A), onde as funções desejadas pelo sistema técnico podem ser comparadas e relacionadas a funções existentes no sistema biológico. O uso deste quadro recebe o nome de Abordagem por Grupos (BIOMIMICRY INSTITUTE, 2017) Além da utilização deste quadro, foi utilizada a abordagem de verbos, onde foram selecionados aqueles que melhor descrevem a função desejada. A escolha dos verbos ocorreu por meio de uma entrevista com um profissional da área biológica.

### 3.3.3.4 Identificação de modelos biológicos

Esta etapa utiliza a ferramenta *AskNature*, que deve ser utilizada em conjunto a ferramenta de Taxonomia. O *AskNature* é um *software* de banco de dados, desta forma, os verbos, as informações adquiridas com o biólogo e os grupos taxonômicos identificados na etapa anterior foram adicionadas a barra de pesquisa.

### 3.3.3.5 Definição dos modelos biológicos

Para cada modelo selecionado no fim da etapa anterior, foi desenvolvido um Gráfico T, porém, para sua confecção, antes é preciso montar um modelo 4-Box do problema. Este modelo irá elencar as características relacionadas ao ambiente operacional, função, especificações e critérios de desempenho do problema. O Gráfico T então irá comparar as propriedades biológicas análogas ao seu

correspondente técnico. Uma vez que os conceitos estejam alinhados, eles são comparados qualitativamente na colina central, por meio de cores, sendo: “igual” (verde); “similar” (amarelo); “diferente” (vermelho) ou “não se aplica” (cinza). O modelo melhor avaliado é selecionado para a etapa seguinte.

### **3.3.3.6 Abstração da estratégia biológica**

Nesta etapa é utilizada a ferramenta Modelagem Biológica, que se trata de uma versão da Modelagem Funcional, utilizada pela engenharia, porém adaptada aos organismos biológicos. Primeiro, é feito um modelo Caixa Preta (*Black Box*) da estratégia biológica, colocando os elementos de entrada e saída do sistema. Em seguida, a caixa é aberta, e maiores detalhes são adicionados evidenciando a ordem dos acontecimentos do sistema. Por fim, este modelo é novamente decomposto de forma a entender como a função desejada ocorre, porém, desta vez utilizando termos técnicos e não biológicos.

### **3.3.3.7 Transposição para o sistema técnico**

Para traduzir as informações adquiridas na etapa anterior foi utilizada a ferramenta “Análise de Recursos”. Seu foco é avaliar os recursos técnicos disponíveis para combiná-los com o modelo gerado na etapa anterior. A análise destes recursos foi feita com base nas informações propostos por Savransky (2000), onde eram consideradas os recursos: Natural/ Ambiente; Tempo; Espaço; Sistema; Substância; Energia/ Campo; Informação; e Função. Em seguida, foi desenvolvida uma matriz morfológica, que com base nos recursos e requisitos permitiu a geração de possíveis soluções ao problema analisado. Estas soluções foram ilustradas e então comparadas por meio de uma matriz de compatibilidade, onde a melhor avaliada foi selecionada para o desenvolvimento de um protótipo.

### **3.3.3.8 Implementação e testes**

Nesta etapa foram consideradas o desenvolvimento do protótipo e sua avaliação. A construção do protótipo foi feita utilizando os materiais mais próximos do ideal. A avaliação da solução foi feita em duas partes. Na primeira parte foi

utilizado o método Pensando em Voz Alta (NIELSEN, 1993 *apud*. CATECATI *et al.*, 2018), dentro de um ambiente de teste controlado, com o objetivo de entender o processo cognitivo do usuário durante a atividade de uso do produto. Na segunda parte, dois técnicos utilizaram o protótipo por uma semana e em seguida foram submetidos ao Questionário de Avaliação de Usabilidade (GARCIA *et al.*, 2017) para avaliar o desempenho do imobilizador.

### **3.3.4 Demonstração da solução**

Esta etapa é semelhante à “implementação e testes”, presente no Processo Unificado de Biomimética, porém no DSR é preciso demonstrar o artefato gerado, neste caso, o próprio modelo do processo unificado. Contudo, esta demonstração será representada pela relação das ferramentas utilizadas em cada etapa do processo.

### **3.3.5 Avaliação da solução**

A avaliação do artefato gerado pelo Processo Unificado da Biomimética, ocorreu através de dois testes. O primeiro teste foi realizado dentro de um ambiente de teste controlado, simulando o processo radiográfico pediátrico. O segundo teste foi feito em situações reais de uso, durante o período de uma semana. A avaliação do processo unificado foi diretamente relacionada ao desempenho do produto desenvolvido, ou seja, a eficácia do produto está relacionada à qualidade do Processo Unificado da Biomimética.

### **3.3.6 Comunicação dos resultados**

A apresentação dos resultados adquiridos neste trabalho para a comunidade de interesse se dará por meio da publicação de um artigo científico. As informações contidas no Apêndice A, relacionadas a análise bibliométrica e sistêmica, já se mostram publicadas, assim contribuindo ao estado da arte relacionada a biomimética.

## **4 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Este capítulo apresenta os resultados obtidos durante a realização das etapas do DSR. Cada etapa foi descrita individualmente, de maneira a detalhar os resultados e proporcionar seu melhor entendimento.

### **4.1 IDENTIFICAÇÃO DO PROBLEMA**

A identificação do problema foi realizada por meio de um levantamento bibliográfico utilizando a metodologia ProKnow-C (ENSSLIN *et al.*, 2010). Este método proporcionou a criação de um portfólio bibliográfico composto por um total de 45 artigos. Destes artigos, 17 foram considerados indispensáveis, tendo sua leitura sido feita na íntegra. Estes artigos foram avaliados por meio de uma análise sistêmica, que permitiu identificar as oportunidades e lacunas de pesquisas disponíveis. Maiores detalhes deste processo estão disponíveis no Apêndice A.

Por meio do levantamento bibliográfico foi possível reconhecer que apesar da popularização da biomimética, não há métodos ou processos padronizados para a tradução de conhecimento entre os sistemas natural e de engenharia. A ausência deste padrão incentivou o desenvolvimento de cada vez mais processos e ferramentas, porém a avaliação destes modelos acabou por ser negligenciada. Desta forma, criou-se um cenário composto por muitos modelos de biomimética, entretanto, com poucas validações.

Sendo assim, como resultado desta etapa, foi possível entender que há uma saturação de métodos e ferramentas na área de biomimética, e que focar na otimização, avaliação ou integração dos processos é uma boa oportunidade de pesquisa.

### **4.2 DEFINIÇÃO DOS OBJETIVOS DA SOLUÇÃO**

Todos os objetivos específicos propostos foram cumpridos ao longo do trabalho. O primeiro deles foi a caracterização dos principais métodos e ferramentas. Os métodos dividem-se em duas abordagens: direcionado ao problema e baseado em soluções. Ao todo foram identificados 13 processos de biomimética (Item 2.5),

todos direcionados ao problema. As ferramentas por sua vez, são divididas em 4 classes: análise; abstração; transferência; e aplicação. Foram identificadas um total de 26 ferramentas, sendo cinco delas, adicionadas durante a realização do trabalho, pelo pesquisador.

A correlação entre todas as ferramentas disponíveis e as etapas do Processo Unificado da Biomimética pode ser conferida na seção 2.10, no Quadro 2. Enquanto isso, a relação entre as ferramentas utilizadas em cada etapa, neste trabalho, pode ser encontrada no item 3.3.3, Quadro 4.

Durante a realização do trabalho percebeu-se que um dos fatores mais importantes para compreender a tradução das informações entre os sistemas é o uso da analogia. Ela se torna responsável pela abstração dos elementos existentes que permite criar uma relação entre os sistemas. Estas características estão relacionadas a etapa de geração de alternativas, assim, o Processo Unificado de Biomimética se encaixa nas etapas de conceituação do PDP.

Por fim, cada ferramenta utilizada propôs soluções satisfatórias, com exceção da ferramenta Análise da Tarefa, que exigiu a busca por ferramentas alternativas. Assim foram propostas duas novas ferramentas, a busca de anterioridade e o questionário de solução inovadora em seu lugar.

### **4.3 PROJETO DE DESENVOLVIMENTO DA SOLUÇÃO**

Esta etapa consiste no desenvolvimento do Processo Unificado da Biomimética proposto por Fayemi *et al.* (2017), para sua eventual avaliação. Este processo é composto por oito etapas como foi apresentado no item 2.6. A seguir o resultado de cada etapa é apresentado. Maiores detalhes acerca do procedimento realizado em cada ferramenta encontram-se no Apêndice B.

#### **4.3.1 Análise do problema**

Após um levantamento teórico acerca das áreas carentes pelo desenvolvimento de produtos e do contato com profissionais da área de saúde, optou-se por aplicar o Processo Unificado de Biomimética na área hospitalar, mais especificamente no setor de radiografia infantil.



A partir desta decisão, a análise do problema foi dividida em duas partes, primeiro foi utilizado o Questionário da Situação de Inovação (QSI) para formalizar e reformular o problema. A segunda parte é responsável por reconhecer o potencial de inovação dentro da área do problema, por meio da Busca de Anterioridade e a Curva S.

#### **4.3.1.1 Questionário da Situação de Inovação (QSI)**

A falta de informações disponíveis sobre a ferramenta Análise da Tarefa exigiu a busca por uma alternativa para avaliar e analisar o problema. Desta forma, a ferramenta Questionário da Situação de Inovação, foi escolhida. Este questionário permitiu entender a função do sistema relacionado ao problema estudado, seu funcionamento, aprimoramentos, inconvenientes, motivos e limitações. Como resultado, foi definido os requisitos do projeto e o conceito guia para a busca de novas informações, bem como a geração de alternativas. O questionário e seus resultados podem ser conferidos detalhadamente no Apêndice B.

#### **4.3.1.2 Busca de anterioridade**

Esta ferramenta diz respeito a busca por patentes relacionadas ao problema analisado. Desta forma, primeiro é preciso identificar a classe de patente que melhor se alinha ao problema. A pesquisas sobre o tema de imobilização infantil, retornou como resposta o artigo de Ballesteros *et al.* (2014). Este artigo, sobre segurança médica, apresentou uma série de produtos e patentes relacionados à imobilização de pacientes. Assim, foi possível descobrir qual classe de patente melhor se enquadrava ao problema. Duas classes foram relacionadas ao problema inicial, como pode visto no Quadro 5. Contudo, a classificação A61F 5/37 foi selecionada como mais relevante e utilizada para a busca de patentes.

**Quadro 5 – Classes de patentes**

Classificação	Classe	Descrição	Grupo
A61F 5/37	A61F	Filtros implantáveis nos vasos sanguíneos; próteses; Dispositivos que proporcionam permeabilidade ou impedem o colapso de estruturas tubulares do corpo; Aparelhos ortopédicos, de enfermagem ou contraceptivos; Fomento; Tratamento ou proteção de olhos ou ouvidos; Bandagens, absorventes; Kit de primeiros socorros.	5/37: Aparelhos que restringem o movimento do corpo ou parte dele; Camisas de força.
A47D 13/02	A47D	Equipamentos adaptados especialmente para crianças.	13/02: Portadores de bebê; Carrinhos.

Fonte: Autor

Ao definir as classes, teve-se início a busca por patentes no banco de dados do Departamento de Patentes dos Estados Unidos (do original *United States Patent and Trademark Office* - USPTO) e no banco de patentes do Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI). O USPTO é dividido em duas categorias, PatFT (*Patent Full-Text Database*) e AppFT (*Application Full-Text Database*), sendo que o primeiro diz respeito às patentes já conferidas desde 1976, enquanto o segundo engloba as patentes que se encontram em processo de homologação, que se iniciam no ano de 2001.

Apesar do banco de dados disponibilizar uma grande quantidade de patentes, não são todas que se encontram disponíveis para *download*. Desta forma, apenas as patentes disponíveis para *download* foram analisadas. Dentre estas patentes, somente as mais relevantes ao problema foram selecionadas. Os resultados da busca podem ser conferidos no Tabela 1.

**Tabela 1 - Relação das patentes A61F5/37**

Banco de dados	Total de patentes (Banco de dados)	Total de patentes ( <i>downloads</i> )	Patentes relevantes
AppFT	165	165	4
PatFt	123	123	24
INPI	49	35	3

Fonte: Autor

As patentes relevantes foram então analisadas e divididas em quatro grupos de acordo com suas principais características. Foram elas: Cama, para patentes que envolviam superfície de repouso horizontal; Cintas, para patentes que envolvessem o uso de faixas; Pranchas/Maca, para patentes com uso de tala ou para transporte; e vestimentas, para patentes que vestissem o usuário ou fossem majoritariamente feitas de tecido. A relação é vista no Tabela 2.

**Tabela 2 - Relação das patentes e seus grupos**

<b>Grupos</b>	<b>Quantidade</b>
Cama	6
Cintas	4
Pranchas/Macas	7
Vestimentas	14

**Fonte: Autor**

Como resultado desta busca de anterioridade, foi possível inferir que ainda há diversas possibilidades de invenções a serem realizadas na área, uma vez que nenhuma das patentes mostrou-se como uma solução adequada ao problema analisado.

#### **4.3.1.3 Curva S**

Com base nos conceitos apresentados por Terninko *et al.* (1998), podemos considerar que os projetos de imobilização infantil para procedimentos radiográficos ainda se encontram na etapa da infância dentro da Curva S. As patentes analisadas apresentam características comuns a esta etapa como sistemas primitivos, ineficiência e o fato do problema não estar totalmente solucionado. Porém, mesmo assim, sua função é de certa forma exercida. Desta forma, há a possibilidade do desenvolvimento de novas ideias para a área.

#### **4.3.1.4 Conclusão da etapa de análise do problema**

O uso do QSI definiu a “imobilização infantil” como função principal a ser exercida, além de definir requisitos como o uso de materiais radiotransparente, ergonomia e facilidade de uso. Questões psicológicas do paciente também precisam

ser consideradas. Ademais, foi possível identificar quatro tipos de pessoas envolvidas no problema: o técnico, que irá manejar o produto; a criança, que irá utilizá-lo; o pai, que vai avaliar o produto; e a cúpula administrativa, que vai comprar o equipamento.

As patentes relacionadas ao problema se mostraram em um estágio inicial de desenvolvimento, que apesar de possuir diversas limitações e falhas, ainda conseguem de certa forma exercer sua função. Sendo assim, é possível a criação de novas ideias dentro desta área.

#### 4.3.2 Abstração do problema técnico

A aplicação da ferramenta “5 Porquês” exigiu o uso de dois grupos de questionamentos, o primeiro contendo as eventuais 5 perguntas e um segundo contendo dois novos questionamentos, uma vez que a resposta final não permitia uma intervenção por parte dos pesquisadores. Nesta etapa, as seguintes perguntas foram realizadas (Quadro 6).

**Quadro 6 - 5 Porquês**

<b>Pergunta</b>	<b>Resposta</b>
1. Por que o exame não é bem feito?	Porque a imagem retirada não possui a qualidade necessária.
2. Por que a imagem não possui qualidade?	Porque o paciente não manteve o posicionamento correto.
3. Por que o paciente não se manteve posicionamento corretamente?	Porque ele não parava de se movimentar.
4. Por que ele se movimentava?	Porque ele se encontrava abalado física e psicologicamente.
5. Por que ele estava abalado?	Porque sofreu algum tipo de trauma.

**Fonte: Autor**

Ao fim das perguntas, o trauma do paciente foi definido como o problema raiz, porém, não há como interferir neste evento. Assim, outra pergunta foi formulada a partir do “por que” número quatro (Quadro 7).

**Quadro 7 - Novas perguntas**

Pergunta	Resposta
4. Por que ele se movimentava?	Porque não há como imobilizar o paciente.
5. Por que não há como imobilizá-lo?	Porque não há equipamentos/ materiais eficazes disponíveis.

Fonte: Autor

Desta forma, a inexistência de equipamentos de imobilização eficazes, para a realização dos procedimentos radiográficos pediátricos, foi considerada como a fonte do problema da má qualidade da imagem.

### 4.3.3 Transposição para a biologia

A transposição para o sistema natural ocorreu por meio do uso da ferramenta Taxonomia. Neste trabalho, esta ferramenta precisou traduzir a capacidade de imobilizar, de forma parcial, o corpo humano infantil, uma vez que foi definido como o problema raiz para a estratégia biológica. O uso desta ferramenta ocorreu por meio de três abordagens distintas: seleção de verbos que representem o problema; definição de grupos com conceito semelhante ao problema; e por meio de uma entrevista com um profissional biólogo.

Os verbos selecionados para descrever a função a ser exercida e os termos biológicos, relacionados ao problema, advindos da entrevista com o biólogo podem ser conferidos no Quadro 8.

**Quadro 8 - Abordagens: Verbo e Entrevista**

Abordagem	Termos relevantes
Verbos	Imobilizar ( <i>Immobilize</i> ); prender ( <i>to hold</i> ); Capturar ( <i>Capture</i> ).
Entrevista com biólogo	Construção, musculatura de aves de rapina, esqueletos hidrostáticos, anêmonas e plantas escandentes.

Fonte: Autor

Para a abordagem dos grupos foi necessário utilizar a tabela “*Biomimicry Taxonomy*” (Anexo A), fornecida pelo *Biomimicry Institute*. Através desta tabela foi possível traçar um caminho que representa a função desejada. Os caminhos selecionados estão apresentados no Quadro 9.

Quadro 9 - Grupos da Taxonomia

	<b>Caminho 1</b>	<b>Caminho 2</b>	<b>Caminho 3</b>
<b>Grupo</b>	Mover ou ficar parado (Move or stay put)	Mover ou ficar parado (Move or stay put)	Proteger de dano físico (Protect from physical harm)
<b>Subgrupo</b>	Anexar (Attach)	Anexar (Attach)	Evitar falha estrutural (Prevent from structural failure)
<b>Função</b>	Temporário (Temporality)	Permanente (Permanently)	Impedir dobra (Prevent from Buckling)

Fonte: Autor

#### 4.3.3.1 Conclusão da etapa transposição para biologia

A realização desta etapa dá início ao processo multidisciplinar entre a engenharia e biologia, por isso há uma grande entrada de informações desconhecidas que traz grande desafio ao designer/ engenheiro. Contudo, a ferramenta de Taxonomia é de fácil acesso e entendimento. O guia proposto pela *Biomimicry Institute* aparenta ser limitado, porém, ainda é possível encontrar analogias entre os domínios técnico e natural abstraído as características que se buscam.

Porém, apesar de todas estas informações de entradas obtidas pelos verbos e grupos, os resultados adquiridos na etapa seguinte não foram satisfatórios, exigindo que esta etapa 3 fosse refeita. Assim, outra abordagem foi necessária, a entrevista com o profissional biólogo. As informações adquiridas na entrevista foram de grande importância para traduzir a função em estratégia biológica. Isto só foi possível, devido a iteração proporcionada pelo Processo Unificado da Biomimética entre as etapas.

#### 4.3.4 Identificação de potenciais modelos biológicos

A pesquisa no *software AskNature*, foi realizada de duas maneiras, por meio de verbos palavras-chave e através da seleção de grupos da Taxonomia. No Quadro 10 e Quadro 11 encontram-se as estratégias biológicas, mais relevantes presentes

no banco de dados, relacionadas a abordagem de seleção de verbos e de grupos respectivamente.

**Quadro 10 – Abordagem 1 - Verbos**

<b>Estratégia</b>	<b>Elemento natural</b>	<b>Verbo</b>	<b>Descrição</b>
Tufos de pelo imobilizam formigas.	Diplópoda	Imobilizar	Tufos de cerdas imobilizam predadores pois apresentam cerdas com ganchos que promovem o emaranhamento.
Superfície da folha aprisiona percevejos.	Folha de feijão	Imobilizar	As estruturas de tricoma na superfície de folhas de feijão capturam os percevejos por suas pontas rígidas.
Pelos pegajosos capturam presas	Aranhas	Prender	Para facilitar a caça, aranhas possuem escópulas em suas pernas, que permitem o aracnídeo prender e segurar a presa de forma eficiente.
Cauda preênsil	Cavalo marinho	Prender	A cauda do cavalo marinho possui grande força e flexibilidade graças a sua forma e rigidez das placas dérmicas e arranjo muscular.
Tentáculos prendem insetos	Drosera	Capturar	Esta planta carnívora captura sua presa utilizando tentáculos que possuem cabeças sensíveis ao toque, ao sentir um movimento as células se contraem, prendendo a presa.

Fonte: Autor

**Quadro 11 – Abordagem 2 - Grupos**

<b>Elemento natural</b>	<b>Grupo</b>	<b>Subgrupo</b>	<b>Função</b>	<b>Descrição</b>
Musaranho	Mover ou ficar parado ( <i>Move or stay put</i> )	Anexar ( <i>Attach</i> )	Temporário ( <i>Temporality</i> )	Sua espinha, vertebra lateral, ventral e dorsal são interligadas.
Hera inglesa	Mover ou ficar parado ( <i>Move or stay put</i> )	Anexar ( <i>Attach</i> )	Permanente ( <i>Permanently</i> )	A hera inglesa prende-se a qualquer superfície utilizando uma cola natural e pelos radiculares que mudam de forma.
Folhas	Proteger de dano físico ( <i>Protect from physical harm</i> )	Evitar falha estrutural ( <i>Prevent from structural failure</i> )	Impedir dobra ( <i>Prevent from Buckling</i> )	Suas estruturas resistem à deformações

Fonte: Autor

Apesar da grande quantidade de estratégias biológicas, os resultados não foram satisfatórios. Assim, uma entrevista com um profissional biólogo se fez necessária. Essa conversa apresentou diversos novos termos, como musculatura flexora de aves de rapina, esqueletos hidrostáticos, plantas escandentes entre outros. Em especial, o termo “construção” foi considerado o mais relevante. Este é um método de captura utilizado por serpentes para alimentar-se de suas presas. Segundo o biólogo, a construção seria o que mais se aproximaria das características procuradas para o projeto.

#### **4.3.4.1 Conclusão da etapa de identificação dos potenciais modelos biológicos**

A utilização do *AskNature* permitiu identificar diversas estratégias biológicas relevantes ao projeto, porém, as expectativas não foram cumpridas. Muitas informações apresentadas eram rasas e com pouco teor técnico, apresentando a informação biológica de maneira genérica. Entretanto, o conhecimento adquirido pelo *AskNature* foi de extrema importância para facilitar o entendimento entre os profissionais de áreas distintas, ajudando na entrevista com um especialista do sistema natural. A conversa com o biólogo possibilitou um entendimento mais direto das estratégias indicadas pela ferramenta, além disso, apresentou novas estratégias não reveladas pelo *AskNature*, como as garras das aves e a construção da cobra.

Dentre as estratégias biológicas descobertas nesta etapa, foram consideradas com maior potencial para o desenvolvimento do projeto a folha de feijão preto, a drosera, as folhas e a construção da cobra.

#### **4.3.5 Seleção dos modelos biológicos**

A ferramenta Gráfico T, utilizada nesta etapa, exige o desenvolvimento de um modelo 4-Box, assim, foi preciso formular o problema de acordo esta ferramenta. O resultado pode ser conferido no Quadro 12.



**Quadro 12 - Modelo 4-Box do problema**

<b>Ambiente operacional</b>	<b>Função</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hospital</li> <li>• Ambiente esterilizado</li> <li>• Tempo de operação rápido</li> <li>• Crianças</li> <li>• Presença/ausência dos pais</li> <li>• Máquina raio x</li> <li>• Local compacto</li> <li>• Ambiente frio/fresco</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Imobilizar</li> <li>• Restringir movimento</li> <li>• Permitir qualidade da imagem</li> </ul>
<b>Especificações</b>	<b>Crítérios de desempenho</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Material rádio transparente</li> <li>• Ergonômico</li> <li>• Intuitivo</li> <li>• Baixo custo</li> <li>• Poucos componentes</li> <li>• Agradável a criança</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Usabilidade</li> <li>• Eficácia</li> <li>• Estética</li> <li>• Conforto</li> </ul>

Fonte: Autor

Definido o modelo 4-Box correspondente ao problema a ser analisado, o Gráfico em T pode ser confeccionado. A seguir, são apresentados os Gráficos T (

Quadro 13, Quadro 14, Quadro 15 e Quadro 16) que representam cada um dos modelos biológicos considerados relevantes ao projeto, de acordo com a etapa anterior. Os conceitos utilizados para comparação na coluna central foram: “igual” (verde); “similar” (amarelo); “diferente” (vermelho) ou “não se aplica” (cinza).

#### **4.3.5.1 Conclusão da etapa seleção dos modelos biológicos**

Após a avaliação das estratégias biológicas pelo Gráfico em T, foi possível inferir que a constrição das cobras apresenta um nível de semelhança satisfatório com o problema analisado.

A aplicação desta ferramenta de análise permitiu avaliar qualitativamente e de forma eficiente as estratégias biológicas, além oferecer uma representação visual para um melhor entendimento. Esta ferramenta se mostrou interessante, de fácil entendimento e com resultados rápidos. Contudo, seu uso é dependente de outra ferramenta, a 4-Box, classificada como uma ferramenta de abstração. Apesar disto, devido aos resultados positivos do Gráfico em T, é aconselhável o uso do modelo 4-Box ainda durante a etapa 2, no início do processo.

Quadro 13 - Gráfico em T - Folhas de feijão preto

<b>PROBLEMA DESIGN</b>		<b>ANALOGIA BIOLÓGICA</b>
<i>Imobilização infantil</i>		<i>Folhas de feijão preto</i>
<b>Ambiente operacional</b>		<b>Ambiente Operacional</b>
Ambiente interno (hospital)		Ambiente externo
Ambiente frio/ fresco		Fresco/ úmido
Local compacto		Local aberto
Espaço cheio de outros elementos		Espaço com outras plantas
Tempo de operação: rápido		Tempo de operação: rápido
Paciente infantil		Insetos
<b>Funções</b>		<b>Funções</b>
Imobilizar		Capturar o inseto
Restringir movimentos		Impedir movimento/ procriação
Permitir boa qualidade da imagem		X
<b>Especificações</b>		<b>Especificações</b>
Material radio transparente		Material vegetal
Poucos componentes		Sistema pouco complexo
Baixo custo (monetário)		X
Ergonômico		De acordo com a necessidade
Fácil uso (intuitivo)		Atividade passiva
<b>CrITÉrios de Desempenho</b>		<b>CrITÉrios de Desempenho</b>
Estética		Discreto
Eficácia		Previne locomoção e reprodução dos insetos
Usabilidade		Passivo

Fonte: Autor

Quadro 14 - Gráfico em T - Drosera

<b>PROBLEMA DESIGN</b>		<b>ANALOGIA BIOLÓGICA</b>
<i>Imobilização infantil</i>		<i>Drosera</i>
<b>Ambiente operacional</b>		<b>Ambiente Operacional</b>
Ambiente interno (hospital)		Ambiente externo/ interno
Ambiente frio/ fresco		Ambientes úmidos
Local compacto		Local aberto
Espaço cheio de outros elementos		Plantas ao redor (normalmente isoladas)
Tempo de operação: rápido		Tempo de operação rápido/ lento
Paciente infantil		Insetos
<b>Funções</b>		<b>Funções</b>
Imobilizar		Prender presa
Restringir movimentos		Paralisar presa
Permitir boa qualidade da imagem		X
<b>Especificações</b>		<b>Especificações</b>
Material radio transparente		Material vegetal
Poucos componentes		Sistema complexo (sensibilidade, hormônios, contração)
Baixo custo (monetário)		Alto custo (energético)
Ergonômico		Eficaz até certo tamanho
Fácil uso (intuitivo)		Sensibilidade ao toque
<b>CrITÉRIOS DE DESEMPENHO</b>		<b>CrITÉRIOS DE DESEMPENHO</b>
Estética		Padrões naturais chamativos (cores, cheiro)
Eficácia		Eficaz
Usabilidade		Funcional

Fonte: Autor

Quadro 15 - Gráfico em T - Folhas

<b>PROBLEMA DESIGN</b>		<b>ANALOGIA BIOLÓGICA</b>
<i>Imobilização infantil</i>		<i>Folhas</i>
<b>Ambiente operacional</b>		<b>Ambiente Operacional</b>
Ambiente interno (hospital)		Ambiente externo
Ambiente frio/ fresco		Ambiente úmido/ fresco
Local compacto		Ambiente externo
Espaço cheio de outros elementos		A quantidade de folhas varia, tornando um local denso ou não
Tempo de operação: rápido		Operação passiva (constante)
Paciente infantil		X
<b>Funções</b>		<b>Funções</b>
Imobilizar		Impede a ocorrência de deformações
Restringir movimentos		Restringe a flexão em determinado sentido
Permitir boa qualidade da imagem		X
<b>Especificações</b>		<b>Especificações</b>
Material radio transparente		Material vegetal
Poucos componentes		As veias possuem formato em "v"
Baixo custo (monetário)		X
Ergonômico		Tamanho adequado para a quantidade de energia necessária
Fácil uso (intuitivo)		Atividade passiva
<b>Crítérios de Desempenho</b>		<b>Crítérios de Desempenho</b>
Estética		Harmonia com o ambiente
Eficácia		Evitar a dobra/ quebra das folhas
Usabilidade		Atividade passiva (constante)

Fonte: Autor

Quadro 16 - Gráfico em T - Construção da cobra

<b>PROBLEMA DESIGN</b>		<b>ANALOGIA BIOLÓGICA</b>
<i>Imobilização</i>		<i>Construção da cobra</i>
<b>Ambiente operacional</b>		<b>Ambiente Operacional</b>
Ambiente interno (hospital)		Ambiente externo
Ambiente frio/ fresco		Diversos habitats
Local compacto		Qualquer local
Espaço cheio de outros elementos		Local com elementos naturais (folhas, pedras)
Tempo de operação: rápido		Tempo de operação: rápido
Paciente infantil		Presas que revidam
<b>Funções</b>		<b>Funções</b>
Imobilizar		Enrolar
Restringir movimentos		Mordida/ parada circulatória
Permitir boa qualidade da imagem		X
<b>Especificações</b>		<b>Especificações</b>
Material radio transparente		Corpo orgânico
Poucos componentes		Atividade com poucas etapas (morde e enrolar)
Baixo custo (monetário)		Custo enérgico moderado
Ergonômico		Adaptação ao corpo da presa
Fácil uso (intuitivo)		Instintivo
<b>Crítérios de Desempenho</b>		<b>Crítérios de Desempenho</b>
Estética		Camuflagem no ambiente
Eficácia		Eficaz
Usabilidade		Fácil de ser aplicado

Fonte: Autor

### 4.3.6 Abstração do modelo biológico

Esta etapa utilizou a ferramenta Modelagem Biológica, seu desenvolvimento foi realizado seguindo a metodologia apresentada por Nagel *et al.* (2010). Assim, a abstração da estratégia biológica foi composta por seis etapas. Os resultados obtidos em cada uma destas etapas são conferidos nos itens que se seguem.

#### 4.3.6.1 Definir a fonte de informação

Além das informações encontradas ao longo das pesquisas iniciais, por meio da ferramenta *AskNature*, outros artigos e capítulos de livros (Quadro 17), recomendados pelo biólogo, foram utilizados como referência para o entendimento da estratégia biológica da constrição da cobra.

**Quadro 17 - Fontes de informação**

<b>Autor</b>	<b>Título</b>	<b>Ano</b>
Brad R. Moon/ Rita S. Mehta	<i>Constriction strenght in snakes</i>	2007
Richard Shine/ Terry Schwaner	<i>Prey constriction by venomous snakes: A review, and new data on australian species</i>	1985
Daniel E. Willard	<i>Constriction methods of snakes</i>	1977
Scott M. Boback et al.	<i>Snake constriction rapidly induces circulatory arrest in rats</i>	2015

**Fonte: Autor**

#### 4.3.6.2 Entender o funcionamento do sistema biológico

Dos diferentes tipos de subjugação, dois deles se destacaram na evolução dos ofídios, a constrição e o uso de venenos. Estudos indicam que não há uma tendência exclusiva entre as espécies para o uso de cada abordagem de imobilização, porém, a constrição é mais comum ao grupo das serpentes basais, não peçonhentas, do que as cobras venenosas (SHINE e SCHWANNER, 1985). A utilização da constrição por cobras peçonhentas (venenosas) podem ocorrer por três motivos: baixa toxicidade no veneno; espécies com presas curtas, que dificultam a penetração nas vítimas; e venenos com ação muito lenta (SHINE e SCHWANNER, 1985).

A maioria das cobras constritoras iniciam o processo de constrição ancorando suas caudas preênsas em objetos fixos durante o ataque, para evitar que a presa fuja ou a cobra seja levada (WILLARD, 1977). Em seguida, ocorre a mordida. As cobras constritoras apresentam dentes inteiriços, não especializados a inoculação, e diferentemente das cobras peçonhentas seus dentes não são ocos, nem apresentam sucos. Seus dentes são imóveis com formato de agulhas recurvadas, para evitar que a presa fuja, e localizam-se na parte frontal de sua boca. Após abocanhar a presa, a cobra puxa o animal para o centro do seu corpo, enrolando-o no corpo da presa e dando início à constrição (CRITTER SQUAD).

Durantes anos acreditou-se que a constrição das cobras matava a presa por meio de sufocamento (BOBACK *et al.* 2015). Contudo, Moon e Mehta (2007) definem três fatores para a causa da morte por constrição. Pressões baixas mantidas por longos períodos causam sufocamento, pressões grandes exercidas por períodos curtos causam parada circulatória e impedem o fluxo de sangue pelo corpo, por fim, pressões muito altas por curtos períodos podem causar o deslocamento cervical, paralisando ou matando animais de grande porte. Entre as cobras constritoras o comum é a aplicação de grandes pressões por períodos curtos, matando a presa por parada circulatória. Como consequência, o sufocamento ou deslocamento espinhal pode ocorrer.

A cobra envolve a presa a partir da parte superior, aplicando duas ou mais voltas sob o tórax do animal, comprimindo de forma intermitente (de acordo com a respiração) seus órgãos vitais o que permite monitorar os batimentos cardíacos da vítima e cessar a constrição quando detectada a morte da presa (BOBACK *et al.* 2015). Este rápido aperto faz a pressão arterial diminuir e os batimentos cardíacos acelerarem. Além disso, o fluxo sanguíneo é interrompido impedindo o abastecimento de sangue ao cérebro. Esta falta de oxigênio, chamada de isquemia, mata as células dos tecidos que compõem o cérebro, fígado e coração. Este processo é rápido e ocorre nos primeiros 30 segundos da constrição (BOBACK *et al.* 2015).

É importante notar que o comportamento da constrição está relacionado à área de contato entre a cobra e a presa, ou seja fatores como o tamanho (diâmetro) e o número de voltas feitas afeta diretamente a eficiência do processo. Cobras mais grossas ou que realizam mais voltas conseguem imobilizar e subjugar presas maiores (MOON e MEHTA, 2007).

#### **4.3.6.3 Definir a questão de design**

Ao tomar conhecimento sobre a estratégia biológica, foi possível formular a questão de design pelo ponto de vista biológico. Assim, a questão a ser retratada relaciona-se à respeito do processo de imobilização presente na estratégia biológica da constrição. Contudo, este processo precisa ser adaptado de forma que ocorra uma imobilização temporária e sem causar efeitos colaterais ao elemento imobilizado.

#### **4.3.6.4 Definir a categoria biológica**

Ao comparar as características presentes na estratégia biológica, constatou-se a constrição diz respeito a categoria de comportamento, uma vez que a cobra, apesar de nascer com noções de caça, precisa aprender efetivamente a caçar. Percebe-se esta relação quando Moon e Mehta (2007) afirmam que entre outros fatores, a experiência da cobra influencia na prática da constrição. Por fim, a estratégia condiz com o instinto de sustentabilidade, pois está diretamente ligada a alimentação do animal.

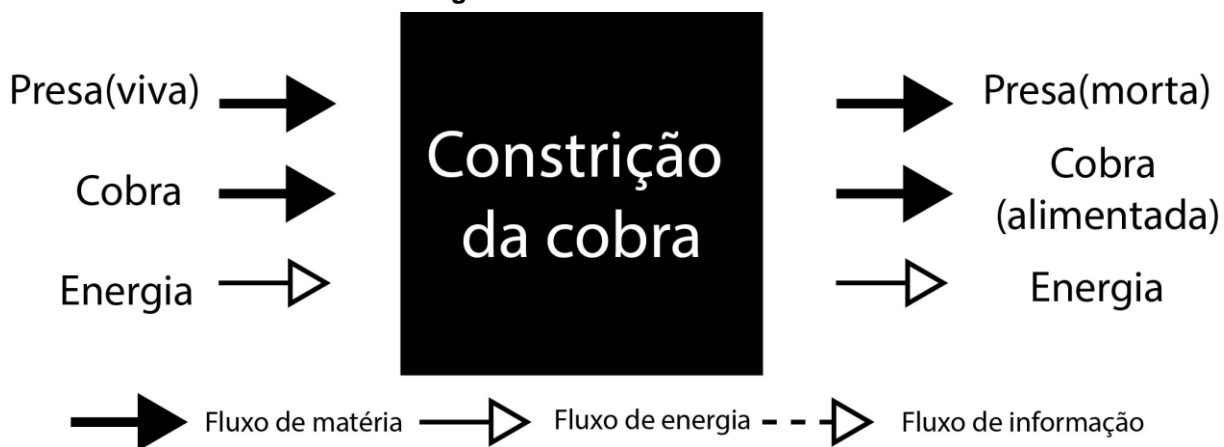
#### **4.3.6.5 Definir a escala biológica**

A definição da escala foi desenvolvida por meio da Modelagem Funcional, com base em Pahl *et al.* (2005). Assim, a primeira atividade desempenhada foi a criação de um modelo Caixa Preta (Figura 8), com o objetivo de evidenciar a função principal da estratégia biológica, bem como seus fluxos de entrada e saída.

Após definir a função principal, a Caixa Preta é aberta, ou seja, o sistema é abstraído para identificar as funções e sub funções, bem como a ordem de seus eventos. A abstração deve ocorrer até que a função seja entendida por completo, entretanto, neste trabalho, foi necessário atingir apenas o segundo nível de granularidade. O modelo que representa a constrição da cobra pode ser conferido na Figura 9.

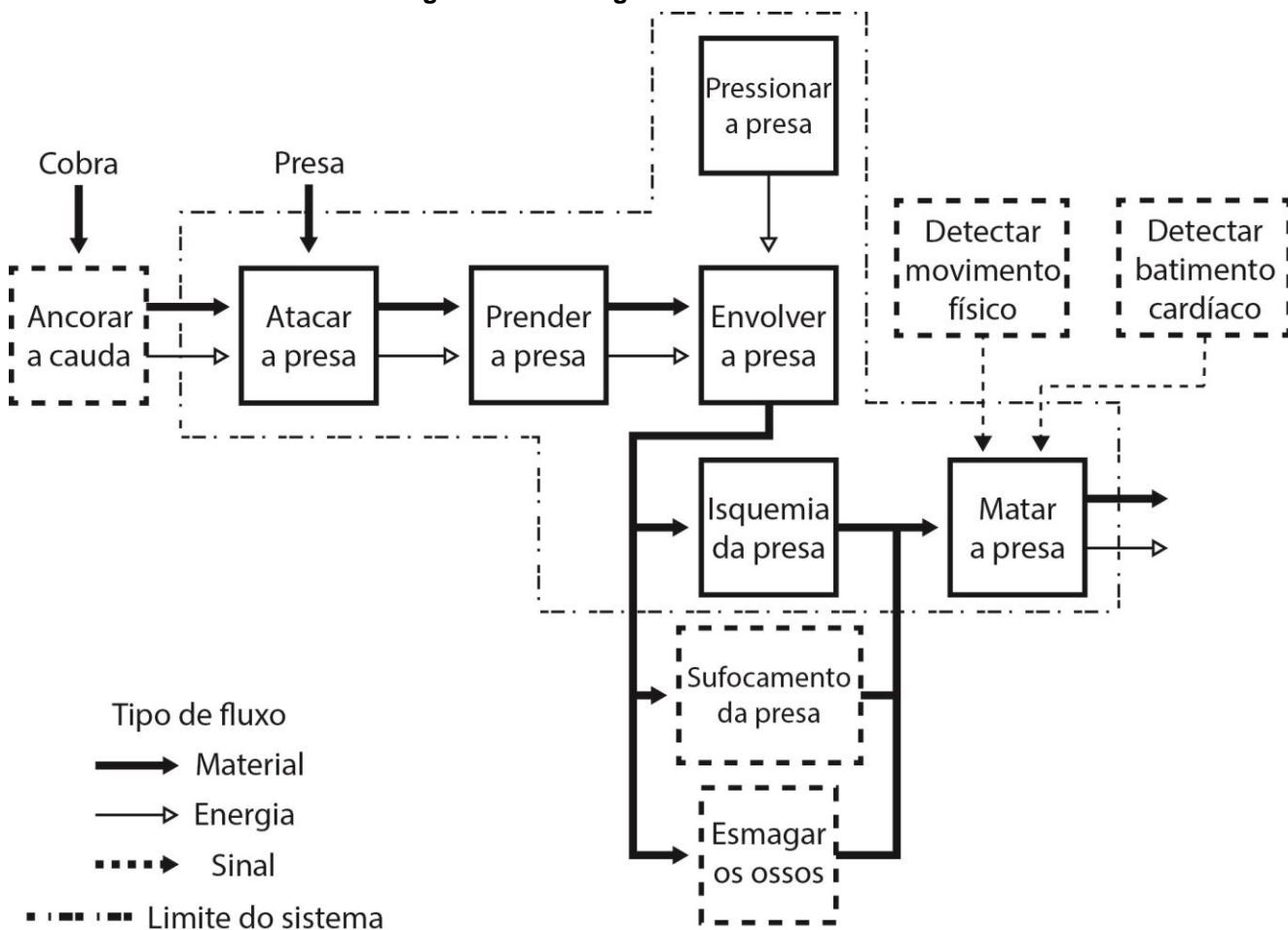


Figura 8 - Modelo Caixa Preta



Fonte: Autor

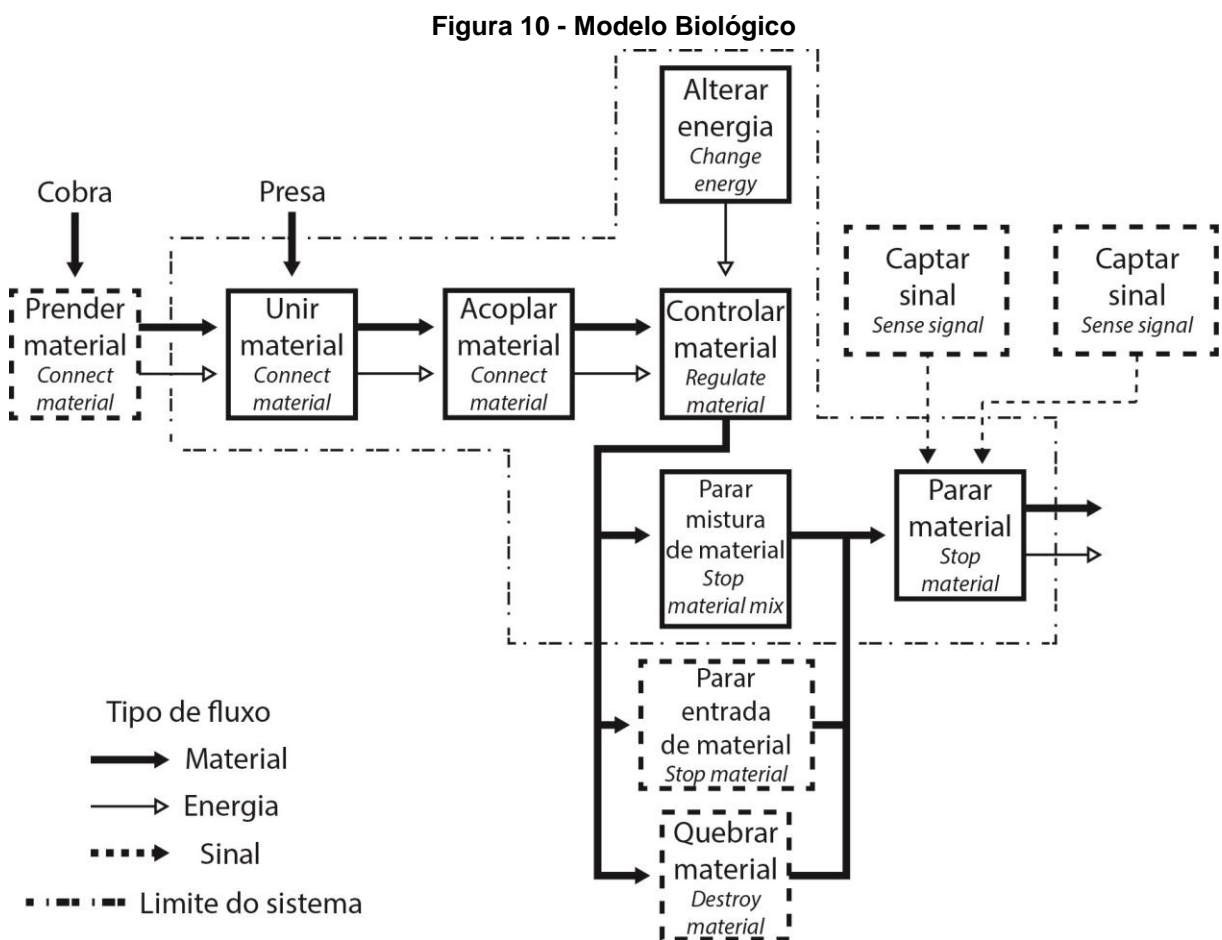
Figura 9 - Modelagem Funcional



Fonte: Autor

#### 4.3.6.6 Desenvolver o modelo biológico

Cada função/ sub função que compõem o sistema da constrição foi traduzido de acordo com o dicionário de termos engenharia-biologia (NAGEL, STONE e MCADAMS, 2010). Devido ao vocabulário português, sinônimos foram utilizados para evitar a repetição de termos e contextualizar a função referida. A Figura 10 representa o modelo biológico traduzido, junto com os termos em inglês presentes no dicionário.



Fonte: Autor

#### 4.3.6.7 Validação do modelo criado

O modelo biológico foi apresentado a um biólogo que concordou com todos os elementos presentes. Segundo ele, o modelo apresentado é uma boa representação geral do processo de constrição utilizado pelas serpentes.

#### 4.3.6.8 Conclusões sobre a adaptação do modelo biológico

Esta etapa é a mais complexa de todo o processo, pois além de exigir domínio sobre o sistema técnico, é preciso pesquisar e entender sobre conhecimentos específicos da área de biologia. Por isso, a presença de um profissional da área biológica é de extrema importância para repassar as informações relevantes e validar o modelo criado. O resultado desta etapa permitiu reconhecer a estratégia biológica por um viés sistemático o que facilita a analogia com o sistema técnico.

#### 4.3.7 Transposição para o sistema técnico

Nesta etapa, foi utilizada a ferramenta análise de recursos para identificar os recursos disponíveis dentro do sistema analisado e assim utilizá-los para o desenvolvimento de soluções. Os recursos foram classificados de acordo com os conceitos apresentados por Savransky (2000), e podem ser conferidos no Quadro 18.

**Quadro 18 - Análise de recursos**

(Continua)

<b>Tipo de recurso</b>	<b>Descrição</b>	<b>Recurso disponível</b>
Natural/ Ambiente	Qualquer material ou campo existente na natureza (ambiente ao redor do sistema técnico).	<b>Ambiente fresco/ gelado.</b>
Tempo	Intervalo de tempo antes, durante e depois presente no processo do sistema técnico, que é total ou parcialmente inutilizado.	<b>Etapa de preparação; posicionar paciente; preparar; ativar máquina; retirar paciente.</b>
Espaço	Posicionamento, localização e ordem dos subsistemas/ supersistema presente no sistema técnico.	<b>Local amplo com espaços vazios; longa distância entre a máquina e o centro de comando.</b>
Sistema	Novas técnicas ou funções obtidas ao mudar a conexão entre subsistemas ou ao adicionar sistemas independentes em um novo supersistema.	<b>Mesa possui periféricos que adicionam funções como, gabaritos e imobilizadores. É possível utilizar faixas e espumas para prender ou trazer conforto ao paciente.</b>
Substância	Qualquer material composto ou produzido pelo sistema técnico e ambiente.	

(Conclusão)

Energia/ campo	Qualquer campo ou fluxo de energia que existe ou é produzido pelo sistema técnico e o ambiente ou que pode substituir subsistemas.	<b>Radiação expelida durante o exame.</b>
Informação	Qualquer sinal que exista ou possa ser produzido pelo sistema técnico.	<b>Sinal luminoso indica o procedimento em andamento, bem como a emissão de radiação.</b>
Função	Capacidade do sistema técnico ou do ambiente em realizar uma função secundária e auxiliar.	<b>Possibilidade de exames em posição vertical. Gerar imagens panorâmicas.</b>

Fonte: Autor

Além destes, outros recursos foram selecionados considerando os requisitos técnicos do sistema como os materiais disponíveis para a confecção, usabilidade, ergonomia e custos (Quadro 19). Todos estes recursos foram então levados em conta para emular as funções presentes no modelo biológico desenvolvido na etapa anterior.

Quadro 19 - Requisitos

Requisitos	Descrição
Material radio transparente	Tecidos ou polímeros
Não haver material entre o paciente e máquina	Materiais presentes na área da imagem prejudica a qualidade da mesma.
Fácil esterilização	Devido a higiene exigida pelo ambiente, a limpeza é fundamental.
Ergonômico	Evitar maiores traumas e proporcionar conforto aos pacientes.
Fácil usabilidade	Fácil treinamento e rapidez no uso do produto pelos técnicos.
Baixo custo econômico	Diminuir riscos econômicos.

Fonte: Autor

Após a definição dos recursos disponíveis, foi desenvolvida uma matriz morfológica (Quadro 20) contendo as soluções propostas para cada função/ sub função do modelo biológico, considerando os recursos identificados. Entretanto, como citado no item 4.3.6.3, o processo precisou ser adaptado para que a imobilização não causasse efeitos colaterais. Por este motivo, as funções “parar mistura de material” foi desconsiderada, por levar a morte da presa. Da mesma maneira, a função “parar material” (morte da presa), foi adaptada para manter a

imobilização. Estas alterações foram feitas de forma que não interferissem na função global. Além disso, a função “unir material”, foi retirada pois apresentava para o sistema técnico as mesmas características da função “acoplar material”.

**Quadro 20 – Matriz morfológica das funções/soluções**

<b>Função \ Solução</b>	<b>Solução 1</b>	<b>Solução 2</b>	<b>Solução 3</b>	<b>Solução 4</b>
Prender material (Prender paciente a mesa)	Prender à mesa por uma faixa	Prender à mesa por ganchos	Segurar o paciente	Imobilizador fixo à mesa
Unir material (Colocar imobilizador)				
Acoplar material (Colocar imobilizador)	Vestir imobilizador	Prender na roupa	Prender no corpo com alça	Encaixar o paciente
Controlar material (Imobilizar paciente)	Colete inflável	Utilizar talas	Enrolar o paciente	Vestimentas
Alterar energia (Travar imobilizador)	Botão	Macho-fêmea	Velcro	Ganchos
Parar mistura de material (Isquemia da presa)				
Parar material (Restringir movimento parcialmente)	Impedir movimento da cabeça	Impedir movimentos dos membros	Impedir movimento dos braços	Impedir movimento geral

**Fonte: Autor**

A combinação entre as soluções propostas para as funções possibilitou a geração de sete combinações relevantes, cujo as soluções eram compatíveis entre si (Quadro 21). As alternativas foram submetidas a um processo de avaliação composto por duas atividades: eliminação e priorização (PAHL *et al.* 2005). Primeiro foram descartadas as alternativas inadequadas. As soluções restantes foram submetidas a um processo de priorização de acordo com cinco critérios: (a) compatibilidade com a tarefa global; (b) satisfação dos requisitos do projeto; (c) capacidade de realização pela empresa; (d) custos aceitáveis; (e) ergonomia e segurança; e (f) pertencerem ao ramo de atividade da empresa.

Desta forma, a alternativa 05 foi descartada por imobilizar o paciente através do uso de vestimentas, esta solução induz a existência de tecidos como obstáculos entre o paciente e a máquina, o que diminui a qualidade da imagem. As alternativas 01,02,03,04,06 e 07 foram submetidas aos critérios de avaliação (Quadro 22) e

aquelas melhores avaliadas (alternativas 01, 03, 04 e 07) foram representadas por ilustrações (Figura 11, Figura 12, Figura 13 e Figura 14).

**Quadro 21 – Soluções disponíveis**

<b>Função</b> <b>Alternativas</b>	<b>Prender paciente à mesa</b>	<b>Colocar imobilizador</b>	<b>Imobilizar paciente</b>	<b>Travar imobilizador</b>	<b>Restrição parcial do movimento</b>
Alternativa 01	Segurar paciente	Prender por alças	Enrolar o paciente	Velcro	Impedir movimento dos braços
Alternativa 02	Segurar paciente	Vestir imobilizador	Colete inflável	Botão	Impedir movimento geral
Alternativa 03	Segurar paciente	Vestir imobilizador	Enrolar o paciente	Velcro	Impedir o movimento geral
Alternativa 04	Segurar paciente	Prender por alças	Utilizar talas	Macho-fêmea	Impedir movimentos dos braços/cabeça
Alternativa 05	Prender à mesa por faixas	Vestir imobilizador	Vestimentas	Ganchos	Impedir movimento dos membros
Alternativa 06	Prender à mesa por faixas	Encaixar no paciente	Utilizar talas	Macho-fêmea	Impedir movimentos dos braços
Alternativa 07	Segurar paciente	Encaixar no paciente	Utilizar talas	Macho-fêmea	Impedir movimento dos braços

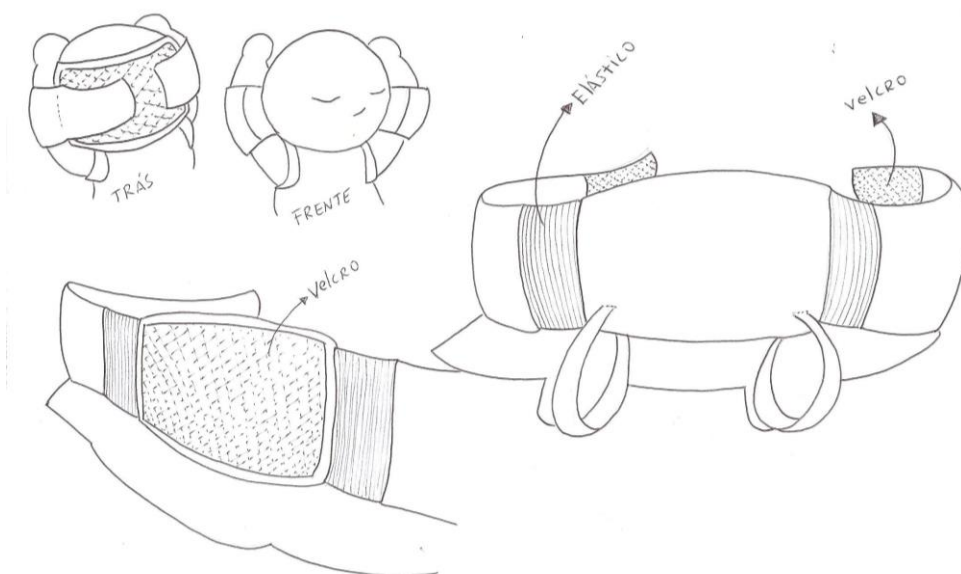
Fonte: Autor

**Quadro 22 – Avaliação das alternativas**

<b>Critérios</b> <b>Alternativas</b>	<b>Compatibilidade de com a função global</b>	<b>Requisitos de projeto</b>	<b>Capacidade da empresa</b>	<b>Custos aceitáveis</b>	<b>Ergonomia e segurança</b>	<b>Ramos de atividade</b>
Alternativa 01	+	+	+	+	+	+
Alternativa 02	+	+	+	-	+	-
Alternativa 03	+	+	+	+	-	+
Alternativa 04	+	+	+	-	+	+
Alternativa 06	+	+	+	-	-	-
Alternativa 07	+	+	+	+	-	+

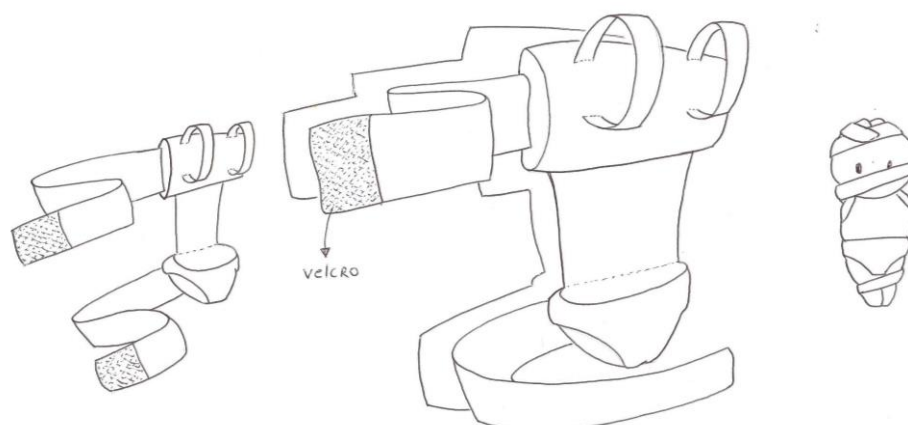
Fonte: Autor

Figura 11 - Alternativa 01



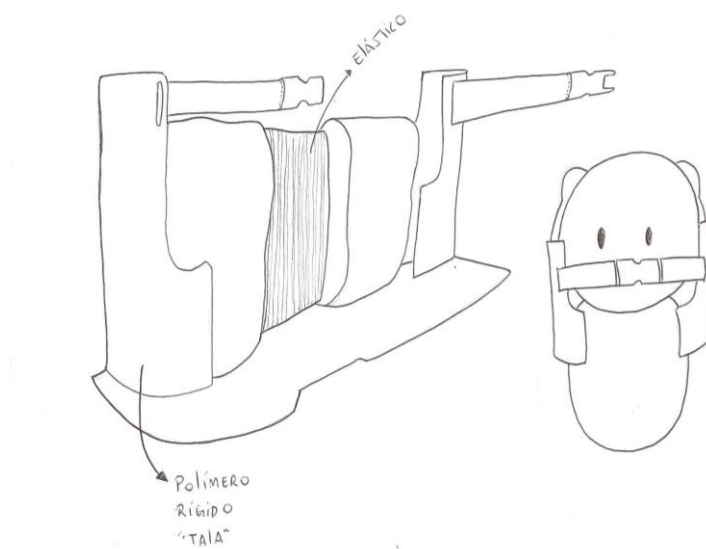
Fonte: Autor

Figura 12 - Alternativa 03



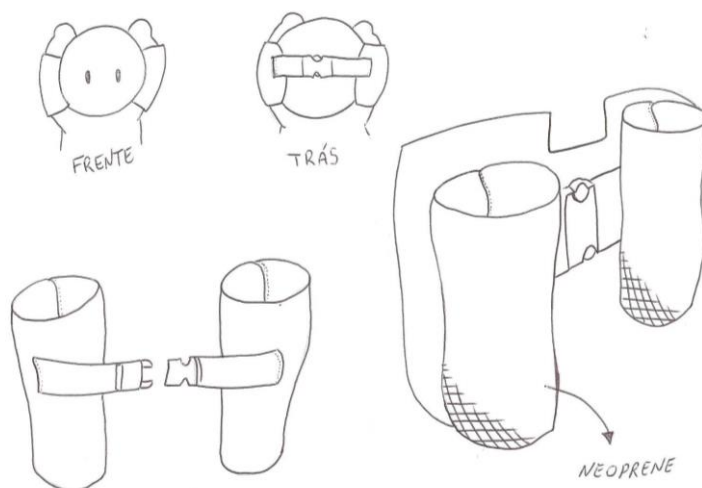
Fonte: Autor

Figura 13 - Alternativa 04



Fonte: Autor

Figura 14 - Alternativa 07

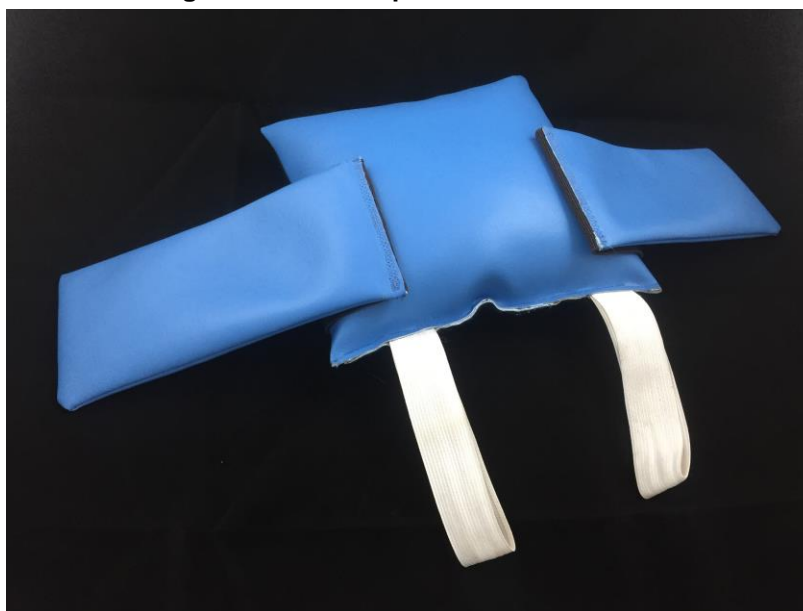


Fonte: Autor



Após a avaliação, a alternativa 01 foi selecionada como a mais adequada para o desenvolvimento do protótipo. A sua construção contou com os seguintes materiais em sua composição: tecido em Corvin, elástico, espuma de baixa densidade e velcro. A simplicidade dos materiais utilizados proporciona um baixo custo de desenvolvimento, bem como a simplicidade para a manufatura. Além de atender todos os requisitos, o produto se assemelha as alternativas já utilizadas (porém ineficazes) pelo hospital, o que pode facilitar sua implementação no cenário hospitalar. As fotos do protótipo podem ser conferidas nas Figura 15, Figura 16, Figura 17 e Figura 18.

**Figura 15 – Protótipo – Parte da frente 1**



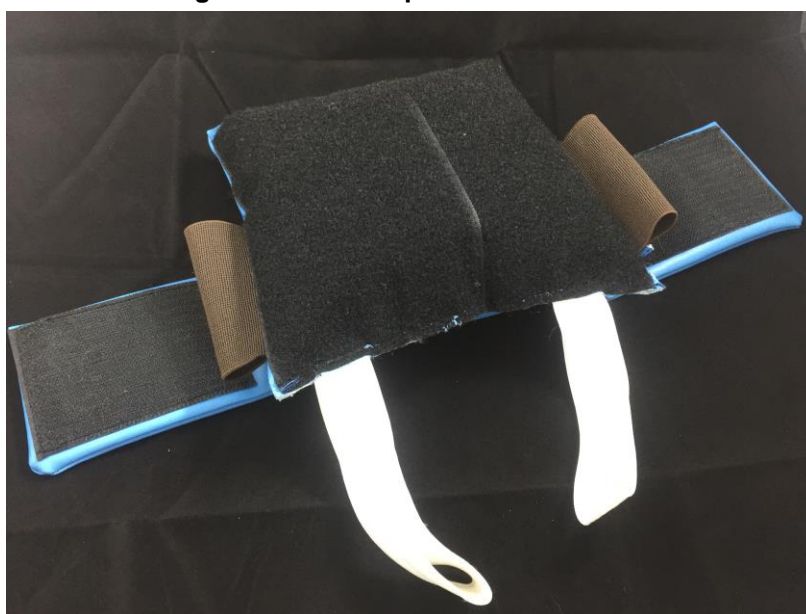
**Fonte: Autor**

**Figura 16 – Protótipo – Parte da frente 2**



**Fonte: Autor**

**Figura 17 – Protótipo – Parte de trás 1**



**Fonte: Autor**

**Figura 18 – Protótipo – Parte de trás 2**

Fonte: Autor

#### **4.3.7.1 Conclusões sobre a transposição para o sistema técnico**

A maior parte das informações relacionadas aos recursos disponíveis no sistema se mostraram presentes na etapa de análise do problema, por meio da ferramenta Questionário da Situação de Inovação. Entretanto, nesta etapa, o objetivo é definir a utilidade destes recursos, relacionando-os com as funções do modelo biológico. Apesar do Processo Unificado da Biomimética não deixar claro, esta etapa concerne a geração de alternativas. Desta forma, foi utilizada uma ferramenta não presente na árvore de utilidades para gerar diferentes alternativas, a matriz morfológica. A seleção das melhores alternativas foi feita através de uma lista de avaliação, onde as alternativas são avaliadas de acordo com determinados critérios. As melhores colocadas foram transformadas em ilustrações para uma melhor referência visual. Ao fim desta etapa foi definido qual solução será convertida em um protótipo para os devidos testes de usabilidade.

#### **4.3.8 Implementação e testes**

A etapa de implementação e testes foi dividida em duas partes. Na primeira parte, o protótipo foi submetido à duas aplicações distintas. Primeiro, o imobilizador foi avaliado por uma técnica em radiografia e em seguida, utilizado em manequins

que representavam crianças com as idades de um e seis anos. A segunda parte dos testes consistia na avaliação da solução por outros dois técnicos, após utilizarem o imobilizador em situações reais.

A primeira parte desta etapa contou com a aplicação do método de avaliação “Pensando em Voz Alta” (NIELSEN, 1993 *apud*. CATECATI *et al.*, 2018). Este método foi dividido em dois momentos, primeiro a técnica utilizou o produto sem qualquer tipo de instrução e então foi submetida à um questionário. Neste primeiro momento, a técnica em radiografia reconheceu o produto como um imobilizador devido a comparação outros produtos utilizados dentro do hospital e suas alças. Porém, apesar desta comparação, não encontrou semelhanças na forma de utilizá-lo, hesitando, ao longo do uso, em descobrir como o produto deveria ser utilizado. Um dos motivos, foi o posicionamento das alças que confundiram a técnica. Segundo ela, houve a impressão que alça branca estava sobrando. Além disso, a técnica sentiu dificuldades em prender a segunda faixa, que apresentava maior resistência devido a força exigida para prender o velcro. O questionário com as respostas da técnica em radiografia pode ser encontrado no Apêndice B.

Estas reações indicaram que o produto é pouco intuitivo e precisa do devido treinamento para sua utilização correta, bem como apresenta etapas extras para realizar sua função, que poderiam ser retiradas (alças brancas). Nesta primeira tentativa de uso, a técnica não conseguiu, sozinha, descobrir como o imobilizador deveria ser utilizado.

Após o primeiro uso do imobilizador, a técnica foi instruída da forma correta de utilizar o produto e submetida novamente a colocá-lo em um paciente, para então responder a um novo questionário. Neste momento a técnica mostrou rápido domínio para utilizar o produto de certa. Segundo ela, o uso do imobilizador não se mostrou complexo, porém certas dificuldades se mantiveram mesmo após entender o seu funcionamento. As alças brancas, além de não ajudarem a prender o paciente, atrapalham no momento de colocar o imobilizador na criança. Apesar dos obstáculos, a técnica se mostrou satisfeita com o imobilizador e seus resultados aparentes, porém, segundo ela, utilizar o produto em crianças menores pode apresentar grande dificuldade, devido à falta de cooperação delas. Ademais, a estética do produto poderia ajudar em sua integração no cenário hospitalar.

Assim, apesar da solução não se mostrar intuitiva é de fácil aprendizagem. Outros problemas como a disposição e tamanhos das alças, foram identificados. Contudo a solução ainda foi capaz de desempenhar uma imobilização eficaz.

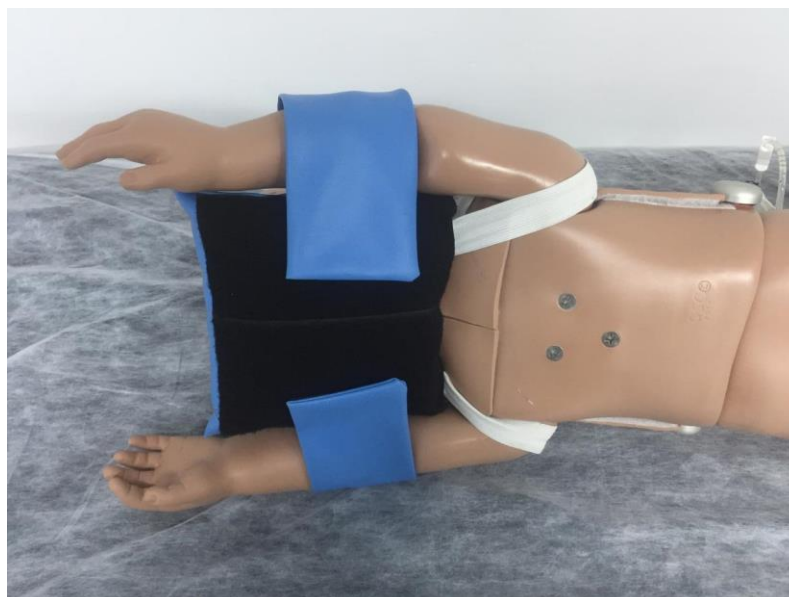
Ainda na primeira parte desta etapa, o imobilizador foi utilizado em manequins que simulavam crianças de um ano e seis, com o objetivo verificar o comportamento do produto em diferentes faixas etárias dentro do público de maior necessidade. O protótipo em uso está representado nas Figura 19, Figura 20, Figura 21, Figura 22, Figura 23 e Figura 24.

**Figura 19 - Protótipo em uso - 01. Manequim de 1 ano**



Fonte: Autor

**Figura 20 - Protótipo em uso - 02. Manequim de 1 ano**



Fonte: Autor

**Figura 21 - Protótipo em uso - 03. Manequim de 1 ano**



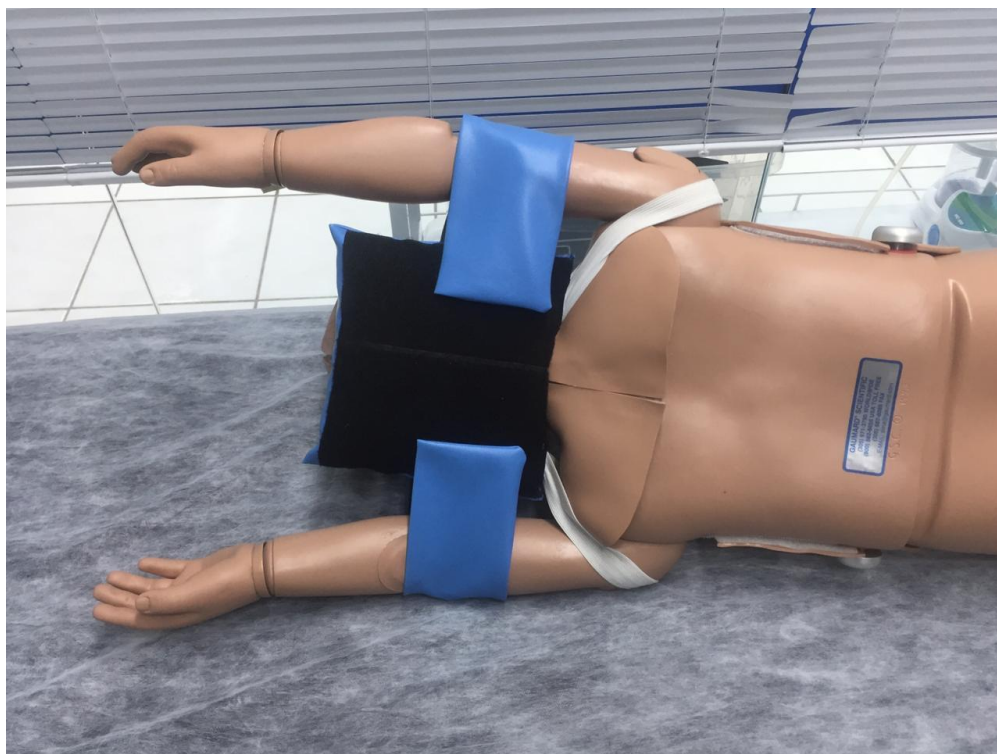
**Fonte: Autor**

**Figura 22 - Protótipo em uso - 04. Manequim de 6 anos**



**Fonte: Autor**

**Figura 23 - Protótipo em uso – 05. Manequim de 6 anos**



Fonte: Autor

**Figura 24 - Protótipo em uso – 06. Manequim de 6 anos**



Fonte: Autor

A segunda parte da etapa de implementação e testes contou com a avaliação do protótipo por outros dois técnicos em radiografia, porém desta vez, em situações reais de uso. Após serem devidamente instruídos à correta utilização do imobilizador, os técnicos utilizaram o protótipo para realizar procedimentos radiográficos de tórax ao longo de uma semana. Ao fim deste período, um Questionário de Avaliação de Usabilidade (Apêndice B) foi repassado a cada um, para que as informações relacionadas à utilização do imobilizador fossem analisadas e formalizadas.

Ao analisar os questionários, foi identificadas respostas semelhantes pelos participantes. Ambos definiram o imobilizador como uma proposta de solução interessante para um problema recorrente no setor. Além disso, os dois participantes evidenciaram a eficiência do imobilizador para restringir os movimentos dos pacientes e em melhorar o posicionamento para o exame radiográfico de tórax, principalmente o de perfil. Contudo, a dificuldade em colocar o produto na criança é elevada, uma vez que elas estão constantemente agitadas e poucos interessadas em cooperar. Segundo um dos técnicos, esta imobilização “forçada” acabou por causar baixa aceitação por parte de seus pais. Entre os pacientes, a faixa etária em que o produto se mostrou mais eficaz variou entre os seis meses e 4 anos de idade.

Apesar da eficiência em imobilizar e manter o posicionamento correto dos pacientes durante o exame, para os técnicos, o uso do imobilizador não melhorou o procedimento radiográfico de tórax de forma geral. A utilização do imobilizador é demorada, o que não se justifica seu uso devido a rápida velocidade do exame. Segundo um dos técnicos, em crianças muito pequenas, a almofada acabava projetando o mento (parte abaixo do lábio inferior) prejudicando certas imagens. Além disso, assim como a primeira técnica, os outros dois evidenciaram a ineficiência da alça branca, que durante os testes não se mostrou relevante para cumprir o objetivo do imobilizador.

Segundo os técnicos, o uso do imobilizador seria interessante em procedimentos mais longos, que exijam uma imobilização prolongada como ressonâncias e tomografias.

#### **4.3.8.1 Conclusão sobre a etapa de implementação e testes**



Devido a inexistência de ferramentas na árvore de utilidades para esta etapa, a implementação e testes ocorreu por meio de dois tipos de questionários. Ambos avaliaram o desempenho do protótipo, porém com abordagens diferentes.

A avaliação do técnico em radiografia, por meio do método “Pensando em Voz Alta”, em um ambiente de teste controlado, permitiu reconhecer a complexidade do produto para sua utilização bem como sua possível inovação, devido ao grau de surpresa do usuário pela solução estabelecida para a imobilização. O uso do produto em manequins permitiu entender e ilustrar como o produto se comporta em determinados tipos pacientes. Estas duas avaliações possibilitaram identificar os primeiros pontos a serem melhorados no produto.

O Questionário de Avaliação de Usabilidade (GARCIA *et al.*, 2017), por sua vez, foi realizado por dois técnicos, após utilizarem do imobilizador em situações reais, durante o período de uma semana. Esta avaliação permitiu analisar o desempenho da proposta de forma geral e reconhecer suas principais falhas, bem como seus pontos positivos. Apesar da eficiência em imobilizar e posicionar os pacientes, problemas de dimensionamento, alças ineficazes e demora para a realização da tarefa acabaram por impedir uma solução total do problema inicial. Contudo, alguns destes problemas podem ser resolvidos de maneira simples, por meio do redimensionamento do imobilizador e remoção das alças.

De forma geral, os resultados não se mostraram tão positivos quanto esperado, porém, segundo os técnicos em radiografia, o imobilizador poderia ser uma ótima opção para a imobilização de crianças em procedimentos mais longos como tomografias e ressonâncias.

#### **4.4 DEMONSTRAÇÃO DA SOLUÇÃO**

Esta etapa conta com a demonstração do protótipo desenvolvido para solucionar o problema proposto, contudo esta mesma etapa está presente dentro do Processo Unificado da Biomimética. Assim, seus resultados podem ser conferidos na seção 4.3.8 em maiores detalhes. Além disso, o processo em si pode ser conferido de forma geral através do Quadro 4, que apresenta as ferramentas utilizados ao longo das etapas do Processo Unificado de Biomimética.

#### **4.5 AVALIAÇÃO DA SOLUÇÃO**

Assim como o item 4.4, a etapa de avaliação da solução também está presente no Processo Unificado da Biomimética e faz parte da etapa de implementação e testes. Estes resultados também podem ser conferidos no item 4.3.8.

#### **4.6 COMUNICAÇÃO DOS RESULTADOS**

Os resultados desta dissertação proporcionaram o desenvolvimento do artigo “Análise bibliométrica e sistema sobre a biomimética no desenvolvimento de produtos” (MALINOSKI e DE CARVALHO, 2018) apresentando os artigos mais relevantes da biomimética. Além disso, atividades futuras incluem a criação de um artigo para ser enviado a periódicos relacionados a área de pesquisa.

## 5 CONCLUSÃO

O trabalho apresentado teve como objetivo avaliar o Processo Unificado Adaptado de Biomimética, com abordagem direcionada ao problema, para o desenvolvimento de um produto que solucionasse os problemas relacionados ao procedimento de radiografia de tórax em pacientes infantis em um hospital pediátrico. Este processo é uma amálgama de diversos outros processos relevantes na área da biomimética, cujo objetivo é simplificar sua aplicação no desenvolvimento de produtos. A realização da análise bibliométrica possibilitou identificar as possíveis lacunas de pesquisas e justificar a avaliação do Processo Unificado de Biomimética como uma oportunidade de estudo, uma vez que a quantidade de trabalhos que propõem novos métodos supera àqueles que os validam.

A avaliação do Processo Unificado de Biomimética ocorreu por meio de um grupo de ferramentas pré-selecionadas, representadas por uma árvore de utilidades. Esta árvore de utilidades ilustra os possíveis caminhos a serem seguidos de acordo com os requisitos de cada ferramenta e do projeto. Para cada etapa do Processo Unificado de Biomimética, ao menos uma ferramenta foi utilizada e seus resultados eram empregados na próxima ferramenta do caminho. No entanto, a árvore de utilidades mostrou-se ineficiente em certas fases do processo unificado, uma vez que as ferramentas disponíveis não demonstraram eficazes em coletar todas as informações necessárias para sua respectiva etapa. Assim, foram adicionadas ferramentas nas etapas 1, 7 e 8 do Processo Unificado de Biomimética.

Na etapa 1, análise do problema, foram adicionadas duas ferramentas: “Busca de Anterioridade” e “Questionário da Situação de Inovação”. Ambas as ferramentas se mostraram relevantes ao processo. A Busca de Anterioridade permitiu identificar, de maneira mais eficaz, o potencial de inovação existente nos produtos dentro da área de estudo, função esta de outra ferramenta pré-selecionada, a Curva S. O Questionário da Situação de Inovação (QSI), por sua vez, supriu a ausência da ferramenta “Análise da Tarefa” que, apesar de presente no grupo inicial, não apresentou material teórico relevante disponível. Desta forma, o QSI ajudou a formalizar e reformular o problema, o que permitiu compreender a função principal e as limitações do sistema estudado. Além disso, o questionário

mostrou-se relacionado à ferramenta “Análise de Recursos”, presente na etapa 7, já que fornecia a maioria das respostas exigidas por esta ferramenta.

Além destas ferramentas, outras três foram adicionadas às etapas finais do Processo Unificado de Biomimética. Na etapa 7, para auxiliar na transferência das informações para o sistema técnico, foi utilizada a ferramenta “Matriz Morfológica”, responsável por ajudar na criação e avaliação das alternativas geradas. Contudo, é importante ressaltar que o Processo Unificado de Biomimética não deixa claro que a etapa 7 está relacionada a geração de alternativas. O uso desta ferramenta deixa tal relação mais evidente. As últimas ferramentas foram adicionadas para avaliar o protótipo desenvolvido. A etapa 8, implementação e teste, não apresentava nenhuma ferramenta para ser utilizada no grupo inicial. Assim, foi possível utilizar mais de uma ferramenta. Nesta etapa foram realizados dois tipos de avaliação, o método “Pensando em Voz Alta” e o “Questionário de Avaliação de Usabilidade” baseados nos princípios do design universal e usabilidade. Estas avaliações permitiram conhecer a opinião dos usuários e o desempenho do produto em ambientes de teste controlado e de uso real. As demais ferramentas utilizadas, presentes no grupo pré-selecionado, se mostraram eficientes e apresentaram sinergia entre si, justificando o caminho percorrido pela árvore de utilidades. Apesar de não ter sido necessária a realização dos pontos de retornos (presente nas etapas 4 e 8), eles se mostram estrategicamente colocados para a iteração entre as etapas.

Em relação à compreensão do processo de tradução das informações entre os sistemas, o uso de analogias, apesar de discreto, caracterizou-se relevante para a avaliação de determinadas estratégias biológicas. Seu uso é indispensável em ferramentas como gráfico T, que se revelou como uma das melhores ferramentas de todo o processo. O acompanhamento de um especialista da área da biologia não se mostrou impeditivo, contudo, sua presença garante uma melhor qualidade sobre as informações do sistema natural. Seu auxílio foi importante em momentos como o da avaliação dos modelos biológicos e para sanar dúvidas que as ferramentas e fontes de pesquisas não foram capazes de suprir.

Sobre a presença da biomimética no PDP, fica evidente sua participação nas fases iniciais, em especial na etapa de geração de alternativas. Um dos pontos fortes do Processo Unificado de Biomimética é que este trabalha com os requisitos do projeto. Assim, o processo não deixa de lado questões técnicas, preocupando-se

também com a viabilidade de produção industrial da solução a ser desenvolvida, ao contrário de outros processos criativos.

O produto fruto da utilização do processo unificado adaptado, deste trabalho, foi um imobilizador infantil para exames radiográficos, baseado no princípio da constrição de serpentes. Os testes do protótipo foram realizados em dois cenários, em um ambiente de teste controlado e outro aplicado em situações reais de uso. Os resultados demonstraram eficiência na imobilização e posicionamento de pacientes para os exames radiográficos. Contudo, vários outros pontos acabaram por prejudicar a eficiência da proposta de solução. Entre os principais, há o tempo demasiadamente longo para utilizar o imobilizador, que não compensa seu uso, devido a rápida velocidade do exame. Além disso, colocar o imobilizador nos pacientes se mostrou uma atividade difícil, uma vez que eles se encontram sempre muito agitados e pouco cooperativos. Contudo, parte dos problemas identificados podem ser solucionados por meio do redimensionamento do imobilizador e exclusão das alças. Durante a avaliação, os técnicos recomendaram que o imobilizador seria de melhor uso em procedimentos mais longos como ressonância e tomografia.

Apesar dos resultados não mostrarem total eficiência em solucionar o problema inicial, o produto desenvolvido apresenta todos os requisitos técnicos e analogias biológicas referentes ao princípio biológico definido ao longo do projeto. Assim, o resultado pode ser considerado como uma união satisfatória entre os sistemas técnico e biológico.

De forma geral, o processo se mostrou intuitivo, com um grupo de ferramentas fáceis e rápidas de serem utilizadas. De fato, o processo unificado junto a árvore de utilidades pode ser utilizado como uma alternativa não tão complexa pelos adeptos da área, sejam eles iniciantes ou não.

Sendo assim, acredita-se que os resultados deste trabalho contribuem de maneira relevante à área da biomimética, uma vez que, evidenciam a os resultados da avaliação de um processo inédito de biomimética, além de aprimorá-lo ao adicionar novas ferramentas ao modelo, em vez de focar na criação de um novo método. Além disso, a aplicação deste Processo Unificado de Biomimética Adaptado, propôs uma solução para um problema real, presente em um hospital pediátrico. O produto desenvolvido foi bem recebido pelos profissionais do hospital e se mostrou eficiente na imobilização dos pacientes infantis durante a realização dos procedimentos radiográficos, pesar de não solucionar de forma total o problema.

Desta forma, espera-se que estes resultados ajudem na disseminação da prática e importância da biomimética no desenvolvimento de novos produtos.

Como oportunidade para trabalhos futuros, pretende-se realizar uma validação estatística do produto desenvolvido utilizando diferentes grupos de pacientes durante o procedimento radiográfico. Esta pesquisa também proporcionaria uma avaliação mais completa por parte dos profissionais da área de saúde.

## REFERÊNCIAS

- ALTSHULLER, Genrikh Saulovich. **Creativity as an exact science: the theory of the solution of inventive problems**. Gordon and Breach, 1984.
- AMABILE, Teresa M. The social psychology of creativity: A componential conceptualization. **Journal of personality and social psychology**, v. 45, n. 2, p. 357-376, 1983.
- Back, N. *et al.* **Projeto integrado de produtos: planejamento, concepção e modelagem**. 1ªed. Barueri: Manole, 2008.
- BADARNAH, Lidia; KADRI, Usama. A methodology for the generation of biomimetic design concepts. **Architectural Science Review**, v. 58, n. 2, p. 120-133, 2015.
- BALLESTEROS, Tomás *et al.* Development and tests of a paediatric and neonatal immobilizer for ambulance transfers. **Journal of medical engineering & technology**, v. 38, n. 4, p. 202-210, 2014.
- BAR-COHEN, Yoseph. Biomimetics: mimicking and inspired-by biology. In: **Smart Structures and Materials 2005: Electroactive Polymer Actuators and Devices (EAPAD)**. International Society for Optics and Photonics, 2005. p. 1-9.
- BAR-COHEN, Yoseph. **Biomimetics: biologically inspired technologies**. CRC Press, 2006.
- BASSETTO, Edson Luis *et al.* Proposta de metodologia para o ensino das fases de projeto informacional e projeto conceitual. 2004.
- BAXTER, Mike. **Projeto de produto: guia prático para o design de novos produtos**. 1ªed. São Paulo: Edgard Blucher, 1998.
- BENYUS, Janine M. **Biomimicry: Innovation inspired by nature**. 1997.
- BIANCIARDI, Alessandro *et al.* Biomimicry thinking: methodological improvements and practical implementation. **Bioinspired, Biomimetic and Nanobiomaterials**, v. 6, n. 2, p. 87-101, 2017.
- BIOMIMETIC. Dicionário online **Merriam-Webster**, 25 fev. Disponível em < [www.merriam-webster.com/dictionary/biomimetic](http://www.merriam-webster.com/dictionary/biomimetic)>. Acesso em 25 fev. 2019.
- BIOMIMICRY INSTITUTE. The biomimicry taxonomy: Biology Organized by Function. **toolbox.biomimicry.org**, 2017. Disponível em: < [https://toolbox.biomimicry.org/wp-content/uploads/2017/03/Taxonomy\\_Explainer\\_2017diagram.pdf](https://toolbox.biomimicry.org/wp-content/uploads/2017/03/Taxonomy_Explainer_2017diagram.pdf) >. Acesso em: 19 Jun. 2019.
- BIONIC. Dicionário online **Merriam-Webster**, 25 fev. Disponível em < <https://www.merriam-webster.com/dictionary/bionics>>. Acesso em 25 fev. 2019.
- BOBACK, Scott M. *et al.* Snake constriction rapidly induces circulatory arrest in rats. **Journal of Experimental Biology**, v. 218, n. 14, p. 2279-2288, 2015.
- BOGATYREV, Nikolay R.; VINCENT, J. F. Microfluidic actuation in living organisms: a biomimetic catalogue. In: **Proceedings of the First European Conference on Microfluidics**, Bologna. p. 175. 2008.
- BONSER, R. H. C.; VINCENT, J. F. V. Technology trajectories, innovation, and the growth of biomimetics. **Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science**, v. 221, n. 10, p. 1177-1180, 2007.
- BONSER, Richard HC. Patented biologically-inspired technological innovations: a twenty year view. **Journal of bionic engineering**, v. 3, n. 1, p. 39-41, 2006.

BURGOYNE, John; JAMES, Kim Turnbull. Towards best or better practice in corporate leadership development: Operational issues in mode 2 and design science research. **British Journal of Management**, v. 17, n. 4, p. 303-316, 2006.

BURT, Ronald S. **Social origins of good ideas**. Manuscrito não publicado. Disponível em: < [http://www.analytictech.com/mb709/readings/burt\\_SOGL.pdf](http://www.analytictech.com/mb709/readings/burt_SOGL.pdf) > Acesso em 6 fev. 2019. 2002.

BUTTON, Vera Lúcia Da Silveira Nantes; OLIVEIRA, Eduardo Jorge Valadares. Uma estratégia de desenvolvimento para o sistema nacional de inovação de produtos médicos. **Revista brasileira de engenharia biomédica**, v. 28, n. 2, p. 124-139, 2012.

CATECATI, Tiago et al. Métodos para a avaliação da usabilidade no design de produtos. **DAPesquisa**, v. 6, n. 8, p. 564-581, 2018.

CAVALLUCCI, Denis; WEILL, Roland D. Integrating Altshuller's development laws for technical systems into the design process. **CIRP Annals-Manufacturing Technology**, v. 50, n. 1, p. 115-120, 2001.

CHAKRABARTI, Amaresh *et al.* A functional representation for aiding biomimetic and artificial inspiration of new ideas. **Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing**, v. 19, n. 2, p. 113-132, 2005.

CHEONG, Hyunmin *et al.* Biologically meaningful keywords for functional terms of the functional basis. **Journal of Mechanical Design**, v. 133, n. 2, p. 021007, 2011.

CHEONG, Hyunmin; HALLIHAN, Gregory M.; SHU, L. H. Design problem solving with biological analogies: A verbal protocol study. **Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing**, v. 28, n. 1, p. 27-47, 2014.

CHI, Michelene TH; GLASER, Robert; REES, Ernest. Expertise in problem solving. PITTSBURGH UNIV PA LEARNING RESEARCH AND DEVELOPMENT CENTER, 1982.

CHIU, Ivey; SHU, L. H. Biomimetic design through natural language analysis to facilitate cross-domain information retrieval. **Ai Edam**, v. 21, n. 1, p. 45-59, 2007.

CRITTER SQUAD. **The big squeeze: The science of constriction**. Disponível em: < <https://www.crittersquad.com/big-squeeze-science-constriction/> > Acesso em: 14 de abril de 2019.

DE LIMA, Anderson Araújo; CARVALHO, Antonio Carlos Pires; DE AZEVEDO, Ana Cecília Pedrosa. Avaliação dos padrões de dose em radiologia pediátrica. **Radiologia Brasileira**, v. 37, n. 4, p. 279-282, 2004.

DE OLIVEIRA LACERDA, Rogério Tadeu; ENSSLIN, Leonardo; ENSSLIN, Sandra Rolim. Uma análise bibliométrica da literatura sobre estratégia e avaliação de desempenho. **Gestão & Produção**, v. 19, n. 1, 2012.

DE SOUZA, Ricardo Mengue *et al.* Uso da radiografia de tórax na unidade de tratamento intensivo pediátrico. **Scientia Medica**, v. 23, n. 3, p. 191-198, 2013.

DETANICO, Flora Bittencourt; TEIXEIRA, Fábio; DA SILVA, Tânia LK. A biomimética como método criativo para o projeto de produto. **Design & Tecnologia**, v. 1, n. 02, p. 101-113, 2010.

DIEHL, Michael; STROEBE, Wolfgang. Productivity loss in brainstorming groups: Toward the solution of a riddle. **Journal of personality and social psychology**, v. 53, n. 3, p. 497-509, 1987.

ENSSLIN, Leonardo et al. ProKnow-C, knowledge development process-constructivist. **Processo técnico com patente de registro pendente junto ao INPI. Brasil**, v. 10, n. 4, p. 2015, 2010.

ENSSLIN, Leonardo; ENSSLIN, Sandra Rolim; DE SOUZA, Marcel Viana. Gerenciamento de portfólio de produtos na indústria: estado da arte. **Revista Produção Online**, v. 14, n. 3, p. 790-821, 2014.



EUROPEAN UNION. EUROPEAN COMMISSION. DIRECTORATE-GENERAL XII-SCIENCE, RESEARCH AND DEVELOPMENT. **European guidelines on quality criteria for diagnostic radiographic images in paediatrics**. Office for Official Publications of the European Communities, 1996.

FAYEMI, Pierre-Emmanuel *et al.* Biomimetics: process, tools and practice. **Bioinspiration & biomimetics**, v. 12, n. 1, p. 011002, 2017.

FU, Katherine *et al.* Bio-inspired design: an overview investigating open questions from the broader field of design-by-analogy. **Journal of Mechanical Design**, v. 136, n. 11, p. 111102, 2014.

GARCIA, Lucas José; MERINO, Giselle Schmidt Alves Diaz; MERINO, Eugenio Andrés Díaz; "Design centrado no usuário: Requisitos para avaliação de produtos durante o desenvolvimento de projetos com base na usabilidade e design universal", p. 910-920. In: São Paulo: Blucher, 2017. ISSN 2318-6968, DOI 10.5151/16ergodesign-0088.

GENTNER, Dedre. Structure-mapping: A theoretical framework for analogy. **Cognitive science**, v. 7, n. 2, p. 155-170, 1983.

GIL, Antônio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo: Atlas, 1991.

GOEL, Ashok K. Design, analogy, and creativity. **IEEE expert**, v. 12, n. 3, p. 62-70, 1997.

HARKNESS, Jon M. In Appreciation of A Lifetime of Connections: Otto Herbert Schmitt, 1913-1998. **Physics in perspective**, v. 4, n. 4, p. 456-490, 2002.

HELMS, Michael E. *et al.* Problem-driven and solution-based design: twin processes of biologically inspired design. **Proceedings of the 28th Annual Conference of the Association for Computer Aided Design in Architecture (ACADIA)**, p. 94-101, out. 2008.

HELMS, Michael; GOEL, Ashok K. The Four-Box Method: Problem Formulation and Analogy Evaluation in Biologically Inspired Design. **Journal of Mechanical Design**, v. 136, n. 11, p. 111106, 2014.

HELMS, Michael; VATTAM, Swaroop S.; GOEL, Ashok K. Biologically inspired design: process and products. **Design Studies**, v. 30, n. 5, p. 606-622, 2009.

HENSCHKE, Claudia I. *et al.* Chest radiography in the ICU. **Clinical imaging**, v. 21, n. 2, p. 90-103, 1997.

HILL, Bernd. Goal Setting Through Contradiction Analysis in the Bionics-Oriented Construction Process. **Creativity and Innovation Management**, v. 14, n. 1, p. 59-65, 2005.

HOROWITZ, R. **How to develop winning new product ideas systematically**. 2004.

IOUGUINA, A. *et al.* Biologically informed disciplines: a comparative analysis of bionics, biomimetics, biomimicry, and bio-inspiration among others. **International Journal of Design & Nature and Ecodynamics**, v. 9, n. 3, p. 197-205, 2014.

ISO. ISO 18458: 2015: Biomimetics—terminology, concepts and methodology. 2015.

ISO/TC 266. Terminology and definitions. **bioinspired.sinet.ca**, 2014. Disponível em: < <https://bioinspired.sinet.ca/files/bioinspired/ISO%20TC%20266%20Terminology.pdf> > Acesso em 8 fev. 2019.

JACOBS, S. Biomimetics: A Simple Foundation Will Lead To New Insight About Process. **International Journal of Design & Nature and Ecodynamics**, v. 9, n. 2, p. 83-94, 2014.

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**, v. 136, n. 11, p. 111101, 2014.

LACERDA, Daniel Pacheco *et al.* Design Science Research: método de pesquisa para a engenharia de produção. **Gestão & produção**, v. 20, n. 4, p. 741-761, 2013.

LENAU, Torben A. Biomimetics as a design methodology-possibilities and challenges. In: **DS 58-5: Proceedings of ICED 09, the 17th International Conference on Engineering Design**, Vol. 5, Design Methods and Tools (pt. 1), Palo Alto, CA, USA, 24. - 27.08. 2009.

LEPORA, Nathan F.; VERSCHURE, Paul; PRESCOTT, Tony J. The state of the art in biomimetics. **Bioinspiration & biomimetics**, v. 8, n. 1, p. 013001, 2013.

LINDEMANN, U.; GRAMANN, J. Engineering design using biological principles. In: **DS 32: Proceedings of DESIGN 2004, the 8th International Design Conference, Dubrovnik, Croatia**. p. 355-360. 2004.

LINHARES, Felipe Rodrigues. A IMPORTÂNCIA DE SE FAZER BUSCA DE ANTERIORIDADES. **Cadernos de Prospecção**, v. 10, n. 4, p. 696, 2017.

MAK, T. W.; SHU, L. H. Using descriptions of biological phenomena for idea generation. **Research in Engineering Design**, v. 19, n. 1, p. 21-28, 2008.

MALINOSKI, S. Giovanni; DE CARVALHO, M.A. Análise bibliométrica e sistêmica sobre a biomimética no desenvolvimento de produtos. In: **SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**, 25, 2018, Bauru. Anais – ISSN 1809-7189. Bauru. 2018. Disponível em: <[http://www.simpep.feb.unesp.br/abrir\\_arquivo\\_pdf.php?tipo=artigo&evento=13&art=1398&cad=30841&opcao=com\\_id](http://www.simpep.feb.unesp.br/abrir_arquivo_pdf.php?tipo=artigo&evento=13&art=1398&cad=30841&opcao=com_id)>. Acesso em: 15 dez. 2018.

MARCH, Salvatore T.; SMITH, Gerald F. Design and natural science research on information technology. **Decision support systems**, v. 15, n. 4, p. 251-266, 1995.

MASSEY, Anne P.; WALLACE, William A. Understanding and facilitating group problem structuring and formulation: Mental representations, interaction, and representation aids. **Decision Support Systems**, v. 17, n. 4, p. 253-274, 1996.

MOON, B. R.; MEHTA, R. S. Constriction strength in snakes. **Biology of the Boas and Pythons**, p. 206-212, 2007.

MUELLER, Sandra. The TRIZ resource analysis tool for solving management tasks: previous classifications and their modification. **Creativity and Innovation Management**, v. 14, n. 1, p. 43-58, 2005.

NAGEL, Jacquelyn KS *et al.* Function-based, biologically inspired concept generation. **Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing**, v. 24, n. 4, p. 521-535, 2010.

NAGEL, Jacquelyn KS; NAGEL, Robert L.; STONE, Robert B. Abstracting biology for engineering design. **International Journal of Design Engineering**, v. 4, n. 1, p. 23-40, 2011.

NAGEL, Jacquelyn KS; STONE, Robert B. A computational approach to biologically inspired design. **AI EDAM**, v. 26, n. 2, p. 161-176, 2012.

NAGEL, Jacquelyn KS; STONE, Robert B.; MCADAMS, Daniel A. An engineering-to-biology thesaurus for engineering design. In: **ASME 2010 international design engineering technical conferences and computers and information in engineering conference**. American Society of Mechanical Engineers, 2010. p. 117-128.

NELSON, Wayne A. Problem solving through design. **New Directions for Teaching and Learning**, v. 2003, n. 95, p. 39-44, 2003.

OERTEL, Dagmar; GRUNWALD, Armin. Potenziale und Anwendungsperspektiven der Bionik. **Vorstudie, Büro für Technikfolgen-Abschätzung des Deutschen Bundestag, Arbeitsbericht**, v. 108, 2006.

OHNO, T. O Sistema Toyota de Produção: Além da Produção em Larga Escala. Porto Alegre, RS: Livroman, 1997.

OLIVEIRA, Mércia Liane; KHOURY, Helen. Influência do procedimento radiográfico na dose de entrada na pele de pacientes em raios X pediátricos. **Radiol Bras**, v. 36, n. 2, p. 105-109, 2003.

PAHL, G. et al. Projeto na Engenharia. 6ª edição. São Paulo: Editora Edgar Blücher, 2005.

PEFFERS, Ken et al. A design science research methodology for information systems research. **Journal of management information systems**, v. 24, n. 3, p. 45-77, 2007.

ROSA, Francesco; CASCINI, Gaetano; BALDUSSU, Alessandro. UNO-BID: unified ontology for causal-function modeling in biologically inspired design. **International Journal of Design Creativity and Innovation**, v. 3, n. 3-4, p. 177-210, 2015.

ROSA, Kathiane S. *et al.* Acessório para imobilização de pacientes pediátricos. WebArtigos. 2016. Disponível em: <<https://www.webartigos.com/artigos/acessorio-para-imobilizacao-de-pacientes-pediatricos/145561>>. Acesso em: 20 fev. 2019.

ROWLAND, Regina. Biomimicry step-by-step. **Bioinspired, Biomimetic and Nanobiomaterials**, v. 6, n. 2, p. 102-112, 2017.

ROZENFELD, H.; FORCELLINI, F.A.; AMARAL, D.C.; TOLEDO, J.C.; SILVA, S.L.; ALLIPRANDINI, D.H.; SCALICE, R.K. **Gestão de Desenvolvimento de Produtos: uma referência para a melhoria do processo**. São Paulo: Saraiva, 2006.

SALAMATOV, Yuri. The Right Solution at the Right Time: A Guide to Innovative Problem Solving. **Insytec BV**, 1999.

SALGUEIREDO, Camila Freitas; HATCHUEL, Armand. Beyond analogy: A model of bioinspiration for creative design. **AI EDAM**, v. 30, n. 2, p. 159-170, 2016.

SARTORI, Julian; PAL, Ujjwal; CHAKRABARTI, Amaresh. A methodology for supporting “transfer” in biomimetic design. **Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing**, v. 24, n. 4, p. 483-506, 2010.

SAVRANSKY, Semyon D. **Engineering of creativity: Introduction to TRIZ methodology of inventive problem solving**. CRC Press, 2000.

SERRAT, Olivier. The five whys technique. **Knowledge Solutions**. Asian Development Bank. Washington, DC. p. 307-310. 2010.

SHINE, Richard; SCHWANER, Terry. Prey constriction by venomous snakes: a review, and new data on Australian species. **Copeia**, v. 1985, n. 4, p. 1067-1071, 1985.

SHU, L. H. *et al.* Biologically inspired design. **CIRP Annals-Manufacturing Technology**, v. 60, n. 2, p. 673-693, 2011.

SILVA, Edna Lúcia da; MENEZES, Estera Muszkat. Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação. 2001.

SIMON, Herbert A. **The sciences of the artificial**. MIT press, 1996.

SPECK, Thomas et al. Process sequences in biomimetic research. **Design and Nature IV**, v. 114, p. 3-11, 2008.

TERNINKO, John; ZUSMAN, Alla; ZLOTIN, Boris. **Systematic innovation: an introduction to TRIZ (theory of inventive problem solving)**. CRC press, 1998.

UNIPAMPA. **Busca de anterioridade**. Disponível em: <<http://porteiros.r.unipampa.edu.br/portais/nit/tutorial-busca-de-anterioridade/>>. Acesso em: 2 ago. 2018.

VANDEVENNE, Dennis *et al.* SEABIRD: Scalable search for systematic biologically inspired design. **AI EDAM**, v. 30, n. 1, p. 78-95, 2016.

VATTAM, Swaroop S.; HELMS, Michael E.; GOEL, Ashok K. A content account of creative analogies in biologically inspired design. **AI EDAM**, v. 24, n. 4, p. 467-481, 2010.

VENABLE, J. R. The Role of Theory and Theorising in Design Science Research. **Proceedings of the 1st International Conference on Design Science in Information Systems and Technology (DESRIST)**, v. 24-25, p. 1-18, 2006.

VINCENT, Julian FV *et al.* Biomimetics: its practice and theory. **Journal of the Royal Society Interface**, v. 3, n. 9, p. 471-482, 2006.

VINCENT, Julian FV. An ontology of biomimetics. In: **Biologically Inspired Design**. Springer, London. p. 269-285. 2014.

VINCENT, Julian FV. Biomimetics—a review. **Proceedings of the institution of mechanical engineers, part H: Journal of Engineering in Medicine**, v. 223, n. 8, p. 919-939, 2009.

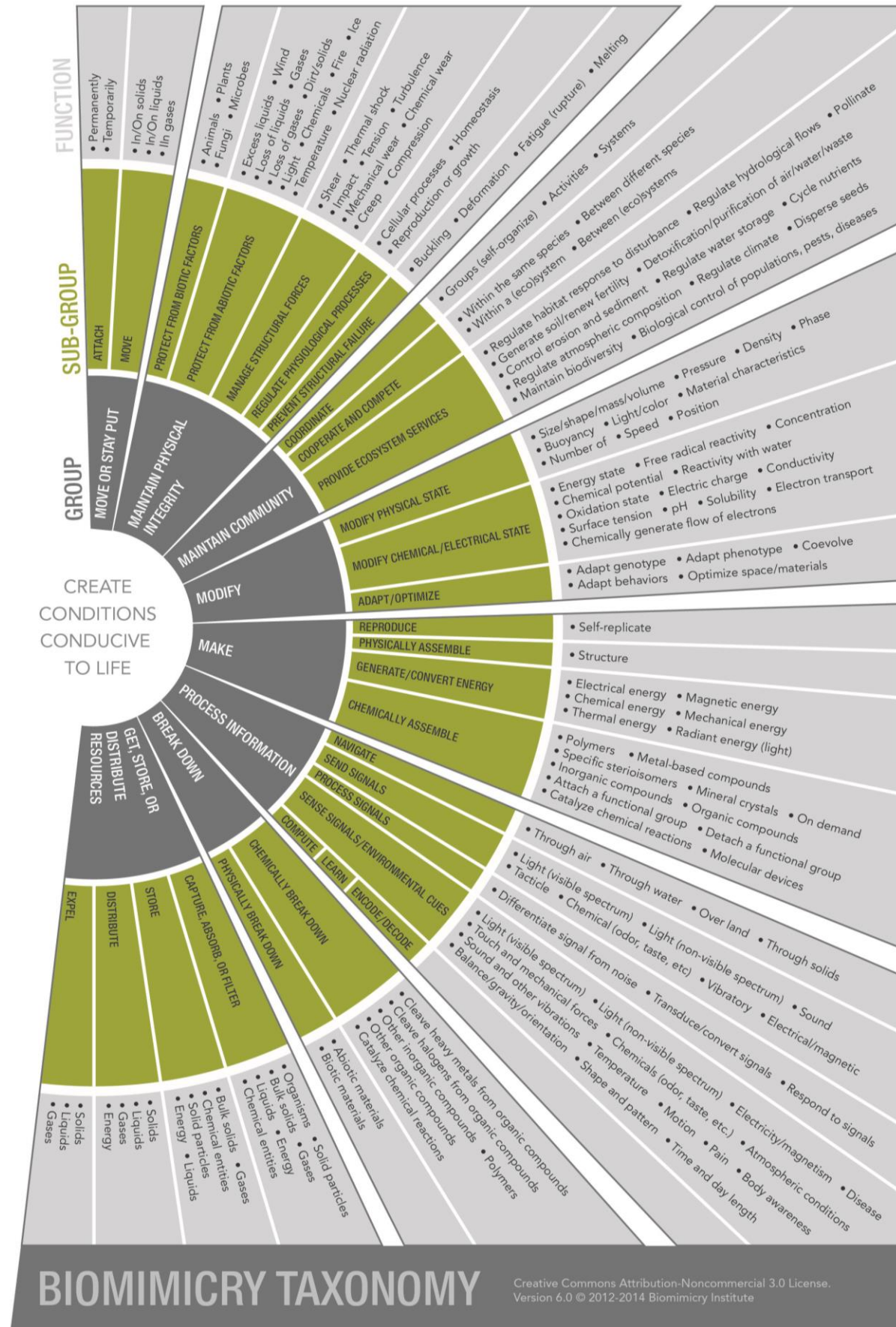
VON GLEICH, Arnim *et al.* **Potentials and trends in biomimetics**. Springer Science & Business Media, 2010.

WANIECK, K. *et al.* Biomimetic and its tools. **Bioinspired, biomimetic and Nano biomaterials**, [S.L], v.6, n. 2, p. 53-66, may. 2017.

WILLARD, Daniel E. Constricting methods of snakes. **Copeia**, v. 1977, n. 2, p. 379-382, 1977.

World Health Organization. A rational approach to radio-diagnostic investigations. Tech Rep Ser. 1983;689: 11-28.

# ANEXO A – TAXONOMIA



## APÊNDICE A – ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA

Artigo publicado no **SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**, 25, 2018, Bauru. Anais – ISSN 1809-7189. Bauru. 2018. Disponível em: <[http://www.simpep.feb.unesp.br/abrir\\_arquivo\\_pdf.php?tipo=artigo&evento=13&art=1398&cad=30841&opcao=com\\_id](http://www.simpep.feb.unesp.br/abrir_arquivo_pdf.php?tipo=artigo&evento=13&art=1398&cad=30841&opcao=com_id)>. Acesso em: 15 dez. 2018.

### ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA E SISTÊMICA SOBRE A BIOMIMÉTICA NO DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS

Giovanni Souza Malinoski<sup>1</sup>

Marco Aurélio de Carvalho<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade Tecnológica Federal do Paraná

**Resumo:** A transferência dos princípios biológicos para o sistema técnico é conhecida como biomimética. Por possuir um alto grau de inovação, a biomimética tornou-se foco de pesquisadores e empresas para o desenvolvimento de novos produtos. Desta forma, se fez necessário realizar uma análise bibliométrica e sistêmica, com o intuito de adquirir uma visão panorâmica sobre a área e identificar as lacunas de pesquisas para estudos futuros. O processo teve início com a análise bibliométrica, que gerou um Portfólio Bibliográfico (PB), composto pelos artigos que servem como base teórica sólida para o entendimento do assunto. A partir deste PB foi possível descrever de maneira estatística os periódicos publicados, autores e as principais palavras chaves, além de definir quais artigos do portfólio eram os mais relevantes. Nestes artigos, foi realizada uma revisão sistêmica com base em nove aspectos. Como resultado, foi possível identificar um excesso de trabalhos destinados ao setor acadêmico e ao desenvolvimento de novos métodos e ferramentas, com pouco foco na validação de modelos já existentes e no setor industrial. Um dos motivos, seria a pressão por contribuições inéditas pela comunidade acadêmica. Esta análise permitiu reconhecer linhas de pesquisas de maior potencial e segurança, uma vez que foi possível definir as áreas saturadas e as lacunas de pesquisas disponíveis.

**Palavras-chave:** Biomimética; Inovação; Design de Produto.

## 1. Introdução

O mundo natural apresenta uma imensa e rica quantidade de estruturas multifuncionais, auto organizadas, ecologicamente e economicamente efetivas. Desta forma, é possível deduzir que certas invenções humanas já se mostravam, de certa forma, existentes na natureza. Produtos como o velcro e a estrutura de colmeia de abelha, são exemplos clássicos. Sendo assim, ver a natureza com uma perspectiva inventiva pode servir como inspiração para encontrar diferentes soluções para diversos problemas técnicos (HILL, 2005).

A transferência de informações do sistema natural para a solução de problemas técnicos é chamada de biomimética. Segundo a ISO-18458:2015, a biomimética é uma disciplina cooperativa entre biologia, tecnologia e outras áreas de inovação com o objetivo de buscar soluções para diversos tipos de problemas humanos. De acordo com Burt (2002), por exigir trabalho altamente colaborativo entre diversas áreas de estudo, a biomimética é definida como uma área multidisciplinar e, por este motivo, apresenta um grande potencial para a inovação. Desta forma, a biomimética passou a se tornar objeto de estudo em diversas universidades, institutos de pesquisa e até mesmo indústrias, que passaram a se interessar pelo tema para desenvolver e aprimorar seus produtos e processos. Entretanto, apesar de diversos setores estarem optando por investir na biomimética, ainda existem barreiras que impedem a disseminação desta prática no cenário industrial. Segundo Jacobs *et al.* (2014), os principais motivos se encontram na dificuldade em dominar a multidisciplinaridade necessária, a complexidade dos modelos biológicos e a falta de um processo claro para o desenvolvimento e aplicação da biomimética.

Considerando estas dificuldades, este artigo visa a realizar uma análise bibliográfica, com o intuito de gerar um portfólio bibliográfico, e a partir deste, uma análise sistêmica para identificar as possíveis lacunas de pesquisa que venham a solucionar as dificuldades da implementação da biomimética no desenvolvimento de produtos.

Este artigo se inicia apresentando uma introdução sobre o tema e justificando sua importância como uma área de pesquisa. Em seguida, é mostrada a metodologia utilizada, seguida pelos resultados das análises feitas. Por fim, é apresentada a conclusão.

## 2. Metodologia

Para Silva e Menezes (2001), a pesquisa é um ato complexo e pode ser classificada conforme quatro pontos de vista: de acordo com a sua natureza, abordagem, objetivos e procedimentos. Neste trabalho, a pesquisa realizada possui natureza básica, uma vez que tem

O objetivo de gerar conhecimento novo útil para a ciência, porém sem uma aplicação prática prevista. Em relação à abordagem, há uma divisão; durante a análise bibliométrica, são considerados dados quantificáveis, enquanto na análise sistêmica foi necessária uma interpretação qualitativa das informações. Os objetivos são descritivos, pois pretende-se descrever as características dos artigos analisados. Por fim, a presente pesquisa segue procedimentos técnicos, voltados totalmente para a pesquisa bibliográfica.

Este estudo é composto por uma análise bibliométrica, seguida de uma análise sistêmica em relação ao tema de estudo. As atividades aqui descritas ocorreram no período entre os meses de março e maio de 2018.

A análise bibliométrica foi feita de acordo com o processo ProKnow-C (*Knowledge Development Process – Constructivist*) (ENSSLIN *et al.*, 2010), que parte do interesse e delimitações do pesquisador sobre um certo assunto, em buscar e construir conhecimento afim de iniciar uma pesquisa científica bem fundamentada. Este conhecimento é representado pelo Portfólio Bibliográfico (PB), conjunto de artigos relevantes ao tema. Esta revisão de literatura, foi desenvolvida de acordo com as etapas propostas por De Oliveira Lacerda *et al.* (2012). No total, foram abordados cinco filtros para se alcançar os artigos do portfólio.

A partir do PB, foi realizada a análise sistêmica, que tomou como base as avaliações de desempenho propostas por Ensslin *et al.* (2010). Nesta análise, foram classificados e avaliados os artigos do portfólio de acordo com os aspectos mais relevantes ao assunto. Como resultado foram identificadas possíveis lacunas de pesquisas a serem desenvolvidas.

## 3 Análise bibliométrica

A bibliometria trata-se de um processo que procura evidenciar de maneira quantitativa os dados estatísticos de um determinado conjunto pré-definido de



artigos, com o objetivo de realizar a gestão da informação e do conhecimento científico do tema analisado. Os principais parâmetros considerados na bibliometria são os artigos, suas referências, autores, citações, periódicos relevantes e palavras-chave (ENSSLIN *et al.*, 2010).

De Oliveira Lacerda *et al.* (2012), dividiram o processo de bibliometria em três etapas, a investigação preliminar, a seleção de artigos e a análise bibliométrica. A seguir, segue o detalhamento de cada etapa.

### 3.1 Investigação preliminar

Nesta primeira etapa, foram definidas as bases de dados e as palavras-chave utilizadas para o desenvolvimento da pesquisa. A escolha destes itens pretende delimitar a busca e restringir os artigos disponíveis. Neste estudo, foram utilizadas as bases de dados *Scopus* e *Web of Science*, devido ao tamanho do seu acervo e por servirem como base para o *Journal Citation Reports* (JCR).

Após definir o campo amostral, foram selecionadas as palavras-chave que caracterizam o assunto pesquisado e servem como primeiro filtro para a busca de artigos sobre o tema. As palavras-chave foram escolhidas após uma pesquisa geral sobre o tema, que trouxe como referência principal o livro *Biomimicry: Design Inspired by Nature* (BENYUS, 1997). A partir deste, junto com o cruzamento de referências externas, chegou-se aos termos: *Bioinspired*, *Biomimicry* e *Biomimicry Design*.

### 3.2 Seleção de artigos

Após definir as palavras-chave e o campo amostral, teve início a seleção de artigos. Esta etapa foi dividida em cinco filtros, sendo os três primeiros realizados de acordo com os respectivos bancos de dados e as outras duas, após compilar os resultados obtidos.

O primeiro filtro, como descrito, foi feito utilizando as palavras-chave, de forma individual. Além disso, o ano da busca foi restringido para artigos após o ano de 2004, pois, segundo Lepora *et al.* (2013), a partir deste ano houve um aumento exponencial de publicações sobre o assunto. Em seguida, a este resultado foi aplicado o segundo filtro, levando em consideração apenas o tema. Na base de

dados *Scopus* foram selecionados os artigos relacionados a *engineering/multidisciplinary*, enquanto na base *Web of Science* foram *multidisciplinary sciences/ engineering/ multidisciplinary/ Biology/ engineering manufacturing/ engineering/ industrial e biology*. Após esta restrição, houve uma redução significativa na quantidade de artigos, o que permitiu a aplicação do terceiro filtro, a leitura de todos os títulos na íntegra. Ao lê-los, foram selecionados aqueles artigos que se considerou possuírem algum alinhamento com o tema. Os dados obtidos durante a seleção nos três primeiros filtros, podem ser observados nas Tabela 3 e Tabela 4, a seguir.

**Tabela 3 - Base de dados *Scopus***

<b>Palavra-chave</b>	<b>Individual</b>	<b>Tema</b>	<b>Alinhamento (Título)</b>
Bioinspired	3469	1414	23
Biomimicry Design	215	128	18
Biomimicry	499	250	23

**Fonte: Autores**

**Tabela 4 - Base de dados *Web of Science***

<b>Palavra-chave</b>	<b>Individual</b>	<b>Tema</b>	<b>Alinhamento (Título)</b>
Bioinspired	4573	466	16
Biomimicry Design	346	64	23
Biomimicry	784	156	27

**Fonte: Autores**

A base de dados *Scopus* teve um total de 64 artigos selecionados, sendo 17 duplicados, restando um total de 47 artigos relevantes. Na base *Web of Science* foram obtidos 66 artigos com 19 duplicados, totalizando também 47 artigos. Entre ambas as bases, foram obtidos um total de 84 artigos, descontando as 10 duplicatas encontradas.

Após compilar os artigos, foi aplicado o quarto filtro, onde foi realizado um alinhamento do resumo de acordo com o tema. No total, 35 artigos foram selecionados. Por fim, no último filtro, as conclusões foram analisadas para

confirmar o alinhamento com o tema, resultando na seleção de 21 artigos totalmente alinhados, que formaram o PB.

Entretanto, com o intuito de agregar conteúdo à pesquisa, outros 63 artigos originários de outras fontes de pesquisa e indicações, foram submetidos ao mesmo processo de alinhamento. A maioria destes artigos não se mostrou presente nas pesquisas das bases de dados iniciais. Destes 63 artigos externos, 39 foram rejeitados, enquanto 24 foram aceitos. Desta forma, o PB final passou a possuir um total de 45 artigos relevantes para a pesquisa.

### 3.3 Análise Bibliométrica

Com o PB definido, teve início a busca pelos dados estatísticos dos artigos selecionados. Com o auxílio do software de gerenciamento de artigos *Endnote*, foi possível identificar os dados relacionados as palavras-chave, autores, periódicos e citações presentes no PB.

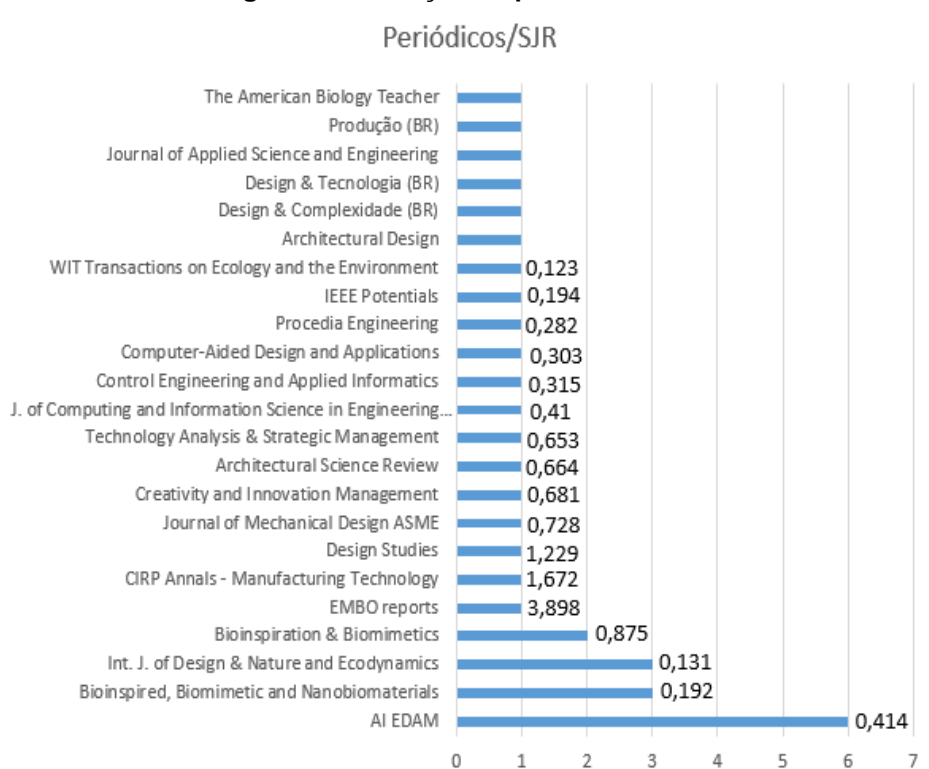
Com a análise bibliométrica, foram identificados quatro tipos de locais de publicações para os artigos do PB. Os 45 artigos estão divididos em 23 publicações em periódicos, 9 em congressos, duas publicações independentes e um capítulo de livro. Na Figura 25, apenas os periódicos foram elencados, de acordo com seu *Scientific Journal Ranking* (SJR) e a quantidade de artigos. Ressalta-se que alguns periódicos não continham uma avaliação SJR.

Em relação aos autores, foram identificados 96 ao todo. Na Figura 26, pode-se ver quais foram os mais citados. Todos os outros tiveram apenas uma citação.

Quanto às palavra-chave, algumas adaptações foram feitas para sua representação da Figura. Palavras consideradas sinônimos, bem como plural e singular foram compiladas. O resultado pode ser visto na Figura 27.

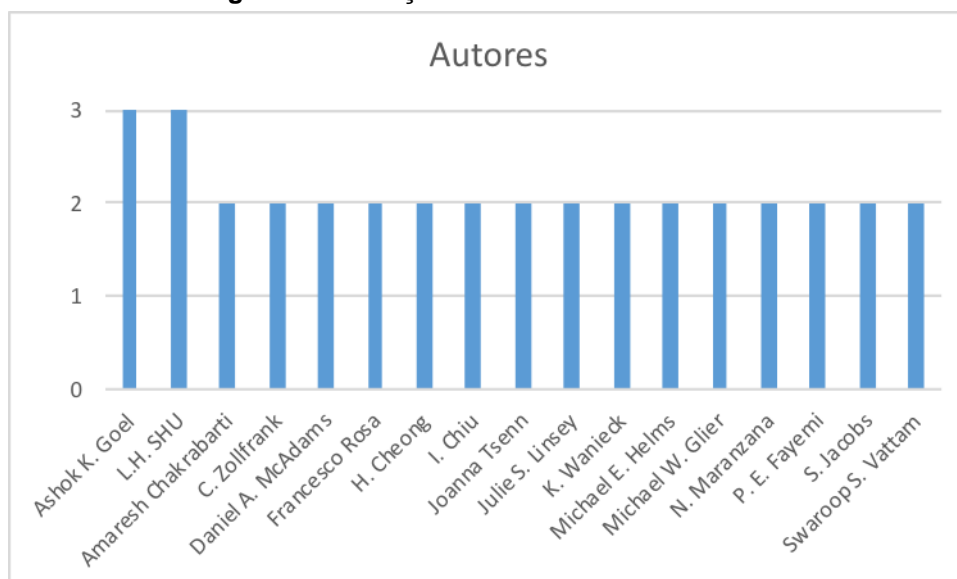
Através desta análise bibliométrica, foi possível inferir sobre quais artigos do PB podem ser considerados os mais relevantes para a pesquisa. Para tal, foram considerados os autores com mais publicações, os periódicos mais utilizados e o índice SJR. Esta relação permitiu identificar 17 artigos, com alto grau de relevância no PB. Assim, foi verificada a quantidade de citações para avaliar seu reconhecimento científico. Abaixo, na Tabela 5, seguem os artigos considerados na análise sistêmica.

**Figura 25 – Relação de periódicos e SJR**



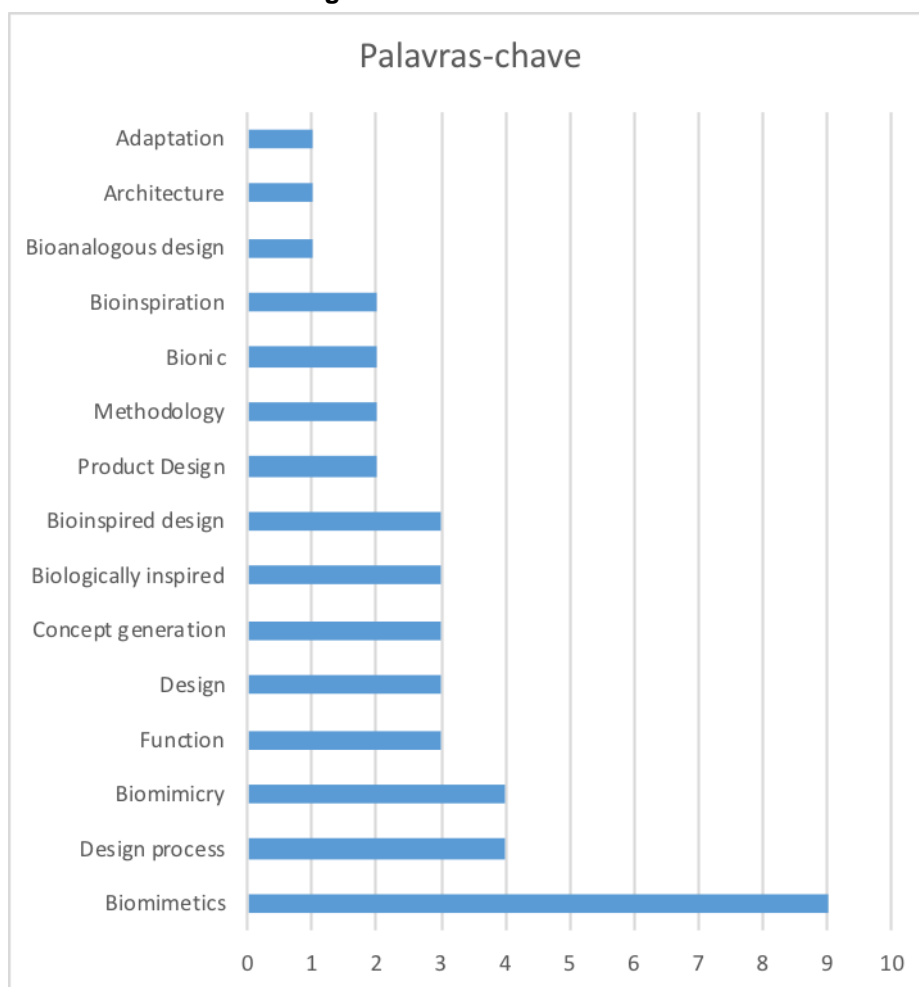
Fonte: Autores

**Figura 26 - Relação dos autores mais citados**



Fonte: Autores

Figura 27 - Palavras-Chave



Fonte: Autores

Tabela 5 – Relação dos artigos mais relevantes

(Continua)

Periódico	Título	Ano	Citações
AIEDAM	<i>Design Problem Solving With Biological Analogies: A Verbal Protocol Study</i>	2014	7
AIEDAM	<i>A Computational Approach to Biologically Inspired Design</i>	2012	14
AIEDAM	<i>Beyond Analogy: A Model of Bioinspiration for Creative Design</i>	2016	6
AIEDAM	<i>A Methodology for Supporting “Transfer” in Biomimetic Design</i>	2010	48
AIEDAM	<i>Biomimetic Design Through Natural Language Analysis to Facilitate Cross-domain Information Retrieval</i>	2007	132
AIEDAM	<i>SEABIRD: Scalable Search for Systematic Biologically Inspired Design</i>	2014	7
<i>Bioinspired, Biomimetic and Nanobiomaterials</i>	<i>Biomimicry Thinking: Methodological Improvements and Practical Implementation</i>	2016	1

		(Conclusão)	
<i>Bioinspired, Biomimetic and Nanobiomaterials</i>	<i>Biomimicry Step-by-step</i>	2016	1
<i>Bioinspired, Biomimetic and Nanobiomaterials</i>	<i>Biomimetics and its Tools</i>	2016	1
<i>Int. J. of Design and Nature and Ecodynamics</i>	<i>Biologically Informed Disciplines: A Comparative Analysis of Bionics, Biomimetics, Biomimicry, and Bio-inspiration Among Others</i>	2014	0
<i>Int. J. of Design and Nature and Ecodynamics</i>	<i>Biomimetics: A Simples Foundation will Lead to New Insight About Process</i>	2014	0
<i>Int. J. of Design and Nature and Ecodynamics</i>	<i>The Application of Bio-inspiration to Human-centered Product Design</i>	2014	0
<i>Bioinspiration and Biomimetics</i>	<i>Biomimetics: Process, Tools and Practice</i>	2017	1
<i>Bioinspiration and Biomimetics</i>	<i>The State of the Art in Biomimetics</i>	2013	72
<i>EMBO Reports</i>	<i>Naturally Better</i>	2007	6
<i>CIRP Annals – Manufacturing Technology</i>	<i>Biologically Inspired Design</i>	2011	84
<i>Design Studies</i>	<i>Biologically Inspired Design: Process and Products</i>	2009	159

**Fonte: Autores**

É preciso relevar certos índices de citações, devido à data de publicação. Artigos muito recentes podem não ter tido tempo para serem citados em estudos relevantes.

#### 4. Análise sistêmica

A análise sistêmica é um processo científico utilizado para realizar uma crítica dos artigos que compõem do portfólio bibliográfico. Esta análise é feita a partir de certos pressupostos que servem como requisitos para avaliar o desempenho de cada artigo, com o intuito de identificar lacunas para pesquisas futuras acerca de um tema (ENSSLIN *et al.*, 2010).

Os requisitos de avaliação definidos para a análise dos artigos selecionados foram baseados nos trabalhos de ENSSLIN *et al.* (2014), que utiliza seis lentes (pressupostos) para a tomada de decisão e compreensão dos itens considerados relevantes ao tema. Para a realização deste trabalho, foi feita uma adaptação deste modelo. Neste estudo, foram considerados um total de nove lentes para a análise e

avaliação das informações. São elas: o que está sendo avaliado; objetivo; tipo de artigo; unidade de análise; metodologia; mensuração; principais resultados; motivação da pesquisa e propostas de pesquisas futuras.

O primeiro aspecto diz respeito ao que está sendo avaliado, qual a característica do objeto de estudo. Entre os 17 artigos, oito artigos tinham como foco a apresentação de um método para a prática da biomimética. Tais métodos variam desde como identificar certas características a processos inteiros para a aplicação da biomimética no desenvolvimento de produtos. Outros três artigos, enfatizavam as ferramentas utilizadas no processo da biomimética. Um único artigo, entretanto, discute os dois assuntos, apresentando um novo método e relacionando-o com as ferramentas a serem utilizadas. Cinco artigos avaliam o conceito do tema da biomimética, sendo que um deles aborda o estado da arte, outro um conceito geral e os últimos três falam sobre a terminologia do assunto.

O segundo aspecto é o objetivo e avalia o que se procura alcançar com o estudo. Dentre os artigos selecionados, todos os que focavam em um método, ou seja, oito artigos, tentavam entender como ocorria o processo da biomimética, em especial a etapa de transferência do conhecimento entre os sistemas. Os três artigos sobre ferramentas, objetivam a sua eficiência no processo. O artigo que compila o método com a ferramenta, tem como objetivo simplificar o processo de forma geral. Por fim, os artigos teóricos, procuram explicar os conceitos do tema.

A terceira lente, é o tipo de artigo e divide-se em empírico, teórico ou ambos. Foram obtidos doze artigos com caráter teórico, e apenas dois empíricos. Entretanto, três artigos propunham uma teoria e a aplicavam.

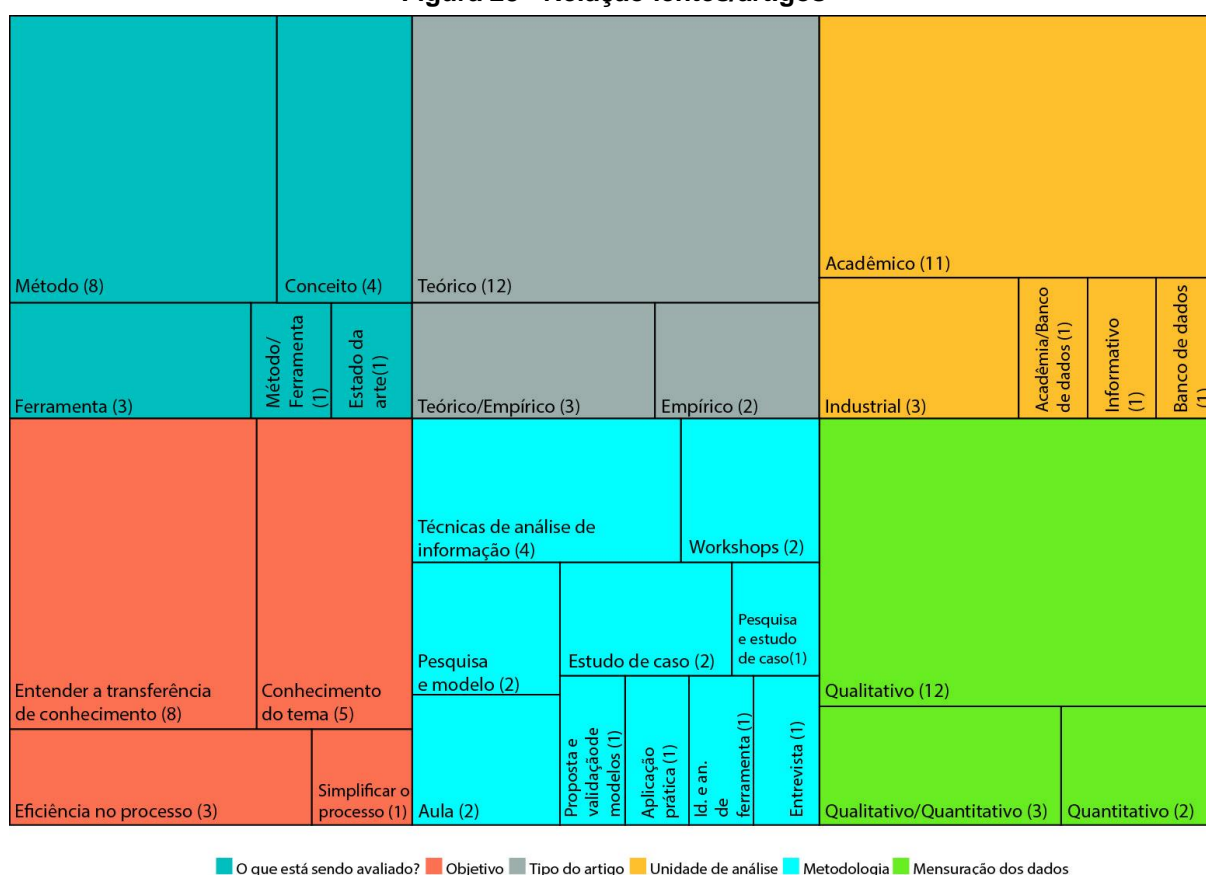
O pressuposto da unidade de análise, está relacionado ao local em que a pesquisa foi realizada, ou seja, de onde seus resultados foram retirados. Onze artigos tinham como cenário o setor acadêmico que coincidentemente, estavam relacionados aos artigos teóricos, com exceção de um, que estava focado no setor industrial. O setor industrial teve o foco de três artigos, sendo um teórico, um empírico e outro que misturava a teoria e prática. Dos três artigos restantes, um tinha caráter apenas informativo, outro trabalhava voltado ao banco de dados e outro juntava o banco de dados com aplicação acadêmica.

No aspecto da metodologia, foram analisados os critérios empregados para a busca das informações do estudo. Diversas metodologias foram empregadas nos artigos lidos; a maioria foram estudos de casos, workshops e diversas propostas de

modelos com suas respectivas validações, além de aplicações diretas em sala de aula. Técnicas de análise de informação, pesquisas científicas e entrevistas também foram utilizadas, porém, apenas quando se tratava de uma pesquisa com embasamento mais teórico.

O aspecto da mensuração dos dados, trata da maneira como os dados eram avaliados. A maioria das informações foram avaliadas de maneira qualitativa. Um total de doze artigos realizavam esta forma de mensurar seus dados, devido ao teor subjetivo do tema. Apenas dois artigos fizeram uma mensuração de dados quantitativa. Por fim, três artigos aplicavam ambas as formas para avaliar seus dados. Na Figura 28, é apresentada, de forma sintetizada e proporcional, a relação entre as lentes citadas acima e os artigos analisados.

**Figura 28 - Relação lentes/artigos**



**Fonte: Autores**

Por apresentarem uma avaliação mais específica, com muitos detalhes que dificultam o agrupamento das informações, as lentes 7,8 e 9 não foram adicionadas à figura. A seguir, segue a avaliação feita para estes aspectos.



Ao avaliar a lente dos principais resultados, notou-se que todos os artigos conseguiram atingir seus objetivos. As conclusões das pesquisas acrescentam informações ao estado da arte do tema, desde o esclarecimento dos termos utilizados na área de pesquisa, até a validação ou aprimoramento de novos processos e ferramentas para o desenvolvimento de produtos.

Na análise do aspecto da motivação das pesquisas, verificou-se que todos os artigos, em algum momento, exaltavam a dificuldade da transferência do conhecimento entre os sistemas natural e técnico. Este problema está relacionado, e serve como base para todos os outros problemas estipulados pelos autores. Outros obstáculos identificados foram a dificuldade na comunicação entre as áreas envolvidas, a falta de termos padronizados, a complexidade do processo e a ausência de uma metodologia clara.

Por último, entre as propostas para pesquisas futuras, houve uma divisão em dois tipos, aqueles que procuram aprimorar o processo proposto e aqueles voltados a validar o mesmo estudo com outros públicos. No último caso, a maioria propunha uma aplicação para a indústria.

## **5. Conclusão**

Através da análise bibliométrica e sistêmica, foi possível averiguar os principais aspectos do tema de estudo. Retirar dados estatísticos do PB possibilitou encontrar os principais periódicos, autores e palavras-chave e sua relevância de acordo com a pesquisa, além de servir como o primeiro passo para a análise sistêmica. Esta, por sua vez, permitiu inferir sobre as carências e tendências de pesquisa na área de interesse, o que possibilitou reconhecer o panorama da biomimética e distinguir quais áreas estão saturadas ou pouco explorada, para servir como lacunas de pesquisa.

Ao analisar o PB, foi possível reconhecer que, apesar da popularização da biomimética, ainda não foi possível encontrar uma maneira simples ou padronizada para transferir o conhecimento entre os sistemas da biologia e engenharia. Sendo assim, muitos trabalhos na área estão sempre voltados para o desenvolvimento de novos processos e ferramentas, com o intuito de diminuir a complexidade de sua aplicação. Entretanto, poucos artigos presentes no PB tratavam do mesmo método/ferramenta. As exceções ocorriam quando os artigos eram realizados pelos

mesmos autores, ou seja, o pesquisador propunha um modelo e em outro artigo fazia sua validação. Desta forma, foi percebido um cenário composto por diversos modelos, porém com poucas validações.

Os motivos que levam a este contexto, podem ser relacionados às mesmas dificuldades de inserir a biomimética no cenário industrial. Ou seja, a falta de um processo claro induz a criação de novos modelos, que são justificáveis pela multidisciplinaridade e a complexidade dos modelos existentes. Outro motivo seria a pressão pela publicação de contribuições inéditas pela comunidade acadêmica. Assim, poucos são os pesquisadores que procuram validar as propostas existentes, deixando este trabalho para a indústria. Esta característica é percebida ao considerar as propostas da lente sugestões de pesquisas futuras, dos artigos do PB.

Esta análise sistêmica permitiu entender que focar na otimização de um processo, sua validação ou talvez na integração dos modelos mais eficazes, pode ser uma boa oportunidade de pesquisa, em vez de continuar propondo novos modelos ou ferramentas. Este parece ser um dos caminhos para simplificar a biomimética e disseminar sua prática no desenvolvimento de produtos.

## Referências

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

BIANCIARDI, Alessandro *et al.* Biomimicry thinking: methodological improvements and practical implementation. **Bioinspired, Biomimetic and Nanobiomaterials**, v. 6, n. 2, p. 87-101, 2017.

BURT, Ronald S. **Social origins of good ideas**. Manuscrito não publicado. Disponível em: < [http://www.analytictech.com/mb709/readings/burt\\_SOI.pdf](http://www.analytictech.com/mb709/readings/burt_SOI.pdf) > Acesso em 6 fev. 2019. 2002.

CHEONG, Hyunmin; HALLIHAN, Gregory M.; SHU, L. H. Design problem solving with biological analogies: A verbal protocol study. **Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing**, v. 28, n. 1, p. 27-47, 2014.

CHIU, Ivey; SHU, L. H. Biomimetic design through natural language analysis to facilitate cross-domain information retrieval. **Ai Edam**, v. 21, n. 1, p. 45-59, 2007.

DE OLIVEIRA LACERDA, Rogério Tadeu; ENSSLIN, Leonardo; ENSSLIN, Sandra Rolim. *Uma análise bibliométrica da literatura sobre estratégia e avaliação de desempenho*. **Gestão & Produção**, v. 19, n. 1, 2012.

ENSSLIN, Leonardo et al. ProKnow-C, knowledge development process-constructivist. **Processo técnico com patente de registro pendente junto ao INPI. Brasil**, v. 10, n. 4, p. 2015, 2010.

ENSSLIN, Leonardo; ENSSLIN, Sandra Rolim; DE SOUZA, Marcel Viana. Gerenciamento de portfólio de produtos na indústria: estado da arte. **Revista Produção Online**, v. 14, n. 3, p. 790-821, 2014.

FAYEMI, Pierre-Emmanuel *et al.* Biomimetics: process, tools and practice. **Bioinspiration & biomimetics**, v. 12, n. 1, p. 011002, 2017.

HELMS, Michael; VATTAM, Swaroop S.; GOEL, Ashok K. Biologically inspired design: process and products. **Design Studies**, v. 30, n. 5, p. 606-622, 2009.

HILL, Bernd. *Goal Setting Through Contradiction Analysis in the Bionics-Oriented Construction Process*. **Creativity and Innovation Management**, v. 14, n. 1, p. 59-65, 2005.

IOUGUINA, A. *et al.* Biologically informed disciplines: a comparative analysis of bionics, biomimetics, biomimicry, and bio-inspiration among others. **International Journal of Design & Nature and Ecodynamics**, v. 9, n. 3, p. 197-205, 2014.

ISO (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION). ISO 18458: 2015: *Biomimetics—terminology, concepts and methodology*. 2015.

JACOBS, S. Biomimetics: A Simple Foundation Will Lead To New Insight About Process. **International Journal of Design & Nature and Ecodynamics**, v. 9, n. 2, p. 83-94, 2014.

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**, v. 136, n. 11, p. 111101, 2014.

KENNEDY, B. The application of bio-inspiration to human-centered product design. 2014.

LEPORA, Nathan F.; VERSCHURE, Paul; PRESCOTT, Tony J. The state of the art in biomimetics. **Bioinspiration & biomimetics**, v. 8, n. 1, p. 013001, 2013.

LEPORA, Nathan F; PRESCOTT, Paul VERSCHURE E Tony J. *The State of the Art in Biomimetics*. *Bioinspiration & Biomimetics*, [S.L], v. 8, n. 1, jan. 2013.

NAGEL, Jacquelyn KS; STONE, Robert B. A computational approach to biologically inspired design. **AI EDAM**, v. 26, n. 2, p. 161-176, 2012.

RINALDI, Andrea. Naturally better. **EMBO reports**, v. 8, n. 11, p. 995-999, 2007.

ROWLAND, Regina. Biomimicry step-by-step. **Bioinspired, Biomimetic and Nanobiomaterials**, v. 6, n. 2, p. 102-112, 2017.

SALGUEIREDO, Camila Freitas; HATCHUEL, Armand. Beyond analogy: A model of bioinspiration for creative design. **AI EDAM**, v. 30, n. 2, p. 159-170, 2016.

SARTORI, Julian; PAL, Ujjwal; CHAKRABARTI, Amaresh. A methodology for supporting "transfer" in biomimetic design. **Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing**, v. 24, n. 4, p. 483-506, 2010.

SHU, L. H. *et al.* Biologically inspired design. **CIRP Annals-Manufacturing Technology**, v. 60, n. 2, p. 673-693, 2011.

SILVA, E. L.; MENEZES, E. M. *Metodologia da Pesquisa e Elaboração de Dissertação*. UFSC, Florianópolis, 4ª. Edição, 2001.

VANDEVENNE, Dennis *et al.* SEABIRD: Scalable search for systematic biologically inspired design. **AI EDAM**, v. 30, n. 1, p. 78-95, 2016.

WANIECK, K. *et al.* Biomimetic and its tools. **Bioinspired, biomimetic and Nano biomaterials**, [S.L], v.6, n. 2, p. 53-66, may. 2017.

## APÊNDICE B – PROCEDIMENTOS DAS FERRAMENTAS

Neste apêndice apresenta-se o procedimento metodológico utilizado em cada etapa do Processo Unificado da Biomimética, com abordagem direcionada ao problema e suas respectivas ferramentas.

### ETAPA 01 – ANÁLISE DO PROBLEMA

O problema escolhido para ser solucionado foi definido após uma pesquisa por áreas carentes pelo desenvolvimento de produtos. Após serem consideradas diversas possibilidades, acabou-se optando em trabalhar dentro da área de saúde, mais especificamente na imobilização de pacientes infantis para a realização de exames radiográficos. A oportunidade surgiu devido ao contato entre o pesquisador e o hospital.

A análise do problema foi dividida em duas partes. A primeira foi destinada a formalizar e reformular o problema, por meio do Questionário da Situação de Inovação (QSI). A segunda parte foi responsável por identificar os produtos relevantes, relacionados ao problema, existem e reconhecer o potencial para a criação de invenções. Nesta parte foram utilizadas as ferramentas Busca de Anterioridade e Curva S.

#### Questionário da Situação de Inovação

A primeira parte da análise do problema utiliza o Questionário da Situação de Inovação para formalizar e reformular o problema. As perguntas foram respondidas de forma a proporcionar os maiores detalhes possíveis. Segue o questionário realizado com suas respostas.

#### **1. Informação sobre o sistema que deve ser aprimorado/ criado e seu ambiente.**

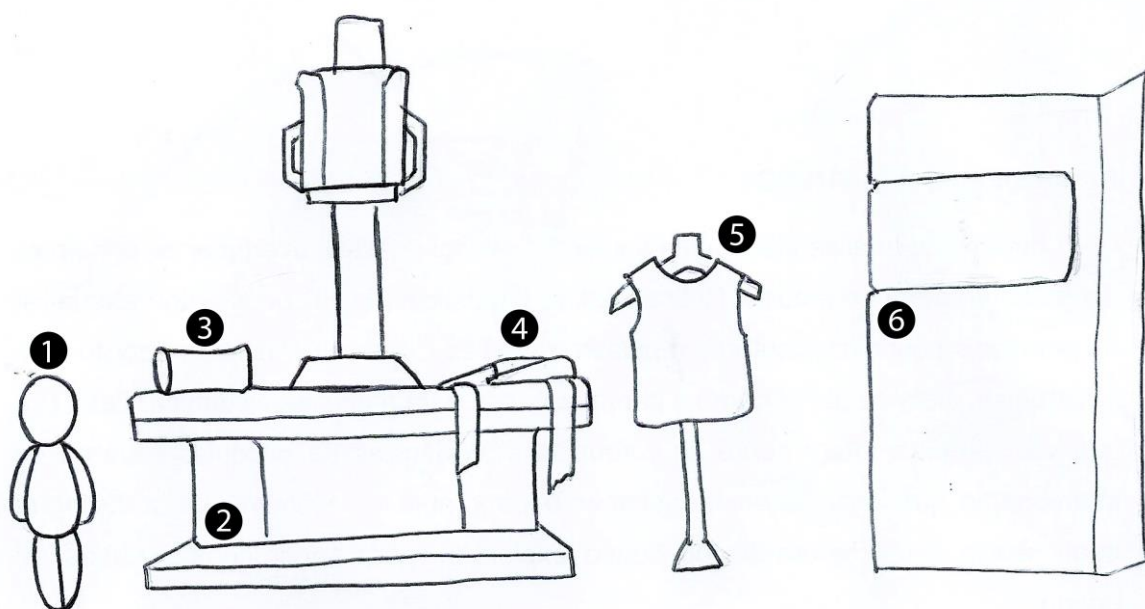
##### **1.1. Nome do sistema:** Exame radiográfico infantil

**1.2. Função primária do sistema:** Um sistema realiza uma função quando algo mais é afetado. Esta função pode ser representada através de um verbo.

A função primária de um procedimento radiográfico é retirar imagens da estrutura óssea humana para a identificação de anomalias.

**1.3. Estrutura do sistema atual/ desejado:** a estrutura deve ser descrita em seu estado estático (como ele existe e não em operação). Este é representado por um desenho, indicando todos os subsistemas envolvidos, e as vezes o super sistema.

Figura 29 - Estrutura do sistema atual



Fonte: Autor

1 – Criança; 2 – Máquina de radiografia; 3 – Sacos de areia/espumas; 4 – Faixas; 5 – Vestimentas de proteção aos acompanhantes; 6 – Painel de comando para acionamento da máquina.

**1.4. Funcionamento do sistema:** descrição de como o sistema funciona, ou seja, como ele trabalha durante a execução de sua função primária e como os subsistemas e os elementos interagem entre si.

Primeiro o paciente é posicionado na mesa do exame. Em seguida o técnico altera a posição do paciente de acordo com a região a ser examinada. Caso

aja dificuldades em manter a posição, objetos de apoio são utilizados, como sacos de areia ou espumas, as vezes é necessário a ajuda terceiros para esta atividade (este precisa utilizar os devidos artefatos de proteção para radiação). O técnico então mira a máquina manualmente no local do raio-x e se direciona ao painel de comando (em outro cômodo) para acionar a retirada da imagem, caso seja preciso outras imagens, os passos se repetem.

### **1.5. Ambiente do sistema: como o sistema interage com qualquer super sistema.**

A máquina de radiografia encontra-se em um ambiente hospitalar, sujeito a todos os requisitos como limpeza e organização. A máquina utiliza de material radioativo, prejudicial em altas quantidades ao ser humano, por isso há um rodízio entre os responsáveis pelo seu manuseio. O ambiente em que a máquina se encontra é apertado e em certos momentos escuro.

## **2. Recursos disponíveis**

**Muitas soluções tomam vantagens dos recursos já existentes, porém não utilizados no sistema. Os recursos comuns são:**

- Recursos de substâncias: não consta.
- Recursos de campo: energia radioativa expelida; temperatura fria do ambiente.
- Recursos funcionais: geração de imagens na posição vertical e panorâmicas.
- Recursos de informação: uma luz vermelha indica o disparo da radiação e procedimento em andamento.
- Recursos de tempo: Etapa de preparação; posicionar paciente; preparar; ativar máquina; retirar paciente.
- Recursos de espaço: Local amplo com espaços vazios; longa distância entre a máquina e o centro de comando.

### **3. Informações sobre a situação do problema**

#### **3.1. Aprimoramento desejado no sistema ou inconveniente a ser eliminado: indicação das causas do problema, como o inconveniente está relacionado a função principal do sistema.**

A dificuldade em manter os pacientes infantis parados prejudica a realização do exame, resultando em imagens ruins ou inúteis para a análise do diagnóstico. Além disso, a repetição do exame causa exposição excessiva à radiação por parte dos pacientes e técnicos, bem como terceiros caso seja necessária ajuda externa.

#### **3.2. Mecanismo que causa o inconveniente, se estiver claro: Se possível, descrever o mecanismo que causa o inconveniente, e as condições para sua circunstância. É sempre útil entender a causa raiz do problema. Esta é uma informação crítica para a formulação do problema.**

Normalmente as crianças estão muito nervosas e impacientes, o que dificulta a realização do exame. Por outro lado, os equipamentos disponíveis também não são efetivos, as almofadas e sacos de areia auxiliam de forma superficial na realização da atividade. A máquina e o ambiente também não são convidativos ao paciente, sendo intimidadores e pouco receptivos.

#### **3.3. Histórico do desenvolvimento do problema: Após quanto tempo da criação do sistema o problema veio a surgir? Deve-se descrever os eventos que levaram ao inconveniente e suas razões.**

O problema pode existir desde a origem da atividade, porém talvez não houvesse tanta preocupação com a segurança do exame, permitindo o uso de força excessiva para a total imobilização do paciente. Porém, com o passar do tempo estas práticas passaram a ser questionadas, exigindo uma alternativa mais efetiva.

#### **3.4. Outros problemas resolvidos: É possível modificar a direção do desenvolvimento para que os eventos que levem ao inconveniente sejam eliminados? Isso pode causar novos problemas, porém podem ser mais fáceis de serem resolvidos.**

- A criança pode usar um colete para imobilizar seus movimentos, porém, é preciso fazê-lo de forma a não obstruir a imagem e sem machuca-la.
- O exame poderia ser feito em pé, o que exigiria uma tecnologia alternativa.
- O paciente poderia ser sedado, porém o exame é tão rápido que o custo-benefício não valeria a pena.
- A criança poderia ser submetida a um tratamento psicológico para aceitar o exame, mas isto demandaria muito tempo.

#### **4. Mudar o sistema**

**4.1. Mudanças possíveis no sistema: Avaliar e descrever os níveis de mudanças possíveis no sistema como resultado da busca pela solução. Normalmente o grau de mudança está relacionada ao estágio de desenvolvimento do produto, suas perdas e o possível lucro/ benefício pela solução do problema.**

Mudanças totais são possíveis, incluindo a criação de um novo produto ou tecnologia. Novos produtos que substituam os acessórios podem ser propostos, porém devem levar em conta certos requisitos técnicos.

**4.2. Limitações para mudar o sistema: Indicar o que pode ou não ser mudado no sistema. Quais características técnicas, econômicas, entre outras devem ser mantidas.**

- Há uma exigência sobre o tipo de material a ser utilizado, este deve ser radio transparente, pois permite a passagem de radiação. Além disso, é preciso que o mínimo de material fique entre o paciente e a mira.
- O produto precisa ser facilmente esterilizado.
- É preciso ser ergonômico e de fácil utilização.

#### **5. Critério para a seleção dos conceitos de ideias**

**Indicar quais partes do sistema que precisam ser alteradas para alcançar seus objetivos. Os critérios costumam ser:**

- **Características tecnológicas**



- **Características econômicas**
- **Tempo**
- **Nível de inovação**

Tecnicamente, espera-se uma solução mecânica sem envolver elementos eletrônicos. Economicamente é preciso haver um baixo investimento, porém a produção precisa acontecer de forma rápida. Como consequência dos requisitos e das outras informações adquiridas, há uma expectativa para um alto nível de inovação.

## **6. Histórico de soluções**

### **6.1. Tentativas anteriores para a solução do problema: buscar por documentos sobre tentativas anteriores para solucionar o problema e definir uma razão que justifique sua falha.**

Mudanças totais são possíveis, incluindo a criação de um novo produto ou tecnologia. Novos produtos que substituam os acessórios podem ser propostos, porém devem levar em conta certos requisitos técnicos.

### **6.2. Outros sistemas com problema similar: existem outros sistemas com problemas análogos? Esses problemas foram resolvidos? É possível aplicar sua solução ao atual problema? Se não for possível, qual a limitação?**

Problemas que envolvam a limitação de movimento por parte de objetos, ou outros seres vivos, podem ser considerados análogos. Parafusos são utilizados para fixar certos elementos, restringindo sua movimentação, as limitações neste caso se dariam por questões estruturais ao produto a ser feito. Coleiras limitariam o deslocamento do paciente, mas não sua movimentação. Acalmar o paciente através de efeitos medicinais trariam maior burocracia e riscos ao procedimento e paciente.

## **BUSCA DE ANTERIORIDADE**

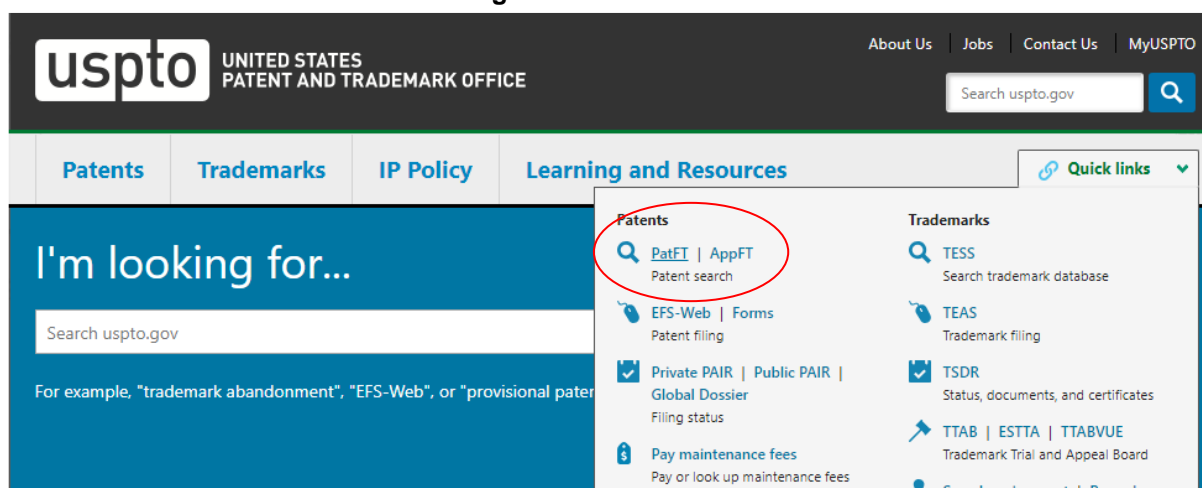
A Busca de Anterioridade tem início pela definição da classe de patente relacionada ao projeto a ser desenvolvido. Uma pesquisa utilizando o termo

“*Paediatric Immobilization*” dentro do *google scholars*, retornou o artigo “*Development and test of a paediatric and neonatal immobilizer for ambulance transfers*” (BALLESTEROS *et al.*, 2014). Este artigo permitiu reconhecer uma série de patentes vinculadas à imobilização de pacientes.

Dentre todas as classes, a A61F 5/37 foi considerada a mais alinhada ao projeto. Definida a classe, é possível pesquisar pelas patentes registradas no site do Departamento de Patentes dos Estados Unidos (USPTO). Uma vez que o USPTO divide as patentes em dois grupos, PatFT e AppFT, a mesma classe deve ser pesquisada uma vez em cada grupo.

A busca teve início pelas patentes já concedidas, o grupo PatFT. AO entrar no site da USPTO, é preciso ir na aba “*quick link*” e selecionar o termo “PatFt”. Como ilustra a Figura 30.

Figura 30 - Site USPTO



Fonte: Autor

Na página seguinte são apresentados os filtros para a realização da pesquisa, o qual foram preenchidos com os seguintes dados: para o filtro “*term 1*” foi colocado a classificação “A61F5/37”; para o filtro “*field 1*” a opção “*Current CPC Classification*”; e por fim, no filtro “*select years*” foi a opção “*1976 to present*”. O resultado deste conjunto de opções foi um total de 123 patentes, as quais todas estavam disponibilizados para *download*. Este procedimento pode ser visto na

Figura 31 e Figura 32.

Figura 31 - Seleção de filtros PatFT - A61F5/37

USPTO PATENT FULL-TEXT AND IMAGE DATABASE

Home Quick Advanced Pat Num Help

View Cart

Data current through July 31, 2018..

Query [Help]

Term 1: A61F5/37 in Field 1: Current CPC Classification

AND

Term 2: in Field 2: All Fields

Select years [Help]

1976 to present [full-text]

Search Redefinir

Patents from 1790 through 1975 are searchable only by Issue Date, Patent Number, and Current US  
When searching for specific numbers in the Patent Number field, utility patent numbers are entered as one to eight numbers in length, exclu

Fonte: Autor

Figura 32 - Resultados PatFT- A61F5/37

USPTO PATENT FULL-TEXT AND IMAGE DATABASE

Home Quick Advanced Pat Num Help

Next List Bottom View Cart

Searching US Patent Collection...

Results of Search in US Patent Collection db for:  
CPC/A61F5/37: 123 patents.  
Hits 1 through 50 out of 123

Next 50 Hits

Jump To

Refine Search CPC/A61F5/37

PAT. NO.	Title
1 10,004,628	Preventing human infant occipital plagiocephaly
2 9,993,382	Tissue retention systems and methods
3 9,907,688	Care unit

Fonte: Autor

O mesmo processo foi feito para as patentes em processo de homologação, AppFT. Ambas as buscas utilizaram os mesmos filtros, a única exceção ocorreu em relação ao filtro “select year” com a opção “2001 to present”. O retorno desta pesquisa foi um total de 165 pedidos de patentes com análise em andamento. Nesta pesquisa, apenas os primeiros 50 pedidos tiveram seu *download* efetuado, uma vez que de acordo com o próprio site do USPTO, eram consideradas as patentes mais pertinentes. Este processo é ilustrado na Figura 33 e Figura 34.

Figura 33 - Seleção de filtros AppFT - A61F5/37

TCG Mestrado Passeios Cursos e Tutoriais Vídeos Trabalhe Conosco - E SJR Scimag

## US PATENT & TRADEMARK OFFICE

### PATENT APPLICATION FULL TEXT AND IMAGE DATABASE

[Help](#) [Home](#) [Boolean](#) [Manual](#) [Number](#)  
[View Shopping Cart](#)

Data current through August 2, 2018.

Query [\[Help\]](#)

Term 1:  in Field 1:

Term 2:  in Field 2:

Select years [\[Help\]](#)

Fonte: Autor

Figura 34 - Resultados AppFT - A61F5/37

PreGrant Publication Data: X

Não seguro | appft.uspto.gov/netacgi/nph-Parser?Sect1=PTO2&Sect2=HITOFF&p=1&u=%2Fnetacgi%2FPTO%2Fsearch-bool.html&lr=0&f=S&l=50&TERM1=A61F5/37

Apps Blogs Séries Games Design Empregos Projetos TCG Mestrado Passeios Cursos e Tutoriais Vídeos Trabalhe Conosco - E SJR Scimag

## US PATENT & TRADEMARK OFFICE

### PATENT APPLICATION FULL TEXT AND IMAGE DATABASE

[Help](#) [Home](#) [Boolean](#) [Manual](#) [Number](#) [PTDLs](#)  
[Next List](#) [Bottom](#) [View Shopping Cart](#)

Searching AppFT Database...

**Results of Search in AppFT Database for:**  
 CPC/A61F5/37: 165 applications.  
 Hits 1 through 50 out of 165

Jump To

Refine Search

PUB. APP. NO.	Title
1 20180147082	<a href="#">Flexible nonviolent intervention shield</a>
2 20180140454	<a href="#">SCOLIOSIS ACTIVITY SUIT</a>
3 20180125695	<a href="#">Positioning Attachment for a Patient</a>
4 20180078401	<a href="#">CERVICAL COLLAR</a>
5 20180078400	<a href="#">CERVICAL COLLAR</a>

Fonte: Autor

Após a pesquisa no banco da USPTO, foi realizada uma busca no banco de patentes nacionais, o INPI. O processo de busca pelo INPI possui certas diferenças, porém é semelhante ao do USPTO. É possível utilizar a mesma classificação para buscar pelas patentes concedidas no Brasil. Ao acessar o site do INPI, basta ir ao termo “busca rápida” e selecionar “patentes”. Para inserir a classificação é preciso ir à aba “pesquisa avançada” e selecionar classificação. No campo “Classificação IPC” foi colocado a mesma classificação utilizada no USPTO, “A61F 5/37”. O resultado foi um total de 49 processos, onde 35 detinham arquivos disponíveis para *download*. A Figura 35 e Figura 36, ilustram o processo.

**Figura 35 - Seleção de Filtros INPI**

ntes/PatenteSearchAvancado.jsp

egos Projetos TCG Mestrado Passeios Cursos e Tutoriais Vídeos Trabalhe Conosco - E Scimago Journal & C

BRASIL Acesso à informação Participe Serviços Legislação Canais

Instituto Nacional da  
**Propriedade Industrial**  
Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior

Consulta à Base de Dados do INPI

[ Início | Ajuda? | Login | Cadastre-se aqui. ]

> Consultar por: **Base Patentes** | Pesquisa Básica | Calendário | Finalizar Sessão

**PESQUISA AVANÇADA**  
*Formeça abaixo as chaves de pesquisa desejadas. Evite o uso de frases ou palavras genéricas.*

**Números**

(21) Nº do Pedido:   Calendário de Patentes expiradas/a expirar   
 Patente Concedida

(33)/(31) País/Nº da Prioridade:

(86) Nº do Depósito (PCT):

**Datas**

**Classificação**

(51) Classificação IPC: **A61F5/37**   
Palavra-chave no classificador IPC:

**Palavra Chave**

**Depositante/Titular/Inventor**

Nº de Processos por Página:  ▼

Rua Mayrink Veiga, 9 - Centro - RJ - CEP: 20090-910 | Rua São Bento, 1 - Centro - RJ - CEP: 20090-010

Fonte: Autor

Figura 36 - Resultados INPI - A61F5/37

IntenteServletController?Action=nextPage&Page=1&Resumo=&Titulo=

Projetos TCG Mestrado Passeios Cursos e Tutoriais Vídeos Trabalhe Conosco - E Scimago Journal & C

BRASIL Acesso à informação Participe Serviços Legislação Canais

Instituto Nacional da  
**Propriedade Industrial**  
Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior

Consulta à Base de Dados do INPI [ Início | Ajuda? ]

» Consultar por: Base Patentes | Finalizar Sessão

**RESULTADO DA PESQUISA** (02/08/2018 às 14:55:11)

Pesquisa por:  
Classificação (IPC): 'A61F 5/37' \

Foram encontrados 49 processos que satisfazem à pesquisa. Mostrando página 1 de 3.

Pedido	Depósito	Título	IPC
BR 11 2018 007546 9	13/10/2016	DISPOSITIVO E SISTEMA TRIDIMENSIONAL PARA ALÍVIO DO PROLAPSO	A61F 5/24
BR 11 2017 025324 0	12/05/2016	DISPOSITIVO PÉLVICO PARA REALIZAR RADIOGRAFIAS	A61F 5/37
BR 20 2016 006506 8	23/03/2016	DISPOSIÇÃO CONSTRUTIVA INTRODUZIDA EM ÓRTESE	A61F 5/01
BR 20 2016 000202 3	06/01/2016	APOIO PARA OS BRAÇOS	A41D 13/08
BR 11 2016 012917 2	16/10/2014	DISPOSIÇÃO CONSTRUTIVA INTRODUZIDA EM COMPRESSOR DINÂMICO DE TÓRAX	A61F 5/37
BR 11 2015 070638 6	28/05/2014	TIPA DE FITA DE CINECITOLOGIA PRÉ-CORTADA CONECTÁVEL AO USUÁRIO	A61F 5/00

Fonte: Autor

## Curva S

As patentes mais relevantes tiveram suas principais características comparadas com os conceitos de estágio evolutivo proposto por Terninko *et al.* (1998), conforme Quadro 23 abaixo.

Quadro 23 – Estágios evolutivos

(Continua)

Estágio evolutivo	Descrição
Gestação	Quando um conceito permanece em desenvolvimento até que atinja um nível viável de realidade.
Nascimento	Tecnologia emergente ou com aplicação inovadora. Surge através de duas condições: a necessidade de uma função; e a existência de tecnologias que permitam seus meios.
Infância	O sistema é primitivo, ineficiente, pouco confiável e tem muitos problemas não resolvidos. Contudo, mesmo assim ele fornece novas funções. Um pequeno número de entusiastas acredita em seu futuro e trabalham para seu sucesso.
Adolescência	O sistema apresenta um desenvolvimento rápido, esta fase começa com o reconhecimento do seu valor pela sociedade. Muitos problemas são superados, sua eficiência e desempenho melhoram e um novo mercado se cria. Investimentos em dinheiro e feedbacks aceleram cada vez mais a evolução do sistema.

**(Conclusão)**

Maturidade	O sistema apresenta um desenvolvimento uma vez que o conceito inicial se aproxima do seu limite natural. O investimento de dinheiro e esforço não é proporcional sobre o desempenho. O conceito, formas e materiais utilizados estabilizam. Pequenos aprimoramentos ocorrem através da otimização do sistema.
Declínio	Os limites tecnológicos são alcançados e nenhum aprimoramento está disponível. O sistema pode não ser mais necessário pois a função que ele exerce pode ser dispensável. A única forma de quebrar o declínio é desenvolvendo um novo conceito e nova tecnologia.

Fonte: Autor

## ETAPA 02 – ABSTRAÇÃO DO PROBLEMA TÉCNICO

A realização desta etapa contou com a aplicação da ferramentas “5 Por quês”. Para abstrair o problema e identificar a raiz do sistema problema “procedimento de exames radiológicos em pacientes pediátrico”, foi utilizado o grupo de questionamento presente no Quadro 24.

Quadro 24 - Grupo de questionamentos

Pergunta	Resposta
1. Por que o exame não é bem feito?	Porque a imagem retirada não possui a qualidade necessária.
2. Por que a imagem não possui qualidade?	Porque o paciente não manteve o posicionamento correto.
3. Por que o paciente não se manteve posicionamento corretamente?	Porque ele não parava de se movimentar.
4. Por que ele se movimentava?	Porque ele se encontrava abalado física e psicologicamente.
5. Por que ele estava abalado?	Porque sofreu algum tipo de trauma físico.

Fonte: Autor

Como a raiz do problema foi identificada sendo o trauma físico, não é possível a interferência neste evento. Sendo assim, foi necessário formular outros questionamentos (Quadro 25) a partir da quarta pergunta, na intenção de encontrar outras causas, passíveis de intervenção.



Quadro 25 - Novas perguntas

Pergunta	Resposta
4. Por que ele se movimentava?	Por que não há como imobilizar o paciente.
5. Por que não há como imobilizá-lo?	Por que não há equipamentos/ materiais eficazes disponíveis.

Fonte: Autor

É possível criar quantas novas perguntas forem necessárias para se alcançar a raiz do problema. O número de 5 questões é uma indicação, definida após várias aplicações da ferramenta.

### ETAPA 03 – TRANSPOSIÇÃO PARA BIOLOGIA

Definir a raiz do problema é essencial para a realização desta etapa, uma vez que será através destas informações que a busca por referências no sistema natural será realizada. Utilizando a ferramenta Taxonomia, as informações sobre o problema são relacionadas a termos de pesquisa para serem aplicados ao *software AskNature*, na etapa 4.

A Taxonomia foi feita através de três abordagens diferentes: identificação de verbos que definam o problema e descrevam a função a ser exercida; por meio de grupos de conceitos semelhantes ao problema; e por intermédio de uma entrevista com um profissional biólogo. Os verbos, grupos e termos resultantes da entrevista com o biólogo são utilizados como informações de entrada na etapa 4. A seguir, cada abordagem é detalhada.

#### ABORDAGEM 01 – VERBO

Os verbos selecionados para representar o problema da imobilização de pacientes infantis foram: imobilizar (*Immobilize*); prender (*to hold*); Capturar (*Capture*); dobrar (*Bend*); e travar (*Lock*).

## ABORDAGEM 02 – GRUPOS

Para utilizar a abordagem de grupos é necessária uma tabela intitulada “*Biomimicry Taxonomy*”, fornecida pelo *Biomimicry Institute*. Por meio desta tabela é possível traçar caminhos pelas características que mais se alinham ao problema. Os caminhos percorridos podem ser conferidos no Quadro 26.

**Quadro 26 - Caminhos da Taxonomia**

	<b>Caminho 1</b>	<b>Caminho 2</b>	<b>Caminho 3</b>
<b>Grupo</b>	Mover ou ficar parado (Move or stay put)	Mover ou ficar parado (Move or stay put)	Proteger de dano físico (Protect from physical harm)
<b>Subgrupo</b>	Anexar (Attach)	Anexar (Attach)	Evitar falha estrutural (Prevent from structural failure)
<b>Função</b>	Temporário (Temporality)	Permanente (Permanently)	Impedir dobra (Prevent from Buckling)

Fonte: Autor

## ABORDAGEM 03 – CONVERSA COM BIÓLOGO

A conversa com o profissional biólogo ocorreu por meio de uma entrevista, onde foram questionados elementos naturais relacionados aos verbos definidos na abordagem 01 desta etapa. Os termos mais relevantes advindos da entrevista, e que serão utilizados na etapa 4, foram: constrição, musculatura de aves de rapina, esqueletos hidrostáticos, anêmonas e plantas escandentes. Contudo, vale ressaltar que esta abordagem foi feita após etapa 4, devido a insatisfação com os resultados colhidos. Esta ação só foi possível devido a iteração entre que o Processo Unificado da Biomimética permite.

## ETAPA 04 – IDENTIFICAÇÃO DE POTENCIAIS MODELOS BIOLÓGICOS

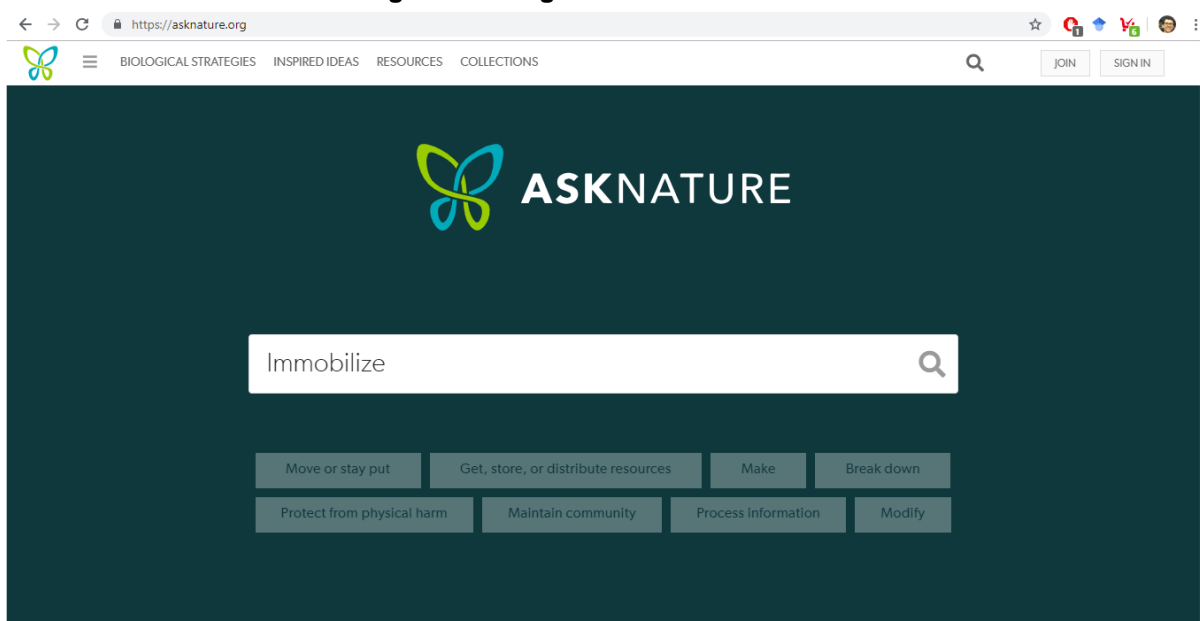
A identificação dos modelos biológicos é feita através do software de pesquisa *AskNature*. Sua utilização deve ocorrer em conjunto com a ferramenta

Taxonomia. A pesquisa no banco de dados do *AskNature* foi feita de duas maneiras: através de verbos que representem a função desejada (foram utilizados os termo da abordagem de verbos da etapa anterior) e pelos grupos propostos pela Taxonomia. Maiores detalhes a seguir.

## Pesquisa por termos

Na página inicial do *AskNature*, cada um termos definidos na etapa anterior pelas abordagens de verbos foram inseridos na caixa de busca para encontrar suas respectivas estratégias biológicas. A Figura 37 mostra a página inicial do software e onde os termos devem ser inseridos. A Figura 38 apresenta os resultados da busca.

Figura 37 - Página inicial do AskNature



Fonte: Autor

Figura 38 - Resultado da busca pelo termo

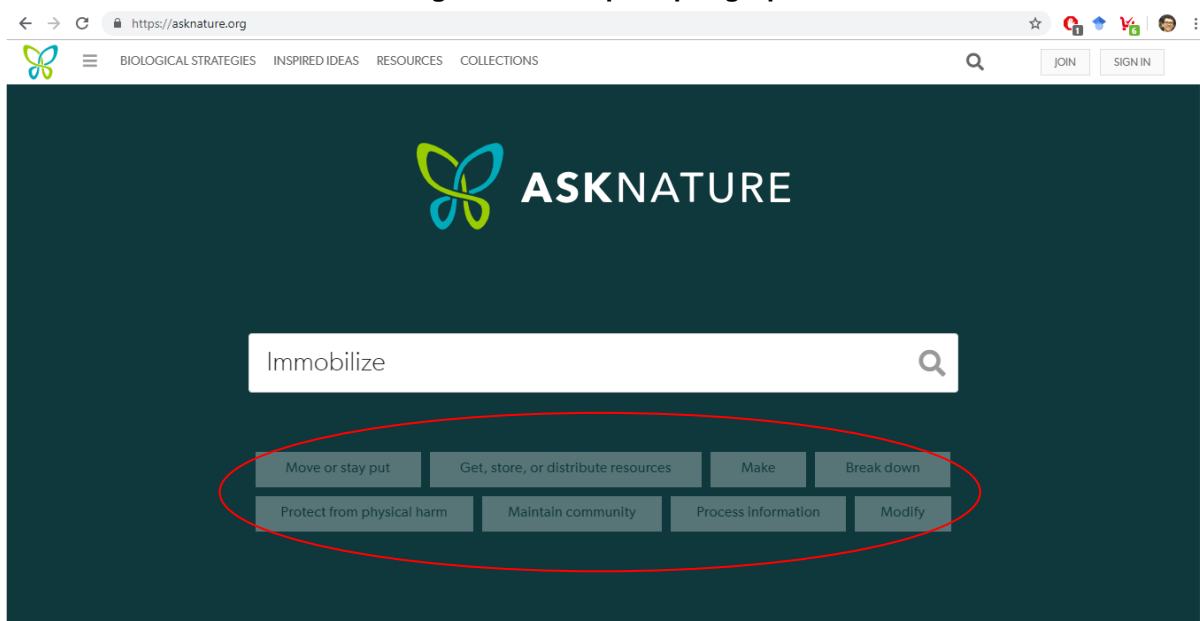
Fonte: Autor

## Pesquisa por grupos

A pesquisa por grupos tem início de maneira semelhante à por verbos. Porém, em vez de escrever um verbo na barra de pesquisa, é preciso selecionar os grupos correspondentes a função desejada. Assim, basta selecionar o grupo definido na etapa anterior para dar início a esta pesquisa. Os grupos se encontram abaixo da barra de pesquisa (Figura 39). Ao selecioná-lo a página é redirecionada para os resultados, contudo é preciso ir até a barra lateral para selecionar o subgrupo e a função relacionada ao problema (Figura 40). Por fim os resultados relacionados a este caminho serão apresentados. Nesta pesquisa foram utilizados todos os três caminhos definidos na etapa anterior.

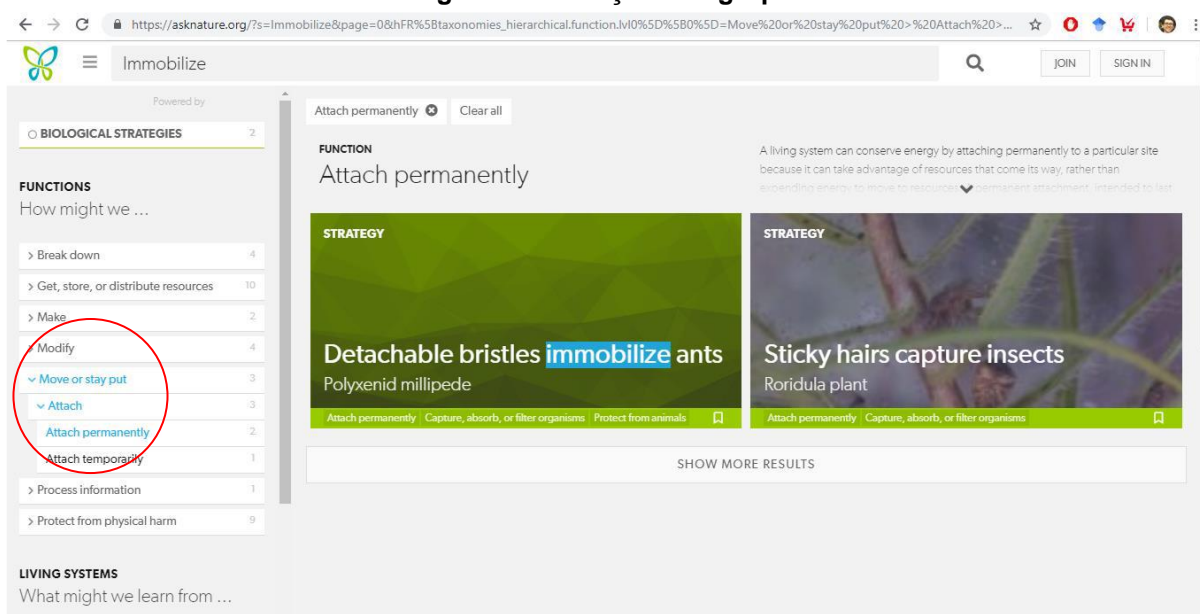
Feito as pesquisas, as estratégias biológicas mais relevantes foram selecionadas e analisadas por meio da leitura das informações disponibilizadas pelo banco de dados. Contudo, apesar da grande quantidade de resultados apresentados, nenhum deles se mostrou satisfatório. Assim, uma conversa com o biólogo foi requisitada.

Figura 39 - Pesquisa por grupos



Fonte: Autor

Figura 40 - Seleção dos grupos



Fonte: Autor

## Entrevista com biólogo

A entrevista com o biólogo foi simples. Foram questionadas as formas que a natureza realiza a imobilização de forma geral. Durante a conversa, diversas novas estratégias biológicas, não apresentadas pelo *AskNature*, surgiram, assim como novos termos. Estes novos termos, foram pesquisados de maneira independente por

meio de artigos encontrados pela internet e indicados pelo próprio biólogo. Os mais interessantes foram selecionados, formando assim, uma lista final de estratégias biológicas relevantes.

## ETAPA 05 – SELEÇÃO DOS MODELOS BIOLÓGICOS

Esta etapa contou com a utilização de duas ferramentas: método 4-Box e Gráfico T. Este procedimento foi necessário uma vez que o Gráfico T é dependente das informações do 4-Box.

### 4-BOX

A construção do modelo 4-Box foi realizada por meio da construção de um diagrama 2x2, onde os conceitos foram distribuídos de acordo com sua relevância. Assim, os elementos relacionados ao “ambiente operacional” e “função” foram alocados no topo do diagrama, enquanto os “requisitos” e os “critérios de desempenho” permaneceram na parte inferior. A representação utilizada esta apresentada abaixo (Quadro 27).

Quadro 27 - Modelo 4-Box utilizado

<b>Ambiente operacional</b>	<b>Função</b>
•	•
<b>Especificações</b>	<b>Critérios de desempenho</b>
•	•

Fonte: Autor

### GRÁFICO EM T

A construção do Gráfico em (Quadro 28) é composta pela comparação entre dois modelos 4-Box. O modelo 4-Box correspondente ao problema analisado é reorganizado para ser posicionada ao lado esquerdo do gráfico. Ao centro, uma coluna é adicionada para comparar qualitativamente os elementos, através das cores: Verde (igual); similar (amarelo); diferente (vermelho); ou cinza (não se aplica). Por fim, do lado direito, um outro modelo 4-Box é adicionado representando o elemento natural. Neste modelo, são adicionadas as propriedades biológicas

análogas relevantes correspondentes as propriedades da 4-Box a esquerda. Desta forma, para cada sistema biológico selecionado ao fim da etapa anterior, foi desenvolvido um Gráfico T diferente.

**Quadro 28 - Gráfico T**

<b>PROBLEMA DESIGN</b>		<b>ANALOGIA BIOLÓGICA</b>
<b>Ambiente operacional</b>		<b>Ambiente Operacional</b>
	Igual	
	Similar	
	Diferente	
<b>Funções</b>		<b>Funções</b>
	Não se aplica	
<b>Especificações</b>		<b>Especificações</b>
<b>Critérios de Desempenho</b>		<b>Critérios de Desempenho</b>

Fonte: Autor

## ETAPA 06 – ABSTRAÇÃO DO MODELO BIOLÓGICO

O desenvolvimento desta etapa utilizou da ferramenta Modelagem Biológica, de acordo com a metodologia proposta por Nagel *et al.* (2010). A estratégia biológica selecionada na etapa anterior é abstraída através de um processo composto por 6 etapas, responsável por guiar o designer à criação de um Modelo Funcional do sistema biológico. As etapas que compõem esta metodologia podem ser conferidas no Quadro 29 abaixo. Em seguida uma breve descrição de cada etapa é mostrada.

**Quadro 29 - Etapas da modelagem biológica segundo Nagel *et al.* (2010)**

(Continua)

<b>Etapa</b>	<b>Descrição</b>
Definir a fonte de informação	Selecionar as bases de dados responsável pelas informações sobre o sistema natural em estudo. Uma fonte atual e com credibilidade garante a qualidade do conteúdo sobre a estratégia biológica.
Entender o funcionamento do Sistema Biológico	Entender como ocorre a função desejada e capturar a essência do sistema biológico. Traduzir as informações entre os sistemas para relacionar os fluxos do sistema biológico com a engenharia.
Definir a questão de design	Etapa semelhante a definição do problema, presente na engenharia. O problema é colocado sobre o ponto de vista do sistema biológico.

**(Conclusão)**

Definir a categoria biológica	Caracterizar o sistema estudado entre as 4 categorias biológicas (estratégia, comportamento, fisiologia ou morfologia). Também é interessante definir com qual instinto a função está relacionada (proteção, reprodução ou sustentabilidade).
Definir a escala biológica	Montar o modelo Black Box e decompor a função geral do sistema em sub-funções de acordo com a sequência dos seus eventos. Escala biológica ajuda a definir o nível de detalhe necessário para criar um modelo funcional do sistema biológico.
Desenvolver o Modelo Biológico	Substituir os termos das funções biológicas pelos seus correspondentes técnicos. Com o modelo decomposto, os fluxos presentes no sistema são adicionados.
Validação do modelo criado	Validar o Modelo Biológico criado com um biólogo especialista.

**Fonte: Autor**

*Definir a fonte de informação:* Além das informações disponíveis pela ferramenta AskNature, outras fontes foram recomendadas pelo biólogo durante a entrevista, como artigos e capítulos de livros relevantes a literatura da área.

*Entender o funcionamento biológico:* Utilizando as informações fornecidas pelo biólogo, uma descrição contendo os principais elementos da estratégia biológica são elencados e ordenados.

*Definir a questão de design:* são definidas as funções desejadas para o sistema técnico presentes no sistema biológico.

*Definir a categoria biológica:* a categoria biológica foi estabelecida por meio da comparação entre as características da estratégia biológica e dos conceitos propostos por Nagel *et al.* (2010) (Quadro 30).

**Quadro 30 - Categorias biológicas**

<b>Categoria biológica</b>	<b>Descrição</b>
Estratégia	Também conhecido como “comportamento inato”. É uma resposta instintiva do organismo a um estímulo externo. Trata-se de um comportamento genérico realizado pelo organismo para atingir seus objetivos. A estratégia não precisa ser aprendida.
Comportamento	O comportamento não é inato e deve ser aprendido. É uma resposta do organismo a um estímulo interno e externo.
Fisiologia	Estudo das funções e atividades vitais do organismo.
Morfologia	Estudo da forma e estrutura do organismo biológico.

**Fonte: Autor**



*Definir a escala biológica:* A definição da escala biológica foi realizada por meio da Modelagem Funcional, com base em Pahl *et al.* (2005). Primeiro um modelo de Caixa Preta foi criado, evidenciando a função desejada com seus fluxos de entrada e saída. Em seguida, o modelo é abstraído de maneira a identificar as suas funções e sub-funções, existentes no sistema, de acordo com a sequência de seus eventos. A abstração deve ocorrer até que a função principal seja completamente entendida. Neste trabalho, não foi necessário ir além do segundo nível de granularidade.

*Desenvolver o modelo biológico:* Para desenvolver o modelo biológico é preciso traduzir os elementos presentes no modelo gerado na etapa anterior, ou seja, definir os correspondentes técnicos das funções biológicas. Para esta tradução, foi utilizado um dicionário de termos entre engenharia-biologia para engenharia de produtos (NAGEL, STONE e MCADAMS, 2010). Para selecionar os termos correspondentes em inglês, os verbos das funções foram traduzidos e comparados com as funções biológicas correspondentes disponíveis no dicionário. Em seguida, o termo mais amplo e apropriado é selecionado para representar a função. Devido ao extenso vocabulário português, palavras sinônimas foram utilizadas para evitar a repetição e ajudar a entender o contexto da ação referida. Após a tradução das funções, os fluxos (material, energia e sinal) correspondentes a cada função devem ser adicionados. O fluxo principal é definido por primeiro, depois os outros são adicionados. O dicionário oferece um banco de dados para identificar qual tipo de fluxo está presente em cada função, de acordo com os elementos biológicos envolvidos.

*Validação do modelo:* O modelo finalizado é então apresentado à um profissional da área para que possa ser avaliado.

Por se tratar de um processo iterativo, várias etapas são revisitadas ao longo do processo, assim, as informações são atualizadas reorganizando e mudando as funções utilizadas para representar o sistema biológico. Além disso, há um aumento de conhecimento sobre o sistema biológico por parte do designer, o que faz o modelo funcional evoluir ao longo do processo.

## **ETAPA 07 –TRANSPOSIÇÃO PARA TECNOLOGIA**

A única ferramenta disponível pela árvore de utilidade para a realização desta etapa é a análise de recursos. Esta ferramenta tem como objetivo providenciar uma

base de informações sobre os recursos disponíveis no sistema em estudo para usá-los em favor de novas soluções. Os recursos presentes no sistema, do procedimento radiológico, foram classificados de acordo com os conceitos apresentados por Savransky (2000), que os divide em oito tipos. O Quadro 31 resume os conceitos utilizados.

**Quadro 31 - Análise de recursos**

<b>Tipo de recurso</b>	<b>Descrição</b>	<b>Exemplo</b>
Natural/ Ambiente	Qualquer material ou campo existente na natureza ao redor do sistema técnico.	Células solares que utilizam energia natural como recurso.
Tempo	Intervalo de tempo antes, durante e depois presente no processo do sistema técnico, total ou parcialmente inutilizado.	Cozinhar simultaneamente diferentes tipos de comida para o jantar.
Espaço	Posicionamento, localização e ordem dos subsistemas/ supersistema presente no sistema técnico.	Adicionar propaganda nas embalagens de comida.
Sistema	Novas técnicas ou funções obtidas ao mudar a conexão entre subsistemas ou ao adicionar sistemas independentes em um novo supersistema.	Unir um scanner e impressora para formar uma máquina de cópia.
Substância	Qualquer material composto ou produzido pelo sistema técnico e ambiente.	Gazes expelidos de um carro removedor de neve são direcionados a neve para compactá-la.
Energia/ campo	Qualquer campo ou fluxo de energia que existe ou é produzido pelo sistema técnico e o ambiente ou que pode substituir subsistemas.	A diferença entre o potencial elétrico e a ionosfera e o solo produzem um campo elétrico que pode ser utilizado para controlar aviões em baixa altitude.
Informação	Qualquer sinal que exista ou possa ser produzido pelo sistema técnico.	Material refletor em roupas de ciclistas.
Função	Capacidade do sistema técnico ou do ambiente em realizar uma função secundária e auxiliar.	O <i>software</i> para agendamento de tarefas depende de um relógio interno embutido em um computador pessoal

**Fonte: Autor**

Para identificar os recursos disponíveis no sistema, foi realizada uma visita guiada ao hospital, onde foi possível acompanhar simulações do procedimento radiológico e sessões de testes de novas máquinas radiográficas. Além dos recursos presentes no sistema, foram considerados as informações adquiridas pela ferramenta Questionário da Situação de Inovação (Etapa 1) para a geração das soluções.

Ao definir os requisitos e recursos disponíveis, estes foram relacionados as etapas da modelagem biológica desenvolvida na etapa anterior, buscando por formas de serem utilizados para desempenhar as funções que compõem a estratégia biológica. Assim, teve-se início ao processo de geração de alternativas.

A geração de alternativas ocorreu por meio da combinação sistemática, denominado por Zwicky (1971 *apud*. Pahl *et al.*, 2005) de matriz morfológica (Quadro 32). Esta matriz é composta pelo cruzamento das funções/ sub funções e seus respectivos princípios de funcionamento (solução). Para cada função/ sub função (coluna), um princípio de funcionamento deve ser proposto (linha). Assim, a combinação entre as soluções de cada função possibilita a criação de diversas alternativas. Contudo, deve-se atentar a compatibilidade entres os princípios de funcionamentos combinados (PAHL *et al.* 2005). Para facilitar a combinação entre as soluções, é importante que as funções sejam dispostas na ordem em que são executadas dentro do sistema.

**Quadro 32 - Matriz morfológica**

Função	Solução	Solução 1	Solução 2	Solução n+1
Função 1		A <sub>1,1</sub>	A <sub>1,2</sub>	A <sub>1, n+1</sub>
Função 2		A <sub>2,1</sub>	A <sub>2,2</sub>	A <sub>2, n+1</sub>
Função n+1		A <sub>n+1,1</sub>	A <sub>n+1,2</sub>	A <sub>n+1, n+1</sub>

Fonte: Autor

A seleção das alternativas ocorreu por meio de um processo de avaliação composto por duas atividades: eliminação e priorização (PAHL *et al.*, 2005). A eliminação ocorre de forma simples e direta do descarte das alternativas absolutamente inadequadas. Serão selecionadas apenas as opções com as melhores chances de serem continuadas e concretizadas.

Para a priorização, por sua vez, foi empregada uma série de critérios com o intuito de selecionar apenas as propostas mais promissoras. Os principais critérios utilizados para a seleção das alternativas foram: (a) compatibilidade com a tarefa global; (b) satisfação dos requisitos do projeto; (c) capacidade de realização pela empresa; (d) custos aceitáveis; (e) ergonomia e segurança; e (f) pertencerem ao ramo de atividade da empresa. Contudo, outros critérios podem ser adotados caso pareçam relevantes a avaliação.

A avaliação das soluções deve ocorrer na ordem indicada, uma vez que a complexidade das questões é crescente. Os critérios A e B são decisões de “sim” ou “não”, enquanto os outros critérios são qualitativos ou subjetivos. Esta sequência objetiva um processo efetivo, assim como, caso a alternativa não forneça uma resposta afirmativa para os dois primeiros critérios, ela é eliminada.

Para finalizar, as alternativas selecionadas foram representadas por ilustrações, e aquela com menor complexidade de fabricação foi escolhida para o desenvolvimento de um protótipo.

## **ETAPA 08 – IMPLEMENTAÇÃO E TESTES**

Esta etapa foi dividida em duas partes. Na primeira parte, o protótipo foi utilizado em um ambiente de testes controlado para ser avaliado por uma técnica em radiografia e utilizado em manequins que simulavam crianças com a idade de um e quatro anos. Na segunda parte, o protótipo foi submetido a avaliação de outros dois técnicos, que utilizaram o imobilizador durante uma semana em situações reais. Em seguida eles avaliaram o desempenho da solução por meio de um Questionário de Avaliação de Usabilidade. O uso de diferentes ferramentas de avaliação apenas foi possível pois, esta etapa não apresenta uma ferramenta específica, o que permite uma liberdade para os testes à serem realizados.

A primeira parte desta etapa, contou com a aplicação do método “Pensando em Voz Alta” (NIELSEN, 1993 *apud*. CATECATI *et al.*, 2018), para relatar a experiência do usuário com o produto durante sua utilização. Este método foi aplicado de duas maneiras. Primeiro a técnica utilizou o produto sem qualquer tipo de instrução. Neste momento, o objetivo era reconhecer o quão intuitivo a proposta de solução seria e entender as dúvidas em relação ao uso do produto de acordo com a técnica. Após esta primeira experiência, um questionário foi entregue para registrar as primeiras impressões sobre o imobilizador. Em seguida, a técnica em radiografia foi instruída sobre a forma correta de utilização do protótipo e submetida a sua utilização novamente, assim como um segundo questionário.

O roteiro da avaliação realizada pela técnica em radiografia é apresentado a seguir:

1ª etapa – Técnica utilizou o protótipo sem receber nenhum tipo de instrução.

2º etapa – A técnica foi submetida ao seguinte questionário:

1. Quais foram as primeiras impressões a respeito do produto (aspectos visuais, táteis e cognitivos)?

Resposta: O técnico imaginou que o produto tratava de algo direcionado a imobilização devido as alças presentes no protótipo. Além disso, o material presente na confecção da solução é semelhante aos utilizados para esta atividade. Porém, o material é melhor do que muitos outros equipamentos disponíveis no hospital.

2. Qual o nível de dificuldade em relação à usabilidade do produto?

R: O técnico indicou um nível de dificuldade médio para o uso do produto. O motivo foi devido ao posicionamento das alças maiores para o travamento do paciente e principalmente pela presença das alças brancas que confundiram o técnico durante a primeira tentativa de usar o imobilizador. Segundo o técnico, parecia que a alça branca estava sobrando.

3. Quais dificuldades foram encontradas durante o uso?

R: O movimento para travar a segunda alça longa apresentou maior dificuldade. Porém foi a alça branca se mostrou um obstáculo maior. Colocar as duas alças foi difícil e de acordo com o técnico seria mais complicado colocar em crianças menores.

4. Qual a opinião do técnico sobre o produto?

R: O técnico se mostrou satisfeito com o desempenho do imobilizador. Segundo ele, seria possível utilizar o produto até mesmo em procedimento radiográfico nas UTI (Unidade de Tratamento Intensivo).

3º etapa – A técnica foi instruída a utilizar o produto da forma correta.

4º etapa – Novo questionário é submetido a técnica.

1. Como foi utilizar o produto após a explicação da forma correto de uso?

O técnico achou o imobilizador muito mais fácil e simples de ser utilizado.

2. As dificuldades em relação ao uso se mantiveram, houve novas?

Após as instruções de uso, o técnico não apresentou novas dificuldades, porém alguns problemas relacionados as alças se mantiveram.

3. Qual a opinião final, do técnico, sobre o produto?

O técnico mostrou-se satisfeito com o uso do produto e seus resultados. Porém, o maior problema estava relacionado a alça branca. Segundo o técnico, colocar em crianças menores pode ser mais difícil, pela falta de cooperação das mesmas. Contudo, caso a criança colabore, não deve apresentar maiores dificuldades. Sobre as características do produto, o técnico o considerou leve e resistente, além de apresentar uma estética semelhante a outros produtos hospitalares, o que pode ajudar na integração do produto ao processo.

A segunda parte do teste foi composta pela aplicação do Questionário de Avaliação da Usabilidade, que foi desenvolvido com base nos estudos de Garcia *et al.* (2017), para avaliar o desempenho do imobilizador. Para responder ao questionário, outros dois técnicos foram selecionados. Eles foram instruídos ao correto uso do imobilizador, que então foi utilizado por eles em processos de radiografia de tórax em crianças, durante uma semana. Após o uso, os técnicos foram submetidos à um questionário com a intenção de avaliar o protótipo e formalizar as informações.

As perguntas do questionário foram propostas de acordo com sete princípios propostos por Garcia *et al.* (2017), que relacionada os conceitos do design universal e usabilidade. Abaixo segue uma breve descrição dos princípios e o questionário submetido aos técnicos.

*Compatibilidade:* As funções do produto devem ser compatíveis com as expectativas do usuário, além de estarem relacionadas às suas experiências anteriores. Esta relação evita complexidades desnecessárias.

*Advertência:* são as informações que indicam como as ações devem ser realizadas, para evitar possíveis riscos.

*Comunicação:* as informações devem ser facilmente acessíveis e apresentar uma rápida leitura e entendimento.

*Adaptabilidade:* relacionado a possibilidade de ajustes para que o produto se adapte ao usuário de acordo com suas capacidades e limitações.

*Materialização:* é preciso considerar as características do material em relação aos requisitos e funcionalidade do produto, não deixando de lado aspectos perceptivos e estéticos. Está relacionado a questões de durabilidade, limpeza e segurança.

*Força:* diz respeito a avaliação dos componentes do produto em relação à capacidade de manejo dos usuários. Corresponde ao esforço físico despendido para a utilização do produto.

*Dimensionamento:* leva em conta a escala dos elementos que compõem o produto e sua relação com os aspectos de uso, operação e percepção. O correto dimensionamento proporciona uma forma coerente e harmoniosa.

## QUESTIONÁRIO DE AVALIAÇÃO DE USABILIDADE

**Nome:** Muriell R. Fouth / Diego **Sexo:** F / M **Idade:** 25 anos / 30 anos

### Questões

1. Qual a primeira impressão sobre o produto (aspectos visuais, táteis, cognitivos)?  
 [Muriell] Boa, ideia interessante para auxiliar e evitar doses de radiação em mais um acompanhante ou profissional do setor.  
 [Diego] interessante, a primeira impressão é de difícil manejo.
2. Ele se assemelha a outros produtos hospitalares?  
 [Muriell] sim, por ser envolvido por um material de fácil limpeza (exceto o elástico).  
 [Diego] sim, imobilizadores que usamos a almofadas.
3. Qual o nível de dificuldade em relação a usabilidade do produto (fácil, moderado ou difícil)?  
 [Muriell] moderado, devido a necessidade de auxílio para colocar no paciente.  
 [Diego] difícil para uso em pacientes agitados.
4. Foram encontradas dificuldades técnicas relacionadas ao uso e funcionamento do produto? Quais?  
 [Muriell] Funcionamento ótimo, porém há dificuldade de colocar no paciente (principalmente os mais agitados). Devido a almofada, o mento do paciente é projetado sobre o tórax (principalmente bebês).  
 [Diego] sim, tempo para vestir o produto no paciente mais agitado.
5. Em relação aos grupos de pacientes, como foi o desempenho do produto?  
 Faixa etária: [Muriell] 0-6 anos. [Diego] 6 meses – 5 anos.  
 Sexo: [Muriell] Masc. e Fem. [Diego] Masc. e fem.  
 Biotipo: [Muriell] Todos. [Diego] variados  
 Trauma: [Muriell] Quadro gripal. [Diego] variados

6. Com qual grupo de paciente o produto se mostrou mais eficaz?

[Muriell] Pacientes de 2 a 4 anos.

[Diego] 6 meses a 1 ano.

7. Quais foram as reações dos pacientes em relação ao uso do produto?

[Muriell] se sentiram desconfortáveis. Obs.: Os pais não tiveram uma boa aceitação devido a imobilização “forçada”.

[Diego] Diversas

8. O produto é fácil de ser esterilizado?

[Muriell] sim (exceto o elástico).

[Diego] sim, devido ao material.

9. Comparado ao procedimento radiográfico sem o produto, houve melhora ao utilizar o imobilizador?

[Muriell] em 50% do exame, no posicionamento de perfil foi de grande auxílio.

[Diego] não, devido as técnicas utilizadas para a realização do exame.

10. Qual sua opinião final sobre o produto?

[Muriell] oferece um bom auxílio, e imobiliza de forma eficiente, principalmente no posicionamento de perfil, mas devido à dificuldade de colocar no paciente, talvez tenha um melhor proveito em exames mais demorados, como por exemplo a tomografia. Devido a projeção do mento sobre o tórax, a altura do travesseiro pode ser diminuída. O Elástico pode ser retirado sem prejudicar a imobilização necessária, facilitando também o trabalho de colocar o acessório no paciente

[Diego] Bom, mas sem eficácia para realização de exames de raio x. Indico exames mais complexos e que necessita mais tempo para a imobilização, como tomografia e ressonância.