

UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR
Faculdade de Engenharia
Departamento de Engenharia Electromecânica



Design **Biónico**

A Natureza como inspiração criativa

Carlos Alberto Macedo Versos

Dissertação para a obtenção do Grau de Mestre em
Design Industrial Tecnológico

Covilhã, 2010

Agradecimentos

Gostaria, antes de mais, de dedicar este espaço a um grupo restrito de pessoas que contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho.

Começo por agradecer ao meu orientador, Professor Doutor Denis Alves Coelho, pela disponibilidade sempre demonstrada, pelos conselhos, motivação e humor. O seu auxílio, a sua sabedoria e a sugestão do tema da dissertação foram determinantes.

Aos Professores da Universidade da Beira Interior que acompanharam e permitiram a minha evolução académica, essencial para a realização desta dissertação, gostaria de endereçar os meus sinceros agradecimentos.

Agradeço também aos meus pais e à minha irmã pelo apoio constante e incondicional, tal como pelos valores que me transmitem e me baseio.

Aos amigos que me acompanharam neste percurso, em especial à Vanessa Cruz, gostaria de agradecer a motivação, a confiança, a ajuda e o companheirismo sempre demonstrados. Obrigado.

Resumo

Atendendo à realidade e às preocupações sociais, económicas e ambientais decorrentes nos dias de hoje, cabe aos designers adoptar práticas projectuais que atendam aos desafios emergentes. A Natureza, como fonte de recursos inigualáveis e autónomos pode fomentar a criatividade e a variedade de soluções eficientes e sustentáveis. O Design biónico tem assim a função de estreitar a relação entre a Natureza e o domínio projectual.

Neste trabalho apresentam-se significados, bem como a origem e o caminho de evolução e desta corrente e sugerem-se argumentos para reforçar a consideração da sua importância para os designers. Através da análise comparativa de soluções de design biónico e soluções convencionais para a implementação da mesma funcionalidade, procura-se, recorrendo a um conjunto de critérios definidos para o efeito, indagar sobre os ganhos que podem ser alcançados com esta abordagem.

Num esforço de recolha de metodologias para apoiar a prossecução do design biónico, analisaram-se cinco métodos de design biónico existentes face a cinco metas de concepção consideradas representativas dos objectivos de alto nível almejados por quem utiliza as abordagens biónicas ao design. Desta análise resultou a consideração da necessidade de compatibilizar os sentidos de orientação opostos que podem ser percorridos (do problema para a solução e vice versa), de aumentar o apoio oferecido à prossecução das cinco metas consideradas e oferecer apoio para a validação dos resultados. Estas considerações resultaram na proposta de um novo método visando atender a todas elas.

O método proposto foi aplicado, com vista à sua validação, resultando em dois projectos que foram desenvolvidos percorrendo os itinerários consignados nas etapas do mesmo. Deste modo no percurso orientado do problema para a solução, considerou-se e levou-se a cabo o projecto de uma torre para CDs e DVDs biónica, que representa uma inovação de paradigma para oferecer esta funcionalidade uma vez que se baseia na inspiração recolhida a partir da observação da teia de aranha. No percurso orientado no sentido inverso, da solução natural para o problema de aplicação, partindo-se de soluções de optimização presentes em estruturas da natureza, nomeadamente árvores e esqueletos, alcançou-se o projecto de um novo tipo de veículo a pedais para todo o terreno.

Palavras-chave: Design biónico, Sistema naturais, Inspiração criativa, Sustentabilidade, Metodologia projectual, Metas de concepção, Validação projectual, Optimização estrutural.

Abstract

Given the reality, and the social, economic and environmental concerns of today, designers are expected to adopt project tactics that meet the emerging challenges. Nature as a source of unique and autonomous resources can foster creativity and a variety of effective and sustainable solutions. Bionic design is meant to narrow the relation between Nature and the project-oriented field.

In this thesis, the origins and the path of evolution of this approach are presented with definitions given and arguments to strengthen the consideration of its importance for designers are suggested. Through comparative analysis of bionic and conventional design solutions to implement the same functionality, inquiry about the gains that can be achieved with this approach are sought using a set of criteria for this purpose.

In an effort to collect methodologies to support the implementation of bionic five existing methods design were analyzed against their perceived support in achieving five design goals considered representative of the high level objectives sought by those using the bionic approaches to design. This analysis resulted in the consideration of the need to reconcile the opposing directions of orientation that can be trailed (from problem to solution and vice versa), to increase the support offered to the pursuit of five goals considered and offer support for the validation of results attained. These considerations resulted in proposing a new method that was intended to comply with all of them.

The proposed method was applied, seeking its validation, resulting in two projects that were developed by traveling the routes contained in its steps. Thus in the path directed from the solution to the problem, a bionic tower for CDs and DVDs was designed, representing a paradigm innovation in offering this functionality, as it is based on inspiration gathered from the observation of the spider web. In the course travelled in the opposite direction, from the natural solution towards the problem application, starting from the optimized solutions portrayed by structures of nature, particularly trees and skeletons, a new type of all terrain pedal vehicle was drafted and designed.

Keywords: Bionic Design, natural Systems, creative inspiration, Sustainability, design Methodology, design Goals, design validation, structural optimization

Índice Geral

Agradecimentos.....	i
Resumo.....	ii
Abstract	iii
Índice Geral	iv
Índice de Imagens.....	xi
Índice de Diagramas	xv
Índice de Tabelas	xvi
Índice de Gráficos.....	xviii
Objectivos.....	xix
Perguntas de Investigação.....	xx
Metodologia.....	xxii
Nota ao leitor.....	xxiv
Introdução.....	1
Capítulo 1 Design Biónico	2
1.1 Nota Introdutória.....	3
1.2 Design biónico, significados	3
1.3 Origem e evolução	4
1.4 Papel e importância desta corrente para os designers.....	7
1.4.1 Diferenciação de produtos.....	7
1.4.2 Benefício da adoção de um processo metodológico	8

1.4.3 Novos materiais.....	9
1.4.4 Sustentabilidade de soluções	10
1.5. Exemplos de soluções de design biónico	12
1.6 Análise comparativa de soluções de design biónico e soluções convencionais	15
1.6.1 Peixe-cofre – Mercedes-Benz bionic car	15
1.6.2 Pele de tubarão – Speedo FASTSKIN	17
1.6.3 Barbatana de tubarão – pás de turbinas eólicas	19
1.6.4 Folha de Lótus – Tinta Barthlott.....	20
1.6.5 Espirais centrípetas – Misturador de água.....	22
1.7 Nota conclusiva	23
Capítulo 2 Metodologia do processo de design biónico	25
2.1 Nota Introdutória.....	26
2.2 Comparação entre métodos existentes.....	26
2.2.1 Método de Aalborg.....	27
2.2.1.1 Identificação dos pontos fortes e fracos	28
2.2.2 Método de Biomimetismo	28
2.2.2.1 Identificação dos pontos fortes e fracos	30
2.2.3 Método de Design em Espiral.....	30
2.2.3.1 Identificação dos pontos fortes e fracos	32
2.2.4 Método de Design Bio-inspirado.....	32
2.2.4.1 Identificação dos pontos fortes e fracos	33
2.2.5 Método de Bio-solução em busca de problema	34

2.2.5.1 Identificação dos pontos fortes e fracos	36
2.3 Orientações de análise do design biónico	36
2.4 Metas fundamentais a alcançar em projectos de concepção	37
2.4.1 Optimização da forma.....	38
2.4.2 Eficácia de comunicação.....	39
2.4.3 Eficácia de organização	40
2.4.4 Satisfação de múltiplos requisitos	40
2.4.5 Inovação de paradigma para o desempenho de funcionalidades	42
2.6 Aplicabilidade dos métodos revistos face às metas a alcançar estabelecidas	42
2.6.1 Resultado da aplicabilidade do método de Aalborg.....	43
2.6.2 Resultado da aplicabilidade do método de Bio-solução em busca de problema .	44
2.6.3 Resultado da aplicabilidade do método de Design em Espiral	44
2.6.4 Resultado da aplicabilidade do método de Design Bio-inspirado	45
2.6.5 Resultado da aplicabilidade do método de Bio-mimetismo.....	45
2.6.6 Comentário geral.....	46
2.7 Processo de validação das metas a alcançar.....	47
2.7.1 Processo de validação para a meta de inovação de paradigma para o desempenho de funcionalidades	48
2.7.2 Processo de validação para a meta de optimização da forma.....	49
2.7.3 Processo de validação para a meta de satisfação de múltiplos requisitos	49
2.7.4 Processo de validação para a meta de eficácia de organização.....	50
2.7.5 Processo de validação para a meta de eficácia de comunicação.....	50
2.8 Desenvolvimento de nova metodologia para apoiar o processo de design biónico ..	51

2.8.1 Descrição da metodologia desenvolvida seguindo a orientação do problema para a solução.....	56
2.8.1.1 Etapa A1 – Design Brief e definição do problema.....	56
2.8.1.2 Etapa A2 – Reformulação do problema.....	57
2.8.1.3 Etapa A3 – Selecção de soluções.....	57
2.8.1.4 Etapa A4 – Análise da solução	58
2.8.1.5 Etapa C1 – Geração de conceitos	59
2.8.1.6 Etapa C2 – Validação	60
2.8.1.7 Etapa C3 – Detalhe e acabamento	62
2.8.2 Descrição da metodologia desenvolvida seguindo a orientação da solução para o problema	62
2.8.2.1 Etapa B1 – Identificação da solução.....	62
2.8.2.2 Etapa B2 – Análise da solução.....	63
2.8.2.3 Etapa B3 – Reformulação da solução.....	63
2.8.2.4 Etapa B4 – Procura do problema.....	63
2.8.2.5 Etapa B5 – Design Brief e associação de princípios.....	64
2.8.2.6 Etapa C1 – Geração de conceitos	65
2.8.2.7 Etapa C2 – Validação	65
2.8.2.8 Etapa C3 – Detalhe e acabamento	65
2.9 Adequação do método proposto para apoiar a satisfação das cinco metas focadas ..	66
2.10 Nota Conclusiva	69
Capítulo 3 Aplicação (para validação) do método desenvolvido.....	72
3.1 Nota Introdutória.....	73

3.2 Desenvolvimento de projectos segundo a metodologia proposta.....	73
3.2.1 Torre para CDs e DVDs biónica.....	74
3.2.1.1 Etapa A1 – Definição do problema.....	74
3.2.1.2 Etapa A2 – Reformulação do problema.....	76
3.2.1.3 Etapa A3- Selecção de soluções.....	76
3.2.1.4 Etapa A4- Análise da solução	77
3.2.1.5 Etapa C1- Geração de conceitos	78
3.2.1.5.1 Materiais utilizados nos conceitos.....	82
3.2.1.5.2 Dimensionamento iterativo da pré-tensão dos elásticos	82
3.2.1.6 Etapa C2 - Validação da satisfação dos requisitos estabelecidos.....	90
3.2.1.6.1 Validação da satisfação do requisito de arrumação com versatilidade das caixas dos CDs, DVDs ou livros	90
3.2.1.6.2 Validação da satisfação do requisito de maior estabilidade perante uma perturbação dinâmica.....	94
3.2.1.6.3 Validação da satisfação do requisito de maior preensão dos objectos arrumados.....	98
3.2.1.6.4 Validação da satisfação do requisito de maior leveza.....	101
3.2.1.6.5 Validação da satisfação do requisito de bom posicionamento das lombadas dos objectos.....	102
3.2.1.6.6 Validação da satisfação do requisito de percepção por parte do utilizador de uma forma agradável e apelativa.....	103
3.2.1.6.7 Validação da satisfação do requisito de transmissão de uma mensagem de vanguarda, de criatividade e de juventude.....	110
3.2.2 Optimização de estruturas segundo as regras da Natureza.....	113
3.2.2.1 Etapa B1 - Identificação da solução.....	114
3.2.2.2 Etapa B2 - Análise da solução	114
3.2.2.3 Etapa B3 - Reformulação da solução.....	117

3.2.2.4 Etapa B4 - Procura do problema.....	117
3.2.2.5 Etapa B5 - Design Brief e associação de princípios	118
3.2.2.6 Etapa C1 - Geração de conceitos	119
3.2.2.7 Etapa C2 - Validação.....	122
3.4 Nota Conclusiva	128
Conclusão Final.....	130
Proposta para trabalhos futuros.....	132
Referências	133
Webgrafia	135
Anexos	139
Anexo A Ficha informativa do Bio-polímero Ingeo Biopolymer 3251	140
Anexo B Relatório de análise de resistência – Torre biónica 2	142
Anexo C Questionário sobre a utilização de torres de CDs/DVDs	144
Anexo D Grelha para verificação de consistência de respostas à questão N.º8 do inquérito sobre a utilização de torres de CDs e DVDs.....	147
Anexo E Procedimento para calcular W, o coeficiente de concordância de Kendall. 148	
Anexo F Tabela das ordenações, N (número de entidades a ordenar) e k (número de juízes a atribuir ordenação), para a questão N.º8 do inquérito realizado.....	149
Anexo G Questionário sobre a personalidade do produto.....	151
Anexo H Tabelas de análise das ordenações médias obtidas para as torres (N = 3) para cada um dos 12 perfis de personalidade estabelecidos, e análise do coeficiente de concordância (W).....	152
Anexo I Relatório de análise de resistência e teste de esforços à estrutura do veículo a pedais biónico desenvolvido	159

Anexo J | Relatório de análise de resistência e teste de esforços à estrutura do veículo a pedais biônico desenvolvido – 2ª Iteração 161

Artigo I – submetido em Abril de 2010 a um número especial (Design in nature) da revista International Journal of Design Engineering

Artigo II - submetido em Junho de 2010 à revista Journal of Engineering Design

Índice de Imagens

Imagem 1 Reconstituição da máquina para bater asas “Ornitóptero” de Leonardo da Vinci.....	5
Imagem 2 Mercedes-Benz bionic car: Carro biónico inspirado nas características do peixe-xofre.	16
Imagem 3 Speedo Fastskin: Fato de natação inspirado nas micro-estruturas da pele de tubarão.....	18
Imagem 4 WhalePower: Turbinas Eólicas inspiradas na forma das barbatanas de baleia.19	
Imagem 5 Lotusan: Tinta com micro-estruturas que simulam o efeito da folha se lótus..	21
Imagem 6 Pax Water Mixer: Misturador de água inspirado em forma espirais centrípeta da Natureza.....	22
Imagem 7 Ficha de pontos fortes e fracos do método de Aalborg (análise do autor, com base na informação patente em Colombo, 2007).....	28
Imagem 8 Ficha de pontos fortes e fracos do método de Biomimetismo (análise do autor, com base na informação apresentada por Júnior et al., 2002).....	30
Imagem 9 Fig. 3: Ficha de pontos fortes e fracos do método de Design em Espiral (análise do autor, com base na informação apresentada por Biomimicry Institute [27]).	32
Imagem 10 Ficha de pontos fortes e fracos do método de Design Bio-inspirado (análise do autor, com base na informação apresentada por Helms et al., 2009).....	34
Imagem 11 Ficha de pontos fortes e fracos do método de Bio-solução em busca de problema (análise do autor, com base na informação apresentada por Helms et al., 2009).36	
Imagem 12 As características essenciais das orientações de análise do design biónico.	37
Imagem 13 Contornos essenciais da meta fundamental a alcançar em projectos de concepção: Optimização da forma.....	38

Imagem 14 Contornos essenciais da meta fundamental a alcançar em projectos de concepção: Eficácia de comunicação.....	39
Imagem 15 Contornos essenciais da meta fundamental a alcançar em projectos de concepção: Eficácia de organização.....	40
Imagem 16 Contornos essenciais da meta fundamental a alcançar em projectos de concepção: Satisfação de múltiplos requisitos.....	41
Imagem 17 Contornos essenciais da meta fundamental a alcançar em projectos de concepção: Inovação de paradigma para o desempenho de funcionalidades.....	42
Imagem 18 Representação gráfica da metodologia de design biónico proposta nesta dissertação.....	55
Imagem 19 Esboços para geração do conceito da torre para CDS e DVDs biónica 1.	78
Imagem 20 Esboços para geração do conceito da torre para CDS e DVDs biónica 2.	78
Imagem 21 Orientação do sistema de fios elásticos das torres e exemplo de funcionamento e arrumação.....	79
Imagem 22 Representação da aparência final da torre biónica 1	80
Imagem 23 Demonstração da funcionalidade da articulação da base da torre 2, respondendo com movimento à interação do utilizador, aumentando o cariz biónico da solução pelo seu dinamismo.....	80
Imagem 24 Representação da aparência final e estudos de cor da torre biónica 2.....	81
Imagem 25 Representação das possibilidades de arrumação dinâmica dos objectos nas torres biónicas.	90
Imagem 26 Resultado da distribuição da tensão equivalente de Von Mises de acordo com as cargas aplicadas.....	92
Imagem 27 Resultado da distribuição do deslocamento relativamente à base e considerando as cargas aplicadas.	93

Imagem 28 Ângulos formados entre as estruturas das três torres com a linha do horizonte: legibilidade das lombadas.....	102
Imagem 29 Representação do método “tensile triangles” (triângulos de tensão) para a otimização de estruturas..	115
Imagem 30 Solução de otimização adoptado por estruturas da Natureza – Método “tensile triangles” (triângulos de tensão).	116
Imagem 31 Solução de otimização (tensile triangles) na fisionomia de esqueleto.....	116
Imagem 32 Estrutura de estudo para o desenvolvimento de um carro biónico baseado no método SKO.	116
Imagem 33 Esboços ilustrando conceitos gerados para um veículo a pedais biónico e representação de uma perspectiva desenhada do conceito desenvolvido.	119
Imagem 34 Método de otimização formal usado no desenho da estrutura do veículo a pedais biónico desenvolvido.	120
Imagem 35 Representação do efeito de suspensão proporcionado pela estrutura do veículo a pedais biónico.	120
Imagem 36 Pormenores estruturais e de componentes do veículo biónico Biocross.....	121
Imagem 37 Visualização da aparência final e completa de duas versões cromáticas do veículo a pedais biónico – Biocross.	121
Imagem 38 Resultado da distribuição da tensão equivalente de Von Mises de acordo com as cargas aplicadas na estrutura do veículo biónico desenvolvido (o pico de tensão ocorre na zona assinalada a vermelho na ampliação do lado direito e corresponde, sensivelmente, a 85 MPa).	123
Imagem 39 Resultado da distribuição do deslocamento relativamente ao assento, considerando a força aplicada na estrutura do veículo biónico desenvolvido.	123
Imagem 40 Demonstração da iteração efectuada com vista à optimização estrutural do veículo biónico desenvolvido.....	124

Imagem 41 | Resultado da distribuição da tensão equivalente de Von Mises, relativa à segunda iteração do projecto realizado (pico de tensão de 45MPa)..... 124

Imagem 42 | Resultado da distribuição do deslocamento relativamente ao assento 125

Imagem 43 | Resultado da distribuição da tensão equivalente de Von Mises e representação do deslocamento (escala 0,8 assumida automaticamente pelo software) para uma carga total de 1050 N redistribuída a partir do alívio da roda frontal esquerda (à direita na figura). As linhas vermelhas foram sobrepostas para elucidar relativamente à orientação dos eixos das rodas. 126

Imagem 44 | Resultado final da optimização da estrutura do veículo a pedais biónico.... 127

Imagem 45 | Comparação visual entre uma bicicleta de montanha existente e o veículo biónico Biocross..... 127

Índice de Diagramas

Diagrama 1 Cálculos da carga máxima vertical a suportar pelos elásticos horizontais.	83
Diagrama 2 Cálculos das forças de pré-tensão dos elásticos horizontais com pré-deformação de 75% do comprimento inicial e diâmetro 3 mm.	85
Diagrama 3 Cálculos das forças de pré-tensão dos elásticos verticais com pré-deformação de 75% do comprimento inicial e diâmetro 3mm.....	86
Diagrama 4 Cálculos das forças de pré-tensão dos elásticos verticais com pré-deformação de 50% do comprimento inicial e com diâmetro 3 mm.....	88
Diagrama 5 Cálculos das forças de pré-tensão dos elásticos verticais com pré-deformação de 50% do comprimento inicial e com diâmetro 2 mm.....	89
Diagrama 6: Diagrama ilustrativo da localização das forças, do centro de massa e de indicação dos dados de capacidade da torre convencional.....	94
Diagrama 7 Cálculos relativos ao distúrbio lateral máximo tolerado pela torre convencional para a sua capacidade de carga média e carga máxima.....	95
Diagrama 8 Diagrama ilustrativo da localização das forças, do centro de massa e de indicação dos dados de capacidade da torre biónica 1.....	95
Diagrama 9 Cálculos relativos ao distúrbio lateral máximo tolerado pela torre biónica 1 para a sua capacidade de carga média e máxima.	96
Diagrama 10 Diagrama ilustrativo da localização das forças, do centro de massa e de indicação dos dados de capacidade da torre biónica 2.	96
Diagrama 11 Cálculos da força de prensão dada pelos elásticos horizontais.	100
Diagrama 12 Cálculo do coeficiente de concordância de Kendall para análise dos resultados à resposta N.º8 do Inquérito sobre a utilização de torres de CDs/DVDs.....	109

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Apresentação de exemplos de produtos existentes, concebidos por processos de design com aplicação biónica, a par do respectivo produto convencional.....	12
Tabela 2 Comparação dos ganhos do produto biónico (Mercedes-Benz bionic) face ao convencional.....	17
Tabela 3 - Comparação dos ganhos do produto biónico (Speedo Fastskin) face ao convencional.....	18
Tabela 4 Comparação dos ganhos do produto biónico (Turbinas Eólicas WhalePower) face ao convencional.	20
Tabela 5 Comparação dos ganhos do produto biónico (Tinta Lotusan) face ao convencional.....	21
Tabela 6 Comparação dos ganhos do produto biónico (Misturador de água PaxWater) face ao convencional.	23
Tabela 7 Descrição sintetizada das etapas do método de Aalborg (Colombo, 2007)	27
Tabela 8 Descrição sintetizada das etapas do método de Biomimetismo (Júnior e tal., 2002).	29
Tabela 9 Descrição sintetizada das etapas do método de Design em Espiral (Biomimicry Institute) [27]	31
Tabela 10 Descrição sintetizada das etapas do método de Design Bio-inspirado (Helms et al., 2009).	33
Tabela 11 Descrição sintetizada das etapas do método de Bio-solução em busca de problema (Adaptado de Helms et al., 2009).	35
Tabela 12 Aspectos de validação das metas a alcançar em processos de concepção que recorrem a abordagem biónica com indicação de processos específicos aplicáveis.	47

Tabela 13 Descrição sintetizada das etapas do método de design biónico desenvolvido seguindo a orientação do problema para a solução.	52
Tabela 14 Descrição sintetizada das etapas do método de design biónico desenvolvido seguindo a orientação da solução para o problema.	53
Tabela 15 Aspectos de validação das metas a alcançar em processos de concepção que recorrem a abordagem biónica com indicação de processos específicos aplicáveis.	60
Tabela 16 Análise comparativa da aplicabilidade do método de design biónico desenvolvido, nas suas duas orientações de análise, face às cinco metas seleccionadas e consideradas representativas daquelas aplicáveis a problemas de concepção.....	68
Tabela 17 Lista de requisitos e das metas a alcançar do projecto para torre de CDs e DVDs, com indicação dos requisitos sustentáveis a respeitar. Note-se que todos os requisitos, incluindo os de cariz sustentável, contribuem para a meta de satisfação de múltiplos requisitos.....	75
Tabela 18 Reformulação dos requisitos do projecto para torre de CDs e DVDs em funções e recursos desempenhados na natureza.	76
Tabela 19 Cálculos relativos ao distúrbio lateral máximo tolerado pela torre biónica 2 para a sua capacidade de carga média e máxima.	97
Tabela 20 Comparação dos resultados obtidos para o distúrbio máximo lateral tolerado sem que haja perda de estabilidade nos três produtos em análise.	97
Tabela 21 Comparação dos dados de massa nas três torres para CDs e DVDs em análise.	101
Tabela 22 tradução dos requisitos a comunicar em perfis de personalidade (perfil pretendido e perfil oposto).	111
Tabela 23 Conclusão ao inquérito sobre o perfil de personalidade das torres para CDs e DVDs e verificação das mensagens transmitidas.....	112
Tabela 24 Associação entre os princípios extraídos da solução e os requisitos do projecto, com indicação dos aspectos ambientais e ecológicos a respeitar.	118

Índice de Gráficos

Gráfico 1 Resultados percentuais das respostas à questão N.º1 do Inquérito sobre a utilização de torres de CDs/DVDs.....	103
Gráfico 2 Resultados percentuais das respostas à questão N.º3 do Inquérito sobre a utilização de torres de CDs/DVDs.....	104
Gráfico 3 Resultados percentuais das respostas à questão N.º4 do Inquérito sobre a utilização de torres de CDs/DVDs.....	104
Gráfico 4 Resultados percentuais das respostas à questão N.º2 do Inquérito sobre a utilização de torres de CDs/DVDs.....	105
Gráfico 5 Resultados percentuais das respostas à questão N.º5 do Inquérito sobre a utilização de torres de CDs/DVDs.....	106
Gráfico 6 Resultados percentuais das respostas à questão N.º 6 do Inquérito sobre a utilização de torres de CDs/DVDs.....	107
Gráfico 7 Resultados percentuais das respostas à questão N.º 7 do Inquérito sobre a utilização de torres de CDs/DVDs.....	108

Objectivos

Objectivo geral:

OG - Rever casos de soluções de design biónico e analisá-los face a soluções convencionais procurando estabelecer uma ligação com a sustentabilidade e desenvolver uma metodologia para a sistematização do processo de design biónico, aplicando-a a novos casos

Objectivos específicos:

O1 - Descrever o significado e a definição de design biónico, as suas origens, os seus protagonistas e as suas áreas de aplicação.

O2 - Descrever o papel e a importância desta corrente que se inspira na natureza para os designers.

O3 - Analise de soluções de design biónico existentes perante soluções face ao mesmo problema de inspiração convencional, destacando as vantagens com especial enfoque a nível da sua sustentabilidade.

O4 - Estudar e desenvolver uma metodologia para a sistematização do processo de design biónico orientado para a optimização projectual quer a nível formal, funcional e estético, quer da sua sustentabilidade.

O5 - Empregar a metodologia desenvolvida relativa ao processo de design biónico a casos práticos seleccionados tendo em conta as possibilidades de aplicação projectual, resultando no projecto completo de produtos optimizados e sustentáveis.

Perguntas de Investigação

PA - Quais são as origens, os protagonistas e a produção relevante da corrente de design biónico?

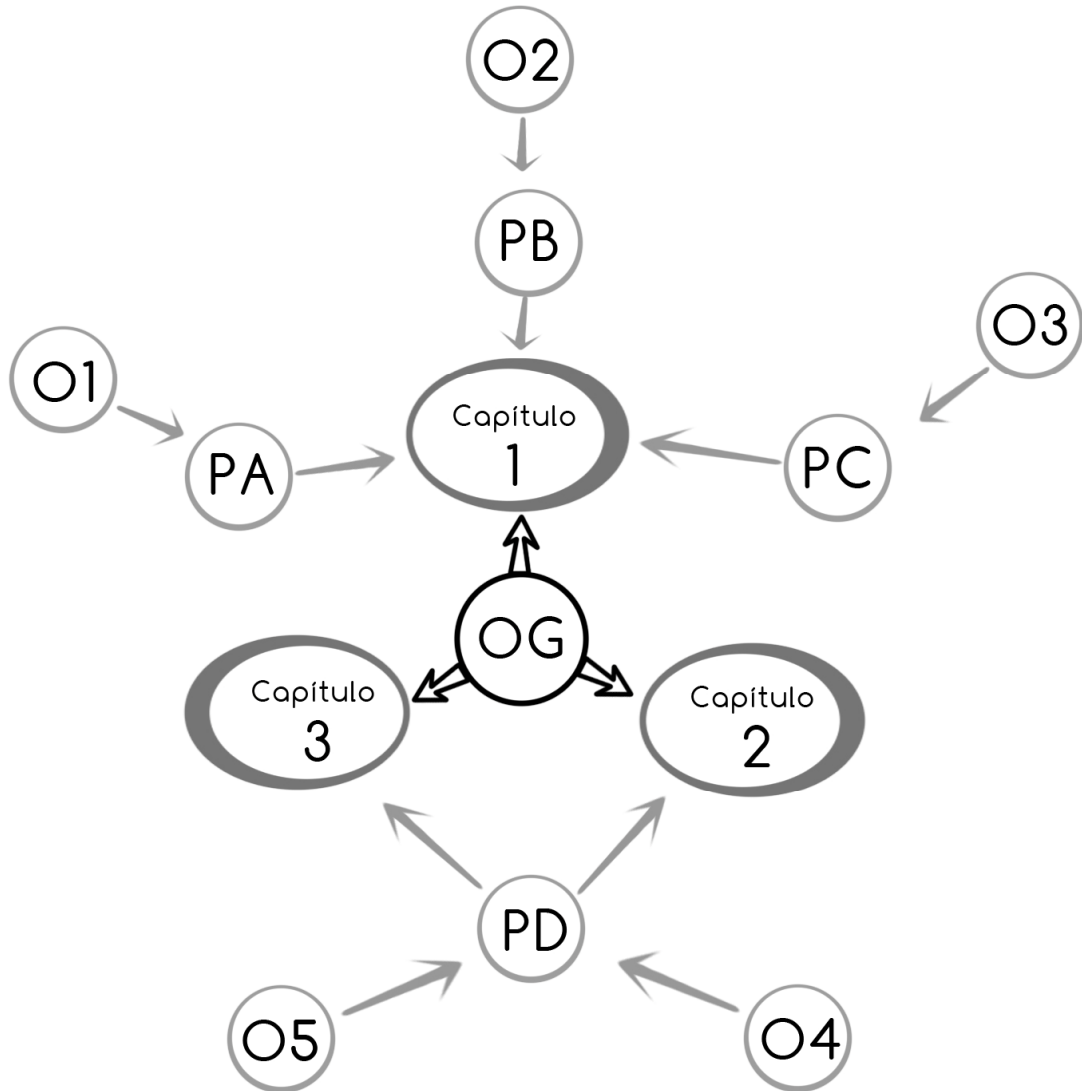
PB - Que relevância terá a biónica para o design e para os designers de hoje em dia no seu trabalho quotidiano?

PC - As soluções de design inspirado na natureza contribuem mais directamente para os objectivos da sustentabilidade do que as soluções convencionais para o mesmo problema, com ganho de eficácia?

PD - A abordagem biónica ao design pode ser objecto de sistematização, sem perder o seu potencial de proporcionar soluções que conjuguem apuro estético com eficiência e sustentabilidade?

Esquema geral da dissertação

Esquema geral da dissertação¹



¹ A legenda deste esquema, devido à sua extensão, não está patente nesta página, mas depende-se da leitura das duas secções anteriores (objectivos e perguntas de investigação), já que se optou por não repetir em quatro páginas seguidas exactamente a mesma informação.

Metodologia

Neste trabalho segue-se uma abordagem à investigação mista que consiste numa simbiose de orientação conceptual-analítica (baseada na interpretação dos exemplos de design biónico disponíveis na bibliografia e na sua análise comparativa) e de orientação de construção informada de artefactos (baseada em análises bibliográficas e nos resultados da orientação anteriormente referida). Para além da simbiose referida envereda-se ainda por uma abordagem de construção e teste de teoria tendo em conta a proposta de um método de concepção alargado e a sua aplicação com o objectivo de proceder à sua validação.

De acordo com Järvinen (2004) é importante que o trabalho de investigação contribua tanto para a ciência como para a prática. Quando os investigadores baseiam a sua investigação ou a relacionam com resultados de estudos anteriores, deve ser prestada a devida atenção à abordagem à investigação. Os investigadores procuram reconhecer os resultados das novas investigações de modo a assimilá-los e a aplicá-los. Contudo, os resultados das várias abordagens à investigação diferem entre si. Estes incluem descrições da realidade; construções teóricas; modelos descritivos e prescritivos; métodos e metodologias, demonstrações e provas. Esta variedade de tipos de resultados está em concordância com as abordagens à investigação apresentadas com Järvinen (2004) e foi adoptada como referencial nesta dissertação.

Através de contribuições conceptuais analíticas procuram-se, no primeiro capítulo da dissertação, alcançar resultados de domínio teórico, nomeadamente no que diz respeito a construções teóricas elaboradas a partir da interpretação de exemplos de design biónico existentes e análise comparativa dos mesmos face a soluções convencionais.

Pretende-se também gerar conhecimento científico pela via dedutiva recorrendo a recolha de dados empíricos através da elaboração de um questionário sobre o apelo estético de projectos realizados no capítulo três deste trabalho, contribuindo assim para alimentar a teoria no domínio relacional.

O projecto e a optimização informada de produtos, desenvolvidos também no capítulo três, com base no processo de design biónico visam apresentar resultados de domínio projectual.

Finalmente, e tendo em conta o conjunto de actividades desenvolvidas de modo a atingir os resultados anteriormente referidos, procura-se, no capítulo dois, contribuir no

domínio metodológico com a apresentação de um método testado de sistematização do processo de design biônico visando ganhos de eficácia, sustentabilidade e apuro estético.

Nota ao leitor

Nesta dissertação optou-se por criar uma estrutura que reflectisse a importância dada às questões e objectivos orientadores. Dado que o grosso conteúdo da dissertação responde à quarta e quinta pergunta de investigação optou-se por apresentar em capítulos separados os desenvolvimentos conducentes a elucidar respostas a cada uma destas perguntas. Tendo-se deliberadamente escolhido privilegiar os aspectos metodológicos e de projecto em detrimento das questões de índole mais geral reflectidas nas três primeiras perguntas de investigação desta dissertação, a apresentação dos elementos conducentes à sua elucidação é feita num capítulo inicial a que se chamou design biónico. Em todo o caso, a extensão de cada um dos três capítulos correlaciona-se fortemente com a importância relativa aos temas desenvolvidos.

No que respeita à referenciação, utiliza-se o método de Harvard para as referências bibliográficas e o método de Vancouver para imagens e documentos disponíveis exclusivamente na internet.

Introdução

Ultrapassadas as associações estereis dos benefícios do design a questões meramente superficiais, ligados à beleza e à comunicação comercial, esta disciplina tem-se apresentado como uma das protagonistas no que à satisfação e resolução das necessidades e problemas da actualidade diz respeito.

A crescente importância das questões ambientais tem-se reflectido numa nova tomada de consciência e preocupação acerca das consequências das actividades humanas sobre os ecossistemas e conduzindo a uma procura e exigência de produtos mais benéficos ambientalmente. Neste sentido, o design pode desempenhar um papel preponderante e activo através da integração de vários conhecimentos na prossecução de soluções sustentáveis. Áreas como o design sustentável ou o ecodesign revelam-se, deste modo, essenciais para o desenvolvimento optimizado de produtos que respondam às necessidades emergentes e para empresas que pretendam distinguir-se através da diferenciação e da qualidade sustentável dos seus produtos.

Ao longo de um processo evolutivo de milhões de anos, a Natureza aprimorou as suas formas e os seus organismos através de um sistema complexo e altamente adaptado que lhe permitem assegurar a qualidade e eficiência dos seus sistemas. Neste sentido, e para o desenvolvimento desta dissertação, adoptou-se como temática os benefícios e a potencialidade que a biónica, enquanto fonte de estudo e de soluções baseadas em princípios optimizados da Natureza, pode inculir no desenvolvimento de novos produtos industriais. Como motivação e metas que se almejam alcançar com este trabalho entende-se o desenvolvimento de ferramentas melhoradas de auxílio ao design baseado nestas ideologias e que contribuam para um processo pedagógico e de valorização dos contributos da biónica.

Capítulo 1 | Design Biónico

"The more our world functions like the natural world, the more likely we are to endure on this home that is ours, but not ours alone."

Janine Benyus [1]

1.1 Nota Introdutória

No desenvolvimento de uma temática é fundamental a pesquisa de informação relacionada para a organização do conhecimento e estabelecimento de guias de orientação futura.

O primeiro capítulo da dissertação consiste na definição do significado, origens e evolução do tema em que se baseia – o design biónico – satisfazendo o primeiro objectivo estabelecido e respondendo à primeira pergunta de investigação (PA).

O papel e a importância do design biónico para o trabalho a desenvolver pelos designers, relativos ao segundo objectivo específico, e consequente pergunta de investigação (PB) serão também desenvolvidos no presente capítulo. A possibilidade e oportunidade para a concepção de produtos diferenciados através do design biónico, tal como os benefícios da adopção de um processo metodológico e a potencialidade de utilização de novos materiais com base no aproveitamento dos bens da natureza serão de igual forma discutidos. Também para responder ao mesmo objectivo e pergunta de investigação, propõe-se identificar a relação entre a biónica e a sustentabilidade de soluções, tal como os benefícios da abordagem da corrente que se inspira na natureza para o design de soluções sustentáveis.

A análise de soluções de design biónico existentes perante soluções face ao mesmo problema de inspiração convencional (terceiro objectivo da dissertação) será também realizada, onde se procurará evidenciar, em cinco exemplos, os ganhos a nível formal e estético, a nível da eficácia funcional e a nível da sustentabilidade por parte da solução de inspiração biónica.

1.2 Design biónico, significados

“A biónica estuda os sistemas vivos (...) e tende a descobrir processos, técnicas e novos princípios aplicáveis à tecnologia. Examina os princípios, as características e os sistemas com transposição de matéria, com extensão de comandos, com transferência de energia e de informação. Toma-se como ponto de partida um fenómeno natural e a partir daí pode desenvolver-se uma solução projectual.” (Munari, 1982: p. 340)

O termo biónica, ou sistemas biónicos e bio-inspirados, tem geralmente duas interpretações habituais, referentes a áreas de aplicação distintas. A definição popular,

baseada frequentemente na ficção científica, é associada a super-poderes, à cibernética e a organismos robóticos que estão relacionados com a interpretação de biônica, apresentada em muitos casos como a ciência que une a biologia à mecânica e à electrónica, resultando em dispositivos que capacitam o ser humano com poderes acrescidos, seja por limitações físicas, defeitos congénitos ou perda de membros ou órgãos naturais em acidente. Nestes dispositivos, além dos órgãos e membros artificiais incluem-se também exoesqueletos, implantes e próteses, tendo deste modo, várias aplicações no campo da medicina, da robótica, da indústria militar, ou da inteligência artificial.

Para além desta interpretação que se centra na união entre Homem e máquina, o termo biônica ou biomimetismo, associado ao seu significado e à sua origem primários [derivado das palavras gregas “bios” (vida) e “mimesis” (imitar)] traduz a disciplina que estuda determinados processos biológicos e soluções orgânicas e estruturais da natureza de forma a responder a desafios humanos, transformando as propriedades intrínsecas do meio natural em princípios e técnicas para novas ideias no desenvolvimento de produtos.

Segundo Benyus (1997), o Biomimetismo é uma nova maneira de ver e valorizar a natureza, introduzindo uma nova era baseada não naquilo que podemos *extrair* do mundo natural, mas naquilo que podemos aprender com ele. O principal objectivo da biônica é, deste modo, realizar um *benchmarking* do *design da natureza* (do que ela criou, testou e evoluiu por processos de milhões de anos de duração) de forma a aperfeiçoar o que o homem cria artificialmente.

1.3 Origem e evolução

Embora a terminologia desta área de pesquisa seja relativamente recente - surgiu pela primeira vez nos E.U.A. em 1958, sob a designação de uma nova ciência que ligava a biologia à tecnologia, por Jack. E. Steele [2] - a prática, a criação e a inspiração através da aprendizagem sobre a natureza vem dos tempos mais remotos e pré-históricos do homem. O homem primitivo teve que aceitar e compreender o funcionamento da natureza de modo a desenvolver meios que lhe permitissem dominar, organizar e caçar com os materiais com que a natureza o brindava – peles, cortiça, ossos, marfim ou pedras.

Para além dos diversos testemunhos artísticos com representações naturalistas, o homem pré-histórico desenvolveu várias técnicas e utensílios com base na observação e na inspiração da fauna que o rodeava, como as ferramentas de sílex ou os arpões de osso, que

tinham nas suas bordas uma série de dentes, semelhantes às presas de animais, o que facilitava a tarefa de caçar. Outro dos exemplos mais antigos diz respeito ao momento em que o homem primitivo, inspirado pelo incrível poder de fogo, descobriu como fazê-lo aproveitando depois o seu potencial que viria a ter grande relevância na utilização de metais e na fundação de uma produção baseada na civilização.

Considerado como o primeiro estudante do mundo da biônica, Leonardo da Vinci era um grande defensor da aprendizagem da natureza e da sua utilização como fonte de inspiração [3]. Através dos vários desenhos dos seus cadernos de notas, pode-se testemunhar este seu fascínio, dado que grande parte dos seus estudos e projectos tinham como ponto de partida o mundo natural.

Desde os tempos da lenda de Ícaro na Antiguidade clássica, até aos desenhos de Leonardo da Vinci, o sonho de o homem voar foi originado pela observação do voo das aves e dos insectos (Lage e Dias, 2003). Leonardo achava que os homens poderiam aprender a voar com as aves, mas apercebeu-se de que os braços humanos eram fracos demais para baterem as asas durante muito tempo, desenvolvendo assim vários esboços de máquinas para baterem as asas, os *ornitópteros* (Kindersley, 1995).

Associado ao voo, vários outros engenheiros e inventores, como os irmãos Wright (autores da construção da primeira máquina de voar) encararam a natureza como fonte de inspiração.



Imagem 1 | Reconstituição da máquina para bater asas “Ornitóptero” de Leonardo da Vinci (Fonte: Kindersley, 1995: p.7)

Através do conhecimento da natureza e do seu funcionamento interno, vários biólogos, investigadores e profissionais de outras ciências conseguiram, ao longo do tempo, adquirir competências que lhes possibilitavam fazer analogias e ligações desses conhecimentos naturais a outras situações e problemas humanos.

Um dos exemplos de aplicação biónica mais divulgados é o velcro, que surgiu em 1948 por intermédio do engenheiro suíço George de Mestral, ao observar cardos e o modo como estes se agarravam à roupa e ao pelo do seu cão (Mueller, 2008).

Como referências na prática do design de inspiração biónica nos últimos anos e na actualidade, é incontornável mencionar os designers Luigi Colani e Ross Lovegrove, designers para os quais as formas orgânicas e as soluções da natureza se apresentam como fonte de inovação infinita para os seus projectos. Colani destacou-se, sobretudo, no uso de formas biodinâmicas em produtos como automóveis ou aviões durante a segunda metade do século XX (Pernodet & Mehly, 2000). Igualmente inspirados pela lógica e pela beleza da natureza, os projectos de Lovegrove possuem um elo entre a tecnologia, a ciência dos materiais e as formas orgânicas (Lovegrove, 2004), criando o que muitos líderes industriais vêem como a nova expressão estética para o século XXI.

A disciplina e os ideais do Biomimetismo consolidaram-se em 1997, após a publicação do livro *Biomimicry: Innovation Inspired by Nature*, de Janine Benyus – escritora e consultora de inovações americana – no qual se demonstrou o modo como o biomimetismo pode ser usado com ganhos de vantagem por designers e por outros profissionais na resolução de problemas. Em 1998, a associação de educação e inovação *Biomimicry Guild* foi co-fundada por Benyus, que, através da recolha de informação e da disseminação de conhecimento por meio de workshops, pesquisas, reportagens e excursões em campo, permite auxiliar várias empresas e profissionais na aplicação do biomimetismo, de modo a possibilitar e facilitar a criação de novos projectos, produtos e serviços sustentáveis [4].

Actualmente existem alguns institutos de promoção, incentivo e aprendizagem do biomimetismo, como é o caso do *Biomimicry Institute*, também presidido por Janine Benyus, a *PAX Scientific* [5], ou o portal *Ask Nature* [6], a primeira biblioteca on-line que disponibiliza várias ideias de design inspiradas na natureza para estudo e desenvolvimento. São, também, cada vez mais frequentes as iniciativas de transmissão de conhecimentos a jovens estudantes, tanto a nível de conteúdos educacionais nas universidades, de exposições em museus, de *workshops* ou de várias publicações com o intuito de “naturalizar” o biomimetismo na cultura.

O biomimetismo é aplicado a vários campos académicos e industriais como o Design de Produtos; a Engenharia; a Bioengenharia; a Aeronáutica; a Ciência Espacial, a Arquitectura, entre outros. Através da experiência de trabalhar com uma equipa

interdisciplinar, entende-se que o biomimetismo é uma ferramenta com amplas possibilidades de aplicação. Não é uma ferramenta universal para resolver todos os problemas, mas pode servir como um excelente método de ajuda ao design (Colombo, 2007).

1.4 Papel e importância desta corrente para os designers

Nesta secção apresenta-se uma proposta de vários argumentos que se vêem como motivadores para a adopção da abordagem biónica pelos designers. Deste modo, o design biónico é posicionado face ao seu potencial de promover a diferenciação de produtos, e relativamente às vantagens da adopção da estruturação que confere ao processo metodológico. A panóplia de argumentos apresentados é completada com a consideração das oportunidades que o design biónico confere relativamente ao desenvolvimento de novos materiais e à promoção da sustentabilidade das soluções projectadas.

1.4.1 Diferenciação de produtos

A crescente competitividade dos mercados actuais tem provocado o aumento do grau de exigência de produtos diferenciados, impondo a implementação de novas estratégias empresariais que assegurem uma participação efectiva nos mercados (Junior et al., 2002). Neste contexto, cabe ao designer incorporar na metodologia de concepção de produtos, novas alternativas explorando novos caminhos que permitam inovações e que correspondam à expectativa e às exigências industriais, à realidade social, económica e ambiental, às necessidades, aos valores e às características dos clientes (Junior et al., 2002). A biónica insere-se neste cenário como uma ferramenta alternativa interdisciplinar útil nas actividades do designer. Uma ferramenta capaz de solucionar problemas técnicos existentes e de potenciar o desenvolvimento de produtos industriais inovadores, através dos ensinamentos sem precedentes que o processo de evolução ocorrido durante milhões de anos na natureza proporciona. Aqui, tal como no mundo material humano, apenas as espécies bem adaptadas às suas funções intrínsecas sobrevivem (Junior et al., 2002). Deste

modo, o design biónico contribui para a ligação entre as abordagens mecânicas/funcionais e as abordagens estéticas/formais no desenvolvimento de produtos inspirados em modelos naturais, resultando em soluções de maior apuro estético, com ganhos de eficiência e contribuindo para os objectivos de sustentabilidade.

Segundo Wilson et al. (2010), durante a actividade profissional dos designers, nomeadamente na fase de procura de ideias e soluções novas e inovadoras, surgem, muitas vezes, dificuldades e erros por limitação no processo de procura. Esta limitação pode ser superada por técnicas de expansão e exploração do espaço de procura: as analogias. De acordo com um estudo realizado pelos mesmos autores, o recurso a analogias sob a forma de soluções biológicas no decorrer da fase de concepção de ideias aumenta a inovação e a variedade das ideias geradas. A justificação é dada pela estimulação cognitiva que o acesso ao conhecimento incorporado nos exemplos naturais análogos permite (Wilson et al., 2010).

1.4.2 Benefício da adopção de um processo metodológico

Além de poderem ser usados como um instrumento de inspiração para a concepção de novos artefactos, os métodos decorrentes da abordagem biónica podem também ser usados como um utensílio para criar uma nova metodologia de trabalho. Tomando como partida os processos evolutivos, os ciclos naturais da vida e a sabedoria da natureza, podem-se estabelecer linhas metodológicas de orientação para um processo de concepção de produtos potencialmente optimizados, inovadores e eficazes no cumprimento das suas funções e que satisfaçam ainda um conjunto de objectivos pré-definidos [7]. Esta abordagem metodológica pode ainda ser aplicada a outros aspectos do processo industrial, apoiando, nomeadamente, o estabelecimento de aspectos importantes para a embalagem e para todo o caminho de transporte e de distribuição e ser utilizada para informar decisões de retorno no fim do ciclo de vida na fase de projecto de um novo produto [7]. Tal como acontece no meio natural, onde as espécies e os organismos vivos estão em constante evolução e adaptação, o processo de concepção segue também uma natureza iterativa, isto é, após a ultrapassagem de um desafio avalia-se o cumprimento de todos os princípios enunciados previamente, e muitas vezes daí surge, em consequência, outro desafio, pelo que o processo de design começa novamente [7].

O objectivo das linhas metodológicas para auxiliar e conduzir a operacionalização de uma abordagem biónica ao projecto consiste em facultar aos designers um processo organizado para a compreensão da relação entre as formas e as funções da natureza. Pretender-se-á assim chegar a um modelo que, através de um processo de abstracção dos princípios; das analogias; das formas; das cores; das estruturas; das funcionalidades; dos componentes; dos sistemas e dos materiais utilizados pela natureza, possa ser aplicado pelo designer (Colombo, 2007).

Apesar do êxito e reconhecimento testemunhados ao longo dos vários exemplos em que o homem capitalizou os ensinamentos presentes nos organismos da natureza para o desenvolvimento bem sucedido de novos produtos, considera-se que a metodologia sistemática deste processo ainda não está suficientemente desenvolvida e sustentada.

1.4.3 Novos materiais

Os materiais sintéticos produzidos pelo homem em quantidades e em facilidades cada vez maiores, fruto dos enormes avanços tecnológicos decorrentes, conduzem a um conjunto de efeitos secundários negativos que tendem a agravar-se. Os problemas de saúde decorrentes do aumento das emissões tóxicas derivadas da incineração; o crescimento dos aterros; a não biodegradabilidade de materiais sintéticos, como os plásticos ou o esgotamento de fontes não renováveis são factores que têm motivado a procura de materiais e produtos alternativos, renováveis, recicláveis e ecológicos (Almeida, 2009). Neste contexto os materiais naturais e de origem biológica (bio-materiais) apresentam-se como alternativas viáveis e de investigações e apostas na indústria. Os biopolímeros e as fibras naturais, por exemplo, têm surgido e assumido alternativas aos polímeros de origem petrolífera e às fibras sintéticas (Almeida, 2009).

Enquanto os materiais sintéticos, produzidos pelo homem, necessitam de grandes quantidades de energia, calor e força mecânica, os materiais naturais como o osso, a seda, ou a madeira são processados em condições ambientais, sem esforços. A fabricação de bio-materiais pode produzir resíduos mínimos, sendo o resultado final biodegradável e reciclável. Aprender a processar estes materiais poderá aumentar e fomentar o desenvolvimento de novos materiais ecológicos e, desse modo, proteger o ambiente (Colombo, 2007).

Os materiais naturais têm sido reconhecidos desde há muitos anos pelo ser humano como fontes de alimentação, vestuário e conforto, facultando peles, couro, mel,

cera, leite, seda, algodão, entre outros. Fontes capazes de produzir quantidades de material numa escala de produção em massa e consumo humano (Colombo, 2007).

A utilização de materiais biodegradáveis e provenientes de fontes renováveis e naturais para produção industrial também não é completamente nova, sendo reconhecido o seu interesse e utilização desde os anos 70 (Almeida, 2009). Contudo, devido ao sucesso das propriedades e características dos polímeros de origem petrolífera, a produção de bio-materiais não se conseguiu impor. Hoje em dia, devido às crescentes necessidades de protecção ambiental e aos recentes avanços tecnológicos nas áreas da engenharia genética, das fibras naturais e de novos compósitos, surgem materiais com propriedades físicas, mecânicas e de produção cada vez mais competitivas. Alguns dos materiais derivados de fontes naturais e renováveis com maior aceitação e recurso pelas características que apresentam são os bio-polímeros, tais como os plásticos celulósicos, os plásticos derivados do amido (PSM) ou o ácido poli-láctico (PLA), e as fibras naturais de origem vegetal, animal ou mineral. Apesar das vantagens que os bio-polímeros podem apresentar, como a biodegradabilidade; a reciclabilidade; a redução do desperdício e compostagem; a redução das emissões de CO₂; o aumento do recurso a fontes agrícolas para produção e baixo custo, podem também em certas aplicações revelarem-se inapropriados devido a falhas de rigidez, força e estabilidade dimensional (Almeida, 2009). Também as fibras naturais podem dificultar algumas aplicações devido à sua estrutura fibrosa. A combinação dos bio-polímeros com as fibras naturais ou com outros polímeros são um bom recurso para alcançar a produção de materiais amigos da natureza e com excelentes propriedades mecânicas e estruturais (Almeida, 2009).

Os benefícios da utilização destes materiais que a natureza facultar podem valorizar e optimizar um processo de design biónico. Assim, pretende-se neste trabalho atender à importância das suas considerações durante o processo metodológico do design biónico e na concepção de novos projectos.

1.4.4 Sustentabilidade de soluções

As preocupações ambientais, cada vez mais exigidas e necessárias na sociedade actual têm vindo a impor aos designers, fornecedores e produtores industriais a consideração do impacto ambiental dos seus produtos em todos os estágios dos seus ciclos

de vida, desde a extracção e processamento das matérias-primas à deposição final (Almeida, 2009).

Os processos e princípios do design para a sustentabilidade existentes surgem como reacção aos efeitos das crises ambientais, económicas e sociais que se agravam, procurando estabelecer soluções organizadas, ecológicas, racionais e inovadoras. Este processo passa por um conjunto de estratégias de inovação, produção e avaliação de novos produtos e serviços.(Crul e Diehl, 2006). Como base deste processo metodológico sustentável é esperado um design equilibrado e responsável, recorrendo a fontes renováveis e não prejudiciais ao ambiente, a uma observação constante de novas oportunidades e necessidades, à sensibilização da sociedade no que se refere à preservação e respeito da natureza e à estabilidade dos processos produtivos e económicos (Crul e Diehl, 2006).

A natureza, como meio em constante adaptação e evolução, deve servir como fonte de exemplos e de inspiração para o desenvolvimento de soluções sustentáveis. Cabe então ao processo de design biónico assimilar, sistematizar e facultar um conjunto de considerações e potencialidades para a concepção de soluções e produtos sustentáveis com base nas capacidades e soluções biológicas.

A utilização de materiais de baixo impacto ambiental e provenientes de fontes renováveis, tal como a eficácia energética são princípios para a concepção sustentável de produtos que o design biónico pode ajudar a responder. O recurso a materiais de origem biológica e renovável permite a redução dos processos e da energia de produção necessária devido à reciclabilidade, biodegradabilidade e reutilização que potenciam. Estas propriedades dos bio-materiais podem conduzir ao re-design dos sistemas industriais, de forma a permitir o constante reaproveitamento dos materiais, minimizando ao mesmo tempo o uso de recursos.

O alcance da sustentabilidade implica também a educação e reconstrução da sociedade de modo a salvaguardar o meio ambiente e os sistemas biológicos. Neste aspecto o design biónico surge como um processo criativo de concepção de produtos “amigos do ambiente” que apelem e influenciem os padrões e hábitos de consumo. O processo de design com base na biónica terá de garantir que um novo produto, mais sustentável e ecológico, oferece o mesmo serviço ou função que o produto que substitui e que seja tão ou mais eficaz e apelativo aos gostos e necessidades da sociedade.

As considerações e vantagens sustentáveis que o processo de design biónico pode potenciar no desenvolvimento de produtos poderão também aumentar a aceitação destes






produtos por parte dos produtores através da criação de produtos duráveis, de baixo consumo energético de produção, de fácil separação para a reciclagem ou biodegradáveis.







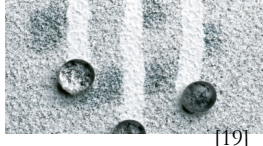


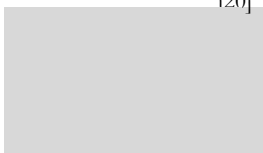
A diferenciação e inovação de produtos inspirados por modelos biológicos aliadas às vantagens ecológicas trazem também benefícios económicos para as empresas, quer pelo facto dos produtos terem uma maior saída no mercado, pela atractividade e diferença dos mesmos, quer pelo facto do seu processamento ser menos dispendioso (Almeida, 2009).

1.5. Exemplos de soluções de design biónico

A Tabela 1 apresenta alguns produtos existentes, concebidos por processos de design com aplicação biónica comparando-os visualmente com os respectivos produtos convencionais.

Tabela 1 - Apresentação de exemplos de produtos existentes, concebidos por processos de design com aplicação biónica, a par do respectivo produto convencional.

Autor	Produto/função	Produto biónico	Produto convencional
Franco Lodato, Itália	CAMP Woodpecker Ax Machado de escalada inspirado na fisionomia de um pica-pau.	 [8]	 [9]
Frank E. Fish, Canadá	Whale Power Turbina eólica com lâminas inspiradas na forma das barbatanas de baleias	 [10]	 [12]
		 [11]	

Jay Harman	<p>Pax Water Mixer</p> <p>Misturador de água inspirado na forma em espiral dos jarros e de fenómenos naturais que proporciona maior eficácia</p>	 <p>[13]</p>	 <p>[14]</p>
DaimlerChrysler AG, Alemanha	<p>Mercedes-Benz Bionic</p> <p>Automóvel desenvolvido com base na forma, estrutura e aerodinâmica de um peixe-cofre.</p>	 <p>[15]</p>	 <p>[16]</p>
Shinkansen, Japão	<p>Shinkansen bullet train</p> <p>Comboio de alta velocidade mais rápido do mundo, redesenhado tendo como base o bico de um martin pescador</p>	 <p>[17]</p>	 <p>[18]</p>
Wilhelm Barthlott, Alemanha	<p>Tinta LOTUSAN</p> <p>Tinta que repele a água e resiste a manchas durante décadas, inspirada nas microestruturas das folhas de lótus.</p>	 <p>[19]</p>  <p>[20]</p>	 <p>[20]</p> 

Teijin Fibers Limited, Japão	Tecidos Morphotex Fibras coloridas sem utilização de corantes ou pigmentos, inspiradas nas microestruturas das asas da borboleta Morfo azul	 [21]  [21]	 [22]
Speedo, Austrália	FASTSKIN Fato de competição para natação que simula a eficiência hidrodinâmica da pele de tubarão, resultando na redução do atrito e consequente aumento de velocidade.	 [23]	 [24]
Ross Lovegrove	ty nant waterbottle Garrafa de água com forma orgânica inspirada nos reflexos da superfície da água.	 [25]	 [26]
Ted Ciamillo, Grécia	Lunocet Aparelho auxiliar de natação inspirado nas barbatanas caudais de golfinhos e baleias.	 [27]	 [28]

As diferenças entre a maior parte dos produtos apresentados na Tabela 1 são notórias, destacando-se sobretudo pelas mudanças a nível formal e estético. Contudo, tal como se pretende demonstrar na seguinte secção, a diferenciação e os ganhos introduzidos pela biónica evidenciam-se também a nível da eficácia funcional e a nível da sustentabilidade das soluções.

1.6 Análise comparativa de soluções de design biónico e soluções convencionais

Nesta secção são apresentadas cinco análises comparativas que resultam numa selecção dos exemplos apresentados na secção anterior. O critério de selecção primordial foi a disponibilidade de um conjunto mínimo de dados para o exemplo biónico e a solução convencional de modo a permitir uma eficaz e objectiva comparação. Procurou-se, sempre que possível, apresentar dados que corroborem as melhorias antevistas a nível de desempenho, de funcionalidade e da redução de impacto ambiental. Sendo que a nível estético, não se podendo estabelecer comparações baseadas em dados concretos, a apreciação das imagens será por ventura a forma mais viável de basear essa comparação.

Procura-se de modo a sistematizar a análise a nível estético, ainda que esta seja de índole meramente subjectiva, percorrer um conjunto de parâmetros de apreciação nomeadamente: harmonia de formas; equilíbrio de proporções; aspectos significacionais e evocativos (associações) e aspectos cromáticos (escolha de cores, contrastes).

1.6.1 Peixe-cofre – Mercedes-Benz bionic car

Com base nas características e na fisionomia do peixe-cofre, a equipa da Mercedes-Benz Technology e DaimlerChrysler AG desenvolveu de um veículo segundo os princípios da biónica, o Mercedes-Benz bionic car (Imagem 2)

O peixe-cofre é um exemplo perfeito de rigidez e baixo peso. A pele deste peixe é composta por várias camadas hexagonais rígidas que permitem suportar uma resistência máxima para o menor peso de forma muito eficaz, proteger o animal de ferimentos e estabilizar o peixe em qualquer posição, garantindo que permaneça em segurança em curso,

mesmo em áreas de grande turbulência [29]. Apesar da forma do corpo, o peixe cofre possui uma aerodinâmica ideal. Deste modo, o design deste automóvel potencia o rendimento, tendo já sido criado um protótipo prático à escala real, totalmente equipado, com uma aparência formal semelhante ao peixe. Os testes em túneis de vento realizados confirmaram um excelente coeficiente aerodinâmico (Cd) de 0,19 conferindo o título de um dos veículos mais eficientes a nível aerodinâmico, dentro da sua categoria [29].

A otimização das estruturas ósseas de outros animais foi também motivo de inspiração para os criadores deste carro biônico, tendo como propósito proporcionar a resistência máxima à estrutura do carro desenvolvido através do mínimo material possível. Como consequência da sua boa aerodinâmica e do peso reduzido através do biomimetismo ao peixe-cofre, este automóvel apresenta um consumo de 4,3 litros por 100km, o que significa 20% mais económico que os veículos da mesma classe e demonstra uma redução das emissões de óxido de nitrogénio em cerca de 80% [29].

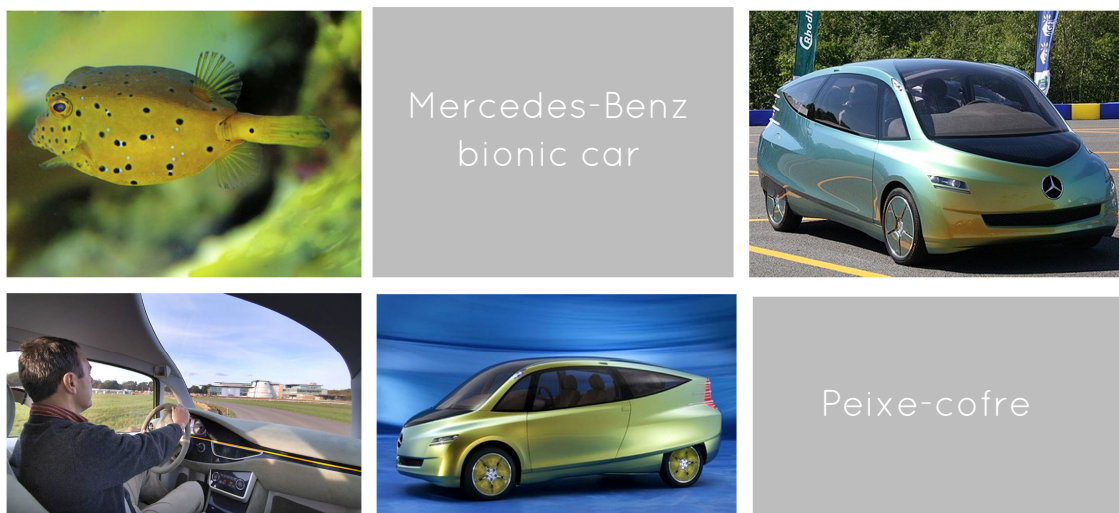



Imagem 2 | Mercedes-Benz bionic car: Carro biônico inspirado nas características do peixe-cofre (Fontes: [30], [15], [31] e [32]).

A Tabela 2 resume os ganhos que a abordagem biônica do Mercedes-Benz bionic permitiu, face a um veículo convencional da mesma categoria. A análise foi realizada recorrendo a parâmetros de comparação associados às informações disponíveis do produto.

Tabela 2 | Comparação dos ganhos do produto biónico (Mercedes-Benz bionic) face ao convencional (Fontes das imagens: [15],[16]).

		Ganhos do produto biónico face ao convencional
Parâmetros de comparação		
Sustentabilidade		Redução das emissões de óxido de nitrogénio em 80%
Eficácia funcional		20% mais económico (4.3 l/100 km) Baixo coeficiente de arrasto aerodinâmico (Cd) - 0,19 (comparar com 0,3, valor típico para as viaturas convencionais desta gama)
Estética	Harmonia de formas	Linhas fluidas e harmoniosas
	Equilíbrio de proporções	Imagem homogénea como objecto único
	Aspectos significacionais e evocativos	Sensação de movimento e fluidez Imagem futurista e singular
	Aspectos cromáticos	Aplicação de cores que remetem para uma imagem orgânica e natural

1.6.2 Pele de tubarão - Speedo FASTSKIN

Um micro gráfico electrónico revela o segredo da velocidade da pele do tubarão: as escamas. Segundo os especialistas em tubarões, a água desliza através das micro-ranhuras da pele sem “cair”, reduzindo a fricção (Mueller, 2008). As escamas também dissuadem a fixação de percebes e de algas, uma inspiração para revestimentos sintéticos que poderão ser aplicados nos cascos de navios a fim de reduzir esse inconveniente biológico que requer manutenção e também reduzir o atrito, poupando energia.

Esta característica foi também aplicada no design de fatos de natação, visível na Imagem 3, utilizados por campeões olímpicos, cuja textura dos equipamentos baseada nos

“denticulos” da pele de tubarão reduz a resistência passiva até 4% e a vibração muscular, aumentando a velocidade e o desempenho do atleta [33].

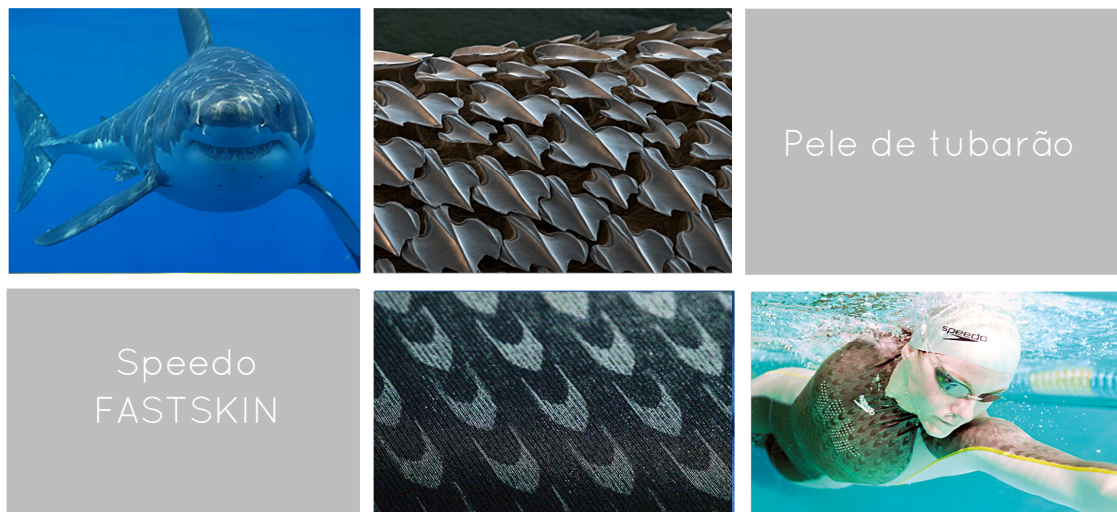



Imagem 3 | Speedo Fastskin: Fato de natação inspirado nas micro-estruturas da pele de tubarão (Fontes: [34], [35], [36] e [37]).

Na Tabela 3 resume-se os ganhos que a abordagem biônica do fato de natação Speedo Fastskin confere, quando comparado com um fato de natação convencional, recorrendo à informação disponível.

Tabela 3 - Comparação dos ganhos do produto biônico (Speedo Fastskin) face ao convencional (Fontes das imagens: [23], [24]).

Ganhos do produto biônico face ao convencional	
Parâmetros de comparação	
Eficácia funcional	<p>Redução da resistência passiva em água até 4%</p> <p>Diminuição da vibração muscular do corpo humano</p>
Estética	Padrão remete para a pele de um animal aquático (escamas)

1.6.3 Barbatana de tubarão – pás de turbinas eólicas

Inspirado pelo modo como as barbatanas das baleias-jubarte (*Megaptera novaeangliae*), apesar de possuírem grandes dimensões e peso, permitem a sua surpreendente agilidade na água, o biomecânico Frank Fish, através da fundação da corporação WhalePower, desenvolveu lâminas de turbinas eólicas (Mueller, 2008). Estas lâminas, há semelhantes das barbatanas da baleia, contêm saliências ao longo do rebordo, que prometem maior eficiência em aplicações desde turbinas eólicas a turbinas hidráulicas, ou desde bombas de irrigação a ventiladores[38].


Comparadas com as lâminas de superfície lisa, as lâminas com as saliências apresentam 32% de redução da resistência ao ar e um aumento de 8% do movimento de elevação (lift) [38]. A utilização destas lâminas em turbinas eólicas, pode proporcionar um aumento de 20% de eficiência (aumento da produção anual de electricidade em 20% e redução dos efeitos sonoros) que vai, segundo a WhalePower, ajudar a tornar a geração de energia eólica mais competitiva com outras alternativas.



Imagem 4 | WhalePower: Turbinas Eólicas inspiradas na forma das barbatanas de baleia (Fonte: [39]).

A informação sintetizada na Tabela 4 baseia-se nas informações disponíveis acerca dos ganhos introduzidos pela abordagem biônica na forma das pás eólicas inspiradas nas barbatanas de baleia e nas estimativas da empresa produtora das turbinas, WhalePower.

Tabela 4 | Comparação dos ganhos do produto biônico (Turbinas Eólicas WhalePower) face ao convencional (Fontes das imagens: [10], [12]).

Ganhos do produto biônico face ao convencional	
Parâmetros de comparação	
Sustentabilidade	<p>Potencia um aumento de 20% da produção de energia por torre eólica (energia limpa e renovável)</p> <hr/> <p>Aumento de 20% da eficiência de produção</p>
Eficácia funcional	<p>Aumento de 8% do movimento de elevação (lift)</p> <hr/> <p>Redução de 32% da resistência ao ar</p> <hr/> <p>Redução dos efeitos sonoros</p>
Estética	<p>Formas das duas pás evocam as asas e hélices de um avião</p>

1.6.4 Folha de Lótus – Tinta Barthlott

Em 1982, Wilhelm Barthlott, descobriu na folha de Lótus uma superfície que repelia a água e se limpava automaticamente (Mueller, 2008). O segredo reside em micro estruturas e nano estruturas cerosas que, devido ao ângulo e área de contacto com a água, fazem-na formar gotas e rolar, recolhendo a sujidade pelo caminho (Mueller, 2008). As superfícies ásperas em nano escala são mais hidrofóbicas que as superfície mais lisas, devido ao ângulo de contacto entre a água e a superfície (Mueller, 2008). Na folha de lótus, a área de contacto real é de apenas 2-3% da superfície das gotículas [40].

A patente de Barthlott foi aplicada comercialmente em produtos como a tinta biomimética *Lotusan*. Ao criar micro saliências, a tinta repele a água, auto limpando-se, e resiste a manchas durante décadas (Mueller, 2008). O efeito de Lotus já é também aplicado em outros materiais e produtos, tais como os têxteis, a madeira ou o vidro, através de sprays (BASF Lotus Spray) que simulam o efeito da planta [41].

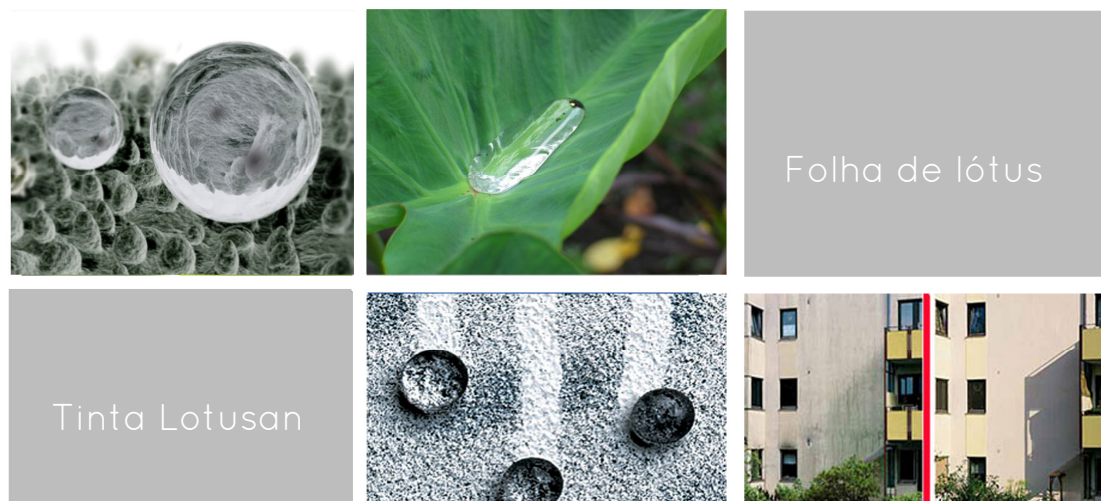



Imagem 5 | Lotusan: Tinta com micro-estruturas que simulam o efeito da folha se lótus (Fonte: [42], [43], [44] e [20]).

A Tabela 5 resume os ganhos que a tinta Lotusan, concebida através da inspiração do efeito da folha de lótus em repelir a água, possui em comparação a uma tinta convencional. A análise, recorrendo a parâmetros de comparação, foi realizada tendo em conta as informações disponibilizadas pela marca fabricante [45].

Tabela 5 | Comparação dos ganhos do produto biônico (Tinta Lotusan) face ao convencional (Fonte da imagem: [20]).

Ganhos do produto biônico face ao convencional	
Parâmetros de comparação	
Sustentabilidade	Maior durabilidade - Resiste a manchas durante décadas
Eficácia funcional	Boa capacidade em repelir a água Maior resistência à sujidade – efeito de auto-limpeza Maior termo-resistência
Estética	Aspecto permanente de limpeza Sensação visual opaca (sem brilho) e toque aveludado

1.6.5 Espirais centrípetas – Misturador de água

As espirais centrípetas podem ser vistas em jarros (planta), em rosas, em conchas de moluscos ou em tornados. Inspirado por esta forma natural, elegante e complexa, Jay Harman desenvolveu um misturador de água (Pax Water Mixer), demonstrado na imagem 6, capaz de mexer sete milhões de litros de água num reservatório, garantido a total higienização da água [46].

O PAX Water Mixer utiliza a eficiência do fluxo de fluido para proporcionar uma mistura activa de água potável nos tanques de armazenamento. Isto permite eliminar a estratificação (que ocorre com os misturadores convencionais) mantendo os resíduos desinfectantes necessários para manter a água potável [47].

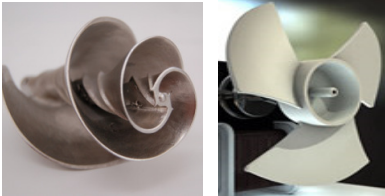
As bombas centrífugas comuns consomem enormes quantidades de energia e geram pequenas bolhas causando vibração que as tornam barulhentas e menos eficientes [47]. As bombas com o misturador de água de inspiração biónica não produzem bolhas, reduzindo o consumo de energia entre 10% e 75% (dependente da aplicação) e tornando-se cerca de 75% mais silenciosa [48]. É também mais suave do que as convencionais e mantém uma temperatura homogeneizada da água com um diferencial de temperatura máxima de menos de 1,0°C em todo o reservatório [46]. A sua forma em espiral estará a ser estudada na aplicação em indústrias aeroespaciais; na medicina, na climatização, em turbinas eólicas e na propulsão marítima.



Imagem 6 | Pax Water Mixer: Misturador de água inspirado em forma espirais centrípetas da Natureza (Fonte: [49], [50], [51], [52] e [53]).

Os ganhos que o misturador de água biónico apresenta em comparação com os misturadores comuns são apresentados de forma esquemática na Tabela 6, tendo em conta os parâmetros de sustentabilidade, de eficácia funcional e de estética.

Tabela 6 | Comparação dos ganhos do produto biónico (Misturador de água PaxWater) face ao convencional (Fontes das imagens: [13], [14]).

Ganhos do produto biónico face ao convencional	
Parâmetros de comparação	
Sustentabilidade	Redução do consumo de energia do misturador entre 10% e 75% (dependente da aplicação)
Eficácia funcional	<p>Eliminação eficaz da estratificação da água, proporcionando a sua desinfecção</p> <p>Redução dos efeitos sonoros em 75%</p> <p>Mantém uma temperatura homogeneizada da água (diferencial de 1,0°C)</p>
Estética	Harmonia da forma centrípeta dá sensação de movimento contínuo
	Forma remete para organismos naturais integrados no meio aquático

1.7 Nota conclusiva

Este capítulo de design biónico destina-se a procurar alcançar um conjunto de objectivos específicos e as suas respectivas três perguntas de investigação. No que diz respeito à descrição do significado da biónica e à apresentação do seu percurso e domínios de aplicação recorreu-se essencialmente à pesquisa bibliográfica como forma de operacionalização deste objectivo e da pergunta de investigação a este associada. Apresentou-se um conjunto de evidências do percurso histórico desta disciplina desde o renascimento até á actualidade bem como um conjunto de definições complementares entre si permitindo estabelecer o domínio e o âmbito de aplicação da biónica. Apesar de completa, a pesquisa bibliográfica não será certamente exaustiva pelo que poderá haver

obras relevantes que não foram consultadas ou que só recentemente chegaram ao prelo. Contudo a pluralidade de perspectivas abarcadas afigura-se suficientemente grande para que se considere alcançado o objectivo proposto.

Ficou demonstrada a importância da corrente de design biónico para os designers da actualidade atendendo à diferenciação do produto que esta permite ou aos benefícios inerentes da adopção de um processo metodológico. Por outro lado e atendendo ao objectivo proposto de investigar a relevância desta corrente nos dias de hoje demonstrou-se com base na recolha bibliográfica efectuada para o efeito que esta corrente é procurada como veículo para promover a maior sustentabilidade de soluções geradas, estimulando em muitos casos o aparecimento de propostas inovadoras, inclusivamente ao nível dos materiais. Caso as condições temporais o permitissem, e se os objectivos deste trabalho se limitassem aos enunciados para este primeiro capítulo seria de considerar um estudo empírico por amostragem de designers activos de modo a auscultar directamente os intervenientes que colocam em prática na sua actividade profissional esta metodologia. Em todo o caso esta abordagem alternativa visaria complementar a abordagem seguida para elucidar as respostas obtidas para a pergunta de investigação PB. Contudo, desta perspectiva alternativa poder-se-á considerar uma base de desenvolvimento de trabalhos futuros.

Devido às limitações patentes na informação disponível sobre os produtos que já foram concebidos seguindo esta abordagem, a prossecução do terceiro objectivo específico apenas se traduziu na análise comparativa de cinco exemplos face ao respectivo produto convencional. Contudo os parâmetros de comparação considerados (forma, eficácia funcional, princípio de funcionamento, estética e sustentabilidade) e aplicados nas cinco comparações levaram à colheita de resultados consistentes e que apoiam inequivocamente a aceitação da hipótese de que a abordagem biónica promove a concepção de produtos superiores quanto aos parâmetros considerados. A metodologia desenvolvida para esta comparação mostrou-se robusta e aplicável a vários tipos de produtos e sistemas técnicos. De futuro seria interessante a aplicação desta metodologia comparativa a uma gama mais alargada de exemplos promovendo quiçá a sua expansão e o seu desenvolvimento atendendo a gamas específicas de produtos ou domínios técnicos. À semelhança do que foi tido em conta na análise crítica da prossecução do objectivo O2, a perspectiva da praxis revelada através de um estudo empírico contribuiria para complementar a abordagem de pesquisa bibliográfica e conceptualização que foi seguida para alcançar o objectivo O3.

Capítulo 2 | Metodologia do processo de design biónico

μέθοδος

Caminho para chegar a um fim

2.1 Nota Introdutória

Instrumentos essenciais em qualquer processo de design, facultando directrizes, metas e orientações técnicas para o desenvolvimento bem sucedido de produtos, as metodologias devem assumir um carácter relevante na valorização, na optimização e na expansão da abordagem e dos princípios do design biónico.

Uma série de métodos de design destinados especialmente para a orientar designers industriais no desenvolvimento de projectos biologicamente inspirados têm sido propostos. Neste capítulo pretende-se estabelecer uma análise comparativa entre cinco métodos existentes de sistematização da abordagem biónica, propostos por diferentes autores. Os parâmetros de análise e comparação dos métodos foram identificados e definidos como metas fundamentais a alcançar em projectos de concepção. Outro parâmetro de análise e diferenciação dos métodos é a orientação de análise que seguem, existindo as possibilidades de orientação do problema em busca de uma solução biológica, e a orientação iniciada pela aspiração numa solução biológica que procura um problema a resolver. A análise comparativa tem por objectivo identificar os pontos fortes e pontos fracos de cada método, tal como reconhecer as metas não atendidas, ou atendidas de forma reduzida pelos métodos, com o intuito de estabelecer linhas de orientação para a elaboração de uma nova proposta metodológica.

A realização de nova metodologia para apoiar o processo de design biónico, seguindo as duas orientações de análise, é assim o último e o principal propósito deste capítulo, satisfazendo o quarto objectivo da dissertação.

2.2 Comparação entre métodos existentes

Para o desenvolvimento do objectivo metodológico desta dissertação, foram pesquisados métodos existentes de sistematização da abordagem biónica, propostos por diferentes autores. Seguidamente foram seleccionados cinco métodos para análise - método de Aalborg (A), por Colombo (2007); método de Bio-mimetismo (B), por Junior et al. (2002); método de Design em Espiral (C), por Biomimicry Institute [7]; método de Design Bio-inspirado (D), por Helms et al. (2009) e método de Bio-solução em busca de problema (E), adaptado de Helms et al. (2009). Apresentam-se nas secções seguintes os pontos

essenciais de cada um, de modo a facilitar a avaliação subjectiva realizada, a valorizar os pontos fortes e a identificar pontos fracos a combater na elaboração de futuros métodos.

2.2.1 Método de Aalborg

Este método, utilizado por alunos de design num projecto de design biónico na Universidade de Arquitectura e Design de Aalborg, enfatiza a importância das questões ambientais e económicas no desenvolvimento do projecto, salientando também para o estudo completo da solução natural atendendo à forma, à estrutura, à organização e aos princípios funcionais do mesmo. Na Tabela 7 descrevem-se, de forma sintetizada, as quatro etapas que constituem o método.

Tabela 7 | Descrição sintetizada das etapas do método de Aalborg (Colombo, 2007)

Método de Aalborg (Colombo, 2007)	
Etapas	Descrição
1 - Análise	-Escolha e análise de um produto natural. -O objectivo desta fase é perceber a forma, a estrutura, a organização e os princípios funcionais do objecto.
2 - Transformação	-Extrapolação dos princípios matemáticos, geométricos e estatísticos através de um processo de abstracção e simplificação. -Transformação, através da análise da analogia, das características do sistema biológico em características técnicas e mecânicas.
3 – Implementação	-Implementar os princípios da relação entre a forma e a estrutura encontrados na análise do produto natural, no desenvolvimento de novos produtos.
4 – Desenvolvimento do Produto	-Desenvolvimento e avaliação do produto tendo em conta os factores ambientais e económicos, tais como a facilidade de produção ou a selecção de materiais com baixo impacto ambiental, para todas as etapas da vida de um produto.

2.2.1.1 Identificação dos pontos fortes e fracos

Da análise do método de Aalborg, tal como apresentado por Colombo (2007), elaborou-se uma lista de pontos fortes e fracos, apresentada na Imagem 7, de modo a auxiliar a classificação dos vários métodos analisados.

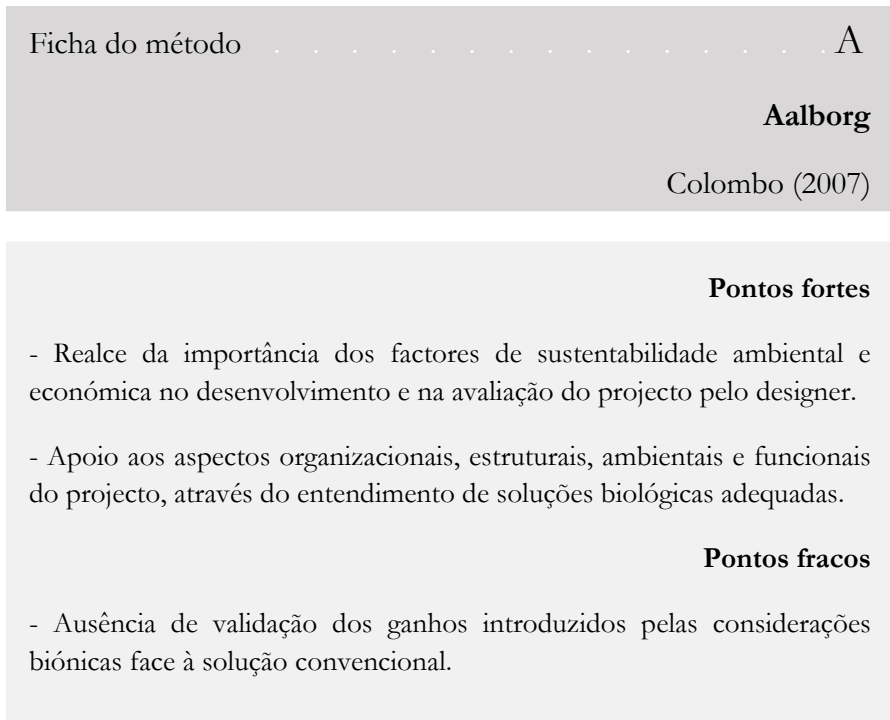


Imagem 7 | Ficha de pontos fortes e fracos do método de Aalborg (análise do autor, com base na informação patente em Colombo, 2007).

2.2.2 Método de Biomimetismo

O método de Biomimetismo, proposto por Junior et al. (2002), tem como objectivo o desenvolvimento de produtos baseados no estudo da biónica e caracteriza-se sobretudo pela proposta de soluções e técnicas de observação e análise do exemplo biológico identificado. Os autores identificaram cinco etapas do processo de design biónico, as quais são apresentadas e descritas de modo resumido na Tabela 8.

Tabela 8 | Descrição sintetizada das etapas do método de Biomimetismo (Júnior e tal., 2002).

Método de Biomimetismo (Júnior et al., 2002)	
Etapas	Descrição
1 - Identificação da necessidade	- Identificação de uma necessidade não atendida de forma satisfatória e que permita a satisfação de um problema concreto e de forma precisa, para posterior análise dos ecossistemas ou do ambiente natural em busca de potenciais soluções.
2 - Selecção e recolha de amostras	- Etapa prática do processo que envolve a selecção de amostras na natureza que se enquadrem no problema e na necessidade em mãos. - Envolve a procura de amostras na natureza e algum conhecimento acerca do habitat das amostras a recolher e dos equipamentos a utilizar para a recolha.
3 – Observação da amostra	- Observação e análise dos componentes, da estrutura morfológica, das funções e dos processos, das distribuições no tempo e no espaço e análise da relação com o meio ambiente. Classificação da amostra.
4 – Analogia do sistema natural com o produto	- Através das informações obtidas a partir das análises funcionais, morfológicas e estruturais, o designer tem capacidade para iniciar o estudo das possibilidades e da viabilidade de aplicação de uma analogia estabelecida entre a amostra pesquisada e o produto a conceber.
5 - Aplicação projectual	- Mediante a consideração da viabilidade de aplicação das características da amostra no projecto e atendendo às análises funcional, formal e estrutural com extrapolação por analogia para as necessidades e os requisitos do produto proposto, realiza-se nesta etapa uma análise/proposta do funcionamento do sistema em projecto.

2.2.2.1 Identificação dos pontos fortes e fracos

Com base na análise ao método de Biomimetismo apresentado por Júnior et al. (2002), realizou-se uma ficha (ver Imagem 8) com indicação dos pontos fortes e fracos, de modo a auxiliar a classificação dos vários métodos analisados. Note-se que alguns detalhes descritivos do método, tais como as técnicas e meios de recolha e análise das amostras naturais (ponto forte deste método) podem ser encontrados na publicação original, não tendo sido transposto para esta dissertação, por exiguidade de espaço.

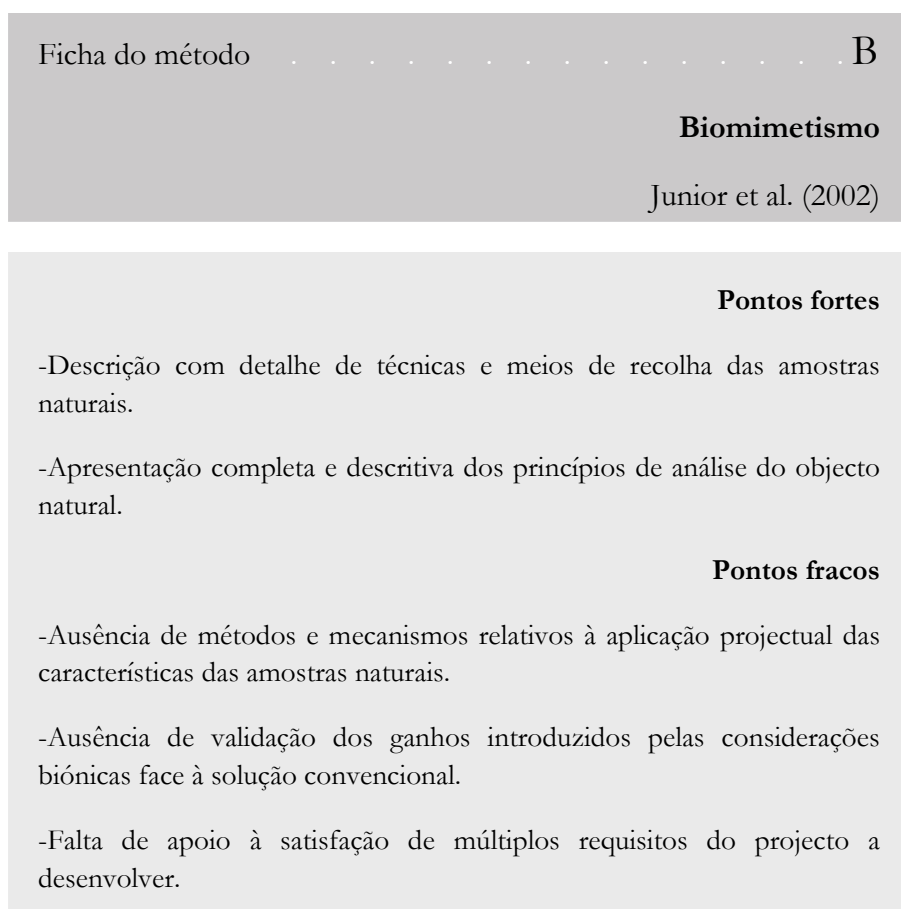


Imagem 8 | Ficha de pontos fortes e fracos do método de Biomimetismo (análise do autor, com base na informação apresentada por Júnior et al., 2002).

2.2.3 Método de Design em Espiral

O método de Design em Espiral é uma metodologia de orientação e ajuda a quem pretenda inovar, através dos ideais do biomimetismo, desenvolvida pela equipa do Biomimicry Institute [7]. Trata-se de uma metodologia reiterativa que enfatiza a

importância da Natureza não só para o projecto físico a desenvolver, como também para todo o processo do ciclo de vida do mesmo. Na Tabela 9 descreve-se resumidamente as etapas do processo deste método.

Tabela 9 | Descrição sintetizada das etapas do método de Design em Espiral (Biomimicry Institute) [27]

Método de Design em Espiral (Biomimicry Institute) [7]	
Etapas	Descrição
1 - Identificação	- Desenvolvimento do Design Brief (instruções de projecto) de uma necessidade humana com especificação dos detalhes do problema a ser resolvido.
2 - Interpretação	- Visão biológica do problema. Questionar o Design Brief do ponto de vista da natureza. - Tradução das funções do projecto em funções desempenhadas na natureza.
3 – Descoberta	- Procurar os melhores modelos naturais que respondam/resolvam (a)os desafios propostos.
4 – Abstracção	- Seleccionar os “campeões” com as estratégias mais relevantes para um desafio particular do projecto.
5 - Emulação	- Desenvolver ideias e soluções com base nos modelos naturais de forma a imitar os aspectos da forma, da função e do ecossistema o mais a fundo possível.
6 - Avaliação	- Avaliar a solução de projecto perante os “princípios da vida”. - Identificar formas de melhorar o design desenvolvido e adiantar questões a explorar como por exemplo, questões relacionadas com a embalagem, com a comercialização, com o transporte, com novos produtos, com melhorias adicionais ou refinamentos.
7 - Identificação	- Desenvolver e refinar os briefs de design com base nas lições tiradas da avaliação dos “princípios da vida”.

2.2.3.1 Identificação dos pontos fortes e fracos

Da análise do método de Design em Espiral, tal como apresentado por Biomimicry Institute (2007), elaborou-se uma lista de pontos fortes e fracos, de modo a apoiar o posicionamento relativo entre os vários métodos analisados (ver Imagem 9).

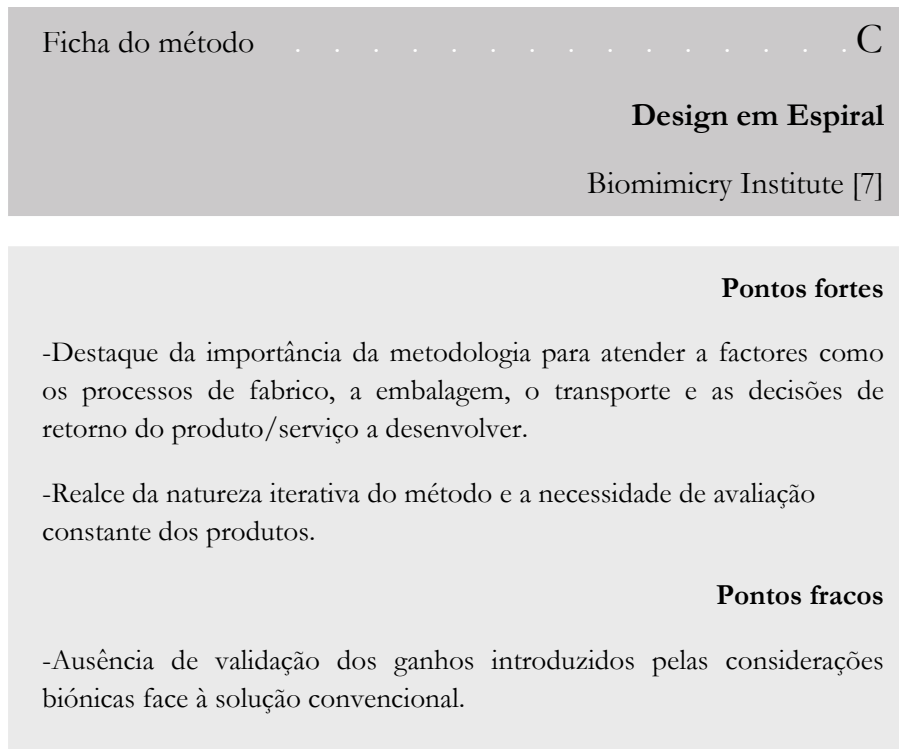


Imagem 9 | Fig. 3: Ficha de pontos fortes e fracos do método de Design em Espiral (análise do autor, com base na informação apresentada por Biomimicry Institute [7]).

2.2.4 Método de Design Bio-inspirado

Este método de design biologicamente inspirado, apresentado por Helms et al. (2009), segue uma progressão não linear de etapas, no sentido das fases posteriores influenciarem as fases anteriores, proporcionando deste modo um feedback iterativo e um refinamento do projecto. Na Tabela 10 são apresentadas as etapas e as respectivas descrições sintetizadas do método.

Tabela 10 | Descrição sintetizada das etapas do método de Design Bio-inspirado (Helms et al., 2009).

Método de Design Bio-inspirado (Helms et al., 2009)	
Etapas	Descrição
1 - Definição do problema	- Selecção de um problema a resolver e posterior redefinição do mesmo através de uma decomposição e optimização funcional.
2 - Reformulação do problema	- Redefinição do problema utilizando termos biológicos amplamente aplicáveis. Responder à pergunta: “Como é que as soluções biológicas realizam esta função?”
3 – Procura de uma solução biológica	- Encontrar biológicas relevantes para o problema em foco com o auxílio de técnicas como a alteração das restrições, a análise dos campeões da adaptação natural, dentro considerando a variação dentro de uma família de soluções e a multifuncionalidade.
4 – Definição da solução biológica	- Identificar as estruturas e os mecanismos superficiais do sistema biológico relacionados com a função reformulada.
5 - Extração do princípio de solução	- Extração dos princípios importantes da solução sob a forma de uma solução neutra, exigindo uma descrição que remova, ao máximo possível, as várias restrições estruturais e ambientais.
6 - Aplicação do princípio de solução	- Tradução do princípio extraído da solução biónica num novo domínio, envolvendo uma interpretação do espaço de domínio (por exemplo, biologia) para outro (por exemplo, mecânica) através da introdução de novas restrições.

2.2.4.1 Identificação dos pontos fortes e fracos

Da análise do método de Design Bio-inspirado, tal como apresentado por Helms et al. (2009), elaborou-se uma lista de pontos fortes e fracos, de modo a facilitar a categorização dos vários métodos analisados (ver Imagem 10). A descrição das técnicas, das

sugestões e exemplos práticos elucidativos para o processo de definição do problema, identificados como um ponto forte deste método não foram transcritas para a descrição sintetizada do mesmo por restrições de espaço, mas podem ser contempladas no documento original.

Ficha do método D
Design Bio-inspirado
Helms et al. (2009)
Pontos fortes
-Apresentação de técnicas, sugestões e exemplos práticos elucidativos para os processos de definição do problema e busca de soluções biológicas.
-Refinamento do projecto através da iteração do processo metodológico.
Pontos fracos
-Ausência de validação dos ganhos introduzidos pelas considerações biónicas face à solução convencional.
-Falta de apoio a factores organizacionais relacionados com o projecto a desenvolver.

Imagem 10 | Ficha de pontos fortes e fracos do método de Design Bio-inspirado (análise do autor, com base na informação apresentada por Helms et al., 2009).

2.2.5 Método de Bio-solução em busca de problema

Este método foi adaptado das etapas apresentadas por Helms et al. (2009), referentes à metodologia seguida por designers e estudantes que seguem uma direcção de análise que se inicia com a identificação de uma solução à procura de uma aplicação projectual. O processo correspondente a esta abordagem encontra-se descrito, sintetizadamente, na Tabela 11.

Tabela 11 | Descrição sintetizada das etapas do método de Bio-solução em busca de problema (Adaptado de Helms et al., 2009).

Método de Bio-solução em busca de problema (Helms et al., 2009)	
Etapas	Descrição
1 - Identificação de uma solução biológica	- A partir da observação de fenómenos da natureza a uma escala macro e/ou a uma escala micro, busca-se uma potencial solução a transferir de modo a aplicá-la a um problema humano.
2 - Definição da solução biológica	- São identificados os componentes ou sistemas envolvidos no fenómeno em análise de modo a enunciar a solução biológica em notação funcional.
3 - Extração do princípio	- A partir da análise da solução biológica em modo esquemático extrai-se o princípio de solução fundamental.
4 - Reequacionamento da solução	- Neste caso, o reequacionamento leva os designers a pensar em termos de como os seres humanos poderão perspectivar a utilidade da função biológica executada.
5 - Busca pelo problema	- Enquanto a busca no domínio biológico consiste numa busca realizada num espaço finito de soluções biológicas documentadas, a busca pelo 'problema poderá passar pela definição de problemas inteiramente novos (isto é muito diferente do passo de busca da solução nos processos conduzidos pelo problema).
6 - Definição do problema	- Por analogia com a definição da solução em notação esquemática/funcional, procede-se à esquematização do problema de modo semelhante. Procura-se, assim, estabelecer claramente um paralelismo entre os sistemas e os componentes da solução biológica e o problema onde se pretende aplicar uma solução inspirada na Natureza.
7 - Aplicação do princípio	- Uma vez estabelecido o princípio de solução, este é transformado em princípio de funcionamento dum conceito tecnológico que carece, ainda, de desenvolvimento projectual. Esta actividade irá culminar na materialização da solução de inspiração biológica num produto ou sistema tecnológico.

2.2.5.1 Identificação dos pontos fortes e fracos

Da análise do método de Bio-solução em busca de problema, tal como apresentado por Helms et al. (2009) elaborou-se uma lista de pontos fortes e fracos, de modo a contribuir para a classificação dos vários métodos analisados (ver Imagem 11).

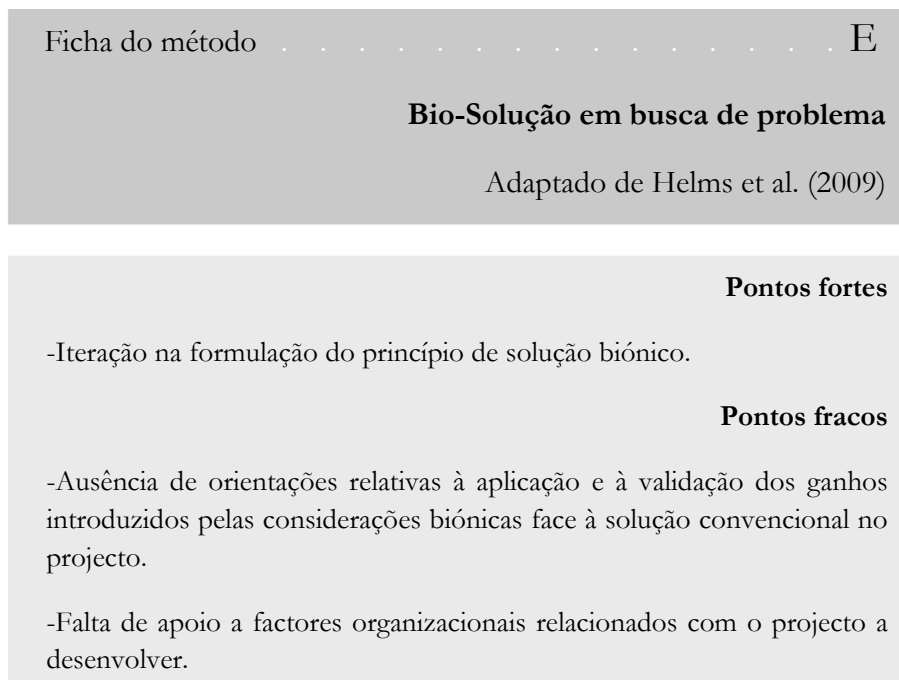


Imagem 11 | Ficha de pontos fortes e fracos do método de Bio-solução em busca de problema (análise do autor, com base na informação apresentada por Helms et al., 2009).

2.3 Orientações de análise do design biónico

A aplicação dos princípios da biónica num projecto de design pode ser realizada através de duas orientações gerais diferentes e opostas (Helms et al., 2009): encontrar na natureza uma solução para um problema, ou procurar um problema para o qual se encontrou uma solução na natureza (Imagem 12). A abordagem orientada do problema para a solução segue uma orientação que se inicia na identificação de um problema (aplicação humana, como por exemplo o desenvolvimento ou melhoria de produtos ou serviços) ou a necessidade de um projecto, seguido da procura, na natureza, de inspiração

ou de uma analogia que potencie uma solução para o problema (proposta de solução biónica). Esta abordagem será assim indicada para os designers que procuram inspiração para o desenvolvimento de um determinado produto.

Por outro lado, a abordagem que é orientada da solução para o problema consiste na observação da natureza e das suas estruturas, de modo a recolher informações úteis (inspiração biónica como base de solução) para aplicações humanas (problemas de concepção), nomeadamente no desenvolvimento de produtos ou serviços novos ou no melhoramento dos existentes.

<p>Orientação da análise</p> <p>Da solução para o problema</p>	<p>Orientação da análise</p> <p>Do problema para a solução</p>
<p>-Procede-se inicialmente à observação da natureza de modo a recolher informações úteis (inspiração biónica como base de solução) para possíveis aplicações humanas (problemas de concepção) a seleccionar posteriormente, nomeadamente no desenvolvimento de produtos ou serviços novos ou melhoramento de existentes.</p>	<p>-De início procede-se à identificação de um problema (aplicação humana como por exemplo o desenvolvimento ou melhoria de produtos ou serviços) ou de uma necessidade de projecto que é seguida da procura, na natureza, de inspiração ou de uma analogia que potencie uma solução para o problema (proposta de solução biónica).</p>

Imagem 12 | As características essenciais das orientações de análise do design biónico.

2.4 Metas fundamentais a alcançar em projectos de concepção

Nesta secção são propostas cinco metas fundamentais que podem incluir muitos dos requisitos relativos à concepção de projectos para os quais a inspiração na natureza é solicitada. A optimização da forma; a eficácia de comunicação; a eficácia de organização; a satisfação de múltiplos requisitos e a inovação de paradigma para o melhor desempenho de

funcionalidade são as metas em questão, e que se pretendem utilizar como base para a análise comparativa dos cinco métodos existentes seleccionados.

2.4.1 Optimização da forma

A optimização da forma de um objecto ou de uma estrutura pode decorrer directamente da satisfação equilibrada (com cedências de parte a parte – *trade-offs*) de vários requisitos fundamentais, tais como a redução de material e, ou, de peso ou dimensões ou a atribuição de maior estabilidade, resistência ou aerodinâmica, dependentes dos objectivos almejados.

Nem sempre será possível atingir, numa configuração óptima, a maximização de todas as propriedades devido à conflitualidade que por vezes lhes é inerente (ex.: contradição entre baixo peso e elevada resistência ou grande volume ou estabilidade). Assim, a optimização pressupõe que a configuração atingida é aquela que resolve da melhor forma as contradições e os conflitos entre as propriedades desejadas (Imagem 13).

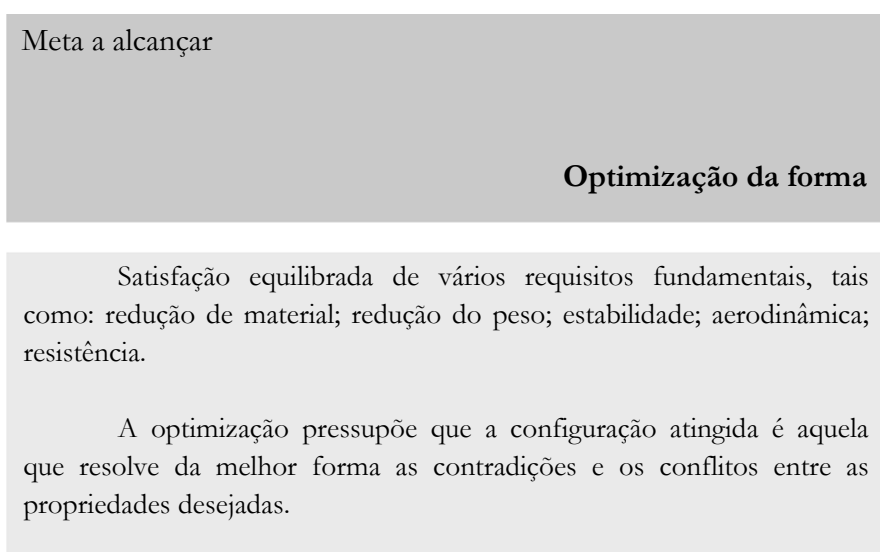


Imagem 13 | Contornos essenciais da meta fundamental a alcançar em projectos de concepção: Optimização da forma.

2.4.2 Eficácia de comunicação

A eficácia de comunicação depende da partilha de uma linguagem que pode ser baseada num código, em gestos, ou num sinal adequado à actividade e ao contexto. Para haver eficácia de comunicação é necessário que a mensagem seja claramente emitida e recebida, de modo atempado, sem ruído, e que seja relevante para a situação ou evento que está em curso. Em alguns casos a eficácia de comunicação depende da eficácia de organização (e não só, por exemplo numa hierarquia de comando), o que pressupõe uma cooperação eficiente (Imagem 14). Um dos exemplos de eficácia de comunicação na natureza passa pelas linguagens comunicativas utilizadas pelas abelhas, pelos golfinhos e pelas baleias. As abelhas fazem uso de toques, de movimentos, de intensidades distintas de sons e de cheiros para que, cooperando com o forte sentido de organização entre elas, possam beneficiar da utilização do seu código de comunicação eficaz (Bright, 2001). O mesmo acontece nas linguagens dos golfinhos e das baleias, que são baseadas em sons e em linguagens corporais. Estes mamíferos aquáticos são capazes de produzir quantidades enormes de sons diferentes para comunicarem (utilizando altas frequências fora do alcance do ouvido humano) e são capazes de captar ecos reflectidos de sons a grandes distâncias para se orientarem (Bright, 2001). Outro exemplo de comunicação em actividades com necessidades de diferenciação é a “visão” dos morcegos durante a noite. A orientação é feita por ultra-sons emitidos, que ao se depararem com um obstáculo, retornam ao morcego na forma de ecos que são captados pela audição (Bright, 2001).

Meta a alcançar

Eficácia de comunicação

Depende da partilha de uma linguagem que pode ser baseada num código, em gestos, ou em sinais adequados à actividade e ao contexto.

Para haver eficácia é necessário que a mensagem seja claramente emitida e recebida, que seja atempada, sem ruído e relevante para a situação ou o evento que está em curso.

Imagem 14 | Contornos essenciais da meta fundamental a alcançar em projectos de concepção: Eficácia de comunicação.

2.4.3 Eficácia de organização

A eficácia de organização depende da coordenação entre múltiplas estruturas (onde se insere também a comunicação) para o desempenho de actividades com necessidade de diferenciação (Imagem 15). A coordenação de múltiplas entidades numa actividade conjunta poderá originar resultados mais eficazes do que o desempenho da actividade separadamente por cada entidade de acordo com a máxima “o todo é maior do que a soma das partes”. Um exemplo de excelente coordenação e consequente eficácia de organização pode ser apreciado numa matilha de lobos. O grupo de lobos pode caçar animais maiores do que o lobo, enquanto um lobo solitário só caça animais menores ou de envergadura semelhante a este. A organização dos papéis de cada elemento da matilha é uma pré-condição para se atingir este resultado.

Meta a alcançar

Eficácia de organização

Coordenação de múltiplas estruturas para desempenho de actividade diferenciada com necessidade de diferenciação.

A coordenação de múltiplas entidades numa actividade conjunta poderá originar resultados mais eficazes do que o desempenho da actividade separadamente por cada entidade “o todo é maior do que a soma das partes”.

Imagem 15 | Contornos essenciais da meta fundamental a alcançar em projectos de concepção: Eficácia de organização.

2.4.4 Satisfação de múltiplos requisitos

A satisfação de múltiplos requisitos traduz o cumprimento dos diversos objectivos fundamentais e complementares inerentes ao problema, procurando a viabilização e a rentabilização de um número reduzido de estruturas e de elementos que sejam utilizados no

desempenho de mais do que uma função. Esta satisfação simultânea abre caminho para a consideração de novos objectivos, de modo a acrescentar utilidade e rendibilidade ao produto. O respeito de vários objectivos por um conjunto limitado de recursos, de estruturas ou de entidades implica uma racionalização que visa a eficiência funcional e que terá como resultado a economia de recursos (Imagem 16).

A natureza é pródiga em soluções eficazes para que, num espaço limitado, um mesmo sistema possa executar várias tarefas ou cumprir diversas funções. Para conseguirem detectar e caçar animais de caça, os lobos utilizam múltiplos sentidos e recursos tais como a audição melhorada, a sua grande capacidade olfactiva ou o seu corpo adaptado para a corrida. Também a fisionomia do corpo do peixe cofre apresenta características que permitem proteger o peixe de ferimentos, proporcionar maior estabilidade em qualquer posição, mesmo em zonas de grande turbulência aquática e diminuir o atrito com a água, garantindo maior velocidade nas movimentações [41]. Isto também é feito, por transposição, por exemplo, nas asas dos aviões que servem simultaneamente para criar a força de sustentação (lift) e de depósito de combustível.

Meta a alcançar

Satisfação de múltiplos requisitos

Cumprimento dos diversos requisitos fundamentais e complementares inerentes ao problema, procurando a rentabilização de um número reduzido de estruturas e de elementos que sejam utilizados no desempenho de mais do que uma função.

A satisfação de múltiplos requisitos simultaneamente abre caminho para a consideração de novos objectivos de modo a acrescentar utilidade e rendibilidade ao produto.

Imagem 16 | Contornos essenciais da meta fundamental a alcançar em projectos de concepção: Satisfação de múltiplos requisitos.

2.4.5 Inovação de paradigma para o desempenho de funcionalidades

A outra das cinco metas fundamentais a alcançar em projectos de concepção consiste na alteração do paradigma convencional utilizado para a implementação de uma funcionalidade, substituindo-o por um paradigma inovador (Imagem 16). Este paradigma será proposto com base na observação de estruturas, comportamentos e, ou, processos da natureza que permitam o desempenho melhorado da funcionalidade. As funcionalidades podem ter carácter de transformação de estado físico, de estado de associação ou de estado hierárquico, para citar alguns exemplos. Como modelo de inovação de paradigma pode-se considerar o exército de MEMS (Micro Electrical Mechanical Systems) para limpeza do pó em pavimento, desconstruindo desse modo o arquétipo do aspirador, recorrendo a uma inspiração biónica (formigueiro) apoiado em tecnologia de ponta (Corda, 2010).

Meta a alcançar

Inovação de paradigma para o desempenho de funcionalidades

Alteração do paradigma convencional utilizado para a implementação de uma determinada funcionalidade, substituindo-o por um paradigma inovador proposto com base na observação de estruturas, comportamentos e, ou, processos da natureza que permitam o desempenho melhorado da funcionalidade em foco.

Imagem 17 | Contornos essenciais da meta fundamental a alcançar em projectos de concepção: Inovação de paradigma para o desempenho de funcionalidades.

2.6 Aplicabilidade dos métodos revistos face às metas a alcançar estabelecidas

Na Tabela 12 apresenta-se o resumo da análise subjectiva relativa à percepção de aplicabilidade dos cinco métodos de design, numa abordagem biónica analisados, face às metas fundamentais descritas. Os resultados da análise são apresentados de seguida.

Tabela 12: Análise comparativa da aplicabilidade de métodos de design biónico face a cinco metas seleccionadas e consideradas representativas daquelas aplicáveis a problemas de concepção.

		Meta a alcançar				
Direcção da análise	Método de design biónico	Optimização da forma	Eficácia de comunicação	Satisfação de múltiplos requisitos	Inovação de paradigma para o desempenho de funcionalidades	Eficácia de organização
Da solução para o problema	Aalborg, (Colombo, 2007)	Aplicável com lacunas	Não aplicável	Aplicável com lacunas	Aplicável	Aplicável
	Bio-Solução em busca de Problema (Helms et al., 2009)	Aplicável com lacunas	Não aplicável	Aplicável com lacunas	Aplicável	Não aplicável
Do problema para a solução	Design em Espiral, (Biomimicry Institute [7])	Aplicável	Não aplicável	Aplicável com lacunas	Aplicável	Aplicável com lacunas
	Design Bio-Inspired, (Helms et al., 2009)	Aplicável com lacunas	Não aplicável	Aplicável	Aplicável	Não aplicável
	Micro-Biomimetismo, (Junior et al., 2002)	Aplicável com lacunas	Não aplicável	Não aplicável	Aplicável	Aplicável com lacunas

2.6.1 Resultado da aplicabilidade do método de Aalborg

Ao método de Aalborg (Colombo, 2007), que segue uma orientação de análise partindo da solução para o problema, foi atribuído como grau de aplicabilidade para as metas de optimização da forma e de satisfação de múltiplos requisitos, a apreciação de “Aplicável com lacunas”. Para a primeira meta, apesar de esta se focar na forma, não há no método esforço de optimização. Relativamente à segunda, apesar de se considerar neste método a forma, a estrutura e os princípios funcionais, a implementação de múltiplos princípios de forma e de estrutura pode resultar da análise mas não é explicitamente considerada. Quanto às metas de inovação de paradigma para o desempenho de

funcionalidades e de eficácia de organização, entende-se que o método é aplicável, ao contrário do que se entende relativamente à meta de eficácia de comunicação.

2.6.2 Resultado da aplicabilidade do método de Bio-solução em busca de problema

Ao método de Bio-solução em busca de problema (Helms et al., 2009), que também se direcciona da solução para o problema, foi, à semelhança do que sucedeu relativamente ao método de Aalborg, conferido o grau de “Aplicável com lacunas” para a meta de eficácia de comunicação. Sendo este método centrado na extracção e na aplicação do princípio de solução biológico, tanto os aspectos de optimização de forma como de satisfação de múltiplos requisitos, são passados para segundo plano em detrimento do princípio funcional. A avaliação deste método apenas difere significativamente face ao anterior na aplicabilidade considerada para a prossecução da meta de eficácia de organização, pois, neste método não há nenhum foco na estrutura organizativa do sistema biológico considerado.

2.6.3 Resultado da aplicabilidade do método de Design em Espiral

Seguindo agora uma orientação de análise que parte de um problema para a solução, encontramos o método de Design em Espiral (Biomimicry Institute, 2007), ao qual foi concedido, para a metas de satisfação de múltiplos requisitos, o grau de “Aplicável com lacunas”. Neste método, o processo nasce de uma necessidade humana, e como tal, a satisfação de múltiplos requisitos poderá ter lugar consoante a sua explanação na especificação inicial e a procura de modelos naturais que demonstrem a reunião das múltiplas funções e, ou, das qualidades procuradas. Contudo, neste método não se considera explicitamente um modo de conduzir a busca pela satisfação de múltiplos requisitos. A mesma avaliação teve o método relativamente à meta de eficácia de organização, uma vez que o aspecto da organização não é considerado directamente neste método, mas apenas está subentendido na consideração da análise de ecossistemas e de condições sociais naturais. Para as restantes metas, este método revela-se aplicável se o alvo for a optimização da forma (sobretudo pelo carácter iterativo do método que pressupõe a

otimização sistemática) ou a inovação de paradigma no que se refere ao desempenho de funcionalidades, e revela-se não aplicável para a eficácia de comunicação.

2.6.4 Resultado da aplicabilidade do método de Design Bio-inspirado

Na mesma orientação de análise (do problema para a solução) encontra-se o método de Design Bio-inspirado (Helms et al., 2009), que se considera aplicável com lacunas se a meta a alcançar for a optimização formal, pois, neste método o foco recai sobre a função. Nalguns casos a busca de uma solução biologicamente inspirada para uma função poderá conduzir a considerações de forma. Contudo, o método não prevê procedimentos de optimização, nem considera explicitamente a forma. O método é, ainda, aplicável de forma satisfatória caso a meta almejada seja a inovação de paradigma para o desempenho de funcionalidades, ou caso esta seja a satisfação de múltiplos requisitos. Contudo, este método revela-se não aplicável para apoiar a prossecução das metas da eficácia de comunicação e da eficácia de organização.

2.6.5 Resultado da aplicabilidade do método de Bio-mimetismo

Por fim, e considerando ainda a mesma orientação de análise, considera-se o método de Bio-mimetismo (Júnior et al., 2002). Após a análise da sua aplicabilidade à prossecução das metas estabelecidas, este método mostra-se “aplicável com lacunas” no que se refere à prossecução das metas de optimização da forma e de eficácia de organização. Para a primeira daquelas metas, esta avaliação deve-se à ausência de iteração para poder haver optimização (apesar da morfologia, que é contemplada no método, englobar a forma). Para a segunda daquelas metas, a avaliação tem em conta que no método não exige consideração directa dos aspectos organizacionais, mas apenas indirectamente por via da análise estrutural. Deste modo, este objectivo poderá apenas ser satisfeito nalguns casos de utilização do método e nos quais a análise estrutural permita estabelecer analogias organizacionais. A avaliação realizada permitiu também denotar a aplicabilidade do método para a meta da inovação de paradigma no desempenho de

funcionalidades e, por outro lado, denotar a não aplicabilidade caso a meta a alcançar seja a eficácia de comunicação ou a satisfação de múltiplos requisitos.

2.6.6 Comentário geral

Da análise efectuada podemos depreender que nenhum dos cinco métodos relatados na bibliografia e analisados apoia a prossecução da meta de melhoria ou aumento da eficácia de comunicação. Já no que diz respeito à eficácia de organização (outro aspecto da eficácia de coordenação para a qual contribuí juntamente com a eficácia de comunicação) vamos encontrar a aplicabilidade de um método orientado da solução para o problema (Aalborg), demonstrando os restantes métodos algumas lacunas para conduzir à cabal satisfação desta meta. Note-se que, dos métodos considerados como orientados do problema para a solução, nenhum dos analisados mostra uma adequação plena à realização desta meta a alcançar.

No que diz respeito à satisfação de múltiplos requisitos, os métodos analisados que são orientados da solução para o problema demonstram lacunas no apoio prestado para alcançar esta meta. Relativamente aos métodos de orientação no sentido contrário, estes apresentam-se bastante heterogéneos. Enquanto o método de Micro Bio-mimetismo não oferece sustentação para a prossecução desta meta, no extremo oposto, com sustentação apreciável, encontra-se o método de Design Bio-inspirado.

Quando se considera o alvo da forma óptima, deparamo-nos com um panorama relativamente homogéneo, em que os métodos apenas oferecem amparo parcial. Destaca-se a excepção do método de Design em espiral, que se considera de aplicabilidade significativa para alcançar este propósito. Note-se que este método segue uma orientação do problema para a solução e prevê iterações.

Para a inovação de paradigma no que se refere ao desempenho de funcionalidades, todos os métodos analisados oferecem de forma satisfatória orientações que permitem apoiar o cumprimento desta finalidade. Este facto comprova que a abordagem primordial que tem sido preconizada para o design biónico se centra em torno da funcionalidade. Por outro lado, à excepção de casos pontuais, às metas restantes tem sido dada uma menor importância. Apesar dos métodos de Aalborg e de Biomimetismo terem classificações semelhantes (à excepção de eficácia de organização), as etapas no segundo destes métodos

são mais pormenorizadas do que no primeiro, verificando-se uma complementaridade descritiva deste último face ao primeiro.

2.7 Processo de validação das metas a alcançar

Retomando os pontos fracos detectados nos métodos analisados, destaca-se uma crítica comum. A ausência de validação é a principal crítica às metodologias existentes (e também é a principal novidade apresentada e testada neste trabalho de dissertação, do ponto de vista de contributo metodológico para as abordagens biónicas ao design). Neste sentido foi elaborada uma descrição do processo de validação para as cinco metas a alcançar estabelecidas, que visa permitir uma orientação metodológica no campo da validação aquando do desenvolvimento de projectos com base na biónica. O processo de validação será apresentado nas seguintes secções, estando os respectivos pontos essenciais referentes a cada meta descritos na Tabela 12.

Tabela 12 | Aspectos de validação das metas a alcançar em processos de concepção que recorrem a abordagem biónica com indicação de processos específicos aplicáveis.

Metas a alcançar	Processo de validação para objectivos específicos
Inovação de paradigma para o desempenho de funcionalidades	<ul style="list-style-type: none"> - Descrição conceptual analítica e imagens ilustrativas para provar a alteração. - As marcas de alteração de paradigma variam consoante o tipo de paradigma em questão (exemplos): <ul style="list-style-type: none"> - a nível organizacional - mudança a partir de um modelo de tomada de decisões centralizado num elemento da organização com poderes de direcção para um processo de tomada de decisão cooperativo, distribuído e realizado por múltiplos elementos. - a nível técnico - princípio de funcionamento, forma, tecnologia de accionamento, fonte de energia, entre outros.
Optimização da forma	<ul style="list-style-type: none"> - Abordagem comparativa face a um produto convencional. Exemplos: <ul style="list-style-type: none"> - Redução de material e do peso – análises a partir de modelações sólidas. - Estabilidade - Análise estática de centro de massa (mecânica

	<p>vectorial).</p> <ul style="list-style-type: none"> - Resistência para a capacidade máxima – método de elementos finitos e teste em protótipos. - Armazenamento de objectos – análises da capacidade, da lotação máxima e quantificação.
Satisfação de múltiplos requisitos	<ul style="list-style-type: none"> - Verificar objectivamente, e tanto quanto possível, o nível que se atingiu para cada propriedade implícita em cada requisito. - Verificar se a resolução de conflitos entre propriedades não compatíveis foi efectuada com cedências de parte a parte entre os requisitos em causa.
Eficácia de organização	<ul style="list-style-type: none"> - Comparação entre dois ou mais sistemas com a mesma função (incluindo o sistema projectado), mas com modos de organização diferentes. - Colher medidas de eficácia de funcionamento (real ou simulado) dos sistemas (incluindo o sistema projectado) de níveis como: tempo de execução, energia dispendida, recursos materiais gastos, recursos gerados.
Eficácia de comunicação	<ul style="list-style-type: none"> - Validação de acordo com o nível de comunicação em causa. - Comunicação passiva (despoletada pela observação) - a eficácia poderá encontrar-se na sobreposição entre o significado que se pretende incorporar no produto ou sistema pelo designer e as leituras significacionais realizadas pelos utilizadores ou observadores (verificação empírica). - Comunicação activa (processo entre um emissor e receptor de modo síncrono) – eficácia avaliada a partir da verificação da sobreposição das mensagens no emissor e no receptor e do seu resultado no receptor, que deverá estar de acordo com o pretendido pelo emissor (verificação empírica).

2.7.1 Processo de validação para a meta de inovação de paradigma para o desempenho de funcionalidades

Para validar a inovação de paradigma para o desempenho de funcionalidades de um projecto de design biónico deve-se realizar uma descrição conceptual-analítica e utilizar imagens ilustrativas que provem a alteração.

As marcas de alteração de paradigma variam consoante o tipo de paradigma em questão. A nível organizacional, por exemplo, pode tratar-se de uma mudança a partir de um modelo de tomada de decisões centralizado num elemento da organização com poderes de direcção para um processo de tomada de decisão cooperativo, distribuído e realizado por múltiplos elementos. Neste caso, os parâmetros associados ao funcionamento organizacional serão aqueles em que as marcas da mudança se farão notar. A nível técnico, a mudança de paradigma pode referir-se ao princípio de funcionamento, à forma, à tecnologia de accionamento, à fonte de energia, entre outros.

A inovação de paradigma pode ser uma forma de dar um salto na eficiência da realização da função que o produto cumpre, quer se trate, por exemplo, de eficiência energética, ou de cumprimento de objectivos de sustentabilidade.

2.7.2 Processo de validação para a meta de optimização da forma

Se o objectivo for a optimização da forma, deve-se proceder a uma abordagem comparativa face a um produto convencional. A comparação da redução de material e do peso facilmente se verifica a partir das modelações sólidas. É, contudo, necessário validar também a satisfação de outros requisitos fundamentais, tais como:

- Estabilidade – através de análise estática de centro de massa (mecânica vectorial).
- Resistência para a capacidade máxima utilizando o método dos elementos finitos ou o teste em protótipos.
- Armazenamento de objectos, através da capacidade, da lotação máxima ou da quantificação, em geral.

2.7.3 Processo de validação para a meta de satisfação de múltiplos requisitos

Na presença de múltiplos requisitos, é necessário verificar objectivamente, e tanto quanto possível, o nível que se atingiu para cada propriedade implícita em cada requisito. Isto deve ser feito de modo a evitar os conflitos entre propriedades não compatíveis, com cedências de parte a parte e sem comprometer o alcançar de um patamar no mínimo

aceitável para cada propriedade. Em cada projecto, a validação irá depender das propriedades em causa. A título de exemplo, poderá referir-se o conflito entre baixa massa e elevada resistência ao choque em objectos sujeitos a impacto.

2.7.4 Processo de validação para a meta de eficácia de organização

A verificação do nível da eficácia de organização pode ser feita de modo comparativo entre dois ou mais sistemas com a mesma função (incluindo o sistema projectado), mas com modos de organização diferentes. Para tal será necessário colher medidas de eficácia de funcionamento nos sistemas em comparação, que variam consoante a função mas que podem passar por tempo de execução, por energia dispendida, por recursos materiais gastos, ou por recursos gerados (verificação empírica).

2.7.5 Processo de validação para a meta de eficácia de comunicação

Para efectuar a validação da eficácia de comunicação é necessário agir de acordo com o nível de comunicação em causa. Num extremo encontra-se a comunicação passiva despoletada pela observação. A sua eficácia depende da qualidade do processo de concepção quanto à incorporação dos significados pretendidos. Neste caso, uma medida de eficácia poderá encontrar-se na sobreposição entre o significado que se pretende incorporar no produto ou sistema pelo designer e as leituras significacionais realizadas pelos utilizadores ou observadores (com verificação a partir de dados colhidos numa amostra de indivíduos). No outro extremo da gama de processos de comunicação, vamos encontrar a comunicação activa que se processa entre um emissor e um receptor, de modo síncrono. Neste tipo de comunicação, o ruído é preponderante como factor de perturbação na transmissão da mensagem. Contudo, os factores contextuais diferenciados entre o emissor e o receptor, podem levar à perda de eficácia do processo. Como medida de eficácia de comunicação nesta modalidade propomos a sobreposição das mensagens (tal como emitida e tal como recepcionada) para verificar se o resultado no receptor está de acordo com o pretendido pelo emissor (verificação empírica).

2.8 Desenvolvimento de nova metodologia para apoiar o processo de design biónico

As metodologias são instrumentos essenciais no processo de design, facultando directrizes, metas e orientações técnicas para o desenvolvimento de produtos. São também fundamentais para se minimizar os riscos decorrentes e o tempo do processo de desenvolvimento de um produto (Kindlein, 2003). É, no entanto, de salientar que um método de design do produto por si só não cria ou garante o sucesso de um produto, pois este dependerá sempre da aptidão técnica e criativa daquele que faz uso do método. Cabe ao designer ter o controlo e decidir qual a melhor opção e caminho a seguir (Kindlein, 2003). Deste modo, é necessário especificar objectivos, requisitos e restrições do processo, assim como apresentar e definir todos os caminhos possíveis, de forma a reduzir os obstáculos das variáveis envolvidas no decurso do método e guiar o utilizador pelo sentido mais adequado à satisfação e resolução do problema em causa.

Tal como na natureza – um meio em constante adaptação e renovação, onde as espécies evoluem sistematicamente e apenas os mais fortes e adaptados sobrevivem – o planeamento e o desenvolvimento de um produto deve também assegurar a iteratividade e constante reavaliação do seu processo. Também os meios ao dispor do homem e as suas próprias necessidades e ambições são alvos de constantes alterações, devendo o método de desenvolvimento de um produto permitir esta adaptação e reestruturação contínua.

Para a definição do método do processo de design biónico desenvolvido neste trabalho, estabeleceu-se duas orientações gerais de partida possíveis: orientação do problema para a solução e orientação da solução para o problema (ver secção 2.3 - Orientações de análise do design biónico, página 36). Assim, foram desenvolvidas duas metodologias (A e B) respeitando cada orientação geral do processo de design biónico. As etapas comuns em ambas as direcções de análise (C1, C2 e C3) contêm a mesma descrição e, como tal, são válidas para as duas orientações. O resultado pode ser observado, de forma sintetizada, nas Tabelas 13 e 14, referentes à orientação do problema para a solução (A) e à orientação da solução para o problema (B), respectivamente.

Tabela 13 | Descrição sintetizada das etapas do método de design biónico desenvolvido seguindo a orientação do problema para a solução.

Método de design biónico seguindo a orientação do problema para a solução (A)	
Etapas	Descrição
A1 – Design Brief e definição do problema	<ul style="list-style-type: none"> - Especificação do problema a resolver através da identificação das funções que o mesmo deverá realizar, dos requisitos pretendidos e das restrições implicadas. - Elaboração de lista esquemática com os aspectos de especificação essenciais e aspectos ambientais e ecológicos a respeitar.
A2 – Reformulação do problema	<ul style="list-style-type: none"> - Reformulação e redefinição dos problemas e das funções definidos em termos biológicos gerais e amplamente aplicáveis. Questionar a forma como a natureza resolve os problemas ou as funções que se pretendem solucionar.
A3 – Selecção de soluções	<ul style="list-style-type: none"> - Procura de modelos e soluções biológicas que respondam e resolvam os desafios propostos, através de pesquisas bibliográficas, observações de campo, ou com recurso a discussões abertas com biólogos e especialistas.
A4 – Análise da solução	<ul style="list-style-type: none"> - Identificação e decomposição das estruturas, dos componentes, dos processos e das funções da solução biológica, relacionados com o problema a solucionar. Relacionar as funções e requisitos do problema com as funções e características da solução biológica.
C1 – Geração de conceitos	<ul style="list-style-type: none"> - Desenvolvimento de ideias e conceitos (sob a forma de esboços e modelos 3d) com base nos modelos naturais e seguindo as orientações e princípios obtidos nas etapas de análise e definição da solução biológica e do problema.
C2 – Validação	<ul style="list-style-type: none"> - Verificação da satisfação dos requisitos do problema e validação dos ganhos introduzidos pela biónica nos conceitos desenvolvidos através do processo de validação correspondente da relação entre os requisitos e objectivos específicos do projecto com as cinco metas a alcançar estabelecidas. - Selecção dos conceitos mais adequados para passar à etapa seguinte.
Etapa C3 – Detalhe e acabamento	<ul style="list-style-type: none"> - Realização de desenhos técnicos para construção, descrições pormenorizadas de componentes, de materiais, de processos de fabrico e de todas as considerações necessárias para o tipo e finalidade de projecto. - Construção de protótipo e apresentação de resultados.

Tabela 14 | Descrição sintetizada das etapas do método de design biónico desenvolvido seguindo a orientação da solução para o problema.

Método de design biónico seguindo a orientação da solução para o problema (B)	
Etapas	Descrição
B1 – Identificação da solução	- Observação de fenómenos da natureza e identificação de potenciais soluções biológicas com propriedades ou características marcantes, a transferir para aplicação em problemas humanos.
B2 – Análise da solução	- Análise e esquematização de um conjunto de factores que permitam perceber a forma, a estrutura, a organização e os princípios da solução - Extração dos princípios de solução fundamentais que motivam o modo de funcionamento.
B3 – Reformulação da solução	- Dedução dos princípios gerais, obtidos na etapa anterior, em detalhes particulares e considerar ligações possíveis entre o comportamento biológico da solução em comportamento mecânico.
B4 – Procura do problema	- Procurar, tendo em conta os dados da etapa anterior, problemas reais, soluções existentes por otimizar ou necessidades emergentes que possam ser atendidas com as considerações biónicas identificadas.
B5 – Design Brief e associação de princípios	- Identificação e esquematização dos princípios gerais e específicos referentes ao funcionamento do produto, dos requisitos e restrições do problema e dos aspectos ecológicos e ambientais a considerar, para posterior associação às propriedades extraídas na análise da solução.
C1 – Geração de conceitos	- Desenvolvimento de ideias e conceitos (sob a forma de esboços e modelos 3D) com base nos modelos naturais e seguindo as orientações e princípios obtidos nas etapas de análise e definição da solução biológica e do problema.
Etapa C2 – Validação	- Verificação da satisfação dos requisitos do problema e validação dos ganhos introduzidos pela biónica nos conceitos desenvolvidos através do processo de validação correspondente da relação entre os requisitos e objectivos específicos do projecto com as cinco metas a alcançar estabelecidas. - Selecção dos conceitos mais adequados para passar à etapa seguinte.
Etapa C3 – Detalhe e acabamento	- Realização de desenhos técnicos para construção, descrições pormenorizadas de componentes, de materiais, de processos de fabrico e de todas as considerações necessárias para o tipo e finalidade de projecto. - Construção de protótipo e apresentação de resultados.

Na Imagem 18 está representado um esquema da organização das metodologias desenvolvidas, tal como da iteração possível entre as várias etapas de cada uma das duas direcções de análise estabelecidas. Esta iteração tem como objectivo permitir o refinamento e optimização do projecto ao longo das etapas e facilitar as analogias entre as funções da solução natural e as funções almejadas do problema. Na etapa de validação é visível, através da imagem, a possibilidade em retroceder no processo metodológico para qualquer etapa anterior. Aqui o objectivo é poder alterar, corrigir ou melhorar determinados aspectos, tendo em conta as necessidades identificadas através dos resultados da avaliação realizada na etapa referida.

Nas seguintes secções descrevem-se as actividades para a execução das etapas de ambas as metodologias desenvolvidas.

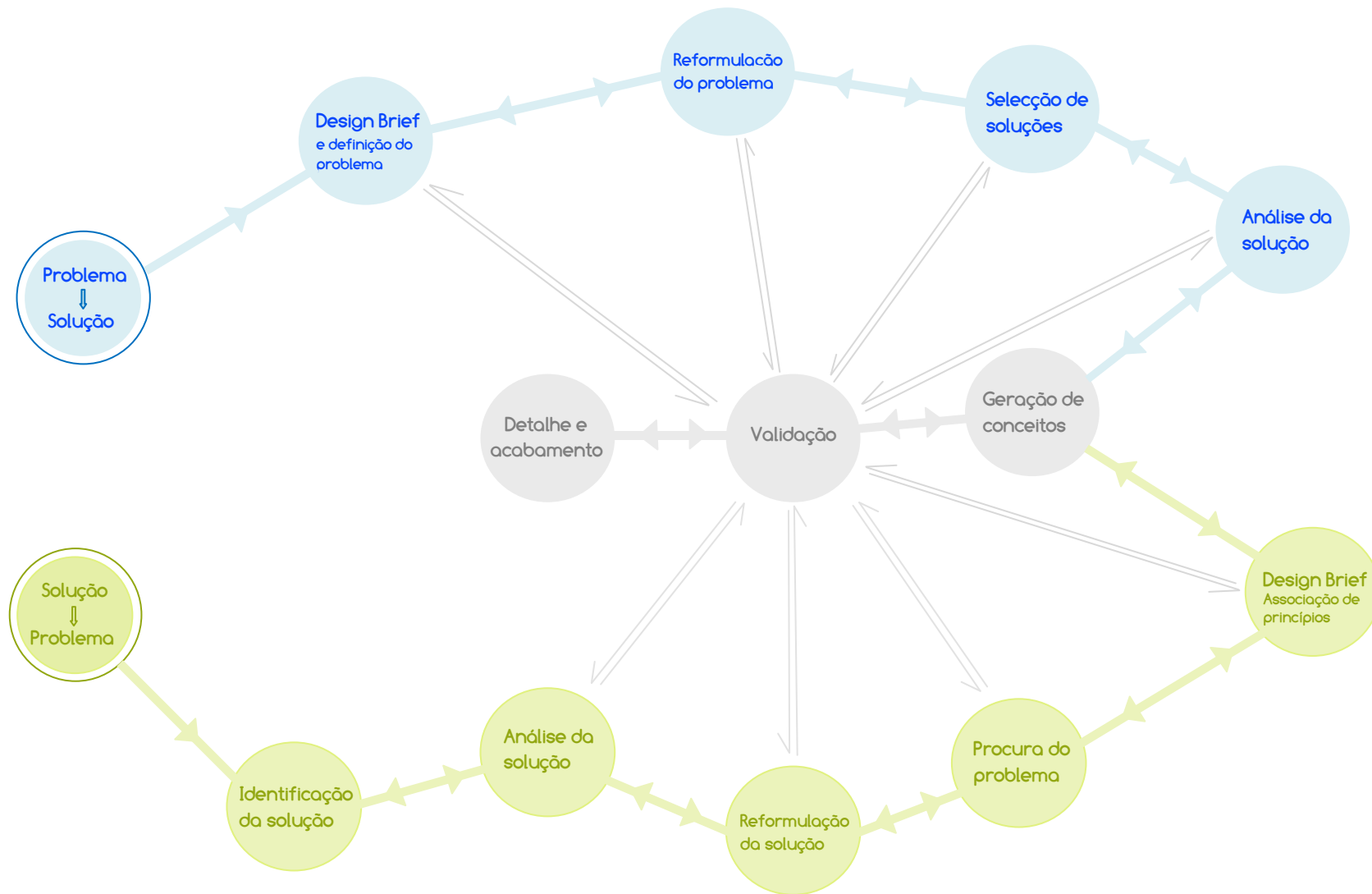


Imagem 18 | Representação gráfica da metodologia de design biónico proposta nesta dissertação.

2.8.1 Descrição da metodologia desenvolvida seguindo a orientação do problema para a solução

Se a orientação para o projecto em causa partir da identificação de um problema (novo ou já existente), a primeira tarefa será a de Design Brief e definição do problema e seguirá um processo de desenvolvimento seguindo as etapas descritas nas seguintes secções.

2.8.1.1 Etapa A1 – Design Brief e definição do problema

Nesta etapa deverá ser especificado o problema ou a necessidade humana através da realização de um briefing, onde deverá estar identificada a função (ou funções) que o projecto deverá realizar, bem como o problema e o motivo da sua existência. É também importante definir nesta fase o mercado alvo, ou seja, quem está envolvido com o problema e com a solução, tal como a definição do local onde está o problema e/ou onde será aplicada a solução.

Para a definição da função ou das funções que se pretende que o projecto realize, um método auxiliar indicado por Helms et al. (2009) é a decomposição funcional do problema ou da necessidade, começando pela função mais complexa e geral que, posteriormente, se decompõe em sub-funções. Segundo os autores, para cada uma destas sub-funções podem assim ser definidos critérios de optimização, úteis na avaliação posterior de novas soluções, através da medição do desempenho e da satisfação em relação aos critérios de optimização.

A existência de uma lista de requisitos e de restrições a sujeitar o produto é de igual forma importante nesta etapa. As variáveis ambientais e ecológicas devem ser inseridas na lista e consideradas nas rotinas de desenvolvimento, de produção, de utilização e de disposição final do produto (Kindlein et. al., 2003). Deste modo, devem ser incluídos, nos requisitos do problema, objectivos como a redução do impacto ambiental causado pela extracção e transformação da matéria-prima a ser utilizada, assim como na produção do produto, na utilização e no fim da vida útil do mesmo, onde as questões da reciclagem e da biodegradação devem ser atendidas.

Após a definição clara do problema, torna-se necessário interpretá-lo do ponto de vista da natureza, ou seja, traduzir as funções e as sub-funções do projecto em funções desempenhadas por fenómenos da natureza. Esta etapa define-se como reformulação do problema.

2.8.1.2 Etapa A2 – Reformulação do problema

De acordo com Helms et al. (2009) para se poder encontrar soluções análogas à biologia, os designers devem redefinir e reformular os problemas e as funções em termos biológicos gerais e amplamente aplicáveis, questionando, por exemplo, “como é que a Natureza e as soluções biológicas realizam (ou não realizam) esta função?”. Como exemplo, para uma função definida na primeira etapa como “não sofrer quedas”, a reformulação biológica nesta etapa poderia ser “quais as características que a Natureza e as soluções biológicas têm que permitam resistir, prevenir e diminuir a falta de estabilidade.

A terceira etapa do método, considerando a vertente de análise do problema para a solução diz respeito à procura e à selecção de soluções biológicas relevantes para o problema.

2.8.1.3 Etapa A3 – Selecção de soluções

Esta procura de modelos da Natureza que respondam, e, ou, resolvam os desafios propostos poderá ser feita através de pesquisas bibliográficas ou de campo, envolvendo algum conhecimento acerca do habitat das amostras a recolher (Junior et al., 2002). Também pode ser feita com recurso a discussões abertas com biólogos e especialistas deste campo.

Algumas das técnicas existentes, identificadas por Helms et al. (2009), a ter em conta na procura, são a alteração das restrições do problema, muitas vezes definido de modo estrito e preciso, diminuindo a área de procura, condicionando desse modo o êxito da pesquisa. Assim, para o problema definido como “não sofrer quedas”, alterar as restrições para um maior espaço de busca: “estabilidade e resistência a impactos”.

Outra técnica, útil no desenvolvimento desta etapa, é procurar soluções do meio natural que sobrevivam em casos extremos do problema em análise (Helms et. al., 2009). No mesmo exemplo, “resistir a quedas”, procurar estruturas que sejam estáveis em condições climáticas exigentes ou sujeitas a perturbações e esforços constantes.

Segundo os mesmos autores, de modo a evitar a grande complexidade dos sistemas e organismos naturais, muitas vezes a procura das soluções mas simples ou acessíveis e que ao mesmo tempo resolvam vários problemas em simultâneo, revela-se a melhor solução.

Os autores salientam também a importância de evitar nesta etapa problemas de associação similar e analogias fracas, conduzindo a uma quebra na diversidade, originalidade e potencialidade de futuros conceitos com base na solução escolhida. Estas técnicas apresentadas podem contribuir para a satisfação múltipla de requisitos a que o projecto irá responder.

Após a identificação do sistema natural que responde ou resolve o problema em estudo, deve-se realizar uma análise da solução biológica.

2.8.1.4 Etapa A4 – Análise da solução

Aqui, o designer deve identificar e decompor as estruturas, os componentes, os processos e as funções da solução biológica, relacionados com o problema a solucionar. As questões abordadas nesta fase, que permitem um melhor entendimento funcional, estrutural, e a nível organizacional e morfológico, podem ser: “qual a função?”, “para que serve?” ou “como funciona?” (Junior et. al., 2002). A partir deste entendimento vários aspectos característicos da solução biológica podem contribuir para a satisfação de múltiplos requisitos, nomeadamente a eficácia formal/estrutural, funcional e organizacional.

A decomposição funcional realizada na etapa da definição do problema poderá ser útil de forma a relacionar cada função ou sub-função e requisito do problema com as funções e características da solução biológica (Helms et. al., 2009). Desta forma a compreensão da solução será facilitada e os princípios mais relevantes e viáveis para os desafios particulares do projecto podem ser identificados e extraídos em forma de uma solução neutra, que exige uma redução máxima das restrições estruturais e ambientais da Natureza (Helms et. al., 2009).

Depois da extracção dos princípios da solução biológica e de acordo com a viabilidade de aplicação e resposta às necessidades do projecto, os designers podem desenvolver ideias e conceitos com base nos modelos naturais, seguindo as orientações e princípios obtidos nas etapas de análise da solução biológica e definição do problema. Esta etapa criativa designa-se por aplicação dos princípios e Geração de conceitos.

2.8.1.5 Etapa C1 – Geração de conceitos

Na geração de ideias, os designers devem considerar os factores que influenciam a eficácia da forma na solução natural, os factores que influenciam a eficácia da função, a eficácia de organização ou a eficácia de comunicação (de acordo com os objectivos do projecto em causa), procurando incorpora-los o mais similar e fiel possível no processo de design (Institute, 2007).

Como resultado desta etapa são esperados esboços e modelos 3D (seja por modelação computacional e, ou por modelos físicos) dos conceitos desenvolvidos. Nestes conceitos, além de se considerar pormenores técnicos e funcionais e todos os princípios identificados, análogos ao modelo biológico, deverão, também, estar compreendidos aspectos ecológicos, tais como: a análise do ciclo de vida; a matéria-prima utilizada; a energia e resíduos gerados (quer na fabricação como no uso do produto); os processos de fabrico; a capacidade de reciclagem, de reutilização e de biodegradação após a vida útil do produto, e os aspectos de embalagem e transporte do mesmo (Kindlein, 2003).

Também nestes aspectos a Natureza é assumida como protagonista e fonte de inspiração, quer pela atenção que requer nos aspectos ecológicos do projecto como na disponibilidade de materiais naturais recicláveis, reutilizáveis, renováveis e biodegradáveis que deverão, também, ser considerados nesta fase.

Como resultado dos processos de geração de conceitos pode-se obter um conjunto de conceitos alternativos, que, porventura não serão todos igualmente adequados como proposta de resposta. Nestes casos é conveniente proceder a uma fase intermédia de avaliação dos múltiplos conceitos, de acordo com uma abordagem estruturada, como aquela proposta por Ulrich e Eppinger (2004).

Após a selecção por avaliação dos conceitos concebidos é fundamental a validação destes face aos requisitos e às metas estabelecidas.

2.8.1.6 Etapa C2 – Validação

A validação neste método consiste no processo em que se verifica se os conceitos finais atendem às necessidades e requisitos do problema e se afere a aplicação e validação dos ganhos introduzidos pela biónica face a uma solução convencional do projecto.

Neste sentido, e com base nos resultados, nas informações e nos modelos obtidos na etapa anterior, o designer poderá relacionar os requisitos e os objectivos específicos do projecto com as cinco metas a alcançar (ou quantas forem aplicáveis) estabelecidas neste trabalho, e proceder à validação seguindo o processo correspondente, apresentado na Tabela 15.

Tabela 15 | Aspectos de validação das metas a alcançar em processos de concepção que recorrem a abordagem biónica com indicação de processos específicos aplicáveis.

Metas a alcançar	Processo de validação para objectivos específicos
Inovação de paradigma para o desempenho de funcionalidades	<ul style="list-style-type: none"> - Descrição conceptual analítica e imagens ilustrativas para provar a alteração. - As marcas de alteração de paradigma variam consoante o tipo de paradigma em questão (exemplos): <ul style="list-style-type: none"> - a nível organizacional - mudança a partir de um modelo de tomada de decisões centralizado num elemento da organização com poderes de direcção para um processo de tomada de decisão cooperativo, distribuído e realizado por múltiplos elementos. - a nível técnico - princípio de funcionamento, forma, tecnologia de accionamento, fonte de energia, entre outros.
Optimização da forma	<ul style="list-style-type: none"> - Abordagem comparativa face a um produto convencional. Exemplos: <ul style="list-style-type: none"> - Redução de material e do peso – análises a partir de modelações sólidas. - Estabilidade - Análise estática de centro de massa (mecânica vectorial).

	<ul style="list-style-type: none">- Resistência para a capacidade máxima – método de elementos finitos e teste em protótipos.- Armazenamento de objectos – capacidade; lotação máxima; quantificação.
Satisfação de múltiplos requisitos	<ul style="list-style-type: none">- Verificar objectivamente, e tanto quanto possível, o nível que se atingiu para cada propriedade implícita em cada requisito.- Verificar se a resolução de conflitos entre propriedades não compatíveis foi efectuada com cedências de parte a parte entre os requisitos em causa.
Eficácia de organização	<ul style="list-style-type: none">- Comparação entre dois ou mais sistemas com a mesma função (incluindo o sistema projectado), mas com modos de organização diferentes.- Colher medidas de eficácia de funcionamento (real ou simulado) dos sistemas (incluindo o sistema projectado) de níveis como: tempo de execução, energia dispendida, recursos materiais gastos, recursos gerados.
Eficácia de comunicação	<ul style="list-style-type: none">- Validação de acordo com o nível de comunicação em causa:- Comunicação passiva (despoletada pela observação) - a eficácia poderá encontrar-se na sobreposição entre o significado que se pretende incorporar no produto ou sistema pelo designer e as leituras significacionais realizadas pelos utilizadores ou observadores (verificação empírica).- Comunicação activa (processo entre um emissor e receptor de modo síncrono) – eficácia avaliada a partir da verificação da sobreposição das mensagens no emissor e no receptor e do seu resultado no receptor, que deverá estar de acordo com o pretendido pelo emissor (verificação empírica).

De acordo com os resultados do processo de validação, haverá a necessidade de realização de novos testes, de modificações ou refinamentos aos modelos, e de reavaliação dos princípios da solução biológica e dos requisitos do problema, através de reiterações entre as etapas do método, para uma nova validação. Em caso de total satisfação e validação dos resultados, haverá a possibilidade de um ou mais conceitos passarem à fase de detalhe e acabamentos do projecto.

2.8.1.7 Etapa C3 – Detalhe e acabamento

Na última fase do projecto são atendidas as considerações necessárias para o tipo e finalidade de projecto que se está a desenvolver e que permitam à empresa colocar o produto no mercado. Análises de viabilidade técnica, financeira, ambiental e de mercado acção são também úteis para o sucesso de um produto. Normalmente são realizados desenhos técnicos e descrições pormenorizadas de todos os componentes do projecto, descrições dos materiais utilizados, descrições do processo de fabrico, de montagem, de embalagem ou instruções de utilização. É também necessário, em muitos casos, a construção de um protótipo à escala, para uma demonstração e apresentação mais realista e viável do produto. Na apresentação e comunicação do produto devem, também, considerar-se acções de *ecomarketing*, de modo a transmitir de forma eficaz os benefícios sustentáveis aos potenciais clientes e consumidores do produto (Camocho, 2010).

A existência de actividades de acompanhamento no final do processo de desenvolvimento do produto, tais como relatórios de sustentabilidade, listas de verificação (*checklists* de ecodesign) que consideram e avaliam experiências do produto, identificando novas necessidades são de igual forma relevantes (Camocho, 2010).

2.8.2 Descrição da metodologia desenvolvida seguindo a orientação da solução para o problema

Seguindo o caminho inverso, se a orientação para o projecto em causa partir da observação da natureza e recolha de possíveis soluções úteis para futuras aplicações em projectos, a primeira etapa será a identificação da solução biológica, progredindo ao longo das seguintes etapas apresentadas e descritas seguidamente.

2.8.2.1 Etapa B1 – Identificação da solução

Nesta etapa, após a observação de fenómenos da natureza, através do auxílio a pesquisas bibliográficas ou a pesquisas de campo, deveram ser encontradas potenciais soluções com propriedades ou características marcantes, a transferir para aplicação em problemas humanos.

Posteriormente, é recolhido o maior número de informação relativa à solução identificada para se proceder à análise da solução.

2.8.2.2 Etapa B2 - Análise da solução

A partir deste momento determina-se, um conjunto de factores que permitam perceber a forma, a estrutura, a organização e os princípios funcionais da solução. Deste modo, deve-se reconhecer os componentes ou sistemas envolvidos no fenómeno em análise, deve-se identificar a organização e estrutura morfológica, assimilar os mecanismos, princípios e níveis de organização, entender como o ambiente influencia esses mecanismos, entre outros aspectos considerados relevantes para o conhecimento e análise da solução (Colombo, 2007).

As questões base que se devem por na análise desta etapa são o “porquê” e “como a Natureza funciona” e “qual o objectivo da sua forma e estrutura” (Colombo, 2007). A partir desta análise, em modo de notação esquemática/funcional, o designer poderá extrair o princípio ou princípios de solução fundamentais que motivam o modo de funcionamento.

2.8.2.3 Etapa B3 - Reformulação da solução

A fase que se segue diz respeito à reformulação da solução, cujo objectivo é facilitar a busca de necessidades humanas, nas quais as funções da solução biológica podem ser úteis. Para isso, a partir dos princípios funcionais extraídos na etapa anterior, o designer deve agora deduzir os princípios gerais e específicos, em detalhes particulares e considerar ligações possíveis entre o comportamento biológico e o comportamento mecânico.

Após a reformulação dos princípios funcionais da solução natural em princípios e funções técnicas, segue-se a procura do problema.

2.8.2.4 Etapa B4 - Procura do problema

Enquanto que a procura no domínio biológico está restrita a um espaço finito de soluções já existentes e desenvolvidas pela Natureza, a procura de um problema pode incluir não só alguma necessidade existente como, também, uma problema inteiramente

novo (Helms, 2009). O designer deve assim, tendo em conta os dados obtidos durante a reformulação da solução da solução, procurar problemas reais mal resolvidos ou com lacunas, exemplos de soluções existentes com possibilidade de resolução mais eficaz e sustentável ou identificar necessidades emergentes sem soluções antecedentes que podem ser atendidas com considerações biónicas já identificadas, resultando em produtos totalmente inovadores.

Uma vez identificado um potencial problema ligado aos princípios funcionais do fenómeno biológico, o passo seguinte será o de Design Brief e associação de princípios.

2.8.2.5 Etapa B5 – Design Brief e associação de princípios

Para uma associação clara entre os sistemas e componentes da solução biológica com os aspectos funcionais do problema a resolver com inspiração biónica, desenvolve-se nesta etapa a identificação e esquematização dos princípios gerais e específicos referentes ao funcionamento do produto. É também essencial desenvolver nesta etapa, à semelhança da etapa de design brief e definição do problema no método de orientação do problema para a solução, uma lista de requisitos e restrições do produto a desenvolver, onde as mesmas variáveis ambientais e ecológicas deveram estar incluídas.

O objectivo fundamental desta etapa é estabelecer um paralelismo entre os princípios e requisitos do problema, com as propriedades fundamentais extraídas na análise da solução.

Após a compreensão das analogias potenciais existentes entre a solução e o problema, e com o auxílio das notações esquemáticas/funcionais entre os princípios extraídos da análise à solução e os princípios e requisitos inerentes ao problema, segue-se a etapa de desenvolvimento de ideias e conceitos. Esta etapa é aplicável em ambas as orientações do método, sendo designada por Geração de conceitos.

2.8.2.6 Etapa C1 – Geração de conceitos

A avaliação ou validação dos conceitos gerados é, também para as duas orientações do método, a fase seguinte (ver descrição na secção 2.8.1.5 - Etapa C1 – Geração de conceitos, página 59).

2.8.2.7 Etapa C2 – Validação

Tal como na orientação precedente, de acordo com os resultados do processo de validação, haverá a necessidade de realização de novos testes, de modificações ou refinamentos aos modelos, e de reavaliação dos princípios da solução biológica e dos requisitos do problema, para uma nova validação. Caso contrário, de total satisfação e validação dos resultados, haverá a possibilidade de passar à fase de detalhe e acabamentos do projecto (ver descrição na secção 2.8.1.6 - Etapa C2 - Validação, página 60).

2.8.2.8 Etapa C3 – Detalhe e acabamento

Etapa comum às duas orientações de análise do método desenvolvido (ver descrição na secção 2.8.1.7 – Etapa C3 – Detalhe e acabamento, página 62)

Como já foi referido, a Natureza está constantemente a aprender, a adaptar-se e a evoluir. Num método de desenvolvimento de um produto, e em especial, num método do processo de design biónico, é benéfico considerar este ensinamento, fazendo evoluir os projectos em etapas sucessivas de observação, definição do problema, análise de soluções, e validação. Deste modo é importante salientar que mesmo com a chegada de um projecto à última fase do método seguido, haverá sempre forma e necessidade de continuar a melhorar o projecto e a otimizar o produto ou o serviço.

2.9 Adequação do método proposto para apoiar a satisfação das cinco metas focadas

A génese do método proposto surge da recolha bibliográfica efectuada aos métodos de design biónico existentes tendo-se procurado reunir as mais-valias dos cinco métodos analisados no novo método combinado (e procurando ainda, na medida do possível ultrapassar algumas das lacunas apontadas). Assim, com base na avaliação subjectiva (e na sua justificação) quanto à aplicabilidade de cada um dos cinco métodos para apoiar os objectivos focados, apresenta-se de seguida uma análise de aplicabilidade face aos mesmos objectivos do método proposto.

Optimização da forma - Com base na análise apresentada na tabela constata-se que apenas o método de Design em espiral recebeu a classificação de aplicável, tendo a justificação para esta classificação atribuída sido do facto de se tratar de um método iterativo, explicitamente, o que favorece a optimização sistemática. Dado que a característica da interactividade está presente no método proposto nas suas duas direcções de análise, considera-se a aplicabilidade deste para apoiar o alcance desta meta.

Satisfação de múltiplos requisitos - Na análise prévia considerou-se a análise do método Bio-inspirado como o único aplicável a apoiar a prossecução deste objectivo (note-se de que se trata de um método orientado do problema para a solução). A justificação está implícita na descrição do método, nomeadamente no seu ponto cinco (extracção de princípios), uma vez que se propõe a extracção dos princípios importantes da solução, removendo as várias restrições estruturais e ambientais, o que implica a consideração destes múltiplos aspectos restritivos. Este facto pode levar ao estabelecimento de analogias destas restrições da solução natural com os múltiplos requisitos do problema de design. Note-se que no ponto seis do método de design Bio-inspirado se introduz o princípio de solução biónico num novo domínio aplicando as restrições desse domínio (que podem ser requisitos múltiplos do problema). No método proposto considera-se nas etapas B3 (orientação da solução para o problema) e A4 (orientação do problema para a solução) as extracções das restrições da solução biológica de modo a tornar mais expedita a aplicação deste princípio de solução noutra domínio. Contudo, não estão explicitamente considerados os requisitos após a transferência da solução biológica no novo domínio, considerando-se neste aspecto, algumas lacunas.

As técnicas de procura de soluções, também apresentadas no método de design Bio-inspirado, com vista à selecção de soluções que através das suas características resolvam vários questões ao mesmo tempo, ou que desempenhem funções análogas pretendidas mas em casos extremos, contribuem também para a satisfação desta meta. Na orientação de análise do problema para a solução, no método desenvolvido, foram consideradas e indicadas estas técnicas, contribuindo para o alcance da satisfação de múltiplos requisitos no projecto que se pretende desenvolver.

A satisfação desta meta pode também ser atendida através das considerações das variáveis ambientais e ecológicas no projecto, salientadas nas duas orientações de análise. Para além da satisfação dos requisitos de cariz formal ou funcional, são também satisfeitos requisitos ambientais e ecológicos.

Após estas considerações, entende-se que o método é aplicável, nas suas duas orientações, à satisfação da meta.

Inovação de paradigma para o desempenho de funcionalidades - Na análise prévia, todos os métodos analisados são considerados aplicáveis no apoio prestado para atingir o objectivo da inovação de paradigma para o desempenho de funcionalidades. Esta é considerada uma motivação fundamental para a proposta de todos e cada um destes métodos por parte dos seus autores. Ela é conseguida através do aspecto transversal a todos os métodos analisados na transformação de uma solução biológica de modo a servir de solução a um problema inerente a um projecto artificial. Isto verifica-se (esta transformação) em ambas as orientações de análise. Uma vez que no método proposto se considera esta transformação (quanto na passagem de A1 para A4 e B1 para B5) atribui-se a classificação de aplicável sem reservas para este objectivo.

Eficácia de organização - Foi considerada como apoiada plenamente a prossecução da meta da eficácia de organização através da utilização do método de Aalborg (orientado da solução para o problema). Já os métodos design em espiral e biomimetismo receberam a classificação de aplicável com lacunas. No caso do método de Biomimetismo, este não prevê a consideração directa dos aspectos organizacionais se bem que estes possam ser indirectamente abrangidos através da análise estrutural prevista. Quanto ao método de design em espiral, o aspecto organizacional também não é considerado directamente, mas está implícito na consideração da análise dos ecossistemas e das condições sociais naturais. O método de Aalborg na análise efectuada logrou alcançar a categoria de aplicável tendo

em conta a primeira fase deste método, que é de análise, e que entre outras áreas se foca sobre a organização, a estrutura morfológica e os níveis de organizado do sistema natural. Tendo em conta que estes aspectos estão contemplados em ambas orientações de análise do método proposto (respectivamente na fase A4 e na fase B2), considera-se para este parâmetro a classificação de aplicável.

Eficácia de comunicação - a eficácia de comunicação foi considerada uma meta para a qual não há qualquer apoio por parte dos cinco métodos existentes. Ainda que se possa considerar, nomeadamente em trabalhos futuros, conferir apoio para alcançar este objectivo num método a propor, optou-se por não enverdar por esse caminho nesta dissertação. Contudo, propõe-se no itinerário de validação integrado no método proposto considerações que visam apoiar a possibilidade de avaliar a eficácia de validação atingida por ventura utilizando métodos convencionais de estímulo à criatividade. Tal como outras do conjunto de ferramentas disponíveis ao designer na fase de geração de conceitos, que podem demonstrar-se úteis no apoio à eficácia de comunicação. Assim, o método desenvolvido considera-se aplicável, embora com lacunas a colmatar em trabalhos futuros, ao apoio à meta de eficácia de comunicação.

Nota: na maior parte das situações, sendo o método aplicável, a apoiar o alcance de uma meta, esta não poderá ser atingida se não for explicitamente considerada no briefing que dá origem ao projecto de design.

Como resumo, A Tabela 16 compara a aplicabilidade do método desenvolvido, nas suas duas orientações de análise, face às cinco metas fundamentais a alcançar.

Tabela 16 | Análise comparativa da aplicabilidade do método de design biónico desenvolvido, nas suas duas orientações de análise, face às cinco metas seleccionadas e consideradas representativas daquelas aplicáveis a problemas de concepção.

Metodologia do processo de design biónico desenvolvida		
Direcção de análise		
Metas a alcançar	Orientação do problema para a solução (A)	Orientação da solução para o problema (B)
Optimização da forma	Aplicável	Aplicável

Satisfação de múltiplos requisitos	Aplicável	Aplicável
Inovação de paradigma para o desempenho de funcionalidades	Aplicável	Aplicável
Eficácia de organização	Aplicável	Aplicável
Eficácia de comunicação	Aplicável com lacunas	Aplicável com lacunas

2.10 Nota Conclusiva

No segundo capítulo da dissertação realiza-se um conjunto de acções seguindo um processo de investigação bibliográfico e baseado em análises comparativas. O propósito é satisfazer o quarto objectivo específico desta dissertação – estudar e desenvolver uma metodologia para a sistematização do processo de design biónico - e responder à pergunta de investigação correspondente que interroga a capacidade de uma metodologia sistematizada potenciar soluções que conjuguem apuro estético com eficiência e sustentabilidade.

Para o desenvolvimento da metodologia de sistematização do processo de design biónico, que é o principal propósito a atingir no presente capítulo, foram analisados e comparados cinco métodos de design biónico existentes e disponíveis na bibliografia. Estas análises, além de servirem de base de estudo para o desenvolvimento da metodologia que é almejado neste capítulo, podem apoiar os designers no processo de selecção do método de concepção biónica mais adequado ao problema em mãos. Como resultado, propõe-se para cada método existente um conjunto de aspectos característicos, decorrentes da análise de adequabilidade elaborada de modo prospectivo, e que são classificados nas categorias de pontos fortes e pontos fracos. Apresenta-se ainda, para cada um dos cinco métodos analisados, um julgamento da sua aplicabilidade relativamente ao apoio proporcionado (que é considerado em três níveis de gradação) para a satisfação de cada uma das metas propostas. A necessidade de integrar actividades de validação nos processos de design biónico foi também salientada como resultado da análise efectuada. O desenvolvimento e o teste de métodos melhorados que proporcionem maior apoio aos designers na prossecução das actividades conducentes à proposta de soluções biónicas, com apoio adequado para seguir qualquer uma das duas orientações de análise estabelecidas e para levar a cabo a

validação da qualidade dos resultados obtidos, contribuiu determinantemente para a satisfação do objectivo específico que guiou a realização deste capítulo.

As análises aos métodos que foram realizadas dependeram das informações disponíveis acerca dos mesmos, que são em alguns casos limitadas. Este condicionamento poderá justificar eventuais discrepâncias entre o conteúdo e propósito original do método, tal como proposto pelos seus autores, e os resultados das análises e das avaliações, sobretudo de índole prospectiva e nas quais impera a subjectividade, realizadas.

Neste capítulo, o desenvolvimento de uma nova metodologia procurou atender aos aspectos identificados durante o estudo dos métodos existentes. Propõem-se assim etapas de projecto que se destinam a colmatar lacunas detectadas nos métodos existentes em decurso da análise efectuada face à sua aplicabilidade para apoiar o processo com vista a atingir cinco metas consideradas representativas dos objectivos perseguidos por quem segue uma abordagem biónica. Como tal, foi desenvolvido um método descritivo que, para além de considerar as duas direcções de análise aplicáveis e suportar a validação da satisfação dos objectivos estabelecidos, proporciona o apoio a uma abordagem iterativa na condução do projecto. Tem-se assim em vista apoiar a optimização dos resultados alcançados com o recurso a uma abordagem biónica. O método desenvolvido recorre a uma abordagem que procura conjugar de uma forma harmoniosa os contributos dos métodos existentes, que foram valorizados através da análise, e o apoio às metas enunciadas. Como se pode ver pela comparação da Tabela 16 apresentada relativa à aplicabilidade do apoio conferido para atingir as metas pelo método proposto (referenciado nas suas duas direcções de orientação) e a tabela congénere relativa aos cinco métodos revistos (Tabela 12), o método proposto granjeia a aplicabilidade em todas as combinações de orientação e meta para as quais já se verificava a aplicabilidade de pelo menos um dos métodos anteriores. Para além disso, logrou-se aumentar a aplicabilidade face aos métodos anteriores para a optimização de forma e para a satisfação de múltiplos requisitos na orientação da solução para o problema e para a eficácia de organização na orientação do problema para a solução. Foram ainda consideradas outras actividades não previstas nos métodos revistos com o intuito de apoiar a prossecução mais cabal e mais plena dos objectivos de optimização da forma e satisfação de múltiplos requisitos. Apesar desta reunião de valências e do seu complemento constatou-se que o objectivo de eficácia de comunicação contínua ainda a sofrer alguma falta de apoio para a sua satisfação. Assim recomenda-se que nos projectos onde este objectivo seja visado, que se recorra a outras abordagens descritas no processo de design sistemático para incentivar a sua satisfação.

Contudo, o método proposto apesar de não apoiar com o mesmo grau no que à validação dos cinco objectivos focados diz respeito apoia igualmente os esforços de validação das cinco metas consideradas. Assim, mesmo que não se apoie directamente o processo que conduz à satisfação de todos os objectivos enunciados, pela utilização deste método, providenciam-se mecanismos de validação que auxiliam o designer a tomar consciência através da utilização de instrumentos objectivos de medição, do nível de satisfação de cada objectivo atingido em cada iteração do projecto. Esta medição auxiliará o reconhecimento da necessidade e medidas para corrigir os desvios detectados face aos objectivos propostos.

De modo a reforçar e complementar o método desenvolvido, a aplicação prática é fundamental. Neste sentido pretende-se realizar no terceiro capítulo desta dissertação projectos que seguem o método de design biónico criado não apenas com o intuito de validar ou comprovar a sua aplicabilidade prática, mas também como forma de extensão e de complemento didáctico com vista a potenciar a difusão da utilização do método.

Capítulo 3 | Aplicação (para validação) do método desenvolvido

Precisa-se de uma solução?

Pergunte-se à Natureza!

3.1 Nota Introdutória

Dentro de um contexto pedagógico e metodológico é essencial a união e o trabalho mútuo entre a teoria e a prática de forma a enriquecer e a clarificar o trabalho. Assim, neste capítulo pretende-se empregar a metodologia, desenvolvida no capítulo anterior, em casos práticos. Esta aplicação permite corresponder ao último objectivo específico estabelecido (O5)- empregar a metodologia desenvolvida relativa ao processo de design biónico a casos práticos seleccionados tendo em conta as possibilidades de aplicação projectual, resultando no projecto completo de produtos otimizados e sustentáveis.

Além de consolidar e validar a aplicabilidade do método criado, o desenvolvimento dos projectos pretende também responder à pergunta de investigação que questiona a capacidade e o potencial da abordagem biónica para o desenvolvimento de soluções optimizadas (PD).

Tendo em conta a diferenciação existente entre as duas direcções de análise da abordagem e do método de design biónico proposto, expõe-se passo a passo a execução de dois projectos. Cada um destes projectos segue uma direcção distinta e o seu resultado visa testemunhar o potencial do método para apoiar o desenvolvimento de propostas inovadoras e eficazes sem descurar o apuro estético e indo ao encontro de preocupações de sustentabilidade.

3.2 Desenvolvimento de projectos segundo a metodologia proposta

Nesta secção desenvolvem-se dois projectos em que cada um aplica e segue uma das duas orientações de análise da metodologia proposta. As etapas seguidas durante o desenvolvimento dos projectos são identificadas para reforçar a associação com as etapas do método e facilitar deste modo a orientação de cada uma. O desenvolvimento projectual nos dois casos práticos é seguido até ao término da etapa de validação. A última etapa do método, para ambas as direcções de análise, que consiste no detalhe e nos acabamentos dos conceitos na sua transformação em produtos industrializados, não é apresentada neste trabalho. Esta opção prende-se com o facto, já referido na descrição desta etapa no segundo capítulo, de que a sua execução depende sobejamente do contexto produtivo, bem

como de outros aspectos decorrentes da envolvente na qual o projecto é finalizado com vista à colocação nas fases do seu ciclo de vida, nomeadamente na produção, na distribuição, na utilização e na reciclagem.

3.2.1 Torre para CDs e DVDs biónica

Para justificar e consolidar o método e soluções apresentados neste trabalho, foi desenvolvido como exemplo um caso prático de estudo. O problema que se propôs a desenvolver foi a concepção de uma solução biónica de torres/estantes para CDs, DVDs e livros.

3.2.1.1 Etapa A1 – Definição do problema

Numa primeira fase, e tendo em conta que a orientação geral deste projecto é iniciada pela identificação de um problema que procura uma solução, estabeleceu-se os principais requisitos do produto de modo a definir e especificar o problema em causa. Estes requisitos consistem, para além da função básica de arrumação com versatilidade das caixas dos CDs, DVDs ou livros (1), na maior estabilidade perante uma perturbação dinâmica (2) e numa maior apreensão dos objectos arrumados (3), tudo isto face à solução convencional. Para além destes requisitos foram ainda considerados os objectivos de maior leveza (4) face à solução convencional, de facilidade de utilização através de um bom posicionamento das lombadas (CDs, DVDs e livros) com vista a uma boa legibilidade (5) e a percepção por parte do utilizador (6) de uma forma agradável e apelativa, que permita o seu interesse estético pelo produto. O último requisito estabelecido, também relacionado com os objectivos de comunicação do objecto, diz respeito à transmissão de uma mensagem de vanguarda, de criatividade e de juventude (7) através da torre. O produto final a alcançar deverá direccionar-se para um público-alvo diverso, de modo a responder às necessidades e gostos de pessoas de fases etárias distintas e de ambos os sexos.

Para a meta de optimização da forma, contribuem os requisitos (2), (4) e (5). Quanto à meta de eficácia de comunicação, para esta confluem os requisitos (5), (6) e (7). No que diz respeito à satisfação de múltiplos requisitos, neste projecto, esta meta é alcançada por via da consideração conjunta dos objectivos (1), (2), (3), (4), (5) e (6), ou seja,

todos. No que concerne à meta da eficácia de organização, para esta contribui o objectivo (1). A meta de inovação de paradigma para o desempenho de funcionalidades é uma meta que não se liga aos objectivos, e que será atingida pela execução do projecto de design biónico.

De forma a sintetizar os requisitos e restrições do problema e ajudar, deste modo, na avaliação posterior de novas soluções, através da satisfação em relação aos critérios e às metas estabelecidos nesta etapa, elaborou-se uma tabela de requisitos e especificações do problema, com indicação dos requisitos sustentáveis a respeitar, como requisitos almejados do projecto (Tabela 17).

Tabela 17 | Lista de requisitos e das metas a alcançar do projecto para torre de CDs e DVDs, com indicação dos requisitos sustentáveis a respeitar. Note-se que todos os requisitos, incluindo os de cariz sustentável, contribuem para a meta de satisfação de múltiplos requisitos.

Requisitos do projecto	Meta a alcançar
(1) Arrumação com versatilidade das caixas dos CDs, DVDs ou livros	- Eficácia de organização
(2) Maior estabilidade perante uma perturbação dinâmica face a uma solução convencional	- Optimização da forma
(3) Maior prensão dos objectos arrumados face a uma solução convencional	- Inovação de paradigma para o desempenho de funcionalidades
(4) Maior leveza face à solução convencional	- Optimização da forma
(5) Bom posicionamento das lombadas (CDs, DVDs e livros) com vista a uma boa legibilidade	- Optimização da forma - Eficácia de comunicação
(6) Forma agradável e apelativa, que permita o interesse estético do utilizador pelo produto	- Eficácia de comunicação
(7) Transmissão de uma mensagem de vanguarda, de criatividade e de juventude	- Eficácia de comunicação
Requisitos sustentáveis	
Redução do impacto ambiental dos materiais:	
- Materiais recicláveis no fim de vida útil do produto	
- Materiais biodegradáveis	
Facilidade de manutenção e reparo	- Eficácia de organização
Baixo peso da embalagem final do produto para transporte	- Optimização da forma

3.2.1.2 Etapa A2 – Reformulação do problema

Para facilitar o processo de procura na natureza de soluções biológicas que respondam aos requisitos do problema, procedeu-se seguidamente à reformulação das funções presentes nos requisitos do projecto em termos biológicos e gerais. Assim, obteve-se alguns tópicos de carácter funcional que servirão como orientações para a etapa seguinte (Tabela 18).

Tabela 18 | Reformulação dos requisitos do projecto para torre de CDs e DVDs em funções e recursos desempenhados na natureza.

Requisitos	Reformulação do requisito em funções desempenhadas na natureza
Maior apreensão dos objectos arrumados	-Soluções naturais que capturem ou imobilizem determinados corpos -Sistemas naturais usados com o intuito de protecção de organismos
Maior estabilidade perante uma perturbação dinâmica	-Características naturais que permitam não sofrer quedas ou resistir a esforços e impactos -Organismos na natureza com dimensões e fisionomias aparentemente frágeis, com grande capacidade de resistência
Maior leveza	-Organismos, propriedades ou materiais naturais que sejam leves, sem descuidar a resistência.
Redução do impacto ambiental dos materiais	-materiais naturais com recurso a bens renováveis e biodegradáveis

3.2.1.3 Etapa A3- Selecção de soluções

A partir da reformulação dos requisitos em funções e recursos presentes desempenhados na natureza procurou-se encontrar, por meio de pesquisas bibliográficas e observações em campo, as soluções biológicas que melhor resolvam ou respondam aos tópicos definidos. No que diz respeito às soluções naturais que capturem ou imobilizem

determinados corpos e aos sistemas naturais usados com o intuito de protecção de organismos (referentes ao requisito de maior preensão dos objectos) as soluções encontradas consistem nas teias de aranha e nos casulos, respectivamente. Além de se reconhecer uma aproximação análoga entre as funções deste fenómeno biológico com as funções de preensão pretendidas, as teias de aranha são também leves e resistentes, respondendo também ao requisito de maior leveza.

Para o requisito de maior estabilidade perante uma perturbação dinâmica, tendo em conta as características naturais que permitam não sofrer quedas ou resistir a esforços e impactos e os Organismos na natureza com dimensões e fisionomias aparentemente frágeis, com grande capacidade de resistência, identificou-se os ramos das árvores como solução inspiradora. Apesar de sujeitas a condições muitas vezes rigorosas, como o vento forte, e de espessuras aparentemente frágeis para o comprimento que alcançam, os ramos das árvores demonstram grande resistência.

Os aspectos relacionados com os materiais e o seu impacto ambiental serão retomados após a geração dos conceitos, de forma a responderem as necessidades que surgem dos mesmos.

3.2.1.4 Etapa A4- Análise da solução

A construção da teia de aranha, extremamente leve e muito resistente – cinco vezes mais resistente que o aço para a mesma secção transversal, podendo esticar quatro vezes mais que o seu comprimento inicial - tem como propósito servir de armadilha passiva para “capturar” insectos que com ela se intersectem, servindo posteriormente de alimento à aranha. Para além desta função principal, as teias de aranha têm também a funcionalidade de servir de suporte e abrigo dos ovos da sua criadora (Yahia, 2001).

Os princípios fundamentais a extrair da solução biológica (teia de aranha) são os fios elásticos, que ao serem multiplicados e conjugados numa determinada organização, permitem criar um meio de suporte e clausura (princípio associado à função de preensão dos objectos) bastante resistente e leve (associação ao requisito de maior leveza, sem perda de resistência).

No que se refere à segunda solução biológica encontrada, as árvores e, especificamente, os seus ramos, estão muitas vezes sujeitos a condições climáticas adversas (como o vento), ostentando, apesar da aparente fragilidade da espessura e

comprimentos das suas estruturas, grande resistência. Esta capacidade notável provém da elasticidade que as fibras do seu material permitem, tolerando a movimentação, flexão e extensão dos ramos. O princípio a retirar da solução, de modo a responder ao requisito e às funções de maior estabilidade do produto, é a existência de componentes com propriedades elásticas, que permitam a flexibilidade da estrutura em caso de perturbações.

3.2.1.5 Etapa C1- Geração de conceitos

Após a extracção dos princípios das soluções biológicas identificadas, foram desenvolvidas ideias e dois conceitos seguindo como linhas de orientação os princípios, os requisitos e os aspectos estabelecidos nas etapas anteriores (Imagens 19 e 20)



Imagem 19 | Esboços para geração do conceito da torre para CDs e DVDs biónica 1.

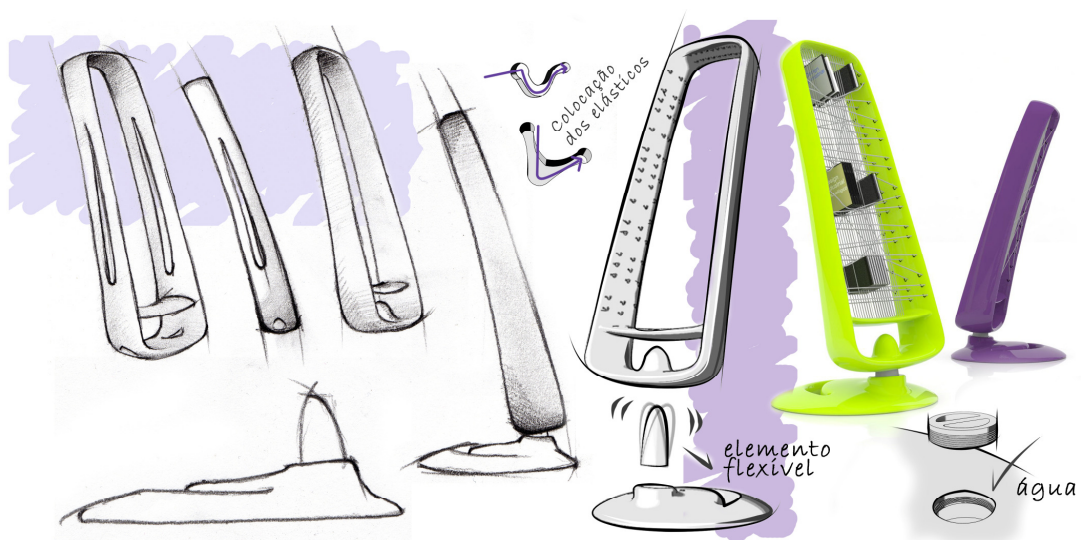


Imagem 20 | Esboços para geração do conceito da torre para CDs e DVDs biónica 2.

Assim, procurou-se conceber um sistema para a arrumação das caixas dos CDs e DVDs estruturado por meio de fios elásticos, que, à semelhança das capacidades das teias de seda, permitam a prensão dos objectos ao mesmo tempo que desmaterializam o arquétipo das estantes comuns, de forma a resultar numa solução mais leve, a nível visual e físico.

O sistema de fios elásticos (teia) desenvolvido, visível na Imagem 21, foi disposto e organizado de forma vertical – com a finalidade de orientar os objectos numa posição fixa, para organizar a arrumação e facilitar a leitura das lombadas – horizontal e oblíqua – estes com a tarefa de prensão dos objectos e organização do espaço.

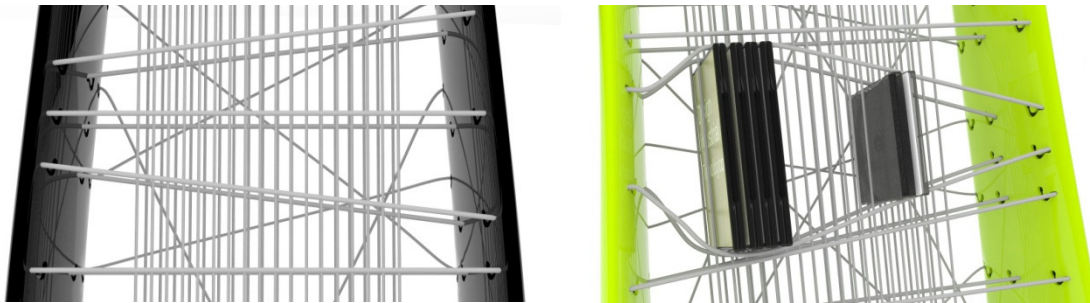


Imagem 21 | Orientação do sistema de fios elásticos das torres e exemplo de funcionamento e arrumação.

O Primeiro conceito desenvolvido (Imagem 19) para a torre biónica consiste numa estrutura única compondo todo o formato da torre e suporte do sistema de “teias”. Os fios elásticos são colocados com pré-tensão em orifícios existentes na própria estrutura, preparados para uma fácil montagem ou substituição manual dos elásticos em caso de necessidade.

Foi também utilizada uma “teia” de fios elásticos na parte posterior da estrutura da torre com o intuito de garantir a fixação dos objectos, impedindo-os de cair.

A estrutura desta solução foi projectada com uma inclinação propositada, tal como o posicionamento dos fios elásticos horizontais e oblíquos, de modo a facilitar a leitura das lombadas dos objectos a colocar. O resultado final deste conceito pode ser observado na Imagem 22.



Imagem 22 | Representação da aparência final da torre biônica 1.

Com a necessidade de utilização de algumas forças para se colocar as caixas no sistema da “teia”, e a susceptibilidade em sofrer perturbações dinâmicas na estrutura da torre, verificou-se a necessidade de aumentar a estabilidade da mesma. A partir da solução biológica já analisada (flexibilidade dos ramos das árvores) desenvolveu-se o segundo conceito para a torre 2 (Imagem 20). Este conceito, além de uma leve estrutura de suporte (moldura) ao sistema da “teia”, possui uma base independente ligada à moldura por intermédio de um terceiro elemento composto por um material com propriedades elásticas, de modo a garantir a flexibilidade da estrutura em caso de perturbações, tal como um ramo de uma árvore, e assim proporcionar maior estabilidade à torre (Imagem 23).

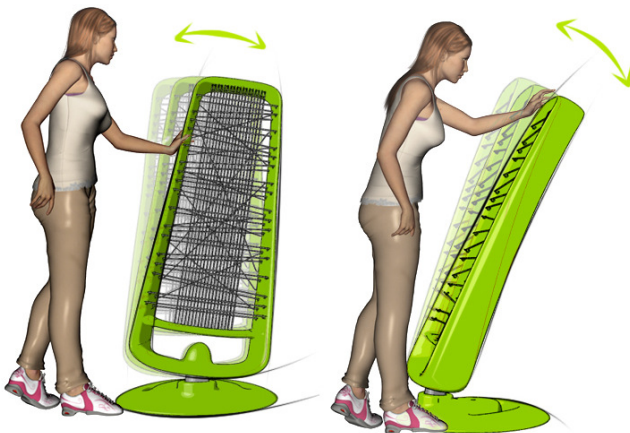


Imagem 23 | Demonstração da funcionalidade da articulação da base da torre 2, respondendo com movimento à interação do utilizador, aumentando o cariz biônico da solução pelo seu dinamismo.

Relativamente a este elemento elástico, a sua função é a de armazenar energia de deformação aquando da inclinação intencional da torre por parte do utilizador (Imagem 23) de modo a que esta seja posicionável em inclinação para maior conveniência do utilizador e que a força de inserção de um novo objecto na torre se reflecta na inclinação da mesma temporariamente. A elasticidade deste elemento é conferida pelas propriedades do elastómero natural seleccionado (semelhante ao utilizado nos filamentos elásticos, apresentados na secção seguinte). Para criar rigidez adicional, será incorporada um componente disposto verticalmente no interior deste elemento, ponderando-se a viabilidade da utilização de um segmento de cana de bambu. Este processo de selecção e dimensionamento, extravasa o âmbito do trabalho aqui apresentado, esperando-se contudo a possibilidade de aferir quanto às dimensões dos componentes deste elemento e às suas proporções em testes futuros, num protótipo funcional à escala real.

Para além desta propriedade acrescida, será também possível introduzir areia ou água no interior da base da torre, de forma a aumentar a massa deste elemento, contribuindo para o reforço da estabilidade (deslocamento do centro de massa da torre) sem comprometer as dimensões e baixo peso da torre nas tarefas de transporte ou distribuição do produto.

A Imagem 24 representa a aparência final da torre biónica 2, em versões cromáticas diferentes.



Imagem 24 | Representação da aparência final e estudos de cor da torre biónica 2.

3.2.1.5.1 Materiais utilizados nos conceitos

Retomando o requisito da redução do impacto ambiental dos materiais, onde se pretendia materiais naturais com recurso a bens renováveis e biodegradáveis, foram seleccionados, após pesquisa bibliográfica, dois materiais para produção de toda a estrutura das torres e para a produção dos fios elásticos.

O material seleccionado para a produção das estruturas e base das torres consiste num bio-polímero compósito biodegradável, o PLA (ácido poli-láctico) derivado de recursos renováveis (ver Anexo A), como o amido de milho ou as canas-de-açúcar, o Ingeo Biopolymer 3251, produzido pela empresa NatureWorks (pioneira na produção e comercialização de polímeros derivados de fontes anualmente renováveis). A selecção deste material específico deve-se às propriedades e características resultantes do bio-polímero, sendo este indicado para aplicações por injeção em moldes, e para resultados com necessidades de espessuras finas, devido à grande capacidade de fluxo da resina. O material é também indicado para aplicações opacas, que exigem alto brilho, resistência UV e rigidez. Características adequadas ao conceito do projecto, tal como a sua resistência aos líquidos.

Para a produção dos fios elásticos e do elemento de ligação entre a estrutura e a base da torre da segunda solução, foi seleccionado um elastómero termoplástico que une borracha natural e Quitosano. Os elastómeros termoplásticos combinam as propriedades das borrachas com a facilidade de processamento dos termoplásticos (Rao e Johns, 2007). O Quitosano, como um polissacarídeo de origem natural (obtido a partir do quitino, um dos polímeros naturais mais abundantes), tem características como a biodegradabilidade, boa resistência mecânica, biocompatibilidade e possui propriedades antimicrobianas. De acordo com Rao e Johns (2007), a borracha natural caracteriza-se pelas boas propriedades elásticas, boa resiliência e comportamento de amortecimento. Contudo, tem um comportamento químico e de processamento pobre, que a ligação com o quitosano vai otimizar, aumentando também o módulo de elasticidade do material (propriedade relevante no elemento de ligação da base à estrutura da torre).

3.2.1.5.2 Dimensionamento iterativo da pré-tensão dos elásticos

De forma a otimizar as propriedades da forma e da geometria dos elementos das torres biónicas foram realizados cálculos das forças de tensão dos elásticos horizontais, ou

aproximadamente horizontais, e dos elásticos verticais, tendo em conta as propriedades dos materiais seleccionados. Consideraram-se como variáveis de concepção a definir ou dimensionar o diâmetro dos elásticos e o alongamento inicial (admitindo-se para as duas variáveis a diferenciação entre os elásticos verticais e os horizontais) que conduz à pré-tensão em causa. A carga máxima vertical a suportar pelos elásticos horizontais (Diagrama 1), quer para a torre biónica 1, como para a torre biónica 2, foi também determinada, com o objectivo de permitir e de tornar o teste de simulação numérica, a realizar durante o processo de validação dos requisitos, mais completo e adequado.

Dimensões da lombada de uma capa de CD = 10×124 [mm]

Dimensões da área para arrumação das capas de CDs (torre biónica 1) = 1080×300 [mm]

Dimensões da área para arrumação das capas de CDs (torre biónica 2) = 860×300 [mm]

Número total de CDs suportado (torre biónica 1) = $\frac{860 \times 300}{10 \times 124} = 208$

Número total de CDs suportado (torre biónica 2) = $\frac{1080 \times 300}{10 \times 124} = 261$

Massa de CD com embalagem = 150gr

$$\begin{aligned} \text{Peso por CD} &= M \times g \\ &= 0,150 \times 9,81 \text{ m/s}^2 \\ &= 1,4715 \text{ N} \end{aligned}$$

Carga máxima de CDs (torre biónica 1) = $1,4715 \times 261 = 384 \text{ N}$

Carga máxima de CDs (torre biónica 2) = $1,4715 \times 208 = 306 \text{ N}$

Diagrama 1 | Cálculos da carga máxima vertical a suportar pelos elásticos horizontais.

Tendo em conta que a torre biónica 1 tem 2×20 elásticos horizontais, a carga vertical a suportar por elástico horizontal para esta torre é então:

$$\frac{384}{40} = 9.6 \text{ N}$$

Já na torre biónica 2, que tem 2×17 elásticos horizontais, a carga vertical a suportar em cada elástico horizontal é:

$$\frac{306}{34} = 9.0 \text{ N}$$

Estas cargas verticais são aplicadas nos apoios dos elásticos horizontais considerando-se uma distribuição equitativa do valor a aplicar em cada um dos lados. Deste modo, para a torre biónica 1 considera-se uma carga aplicada no apoio esquerdo de 4,8 N e no apoio direito de cada elástico horizontal a mesma quantidade, correspondendo à parcela da carga provocada pelo conjunto dos CDs que esse elástico suporta. Na torre biónica 2 os valores de cada lado são 4,5 N.

Os cálculos seguintes (Diagrama 2) visam determinar as forças de pré-tensão dos elásticos horizontais.

Para uma pré-deformação de 75% do comprimento inicial

Raio (elásticos horizontais) = 1,5 mm

Comprimento com alongamento de 75% (para as 2 torres biónicas) = 36,3 cm = 0,363 m

Material: 3565 CsNr – Modulo de Young (E) = 3,03 MPa (alongamento de 75%)

Alongamento à ruptura = 122,21%

Tensão de ruptura = 3,37 MPa

$$\text{Comprimento inicial } (l) = \frac{l(\text{alongado})}{1+\text{alongamento}} = \frac{0,363}{1,75} = 0,2075 \text{ m}$$

$$\text{Coeficiente de rigidez } (K) = \frac{l}{EA}$$

$$A = \pi \times r^2 [\text{m}^2]$$

$$A = \pi \times (1,5 \times 10^{-3})^2$$

$$A = 7,068 \times 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$K = \frac{0,2075}{3,03 \times 10^6 \times 7,068 \times 10^{-6}}$$

$$K = 9,69 \times 10^{-3} \text{ m/N}$$

$$\text{Alongamento } (\delta) = l(\text{alongado}) - l(\text{inicial})$$

$$\delta = 0.363 - 0.2075 = 0.1555 \text{ m}$$

$$\text{Força de pré-tensão } (F) = \frac{\delta}{K}$$

$$F_H = \frac{0.1556}{9.69 \times 10^{-8}} = 16.06 \text{ N}$$

Força de pré-tensão horizontal nas duas extremidades de cada elástico horizontal = 16,06 N

Diagrama 2 | Cálculos das forças de pré-tensão dos elásticos horizontais com pré-deformação de 75% do comprimento inicial e diâmetro 3 mm.

Para elásticos horizontais de 3 mm de diâmetro, um comprimento inicial de 207,5 mm é suficiente (tirando o que fica para lá dos furos) pois, tendo em conta as propriedades mecânicas do material seleccionado (3565 CsNr), o módulo de elasticidade a 75% de alongamento é elevado (3,03 MPa). Há, ainda assim, uma margem de 47% do comprimento inicial até à ruptura. Tendo em conta os valores de carga horizontal por elástico obtidos (16,06 N) e a margem de dilatação disponível não se considera necessária nova iteração. Deste modo, para ocupar a largura da torre de um dos lados ao outro, que é de 363 mm numa localização média, cada elástico terá de ser montado com uma deformação inicial de 75%, tendo ainda uma margem de cerca de 40% para suportar a carga, mas com um módulo de elasticidade muito mais elevado do que se não houvesse deformação inicial. Uma vez que o módulo de elasticidade aumenta com a deformação, e como para este material a tensão de ruptura é de 3,37 MPa, os filamentos de 3mm de diâmetro irão apenas partir com uma carga igual a esta tensão a multiplicar pela área

$$3,37 \times 10^6 \times 7,068 \times 10^{-6} = 23,8 \text{ N}$$

Assim, sobra cerca de 7 N ($23 - 16 = 7$ N) de capacidade para cada elástico suportar forças. A deformação adicional para este acréscimo de 7 N corresponde a cerca de 40% do comprimento inicial, ou seja, cerca de 80 mm, sendo o vão de 363 mm.

Para os cálculos das forças de pré-tensão dos elásticos verticais foram realizadas as seguintes iterações, presentes nos Diagramas 3, 4 e 5.

Para uma pré-deformação de 75% do comprimento inicial

Raio (elásticos verticais) = 1,5 mm

Comprimento com alongamento de 75% (Torre biónica 1) = 125,5 cm = 1,255 m

Comprimento com alongamento de 75% (Torre biónica 2) = 107cm = 1,07 m

Material: 3565 CsNr – Modulo de Young (E) = 3,03 MPa (alongamento de 75%)

$$\text{Comprimento inicial (l)} = \frac{l(\text{alongado})}{1+\text{alongamento}}$$

$$l(\text{torre biónica 1}) = \frac{1,255}{1,75} = 0,717 \text{ m}$$

$$l(\text{torre biónica 2}) = \frac{1,07}{1,75} = 0,611 \text{ m}$$

$$\text{Coeficiente de rigidez (K)} = \frac{l}{EA}$$

$$A = \pi \times r^2 [\text{m}^2]$$

$$A = \pi \times (1,5 \times 10^{-3})^2$$

$$A = 7,068 \times 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$K(\text{torre biónica 1}) = \frac{0,717}{3,03 \times 10^{-6} \times 7,068 \times 10^{-6}}$$

$$K(\text{torre biónica 2}) = \frac{0,611}{3,03 \times 10^{-6} \times 7,068 \times 10^{-6}}$$

$$K(\text{torre biónica 1}) = 33,5 \times 10^3 \text{ m/N}$$

$$K(\text{torre biónica 2}) = 28,5 \times 10^3 \text{ m/N}$$

$$\text{Alongamento } (\delta) = l(\text{alongado}) - l(\text{inicial})$$

$$\delta(\text{torre biónica 1}) = 1,255 - 0,717$$

$$\delta(\text{torre biónica 2}) = 1,07 - 0,611$$

$$\delta(\text{torre biónica 1}) = 0,538 \text{ m}$$

$$\delta(\text{torre biónica 2}) = 0,459 \text{ m}$$

$$\text{Força de pré-tensão (F)} = \frac{\delta}{K}$$

$$F_V(\text{torre biónica 1}) = \frac{0,538}{33,5 \times 10^3}$$

$$F_V(\text{torre biónica 2}) = \frac{0,459}{28,3 \times 10^3}$$

$$F_V(\text{torre biónica 1}) = 16,06 \text{ N}$$

$$F_V(\text{torre biónica 2}) = 16,11 \text{ N}$$

Diagrama 3 | Cálculos das forças de pré-tensão dos elásticos verticais com pré-deformação de 75% do comprimento inicial e diâmetro 3mm.

As forças de pré-tensão dos elásticos verticais para as duas torres biónicas, calculadas no Diagrama 3, tendo em conta um alongamento de 75% e diâmetro 3 mm, foram consideradas desapropriadas e excessivas, podendo provocar fragilidades do ponto de vista estrutural quando multiplicados pelo número de elásticos verticais existentes. Assim, procedeu-se à alteração do parâmetro de alongamento do comprimento inicial dos elásticos (de 75% para 50%) e calculou-se, novamente, a força de pré-tensão vertical resultante. Este processo pode ser observado no diagrama seguinte

Para uma pré-deformação de 50% do comprimento inicial

Raio (elásticos verticais) = 1,5 mm

Comprimento com alongamento de 50% (Torre biónica 1) = 125.5 cm = 1.255 m

Comprimento com alongamento de 50% (Torre biónica 2) = 107 cm = 1.07

Material: 3565 CsNr – Modulo de Young (E) = 2,77 MPa (alongamento de 50%)

$$\text{Comprimento inicial } (l) = \frac{l(\text{alongado})}{1+\text{alongamento}}$$

$$l \text{ (torre biónica 1)} = \frac{1,255}{1,5} = 0.8367\text{m}$$

$$l \text{ (torre biónica 2)} = \frac{1,07}{1,5} = 0.713 \text{ m}$$

$$\text{Coeficiente de rigidez } (K) = \frac{l}{EA}$$

$$A = \pi \times r^2 [\text{m}^2]$$

$$A = \pi \times (1.5 \times 10^{-3})^2$$

$$A = 7.068 \times 10^{-6} \text{m}^2$$

$$K \text{ (torre biónica 1)} = \frac{0,8367}{2,77 \times 10^{-6} \times 7,068 \times 10^{-6}}$$

$$K \text{ (torre biónica 2)} = \frac{0,713}{2,77 \times 10^{-6} \times 7,068 \times 10^{-6}}$$

$$K \text{ (torre biónica 1)} = 42.7 \times 10^3 \text{m/N}$$

$$K \text{ (torre biónica 2)} = 36.4 \times 10^3 \text{m/N}$$

$$\text{Alongamento } (\delta) = l(\text{alongado}) - l(\text{inicial})$$

$$\delta (\text{torre biónica 1}) = 1.255 - 0.8367$$

$$\delta (\text{torre biónica 1}) = 1.07 - 0.713$$

$$\delta (\text{torre biónica 1}) = 0.418 \text{ m}$$

$$\delta (\text{torre biónica 1}) = 0.357 \text{ m}$$

$$\text{Força de pré-tensão } (F) = \frac{\delta}{K}$$

$$F_V (\text{torre biónica 1}) = \frac{0,418}{42,7 \times 10^{-3}}$$

$$F_V (\text{torre biónica 2}) = \frac{0,357}{36,4 \times 10^{-3}}$$

$$F_V (\text{torre biónica 1}) = 9.86 \text{ N}$$

$$F_V (\text{torre biónica 2}) = 9.81 \text{ N}$$

Diagrama 4 | Cálculos das forças de pré-tensão dos elásticos verticais com pré-deformação de 50% do comprimento inicial e com diâmetro 3 mm.

A alteração do parâmetro de alongamento de 75% para 50% resultou na redução significativa do valor da força de tensão vertical dos elásticos (9,86 N para os elásticos verticais da torre biónica 1 e 9,81 N referentes aos elásticos da torre biónica 2). Porém, e de forma a otimizar de forma mais satisfatória e adequada este valor, tendo em conta as propriedades mecânicas do material seleccionado para o fabrico da estrutura das torres, foi alterado o parâmetro de diâmetro dos elásticos verticais de 3 mm para 2 mm e refeitos os cálculos, tal como se pode constatar no Diagrama 5.

Para uma pré-deformação de 50% do comprimento inicial

Raio (elásticos verticais) = 1 mm

Comprimento com alongamento de 50% (Torre biónica 1) = 125,5 cm = 1,255 m

Comprimento com alongamento de 50% (Torre biónica 2) = 107cm = 1,07 m

Material: 3565 CsNr – Modulo de Young (E) = 2,77 MPa (alongamento de 50%)

$$\text{Comprimento inicial } (l) = \frac{l(\text{alongado})}{1+\text{alongamento}}$$

$$l(\text{torre biónica 1}) = \frac{1,255}{1,5} = 0,8367 \text{ m}$$

$$l(\text{torre biónica 2}) = \frac{1,07}{1,5} = 0,713 \text{ m}$$

$$\text{Coeficiente de rigidez } (K) = \frac{1}{EA}$$

$$A = \pi \times r^2 [\text{m}^2]$$

$$A = \pi \times (1 \times 10^{-3})^2$$

$$A = 3,1416 \times 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$K(\text{torre biónica 1}) = \frac{0,8367}{2,77 \times 10^{-6} \times 3,1416 \times 10^{-6}}$$

$$K(\text{torre biónica 2}) = \frac{0,713}{2,77 \times 10^{-6} \times 3,1416 \times 10^{-6}}$$

$$K(\text{torre biónica 1}) = 96,15 \times 10^{-3} \text{ m/N}$$

$$K(\text{torre biónica 2}) = 82,28 \times 10^{-3} \text{ m/N}$$

$$\text{Alongamento } (\delta) = l(\text{alongado}) - l(\text{inicial})$$

$$\delta(\text{torre biónica 1}) = 1,255 - 0,8367$$

$$\delta(\text{torre biónica 2}) = 1,07 - 0,713$$

$$\delta(\text{torre biónica 1}) = 0,418 \text{ m}$$

$$\delta(\text{torre biónica 2}) = 0,357 \text{ m}$$

$$\text{Força de pré tensão } (F) = \frac{\delta}{K}$$

$$F_V(\text{torre biónica 1}) = \frac{0,418}{96,15 \times 10^{-3}}$$

$$F_V(\text{torre biónica 2}) = \frac{0,357}{82,28 \times 10^{-3}}$$

$$F_V(\text{torre biónica 1}) = 4,35 \text{ N}$$

$$F_V(\text{torre biónica 2}) = 4,34 \text{ N}$$

Diagrama 5 | Cálculos das forças de pré-tensão dos elásticos verticais com pré-deformação de 50% do comprimento inicial e com diâmetro 2 mm.

Após 3 iterações (1ª iteração – alongamento 75%, diâmetro 3mm: $F_V \approx 16 N$; 2ª iteração – alongamento 50%, diâmetro 3mm: $F_V \approx 10N$; 3ª iteração – alongamento 50%, diâmetro 2mm: $F_V \approx 4 N$) encontraram-se os parâmetros de alongamento e diâmetro considerados adequados para gerar uma força vertical em cada elástico vertical aceitável do ponto de vista estrutural. Contudo, a simulação numérica irá providenciar o teste de validação desta escolha de parâmetros. Este processo iterativo analítico permitiu reduzir o número de iterações de simulação numéricas e ainda colocar o designer numa posição de controlo sobre os parâmetros em causa.

3.2.1.6 Etapa C2 - Validação da satisfação dos requisitos estabelecidos

De forma a demonstrar a satisfação dos requisitos estabelecidos, foram elaborados testes de análise às soluções criadas, tendo como base o processo de validação para objectivos específicos, descrito anteriormente.

3.2.1.6.1 Validação da satisfação do requisito de arrumação com versatilidade das caixas dos CDs, DVDs ou livros

Assim, para o requisito que refere a arrumação com versatilidade das caixas dos CDs, DVDs ou livros (1) elaborou-se uma demonstração ilustrativa da versatilidade possível por meio dos modelos obtidos pela modelação 3D realizada.

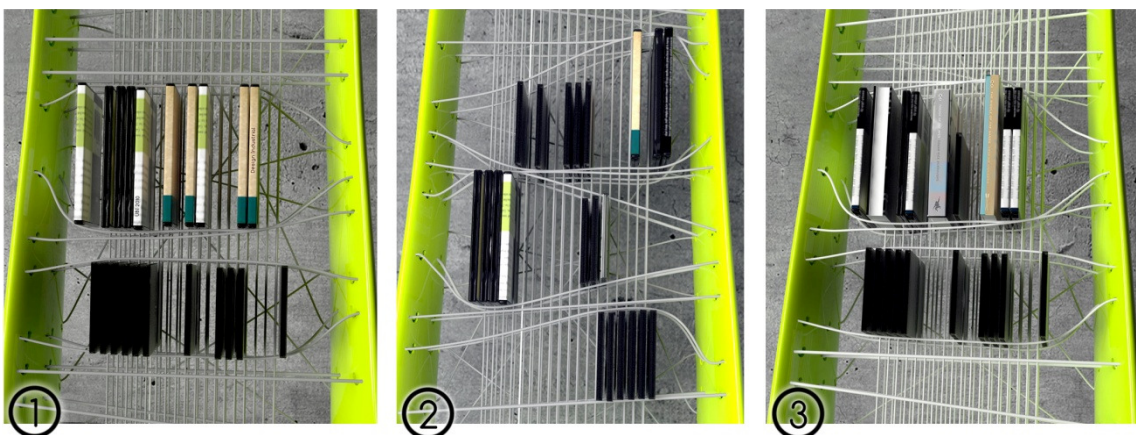


Imagem 25 | Representação das possibilidades de arrumação dinâmica dos objectos nas torres biónicas.

A Imagem 25 demonstra a versatilidade de arrumação das caixas de CDs, DVDs ou livros permitida pelas propriedades elásticas, pela orientação e pelos espaçamentos dos fios verticais e horizontais que compõem o sistema da teia. O primeiro esquema da imagem apresenta a possibilidade de arrumação de caixas de CDs e de caixas de DVDs em filas horizontais separadas, para distinção dos dois suportes digitais. A arrumação das caixas dos dois suportes pode também ser misturada, colocando-se quer as caixas de CDs como as de DVDs na mesma fila horizontal, tal como a segunda possibilidade de arrumação da imagem exemplifica. A elasticidade dos fios permite ainda a arrumação de outros objectos com dimensões ligeiramente diferentes, como os livros, visível no terceiro esquema de arrumação da imagem, nunca perdendo a orientação vertical e paralela dos objectos, independentemente da localização onde se encontram.

Foi também desenvolvida na validação deste requisito, uma demonstração da resistência das estruturas das torres para a arrumação máxima através de uma ferramenta para simulação de análise de resistência e testes de esforços (COSMOSXpress, disponibilizado pelo programa SolidWorks, versão 2008).

Para esta análise de elementos finitos (MEF) foi utilizado um modelo da moldura da torre biónica 2 onde foram colocadas forças em todos os orifícios destinados à colocação das duas extremidades dos fios elásticos. Nos orifícios relativos aos fios horizontais (ou aproximadamente horizontais) as forças inseridas baseiam-se nos valores já calculados da pré-tensão exercida pelos fios alongados (16,06 N) e da carga máxima de CDs a suportar por cada fio (4,5 N). Esta força vertical referente à carga máxima a suportar por fio horizontal foi aplicada em cada orifício com o mesmo valor de 4,5 N, significando o dobro da carga máxima de CDs possível para a torre. Com este exagero da força relativa à carga máxima, pretende-se testar a resistência e o comportamento da moldura da torre em situação extrema. No que respeita aos orifícios onde são colocados os fios elásticos verticais, foi inserida uma força vertical de 4,34 N em cada um, relativa à pré-tensão dos mesmos fios.

Assim, e de acordo com o material seleccionado para a construção da moldura da torre biónica (Ingeo Biopolymer 3251D), obteve-se os seguintes resultados apresentados na Imagem 26 (e que podem ser apreciados na totalidade no Anexo B – Relatório de análise de resistência - Torre biónica 2).

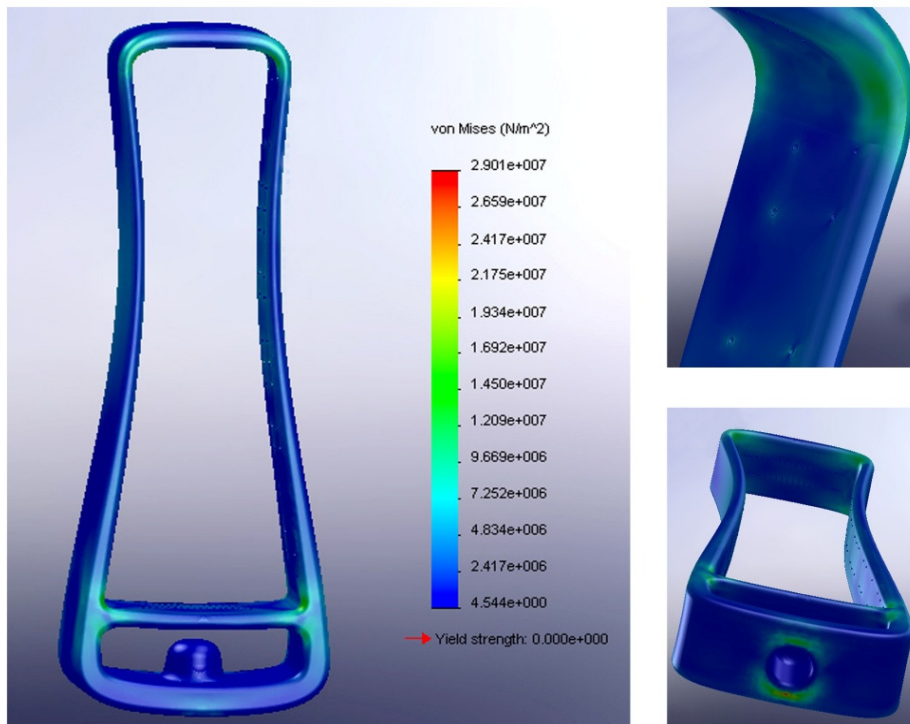


Imagem 26 | Resultado da distribuição da tensão equivalente de Von Mises de acordo com as cargas aplicadas.

No que diz respeito à distribuição da tensão resultante das forças e cargas aplicadas no modelo, testemunha-se, através da imagem x, uma tensão equivalente de Von Mises para a área de maior tensão acumulada de 29 MPa. Tendo em conta a tensão limite elástica do bio-polímero seleccionado (48 MPa) o factor de segurança para este teste de carga máxima em situação extrema é:

$$\text{Factor de segurança} = \frac{48}{29} = 1.66$$

A seguinte imagem representa a distribuição do deslocamento na moldura da torre resultante do mesmo cenário considerado na análise anterior.

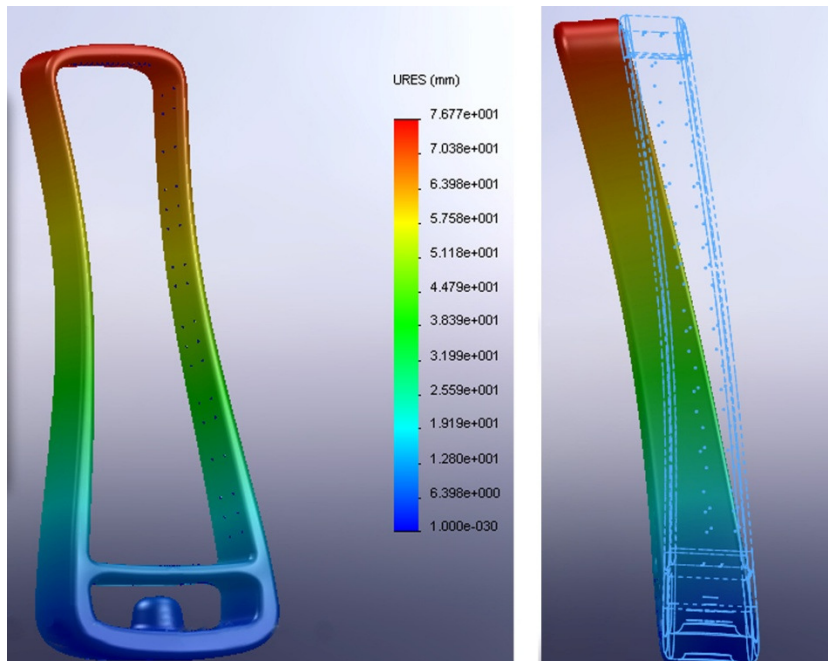


Imagem 27 | Resultado da distribuição do deslocamento relativamente à base e considerando as cargas aplicadas.

Como se pode observar na imagem, é a zona superior da moldura que sofre maior deslocamento, com um valor máximo de aproximadamente 8 cm. Este valor justifica-se pelas propriedades elásticas do bio-polímero usado, e pela carga excessiva submetida nesta análise. Apesar deste deslocamento máximo observado, o factor de segurança calculado permite concluir que a torre biónica 2, diante uma situação limite, apresenta resistência às condições sujeitas, sem comprometer as propriedades do material.

A validação estrutural aqui realizada com recurso ao método dos elementos finitos apenas foi conduzida até ao fim para a torre biónica 2. Esta decisão deve-se à morosidade e à complexidade envolvidas no processo de modelação, de esforços aplicados e de criação da malha para análise de elementos finitos. Também o facto de a torre biónica 1 ser um resultado intermédio do processo de design biónico que culminou na concepção da segunda torre, contribuiu para a decisão tomada. Contudo, tendo em conta que a torre biónica 2 é uma evolução da torre biónica 1, e que geometricamente e dimensionalmente estas são muito semelhantes (incluindo a nível de materiais bem como das cargas resultantes do pré-tensionamento e da sua utilização) e que a análise MEF realizada à torre biónica 2 resultou num factor de segurança de 1,66, sugere-se que esta margem de 66%

acomodará as pequenas diferenças estruturais entre as duas concepções. Assumiu-se assim que a validação estrutural conseguida utilizando o MEF para a torre 2 é extensível à torre 1.

3.2.1.6.2 Validação da satisfação do requisito de maior estabilidade perante uma perturbação dinâmica

O requisito (2) de maior estabilidade perante uma perturbação dinâmica face à solução convencional motivou o cálculo e a análise de valores limite de perturbação (recorrendo a uma análise de mecânica vectorial) para um modelo convencional desenhado, também, por modelação sólida em CAD, e para os dois modelos de inspiração biónica. Nestas análises, os valores limite de perturbação foram calculados para a estabilidade lateral (a mais relevante, devido ao encosto da parte de trás à parede) e tendo em conta a carga máxima e a carga média dos modelos (ver Diagramas 6, 7, 8, 9, 10 e 11).

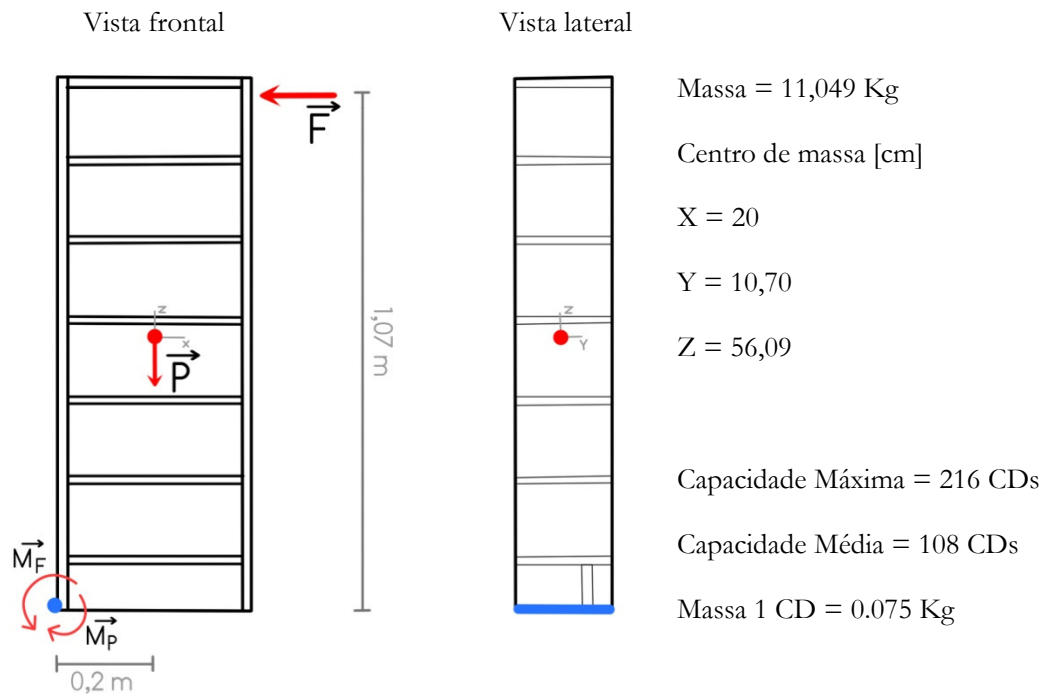


Diagrama 6: Diagrama ilustrativo da localização das forças, do centro de massa e de indicação dos dados de capacidade da torre convencional.

F = Distúrbio lateral máximo para a estabilidade

P = Peso da torre + Peso da capacidade máxima de CDs

Para a capacidade máxima:

$$|P| = (11.049 \text{ Kg} + 16.2 \text{ Kg}) \times 9.81$$

$$|P| = 267.31 \text{ N}$$

$$|M_f| = |M_p|$$

$$1.07 \times |F| = 0.2 \times 267.31 \text{ N}$$

$$|F| = \frac{0.2 \times 267.31}{1.07} \Leftrightarrow 49.96 \text{ N}$$

Para a capacidade média:

$$|P| = (11.049 \text{ Kg} + 8.1 \text{ Kg}) \times 9.81$$

$$|P| = 187.85 \text{ N}$$

$$|M_f| = |M_p|$$

$$1.07 \times |F| = 0.2 \times 187.85 \text{ N}$$

$$|F| = \frac{0.2 \times 187.85}{1.07} \Leftrightarrow 35.11 \text{ N}$$

Diagrama 7 | Cálculos relativos ao distúrbio lateral máximo tolerado pela torre convencional para a sua capacidade de carga média e carga máxima.

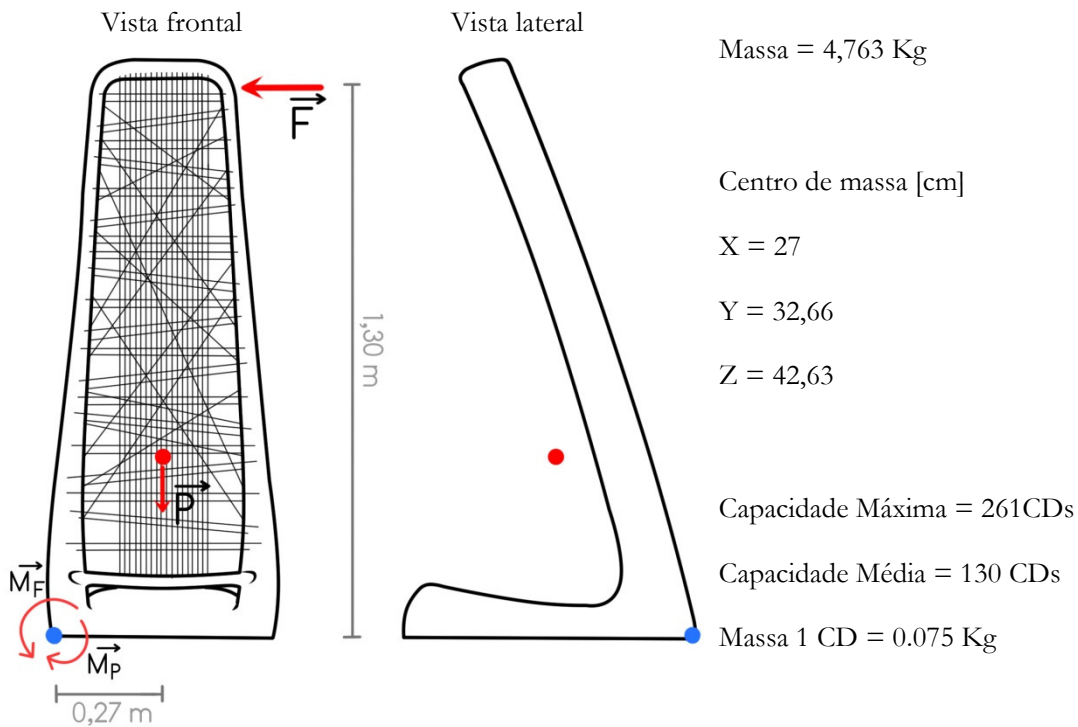


Diagrama 8 | Diagrama ilustrativo da localização das forças, do centro de massa e de indicação dos dados de capacidade da torre biônica 1.

F = Distúrbio máximo para a estabilidade lateral

P = Peso da torre + Peso da capacidade máxima de CDs

Para a capacidade máxima:

$$|P| = (4.763 \text{ Kg} + 19.57 \text{ Kg}) \times 9.81$$

$$|P| = 238.76 \text{ N}$$

$$|M_f| = |M_p|$$

$$1.30 \times |F| = 0.27 \times 238.76 \text{ N}$$

$$|F| = \frac{0,27 \times 238,76}{1,30} \Leftrightarrow 49,59 \text{ N}$$

Para a capacidade média:

$$|P| = (4.763 \text{ Kg} + 9.57 \text{ Kg}) \times 9.81$$

$$|P| = 142.37 \text{ N}$$

$$|M_f| = |M_p|$$

$$1.30 \times |F| = 0.27 \times 142.37 \text{ N}$$

$$|F| = \frac{0,27 \times 142,37}{1,30} \Leftrightarrow 29,57 \text{ N}$$

Diagrama 9 | Cálculos relativos ao distúrbio lateral máximo tolerado pela torre biónica 1 para a sua capacidade de carga média e máxima.

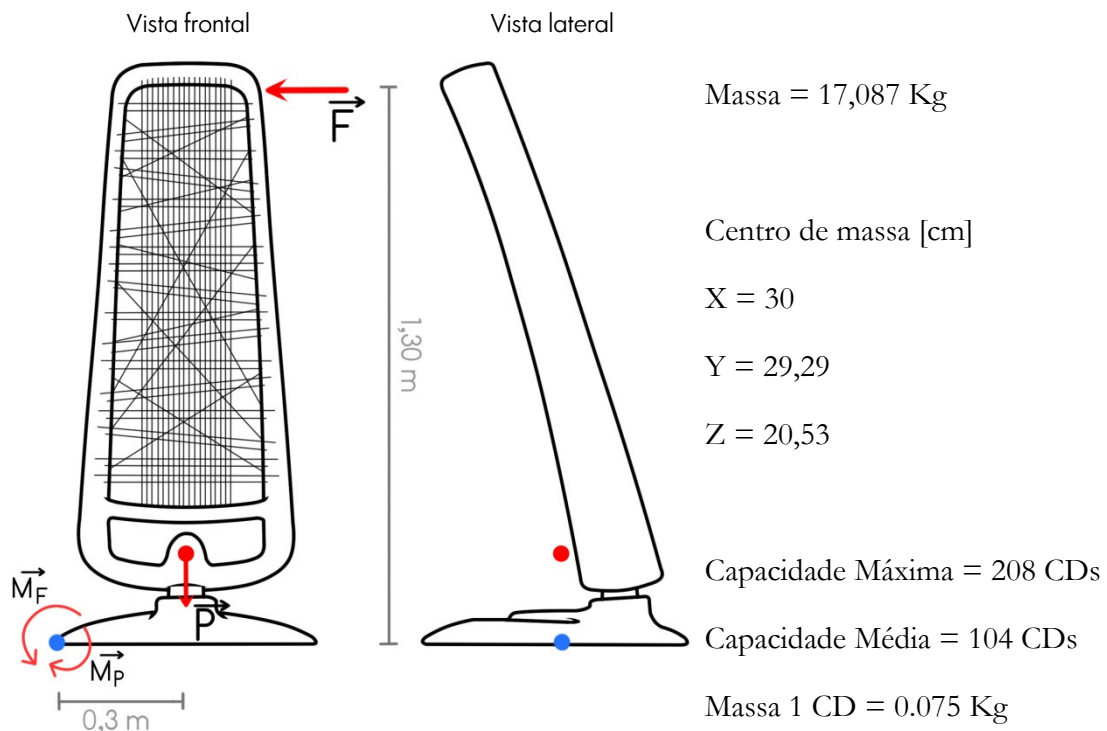


Diagrama 10 | Diagrama ilustrativo da localização das forças, do centro de massa e de indicação dos dados de capacidade da torre biónica 2.

F = Distúrbio máximo para a estabilidade lateral

P = Peso da torre + Peso da capacidade máxima de CDs

Para a capacidade máxima:

$$|P| = (17,087 \text{ Kg} + 15,6 \text{ Kg}) \times 9,81$$

$$|P| = 320,66 \text{ N}$$

$$|M_f| = |M_p|$$

$$1,30 \times |F| = 0,3 \times 320,66 \text{ N}$$

$$|F| = \frac{0,3 \times 320,66}{1,30} \Leftrightarrow 74 \text{ N}$$

Para a capacidade média:

$$|P| = (17,087 \text{ Kg} + 7,8 \text{ Kg}) \times 9,81$$

$$|P| = 244,14 \text{ N}$$




$$|M_f| = |M_p|$$

$$1,30 \times |F| = 0,3 \times 244,14 \text{ N}$$

$$|F| = \frac{0,3 \times 244,14}{1,30} \Leftrightarrow 56,34 \text{ N}$$

Tabela 19 | Cálculos relativos ao distúrbio lateral máximo tolerado pela torre biônica 2 para a sua capacidade de carga média e máxima.

Tabela 20 | Comparação dos resultados obtidos para o distúrbio máximo lateral tolerado sem que haja perda de estabilidade nos três produtos em análise.

			
Distúrbio máximo para a estabilidade lateral	Torre convencional	Torre biônica 1	Torre biônica 2
Para a carga máxima	49,96 N	49,59 N	74 N
Para a carga média	35,11 N	29,57 N	56,34 N

Os resultados obtidos, resumidos na Tabela 20, denunciam a resistência e a tolerância superior ao distúrbio lateral por parte da torre biônica 2, comparando com os

valores obtidos para a torre convencional e para a torre biónica 1. Esta superioridade de estabilidade lateral da segunda torre biónica, quer para a carga máxima como para a carga média, deve-se à existência de uma base individual que permite a introdução de água ou outros elementos, no interior da mesma. Este aspecto característico da torre permite aumentar consideravelmente a resistência a impactos dinâmicos e proporcionar deste modo mais estabilidade. Outra característica desta torre biónica que também propicia o aumento de resistência perante perturbações activas, mas que não foi considerada nesta análise, é a sua capacidade de articulação. O elemento de união da base à moldura da torre permite, através das suas propriedades flexíveis, a movimentação independente da moldura da torre, servindo de amortecimento dos impactos sujeitos.

A proximidade dos valores de distúrbio máximo para a estabilidade lateral da torre convencional e da torre biónica 1 (sendo os valores desta última ligeiramente inferiores que os valores da primeira) é justificada pelo facto da torre biónica ser um modelo de transição para a torre biónica 2. Este aspecto de maior instabilidade perante as perturbações dinâmicas da torre biónica 1 foi, aliás, o que motivou o desenvolvimento da segunda torre biónica.

3.2.1.6.3 Validação da satisfação do requisito de maior preensão dos objectos arrumados

No que respeita à maior preensão dos objectos arrumados face à solução convencional (3), o processo de validação realizou-se através dos cálculos específicos da preensão dada pelos elásticos horizontais aquando da introdução de um CD na teia, e através da demonstração do espaçamento entre eles (ver Diagrama 11)

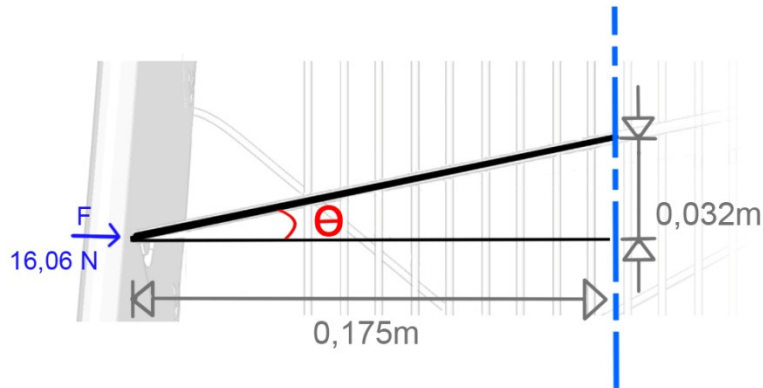
Espaçamento médio: $6 \text{ cm} = 0,06 \text{ m}$

Altura CD: $12,4 \text{ cm} = 0,124 \text{ m}$

Comprimento (de um lado da torre ao outro): $0,35 \text{ m}$

Deslocamento vertical para acomodar CD entre 2 elásticos horizontais espaçados entre si

na vertical de $0,06 \text{ m} = \frac{0,124+0,06}{2} = 0,032 \text{ m}$



$$\text{hip} = \sqrt{0,032^2 + 0,175^2}$$

$$\text{hip} = 0,1779 \text{ m}$$

$$\theta = \text{sen } \theta = \frac{0,032}{0,1779} = 0,18 \quad \text{sen}^{-1} 0,18 = 10,4^\circ$$

Alongamento adicional: $0,1779 - 0,175 = 0,0029 \text{ m}$

$$\delta(\text{adic}) = 0,0029 \text{ m}$$

$$\delta(\text{em vazio}) = 0,363 - 0,2075 = 0,1555 \text{ m}$$

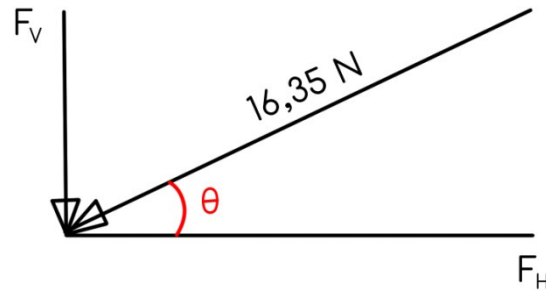
$$\delta(\text{adic} + \text{em vazio}) = 0,0029 + 0,1555 = 0,1584 \text{ m}$$

$$F(\text{adic} + \text{inicial})_H = \frac{0,15884}{9,69 \times 10^{-3}} = 16,35 \text{ N}$$

$$F(\text{adic})_H = 16,06 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} F(\text{adic})_H &= F(\text{adic} + \text{inic})_H - F(\text{inic})_H \\ &= 16,35 - 16,06 = 0,29 \text{ N} \end{aligned}$$

Percentagem de Força horizontal adicional = $\frac{0,29}{16,06} = 1,8\%$



Força aplicada na estrutura pelo elástico do esquema anterior

$$F_v = 16,35 \sin \theta$$

$$F_v = 16,35 \cos \theta$$

$$\sin \theta = 0,18$$

$$F_v = 16,35 \sin \theta = 16,35 \times 0,18 = 2,94 \text{ N}$$

Diagrama 11 | Cálculos da força de prensão dada pelos elásticos horizontais.

Dado que a análise foi feita em meia simetria, este valor é multiplicado por 4. Conclui-se assim que a prensão vertical para cada andar de CDs rondará 11,77 N ($4 \times 2,94 \text{ N}$).

Os elásticos verticais têm a função de alinhamento, sendo a sua prensão insignificante, mas esta é coadjuvada pelo atrito entre a superfície da capa de CD e a superfície do elástico.

A força horizontal adicional calculada em resultado da validação do requisito de maior prensão dos objectos arrumados na torre é um valor indicativo mas cuja existência irá depender da configuração da arrumação efectiva realizada pelo utilizador.

Note-se que esta força horizontal adicional nos elásticos dispostos horizontalmente, tendo sido colocada tendo em conta a inserção de apenas um CD no meio da teia de elástico, conduz a um aumento de apenas 1,8% da tensão dos elásticos definidos na direcção horizontal.

Numa situação em que há muitos CDs e DVDs colocados, uma parte da deformação dos elásticos que conduziria a um incremento da sua tensão e da sua


deformação, acaba por ser transmitida em parte aos CDs e DVDs que estão por baixo e, em última análise, descarregada directamente na base da moldura da teia.

Tendo em conta estes os aspectos referidos, este valor de carga horizontal adicional foi desprezada na análise dos elementos finitos. Análise essa, que tendo conduzido a uma margem de segurança de 66%, absorve muito folgadoamente os cerca de 2% de incremento de carga horizontal aos quais não foi dado um cariz significativo.

3.2.1.6.4 Validação da satisfação do requisito de maior leveza

Para o requisito que apela à maior leveza face à solução convencional (4), comparou-se como meio de validação, o valor da massa para os três modelos (obtido através da análise de programas CAD às propriedades físicas dos modelos 3D), quer no modo de transporte, como no modo de uso (Tabela 21).

Tabela 21 | Comparação dos dados de massa nas três torres para CDs e DVDs em análise.



Massa total	Torre convencional	Torre 1	Torre 2
Modo de transporte	11,049 Kg	4,763 Kg	8,087 Kg
Modo de uso	11,049 Kg	4,763 Kg	17,087 Kg

Observando os resultados, a torre convencional, apesar de ostentar dimensões inferiores relativamente às restantes, ostenta uma massa total superior à de cada uma das duas torres biónicas no modo de transporte, representando uma vantagem de carácter sustentável destas últimas, face à torre convencional. A estrutura única da torre biónica 1 atribui-lhe uma leveza que se destaca quando comparada com as restantes torres, mas que no modo de uso pode tornar-se numa desvantagem em termos de estabilidade. A torre

biónica 2, com uma massa total superior à torre antecedente, justificada pela existência de mais componentes que compõem toda a sua forma, apresenta para o modo de utilização uma massa bastante superior às outras. Este aspecto diferenciador admitido pela possibilidade de introdução de água na base torre, permite, como visto anteriormente, o aumento da estabilidade durante a utilização.

3.2.1.6.5 Validação da satisfação do requisito de bom posicionamento das lombadas dos objectos

Para validar a facilidade de utilização das torres através de um bom posicionamento das lombadas dos objectos, com vista a uma boa legibilidade (5), procedeu-se à demonstração do ângulo que a estrutura de suporte dos objectos faz com a linha do horizonte ou do solo (sendo nestes modelos o mesmo ângulo que as lombadas fazem com a linha de referencia), comparando-o com o mesmo ângulo resultante do modelo convencional.

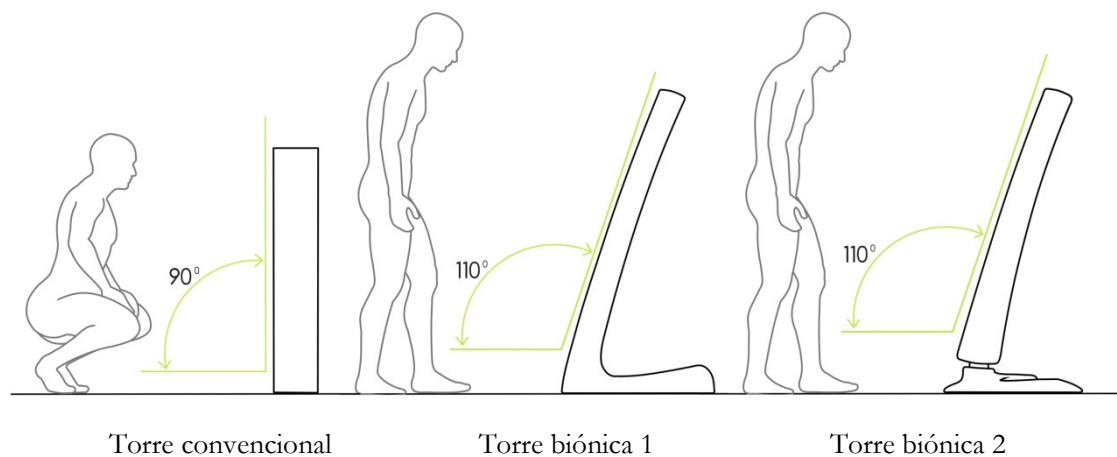


Imagem 28 | Ângulos formados entre as estruturas das três torres com a linha do horizonte: legibilidade das lombadas.

Como é possível observar através da Imagem 28, o ângulo resultante das estruturas das torres biónicas com o solo (110°) é maior que o mesmo ângulo formado para a torre convencional (90°). Assim, e tendo em conta a altura e posição do utilizador, a legibilidade das lombadas dos objectos contidos nas torres será facilitada nas torres biónicas, traduzindo-se numa posição mais confortável e que exige menos esforço por parte do utilizador na tarefa de identificação dos objectos.

3.2.1.6.6 Validação da satisfação do requisito de percepção por parte do utilizador de uma forma agradável e apelativa

A percepção por parte do utilizador de uma forma agradável e apelativa, que permita o seu interesse estético pelo produto (6), sendo outro dos requisitos estabelecidos, validou-se por intermédio de um questionário onde, entre outros aspectos, se comparou visualmente cada uma das torres biónicas desenvolvidas, com a torre convencional. A validação deste requisito é necessariamente subjectiva, pois a questão essencial que se coloca diz respeito ao gosto e à sensibilidade de cada indivíduo questionado.

Assim, foi apresentado a 85 pessoas, via e-mail e abordagem pessoal, o questionário que pode ser apreciado no Anexo C. Na selecção das pessoas que participaram no questionário teve-se o cuidado de abranger um grupo com idades compreendidas entre <18 anos até> 60 anos, de ambos os sexos e com áreas profissionais e de conhecimento distintas.

A primeira questão colocada (Com que frequência compra Cds ou DVDs?), juntamente com a quarta (Onde guarda a maioria dos ficheiros de música ou vídeos que obtém através da internet?), têm como propósito analisar a adesão e a utilização de CDs e DVDs. Deste modo é possível identificar a necessidade de produtos para a arrumação destes objectos, consoante a existência e utilização for ou não abundante.

Com que frequência compra Cds ou Dvs?

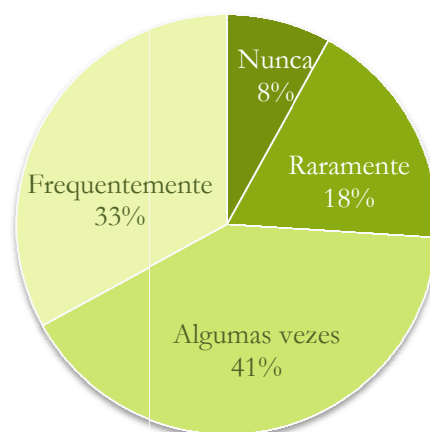


Gráfico 1 | Resultados percentuais das respostas à questão N.º1 do Inquérito sobre a utilização de torres de CDs/DVDs.

Os resultados apresentados no Gráfico 1 demonstram que a maior parte dos indivíduos inquiridos compra CDs ou DVDs com alguma regularidade (41% das respostas) ou mesmo frequentemente (33%). Estes resultados apontam para a existência, numa escala considerável, destes meios de armazenamento, o que implica e justifica a necessidade de desenvolvimento de meios que permitam a arrumação dos mesmos.

Com que frequência adquire ficheiros de música ou vídeos através da Internet?

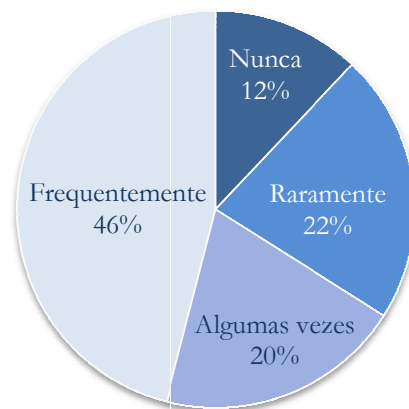


Gráfico 2 | Resultados percentuais das respostas à questão N.º3 do Inquérito sobre a utilização de torres de CDs/DVDs.

Onde guarda a maioria dos ficheiros de música ou vídeos que obtém através da internet?

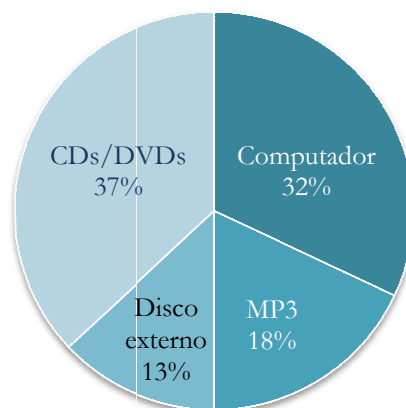


Gráfico 3 | Resultados percentuais das respostas à questão N.º4 do Inquérito sobre a utilização de torres de CDs/DVDs.

Tendo em conta os resultados do Gráfico 2, onde se nota, claramente, uma grande tendência das pessoas em adquirir ficheiros de música e vídeo (ficheiros normalmente armazenados em CDs e DVDs), seguiu-se a pergunta que questionou o local onde esses ficheiros eram guardados pelos inquiridos. Apesar dos crescentes meios de armazenamento de ficheiros e dados digitais, a maioria das respostas, tal como se pode observar no Gráfico 3, indica os Cds e DVDs (37%) como a escolha mais frequente, a par dos computadores (32%).

Desta observação pode-se constatar a grande importância e utilização que os CDs e DVDs têm, justificando, tal como se constatou na análise às respostas da questão N.º1, a necessidade de existência de produtos que permitam a arrumação destes dois suportes.

A questão N.º 2 interrogou as pessoas acerca do meio de arrumação que utilizam para os CDs e DVDs que adquirem. Esta questão visa entender a importância e utilização dada às torres, quando comparadas com outros meios de arrumação.

Onde guarda os CDs ou DVDs que adquire?

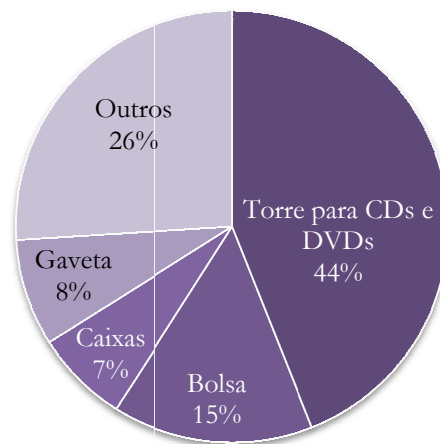


Gráfico 4 | Resultados percentuais das respostas à questão N.º2 do Inquérito sobre a utilização de torres de CDs/DVDs.

O Gráfico 4 permite constatar a supremacia de escolha de utilização das torres para Cds e DVDs (44%) em comparação com a utilização de caixas de arrumação (7%), bolsas para CDs ou DVDs (15%), gavetas (8%), ou outros meios de arrumação (26%). A arrumação destes objectos em torres próprias continua a opção mais utilizada, o que valida a aposta de projecto e desenvolvimento de novas torres.

Um dos vários aspectos que caracterizam as duas torres biónicas desenvolvidas é a ausência de superfícies que separam cada andar de CDs ou DVDs, sendo a “teia” o único meio de sustentação e separação dos objectos. Este aspecto, que difere das torres convencionais, facilita não só a visualização dos objectos, mas também a limpeza dos mesmos, pois não é necessário retirar as caixas para se proceder à limpeza do pó acumulado.

A quinta pergunta do inquérito realizado contempla este aspecto, onde cada inquirido deu a sua opinião acerca do nível de dificuldade de limpeza das caixas dos CDS e DVDs quando se encontram em torres próprias.

Em geral, o que acha do nível de dificuldade de limpeza das caixas dos CDs/DVDs quando estes estão numa torre para CDs/DVDs?

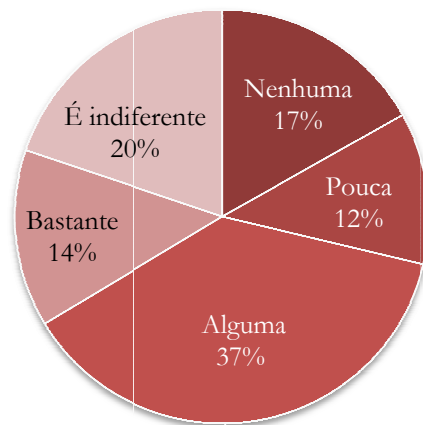


Gráfico 5 | Resultados percentuais das respostas à questão N.º5 do Inquérito sobre a utilização de torres de CDs/DVDs.

A resposta mais comum nos 85 questionários realizados, tal como comprova o gráfico acima apresentado, foi “alguma dificuldade”, o que demonstra que este aspecto facilitado nas torres biónicas poderá revelar-se como uma mais-valia quando comparado com as torres convencionais.

De modo a encontrar outros aspectos considerados de maior importância numa torre de CDs e DVDs, no ponto de vista do utilizador, apresentou-se na questão seguinte cinco aspectos, sobre os quais cada respondente teve que seleccionar os dois mais relevantes no seu entender. Os resultados são apresentados no Gráfico 6.

Entre os seguintes aspectos, escolha 2 que considera mais importantes numa torre de CDs/DVDs?

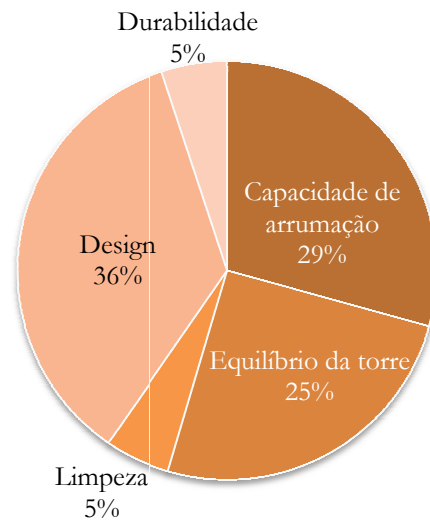


Gráfico 6 | Resultados percentuais das respostas à questão N.º 6 do Inquérito sobre a utilização de torres de CDs/DVDs.

Dos aspectos apresentados, o design foi o mais escolhido (36%) nas respostas dadas. Este resultado demonstra a importância do cariz visual e sensorial transmitido pelas torres, no entender dos utilizadores. Os aspectos que se seguem em termos de maior importância para os inquiridos são a capacidade de arrumação (29%) e o equilíbrio da torre (25%). Ambos foram aspectos tidos em conta no desenvolver do projecto das torres biónicas. A nível da capacidade de arrumação, as torres biónicas possibilitam grande dinamismo e possibilidade de arrumação quer para caixas de CDs quer para caixas de DVDs através da elasticidade e organização dos fios elásticos. No que diz respeito ao equilíbrio, um dos requisitos do projecto, foi também validado com resultados que comprovam a eficácia das torres biónicas.

A importância dos factores estéticos, e sobre os quais se debruça o requisito que se pretende validar, foi também questionada através da pergunta n.º 7 do inquérito, cujos resultados se podem observar no Gráfico 7.

Que importância visual, na decoração de um espaço, pensa que uma torre para CDs e DVDs tem?

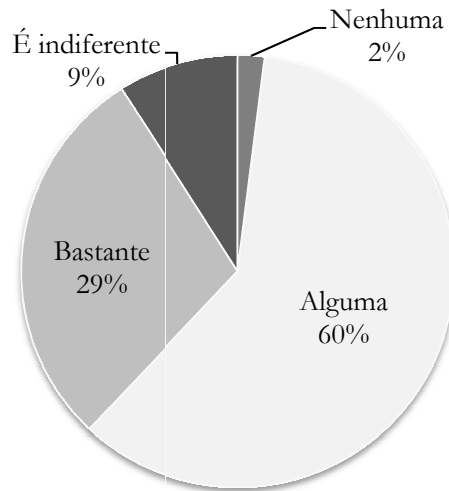


Gráfico 7 | Resultados percentuais das respostas à questão N.º 7 do Inquérito sobre a utilização de torres de CDs/DVDs.

Quando interrogados sobre a importância visual que uma torre para CDs e DVs tem na decoração de um espaço, os inquiridos confirmaram e reforçaram a importância dos aspectos visuais, já constatada pelos resultados à questão N.6 do questionário. A maioria das respostas dadas (60%) confirma que uma torre tem alguma importância visual na decoração de um espaço e 29% dos inquiridos confirma mesmo que tem bastante importância.

Para avaliar a atractividade e o apelo estético das torres biónicas foram apresentadas, na questão N.º8, três imagens onde se comparavam visualmente cada uma das torres biónicas com uma torre convencional e as torres biónicas entre si de forma a testar o grau de concordância das respostas. A pergunta propunha que cada respondente indicasse qual das torres apresentadas era, na sua opinião, esteticamente mais agradável e apelativa.

Assim, na resposta a esta pergunta, dividida em três alíneas, há oito possibilidades de combinação de resposta. Duas dessas combinações resultam na impossibilidade de ordenação das torres, já que, conduzem a uma ordenação circular recorrente. Todas as possibilidades de resposta são apresentadas no Anexo D, com indicação das que são incoerentes. Para efectuar a análise desses resultados começou-se por eliminar as 3 respostas à questão N.º8 nessas condições. Assim, a análise foi efectuada para 82 respostas.

Aos resultados à resposta N.º8 analisados, foi aplicado o procedimento de cálculo do coeficiente de concordância de Kendall (Siegal e Castellan, 1988), como se pode observar no diagrama 12. (Ver Anexo E - Procedimento para calcular W, o coeficiente de concordância e Anexo F – Tabela de análise das ordenações para a questão N.º8 do inquérito realizado). A ordenação resultante é 1º B (torre biónica 1) 2º C (torre biónica 2) 3º A (torre convencional) e que é considerada significativa para representar a opinião global dos inquiridos para um nível de confiança de 1% e 5%.

Valores de coeficiente de concordância de Kendall

Para N (números de entidades a ordenar) =3 e k (números de opinadores) =20

$\alpha=5\%$ - $W=0,15$

$\alpha=1\%$ - $W=0,221$

$$W = \frac{12 \times 84995 - 3 \times 82^2 \times 3 (3 + 1)^2}{82^2 \times 3 (3^2 - 1)}$$

$W = 0,32$

$0,15 < 0,32 > 0,221$

Diagrama 12 | Cálculo do coeficiente de concordância de Kendall para análise dos resultados à resposta N.º8 do Inquérito sobre a utilização de torres de CDs/DVDs.

Tanto a torre biónica 1 como a torre biónica 2 obtiveram preferência dos inquiridos, relativamente à torre convencional, o que prova a validação dos ganhos do ponto de vista da agradabilidade e do apelo estético, para cada um dos projectos. Curiosamente, entre as duas torres, não foi a torre concebida e desenhada em 2º lugar a que recebeu a preferência generalizada dos inquiridos, tendo sido a primeira.

Tendo em conta a grande subjectividade associada à avaliação estética, o espanto inicial do designer face à reacção do público é substituído pela constatação através desta situação de que a reacção das pessoas nunca é totalmente previsível pelos designers, o que ecoa nas diferentes significações que cada indivíduo interpreta de uma mesma forma. Por outro lado, uma vez que a avaliação do público foi feita por imagens, sem utilização dos objectos concebidos, os aspectos da funcionalidade e todos aqueles ligados à utilização, apenas terão sido imaginados por cada indivíduo, de modos diversos. Relativamente à apresentação das imagens, em que os objectos são colocados em cenários justapostos com

adereços (para dar a noção de escala), e coloridos com cores diferentes, esta *mise en scene* poderá de algum modo ter influenciado a percepção estética dos respondentes.

Da validação apresentada, focada num questionário constata-se uma validação generalizada que deste modo atende ao propósito seleccionado para a realização do questionário. Por outro lado, e tendo em conta o conjunto de aspectos focados no questionário assiste-se também à validação empírica de premissas subjacentes à definição de requisitos para o projecto. Deste conjunto destaca-se a importância dada pelos respondentes ao objecto torre de CDs, para efeitos de decoração e impacto visual num espaço, para além da sua relevância na actualidade para armazenamento de música em suporte de CD.

3.2.1.6.7 Validação da satisfação do requisito de transmissão de uma mensagem de vanguarda, de criatividade e de juventude

A forma de validação prosseguida, relativa ao requisito de transmissão de uma mensagem ao utilizador através da imagem da torre para CDs e DVDs, é relativamente indirecta, uma vez que adopta a técnica da antropomorfização dos produtos, recorrendo à atribuição de dimensões de personalidade. Assim, numa primeira fase decompôs-se num conjunto mais alargado de conceitos o conteúdo da mensagem patente neste requisito, destinada a ser imbuída no produto. Deste modo, consideraram-se os atributos seguintes em resultado desta decomposição: moderno, elegante, espírito jovem, flexível e dinâmico. Para além disso consideraram-se ainda os aspectos de leveza e estabilidade apresentados noutros requisitos definidos para o projecto.

Seguidamente, o designer propõe uma tradução dos atributos que resultam da consideração dos seus requisitos de comunicação num perfil de personalidade (Jordan, 2002), cujos resultados podem ver observados na Tabela 22.

Na terceira fase deste processo, uma amostra de público especializado (oito estudantes finalistas da licenciatura em Design Industrial) é inquirida quanto ao perfil de personalidade (Anexo G), procurando-se assim determinar se a mensagem idealizada pelo designer é transmitida ao público ou se se altera e de que forma.

Tabela 22 | tradução dos requisitos a comunicar em perfis de personalidade (perfil pretendido e perfil oposto).

Requisitos de comunicação	Perfil de personalidade		
Moderno	Claro – Escuro (iluminado - obscuro)		
Leve	Simples - Complexo		
Elegante	Gentil – Violento	Moderado – Excessivo	
Espírito jovem	Liberal – Autoritário	Rebelde – Conformista	Optimista - Pessimista
Alegre	Divertido – Sério	Simpático – Antipático	
Flexível	Flexível – Inflexível		
Dinâmico	Energético - Não energético		
Estável	Estável - Instável		

Após a realização do inquérito ao perfil de personalidade das torres, foram elaboradas análises das ordenações médias para cada perfil como resultado dos inquéritos e calculou-se, posteriormente, o coeficiente de concordância de Kendall para cada resultado, como análise da concordância das respostas dadas pelos oito estudantes. Estas análises podem ser observadas no Anexo H da dissertação.

Como resultado, para o perfil de personalidade Energético – Não energético a ordenação média do painel de respondentes (com uma significância de a 1%, atendendo ao coeficiente de concordância de Kendall) resultou na seguinte ordenação: 1ªC; 2ªB; 3ªA. Como conclusão a este resultado, pode-se entender que a torre C (torre biónica 2) é mais energética que a torre B (torre biónica 1) e que a torre C (torre convencional) é menos energética que a torre B. O que significa que a torre C é a mais energética das três torres e por hipótese, tendo em conta a correspondência realizada na tabela 22, a torre C é a que transparece como mais dinâmica e a torre A como menos dinâmica, validando assim este requisito de comunicação pretendido. As restantes análises e conclusões das ordenações, tendo em conta todos os perfis de personalidade estabelecidos, e consequentes mensagens transmitidas podem ser observadas na Tabela 23.

Tabela 23 | Conclusão ao inquérito sobre o perfil de personalidade das torres para CDs e DVDs e verificação das mensagens transmitidas.

Mensagem do designer	Perfil de personalidade	Ordenação média 1º - 2º - 3º (ver anexo H)	Significância de concordância Coeficiente de Kendall (ver anexo H)	Conclusão
Moderno	Claro – Escuro	B – A – C	Não significativa	Amostra não convergente
Leve	Simples - Complexo	A – B – C	99%	Mais leve é a torre A
Elegante	Gentil – Violento	B e C – A	Não significativa	Amostra não convergente
	Moderado - Excessivo	A – B – C	Não significativa	Amostra não convergente
Espírito jovem	Liberal – Autoritário	B e C - A	99%	As torres A e B são as mais liberais
	Rebelde – Conformista	C – B – A	99%	Mais rebelde é a torre C
	Optimista - Pessimista	B – C – A	Não significativa	Amostra não convergente
Alegre	Divertido – Sério	C – B – A	99%	Mais divertida é a torre C
	Simpático – Antipático	B e C - A	95%	As torres B e C são as mais simpáticas
Flexível	Flexível – Inflexível	C – B – A	Não significativa	Amostra não convergente
Dinâmico	Energético – Não energético	C – B – A	99%	A mais dinâmica é a torre C
Estável	Estável - Instável	B – A – C	Não significativa	Amostra não convergente

De acordo com as conclusões obtidas, os requisitos de comunicação referentes a Espírito jovem, a Alegre e a Dinâmico foram validados, satisfazendo deste modo grande parte da mensagem que se pretendida transmitir através das torres biónicas criadas. A torre C (torre biónica 2) é aquela que, de acordo com o inquérito realizado, transmite de forma

mais eficaz as mensagens pretendidas, sendo considerada a mais dinâmica, a mais rebelde, a mais divertida e, em conjunto com a torre B (torre biónica 1), mais simpática e mais liberal.

No que diz respeito à transmissão da mensagem de Leveza, o perfil de personalidade relacionado (simples - complexo) não traduz de forma fiel o requisito associado. Este facto conduziu os inquiridos a identificar a torre A (torre convencional) como a mais simples, e por isso, segundo a ténue associação, a mais leve das três. Para os restantes requisitos de comunicação não foi possível identificar, com coerência, resultados concretos, pois a amostra afigurou-se como não convergente. Aqui, a subjectividade já esperada neste tipo de processo revelou-se determinante para a falta de concordância existente. As mensagens (significados interpretativos) que cada um lê variam de pessoa para pessoa. Também a inexistência de experimentação real das torres por parte dos inquiridos, que apenas usufruíram da percepção visual, pode ter influencia e conduzir à indefinição e à falta de concordância e de certeza das respostas.

A etapa de validação ao projecto das torres para CDs e DVDs considera-se bem sucedida, tendo sido satisfeitos todos os requisitos seleccionados, sobretudo através da torre biónica 2, sendo esta considerada uma versão otimizada da primeira torre biónica desenvolvida. Como resultado do processo de validação seguido pode-se testemunhar, para este caso prático, os ganhos que a abordagem biónica facultou ao produto, face a um modelo convencional. Tendo em conta todos estes resultados, entende-se que a aplicação do método desenvolvido seguindo a orientação de análise do problema para a solução é válida e pode contribuir para o desenvolvimento de produtos otimizados, eficientes, esteticamente agradáveis e sustentáveis.

Nas seguintes secções é desenvolvido um novo projecto, seguindo a direcção de análise contrária (da solução para o problema) do método criado.

3.2.2 Optimização de estruturas segundo as regras da Natureza

Após a demonstração e a aplicação prática do método desenvolvido seguindo a orientação de análise do problema para a solução, procurou-se por meio de observações da

natureza e de pesquisas bibliográficas recolher informações sobre possíveis soluções biológicas úteis para aplicação em projectos. A aposta baseia-se na análise aos segredos das estruturas naturais leves, duráveis e resistentes a vários esforços ou condições e encontrar formas de ligação entre necessidades humanas e as regras da natureza.

3.2.2.1 Etapa B1 - Identificação da solução

Na natureza são inúmeras as estruturas que crescem e desenvolvem-se de forma a adaptarem-se às condições a que são sujeitas. Em exemplos presentes quer na fauna como na flora da natureza, encontram-se pequenas soluções estruturais que representam grande parte do segredo para a optimização e resistência que demonstram. Nas árvores, por exemplo pode-se encontrar soluções técnicas para aumentar a resistência de estruturas a esforços e prevenir a fragilidade e eventuais fendas nas zonas de tensão mais activas. Outras estruturas como os ossos e esqueletos são também exemplos de inspiração, pois demonstram ser tão leves quanto possível e ao mesmo tempo tão fortes e resistentes quanto necessário. Como referencia usada na análise das soluções identificadas serão utilizados os testes e informações presentes no livro “Secret Design Rules of Nature”, da autoria de Mattheck (2007).

3.2.2.2 Etapa B2 - Análise da solução

De acordo com Mattheck (2007), através da observação e dos ensinamentos das estruturas e crescimento das árvores pode-se solucionar diversos problemas relacionados com a eficácia formal das estruturas de modo a eliminar ou diminuir a existência de fendas, causadas por acumulações de tensões (motivo para a ruína de uma estrutura). Segundo o autor, as árvores desenvolvem-se de forma a fortalecer as zonas mais frágeis das suas estruturas. Um dos exemplos principais é a forma como a base dos troncos se desenvolvem, de forma a sustentar a árvore e os esforços a que está sujeita. Os troncos desenvolvem-se mais nas zonas de ligação ao solo, e sobretudo nas direcções expostas ao vento, de forma a fortalecer as regiões de maior tensão e evitar fendas (Mattheck, 2007). Os

ramos e os troncos de secção transversal menor demonstram também grande resistência aos impactos e esforços dinâmicos a que estão sujeitos através das propriedades elásticas e flexíveis que possuem. O princípio aqui utilizado, tal como em todos os organismos da natureza é a adaptação ao meio e às condições envolventes. Em oposição, os mecanismos feitos pelo homem tendem a resistir e a contrariar as adversidades.

O mesmo autor apresenta um método (triângulos de tensão) baseado no crescimento das estruturas das árvores, para reduzir a acumulação de tensões em pontos frágeis (susceptível a fendas) e para neutralizar potenciais locais de fractura.

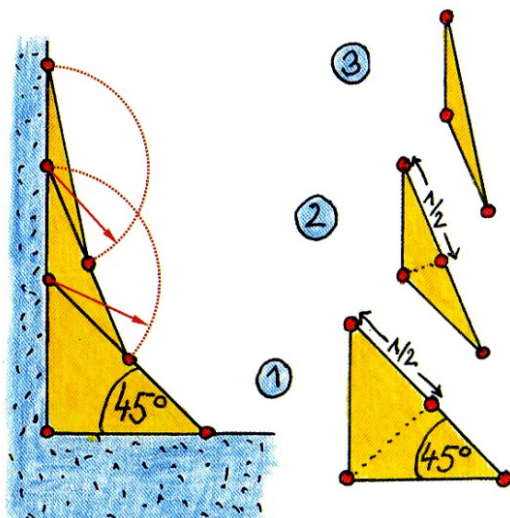


Imagem 29 | Representação do método “tensile triangles” (triângulos de tensão) para a optimização de estruturas. (Fonte: Mattheck, 2007: p. 23).

O método, representado na Imagem 29, consiste na introdução de um triângulo rectângulo, com os dois ângulos agudos de 45 graus, simetricamente em relação ao canto da estrutura. A introdução deste triângulo cria novas zonas frágeis, susceptíveis a fendas embora menos perigosas que a inicial. Um novo triângulo é introduzido simetricamente aos cantos resultantes do primeiro triângulo de tensão, e assim sucessivamente até reduzir o ângulo das zonas frágeis. Segundo o autor, normalmente três triângulos para a direcção pretendida são os suficientes. Este método é similar ao que o método CAO (computer aided optimization) realiza, mas sem os softwares, sem os conhecimentos e sem o tempo necessários. A representação deste sistema de optimização é observável em várias estruturas naturais, tal como comprova a imagem 30.



Imagem 30 | Solução de otimização adotado por estruturas da Natureza – Método “tensile triangles” (triângulos de tensão). (Fonte: Mattheck, 2007: p. 50 (imagem à esquerda), 30).

Este método pode ainda ser utilizado com a finalidade de eliminar áreas inutilizadas e excessivas em componentes sujeitos a tensões, reduzindo a área do componente e proporcionando uma distribuição otimizada das tensões para uma área mínima, evitando o desperdício de material e reduzindo o peso e volume das estruturas. Estas características de otimização formal, também observáveis nas estruturas de ossos e esqueletos (ver figura X), são aplicadas pelo método SKO (soft kil option), usado, por exemplo, na construção do carro biônico fabricado pela Mercedes, tal como demonstram as imagens 31 e 32.

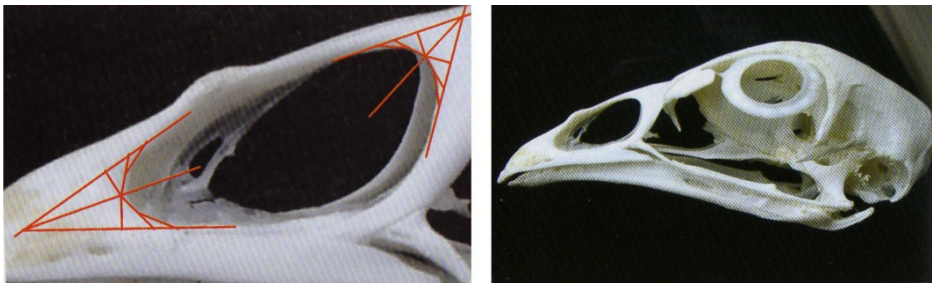


Imagem 31 | Solução de otimização (tensile triangles) na fisionomia de esqueleto (Fonte: Mattheck, 2007: p. 62).

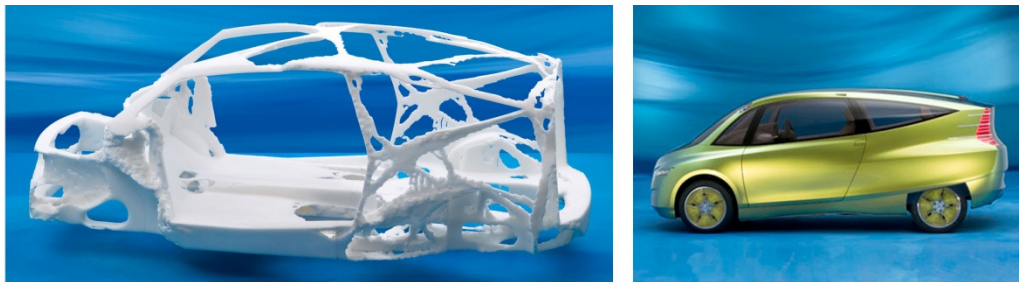


Imagem 32 | Estrutura de estudo para o desenvolvimento de um carro biônico baseado no método SKO. [55, 54].

3.2.2.3 Etapa B3 - Reformulação da solução

As árvores são estruturas elásticas, sendo essa elasticidade desejável em artefactos utilizados pelo homem, nomeadamente em estruturas que estão sujeitas a solicitações dinâmicas. Também as soluções de optimização e de adaptação ao ambiente que este organismo natural apresenta podem contribuir para a eficácia estrutural de um produto de forma a adaptar essa mesma estrutura a esforços e a condições sujeitas com melhores resultados. Por outra perspectiva, também as características de optimização formal observadas em esqueletos e ossos (leves, simples e resistentes) podem contribuir para a redução da área de uma estrutura e, conseqüentemente, para as suas dimensões e para a sua massa sem comprometer a resistência a esforços resultante.

3.2.2.4 Etapa B4 - Procura do problema

Os veículos movidos a propulsão e esforço humano implicam necessariamente uma estrutura leve e prática de forma a possibilitar e a facilitar a actividade humana. Para locais com terrenos planos e rápidos a dificuldade de movimentação destes veículos é reduzida, justificando a existência de diversos exemplares como as bicicletas, os patins, os skates, as trotinetas, os triciclos entre outros. Em terrenos mais acidentados e montanhosos a deslocação através destes veículos dificulta-se, tornando-se incómoda para o utilizador e causando também o dano das estruturas que não estão preparadas para as condições. Uma solução existente, presente nas bicicletas de montanha, é o reforço e o equipamento da estrutura com componentes mecânicos de suspensão que permitam controlo das oscilações. Este tipo de solução aumenta os custos do veículo e não resolve de forma completa outros problemas associados.

Para quem necessita de realizar habitualmente actividades em terrenos acidentados e montanhosos, como testemunha a actividade de vigilância florestal já desempenhada pelo autor, sente dificuldades relacionadas com a própria deslocação ou com o transporte de outros equipamentos necessários para a prática das funções a desempenhar. As bicicletas, como veículo mais acessível para estas funções revelam-se pouco práticas em cenários mais sinuosos pela falta de estabilidade que auferem, dado terem apenas duas rodas. A falta de conforto nas deslocações é outro dos problemas apontados.

3.2.2.5 Etapa B5 - Design Brief e associação de princípios

De acordo com as necessidades e com os problemas identificados na etapa anterior, foram estabelecidos os requisitos de orientação ao projecto de um veículo movido por esforço humano para terrenos montanhosos. Assim, como primeiro requisito, é pretendido a concepção de um veículo que permita o acesso a caminhos rústicos (1) com maior conforto e estabilidade do que uma bicicleta. Este requisito deverá ainda associar-se a concepção de um sistema de amortecimento (2) das oscilações e dos impactos sujeitos, sem utilização de componentes mecânicos de suspensão. A massa do veículo será também alvo de atenção (3), pois terá de ser suficientemente leve de modo a reduzir o esforço necessário ao funcionamento e facilitar a actividade humana. O produto final deverá também permitir a adaptação de acessórios (4) para transporte de utensílios de apoio à actividade a desenvolver pelo utilizador.

Para a meta de optimização da forma contribuem os requisitos (1) e (3), enquanto o ultimo requisito (4) vai de encontro à meta de eficácia de organização. No que diz respeito à meta de inovação de paradigma para o desempenho de funcionalidades, contribui directamente o requisito (2) e será atingida com o resultado do projecto de design biónico. Por último, a consideração conjunta de todos os requisitos estabelecidos visa alcançar a meta de satisfação de múltiplos requisitos.

De modo a estabelecer um paralelismo entre os requisitos do problema e as propriedades fundamentais extraídas na análise da solução elaborou-se, através da Tabela 24, uma associação entre os princípios de solução extraídos e os requisitos inerentes ao problema, bem como a identificação das variáveis ambientais e ecológicas almejadas.

Tabela 24 | Associação entre os princípios extraídos da solução e os requisitos do projecto, com indicação dos aspectos ambientais e ecológicos a respeitar.

Princípios extraídos da solução	Requisitos do projecto
-Estruturas com propriedades elásticas, como analogia às estruturas das árvores	(1) Acesso a caminhos rústicos com maior conforto e estabilidade
-Soluções de optimização e de adaptação formal ao ambiente que as árvores apresentam	
-Estruturas com propriedades elásticas, como analogia às estruturas das árvores	(2) Sistema de amortecimento das oscilações e dos impactos sujeitos, sem utilização de componentes mecânicos de suspensão

-Optimização formal através da observação das formas e propriedades dos esqueletos e ossos (leves e resistentes)

(3) Leveza do produto de modo a reduzir o esforço necessário ao funcionamento

(4) Permitir a adaptação de acessórios para transporte de utensílios

Variáveis ambientais e ecológicas

Redução do impacto ambiental dos materiais:

Materiais recicláveis no fim de vida útil do produto

Materiais biodegradáveis

3.2.2.6 Etapa C1 - Geração de conceitos

Na Fase criativa de geração de ideias e conceitos foram atendidos os princípios extraídos da solução e os requisitos do projecto, associados na etapa anterior. Assim, procurou-se desenvolver uma forma estrutural baseada nas soluções e métodos apresentados por Mattheck (2007) e de acordo com os ensinamentos das estruturas das árvores e dos esqueletos.

De modo a proporcionar maior estabilidade e eficácia em terrenos rústicos e montanhosos, concebeu-se um veículo de quatro rodas para uma pessoa (ver Imagem 33), designado por Biocross, através de uma estrutura única e de linhas contínuas, assemelhando-se ao esqueleto de um animal. A concepção deste objecto seguiu os passos apresentados na metodologia proposta no capítulo dois desta dissertação.

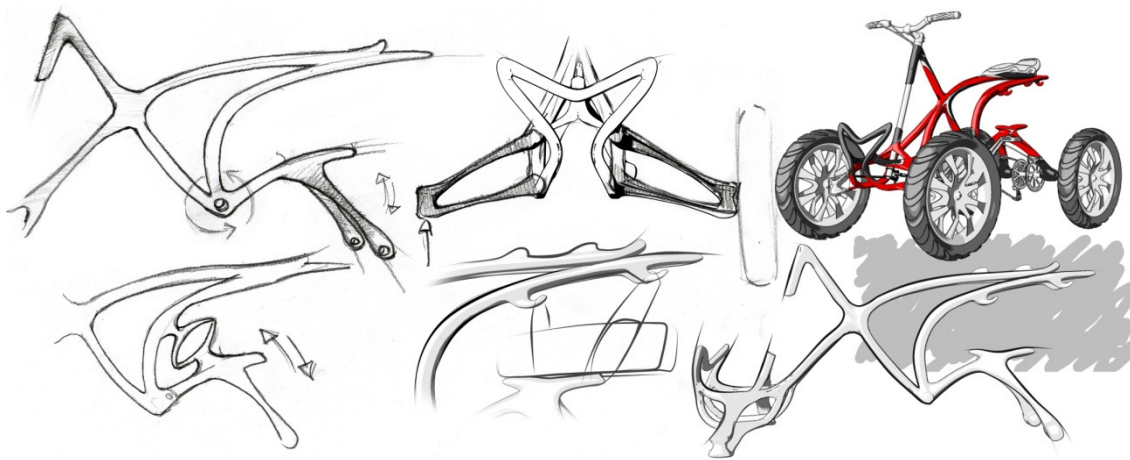


Imagem 33 | Esboços ilustrando conceitos gerados para um veículo a pedais biónico e representação de uma perspectiva desenhada do conceito desenvolvido.

A Imagem 34 demonstra o método biónico de optimização de estruturas, utilizando a abordagem dos triângulos de tensão proposta por Mattheck (2007), adoptado na concepção da estrutura do veículo, que pretende a redução e a eliminação das áreas críticas de acumulação de tensões, proporcionando a redução optimizada do material.

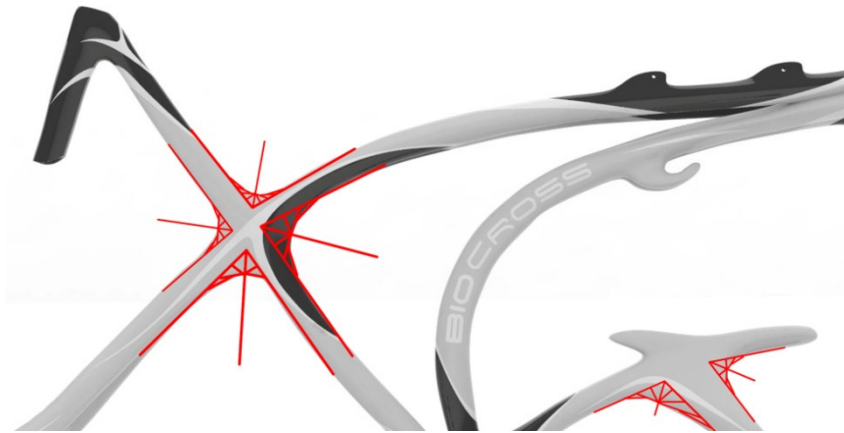


Imagem 34 | Método de optimização formal usado no desenho da estrutura do veículo a pedais biónico desenvolvido.

Na ligação às quatro rodas a própria estrutura é adelgada de modo a permitir zonas de maior flexibilidade, permitindo assim amortecer as oscilações provocadas pelo terreno (Imagem 35). O objectivo aqui, tal como nas árvores ou em qualquer organismo da natureza, é permitir que a própria estrutura se adapte às condições do meio a que está sujeita, ao contrário dos componentes mecânicos convencionais (amortecedor e mola) que procuram contrariar e resistir às dificuldades.

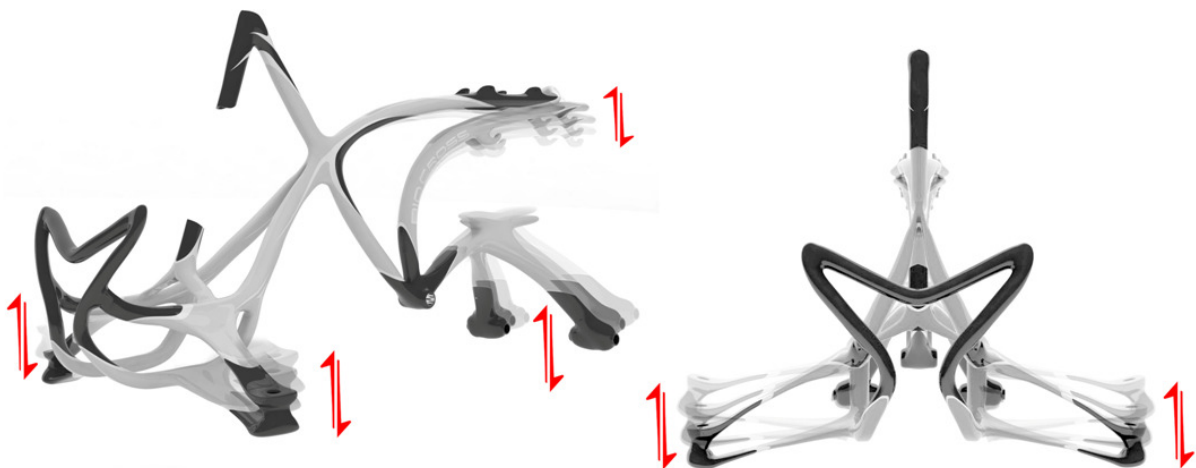


Imagem 35 | Representação do efeito de suspensão proporcionado pela estrutura do veículo a pedais biónico.

Também com o intuito de garantir maior conforto e comodidade ao utilizador foi incorporado um assento com dimensões superiores aos das bicicletas comuns. Na fronteira dianteira da estrutura do veículo salienta-se uma protecção de resguardo ao mesmo. De modo a atender ao requisito projectual que apela à adaptação de acessórios para transporte de utensílios, foi acrescentado na parte traseira da própria estrutura, bases de suporte e ganchos para fixação de acessórios. Estes pormenores estruturais podem ser observados na Imagem 36.



Imagem 36 | Pormenores estruturais e de componentes do veículo biónico Biocross.

Todos os restantes componentes do veículo foram considerados *standard* e existentes no mercado, reproduzidos através da modelação CAD realizada para efeitos de visualização do produto completo (Imagem 37) e testes de massa.



Imagem 37 | Visualização da aparência final e completa de duas versões cromáticas do veículo a pedais biónico – Biocross.

Respondendo ao requisito almejado que apela à redução do impacto ambiental dos materiais utilizados foi seleccionado o bio-polímero (PLA) Ingeo Biopolymer 3251, (ver anexo A) também utilizado na concepção das torres biónicas do primeiro projecto realizado.

3.2.2.7 Etapa C2 - Validação

A validação dos requisitos do projecto que apelam à criação de um veículo que permita o acesso a caminhos rústicos (1) com conforto e estabilidade e que contenha um sistema de amortecimento das oscilações e dos impactos sujeitos (2), sem utilização de componentes mecânicos de suspensão, foi elaborada através do mesmo processo. Para tal realizou-se uma análise de simulação de resistência e teste de esforço à estrutura do veículo através do software COSMOSXpress. No teste estático realizado considerou-se uma força de 1050 N, equivalente ao suporte de um peso de 107 Kg e que em termos práticos poderá corresponder ao transporte de um homem adulto com uma compleição física robusta ou o transporte de duas crianças. Os resultados da simulação realizada (disponíveis de modo completo no Anexo I), tendo em conta o bio-polímero seleccionado (Ingeo Biopolymer 3251D), denunciaram a fragilidade da estrutura em algumas áreas críticas da mesma, perante o cenário escolhido. Atendendo às limitações da versão do programa informático utilizado, optou-se por aplicar as restrições simbolizando apoios estáticos nos pontos de ancoragem do selim, aplicando as cargas verticais nos apoios de cada uma das quatro rodas. Por outro lado, dado não ser possível nos programas disponíveis para utilização pelos mestrandos em DIT realizar simulações estruturais dinâmicas, a análise realizada é de cariz estático apenas. Optou-se por dividir a carga vertical de modo desigual entre o eixo traseiro e o eixo frontal (virtual) com respectivamente com 65% e 35%. Reconhece-se contudo que as acelerações, as travagens, a pedalagem, a inclinação positiva ou negativa do terreno e as suas irregularidades criam cenários de carga mais complexos do que o considerado, que poderiam ser analisados de modo simplificado utilizando o software disponível. Contudo, considera-se que a validação da estrutura ficará feita em grande parte se se provar a capacidade de resistência à carga vertical tal como considerada e que as considerações, em modo estático, para as solicitações referidas anteriormente poderiam levar a modificações de pormenor. Estas últimas deverão ser consideradas se o conceito alguma vez chegar à fase de produção efectiva, a par das solicitações dinâmicas.

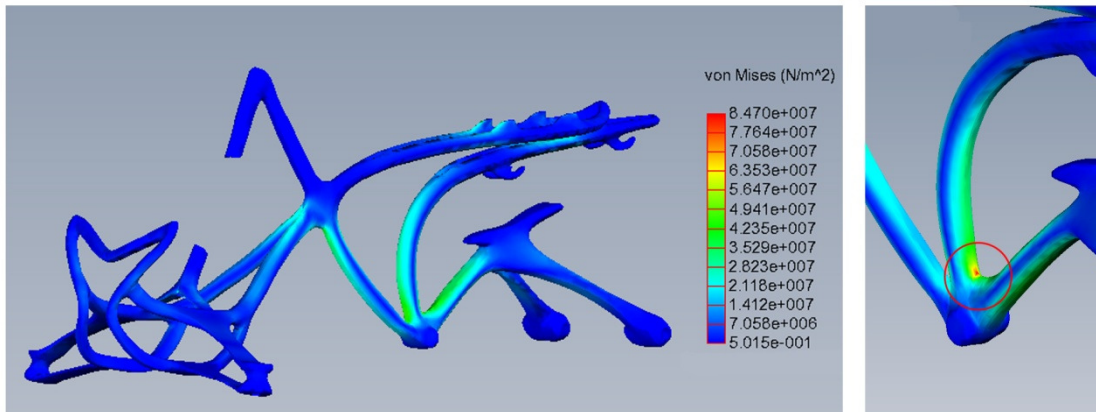


Imagem 38 | Resultado da distribuição da tensão equivalente de Von Mises de acordo com as cargas aplicadas na estrutura do veículo biônico desenvolvido (o pico de tensão ocorre na zona assinalada a vermelho na ampliação do lado direito e corresponde, sensivelmente, a 85 MPa).

A tensão equivalente de Von Mises, demonstrada da Imagem 38, para a área de maior tensão acumulada é de aproximadamente 85 MPa. Este valor é muito superior aos 48 MPa, indicativos de tensão limite elástica suportada pelo material.

A Imagem 39 diz respeito à distribuição do deslocamento resultante perante o mesmo cenário, revelando um deslocamento máximo de aproximadamente 19 cm, nas zonas de ligação às rodas.

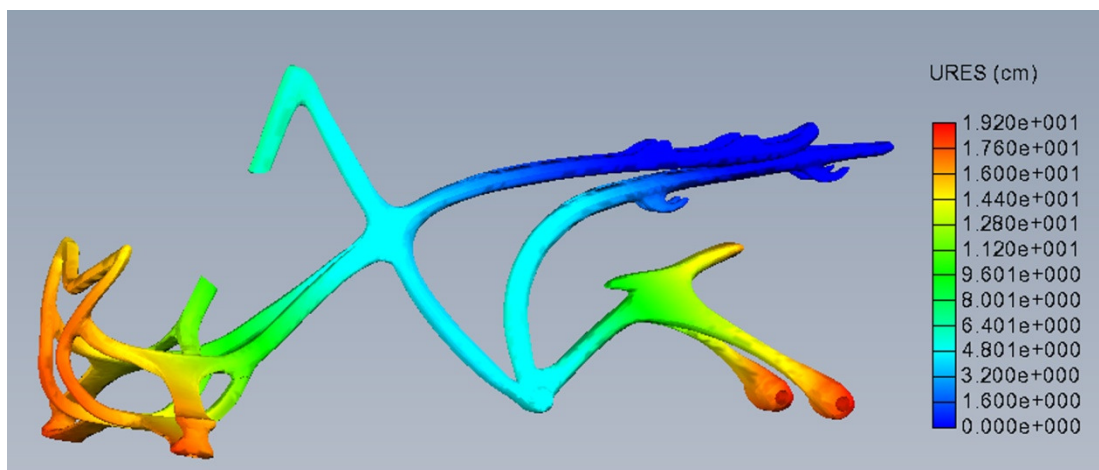


Imagem 39 | Resultado da distribuição do deslocamento relativamente ao assento, considerando a força aplicada na estrutura do veículo biônico desenvolvido.

Este deslocamento máximo, tal como o resultado da acumulação de tensões podem ser optimizados de forma a validar de forma satisfatória os requisitos pretendidos. Para tal é necessário prosseguir com o método de solução biônica baseado na abordagem dos

triângulos de tensão apresentado na etapa B2 do desenvolvimento deste projecto², e redesenhar a estrutura, recorrendo novamente à etapa de geração de conceitos (C1), de modo a eliminar as áreas críticas de acumulação de tensões. O resultado deste processo iterativo de optimização da estrutura está patente na imagem 40, onde se compara o método de inspirado nas estruturas das árvores utilizado na geometria da estrutura na primeira volta de concepção e na segunda iteração realizada. O número de triângulos resultantes do método “tensile triangles” aumentou na zona crítica da estrutura, tal como as dimensões dos mesmos, resultando no aumento da área sujeita a tensões e suavidade da forma, de modo a permitir melhor distribuição das tensões.

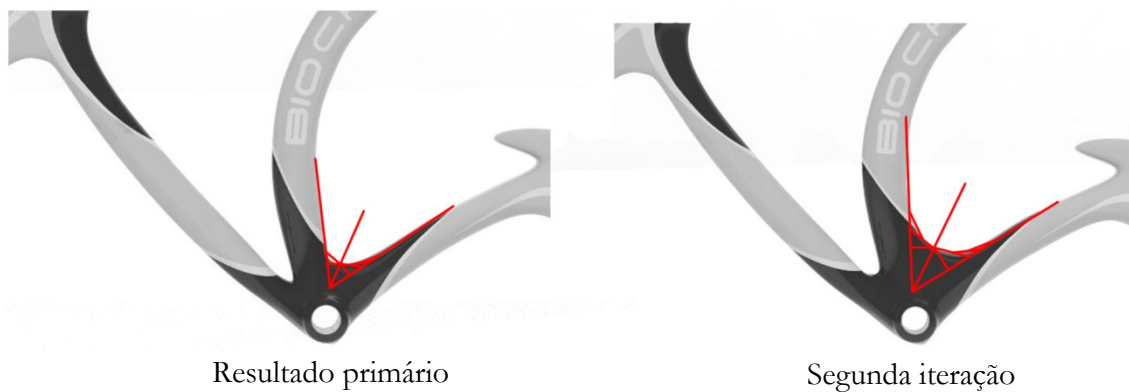


Imagem 40 | Demonstração da iteração efectuada com vista à optimização estrutural do veículo biónico desenvolvido.

Após esta alteração estrutural foi de novo realizada a análise de simulação de resistência e teste de esforço à estrutura do veículo através do mesmo software e considerando o mesmo cenário (simulação de resistência a uma carga de 1050 N).

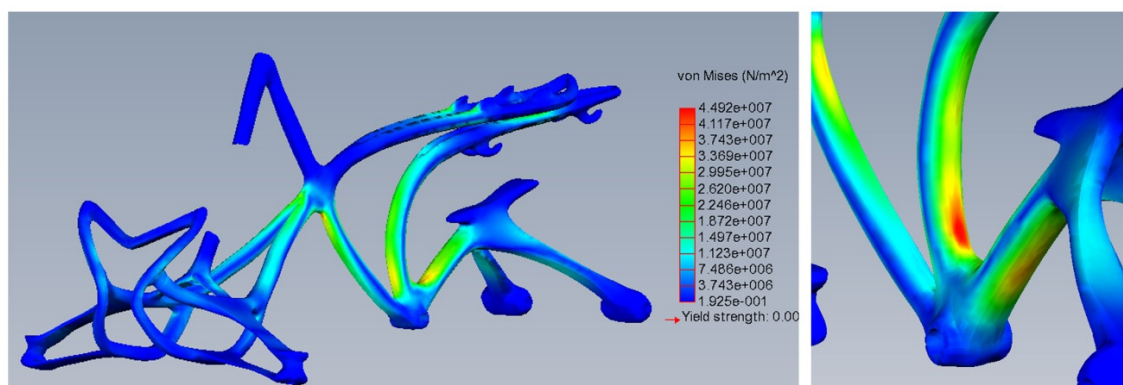


Imagem 41 | Resultado da distribuição da tensão equivalente de Von Mises, relativa à segunda iteração do projecto realizado (pico de tensão de 45MPa).

² Projecto desenvolvido como demonstração da aplicação da metodologia proposta no capítulo dois, no que diz respeito à orientação da solução para o problema.

Os resultados da segunda iteração (Imagem 41) indicam, para distribuição da tensão equivalente de Von Mises, um valor da tensão máxima resultante de 45 MPa. Este valor já se encontra dentro do limite suportado pelo bio-material (48 MPa), e como tal, significa que a estrutura do veículo suporta um peso de aproximadamente 107Kg, sendo este valor próximo do limite suportado.

No que diz respeito à deslocação da estrutura perante a força aplicada (Imagem 42), a medida máxima resultante da primeira análise realizada (19cm) foi reduzida para cerca de 16cm.

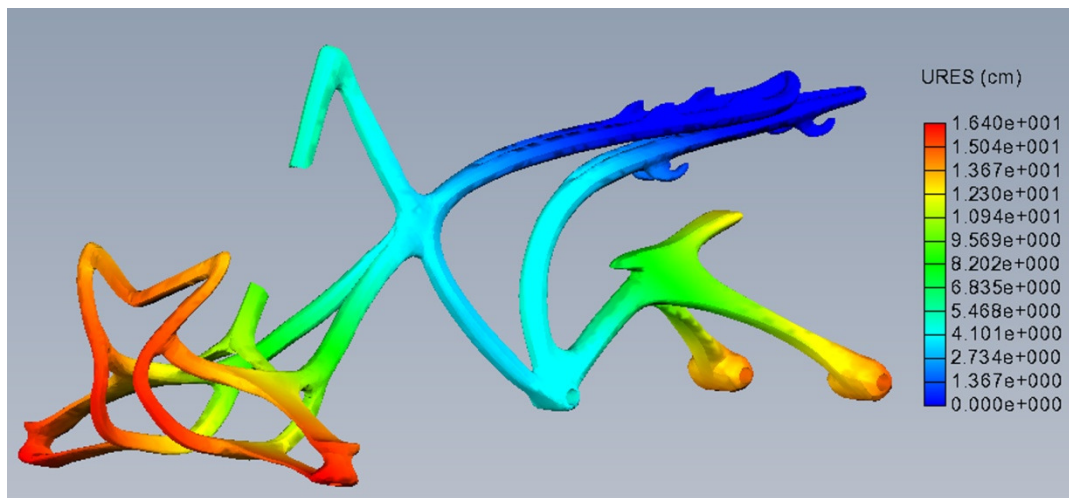


Imagem 42 | Resultado da distribuição do deslocamento relativamente ao assento.

Este valor foi considerado normal, tendo em conta a elasticidade do bio-polímero e o efeito de suspensão pretendido, validando em parte o requisito do projecto, que almejava um sistema de amortecimento das oscilações e dos impactos sujeitos, sem utilização de componentes mecânicos de suspensão. A validação total e completa deste requisito poderá ser satisfeita por meio de testes dinâmicos (travagens, solavancos, acelerações repentinas) a realizar em trabalhos futuros. A reiteração do projecto de modo a obter resultados mais otimizados e a simulação de outros materiais ou reforço de áreas estruturais com composições de outros materiais (como as fibras naturais) também são medidas válidas para a optimização e valorização futura do projecto.

As quatro rodas do veículo, ao invés de duas como nas bicicletas, e o assento com dimensões acrescidas contribuem, também, para a satisfação do primeiro requisito do projecto, proporcionado maior conforto ao utilizador e maior estabilidade nas deslocações em terrenos rústicos. O eixo transversal que une as rodas traseiras e a estrutura auto-suspensa garantem a estabilidade e conferem a manutenção do conforto de rolamento. No

que diz respeito às rodas dianteiras, apesar de não haver um eixo que as una, a geometria da estrutura frontal e em particular a relação de comprimentos entre a lamina estrutural superior e inferior de cada apoio de roda garantem o alinhamento vertical da roda com pequenos desvios. Na situação estática simulada e apresentada na Imagem 43, considerou-se um desequilíbrio de carga que conduziu ao alívio da carga na roda frontal esquerda e a redistribuição equitativa dessa carga pelas restantes três rodas (carga vertical em cada roda traseira passa de 341 N para 372 N ao passo que na roda dianteira esquerda passa de 184 N para 92 N, passando de 184 para 215 N na roda dianteira direita). Os resultados comprovam a flexibilidade da estrutura e a resistência da mesma perante esta situação (tensão equivalente de Von Mises máxima acumulada de 47 MPa), sem comprometer de forma significativa o alinhamento vertical das rodas.

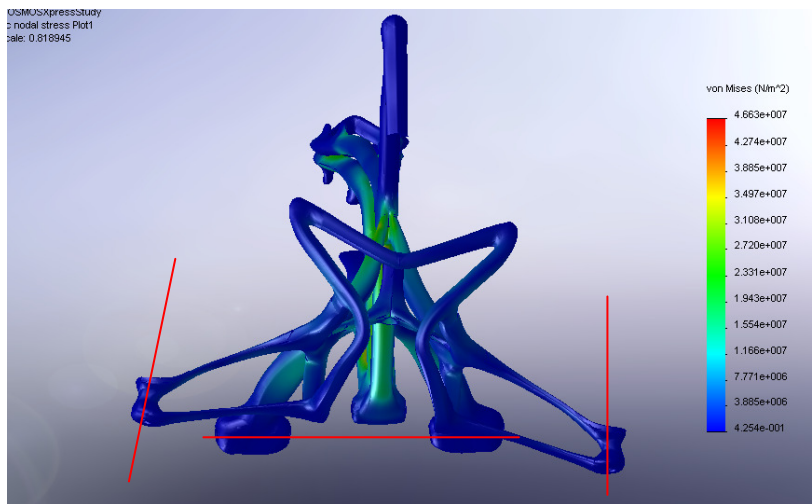


Imagem 43 | Resultado da distribuição da tensão equivalente de Von Mises e representação do deslocamento (escala 0,8 assumida automaticamente pelo software) para uma carga total de 1050 N redistribuída a partir do alívio da roda frontal esquerda (à direita na figura). As linhas vermelhas foram sobrepostas para elucidar relativamente à orientação dos eixos das rodas.

A Imagem 44 afigura o resultado final da otimização da estrutura relativa à segunda iteração realizada, com representação das vistas e perspectiva da estrutura.

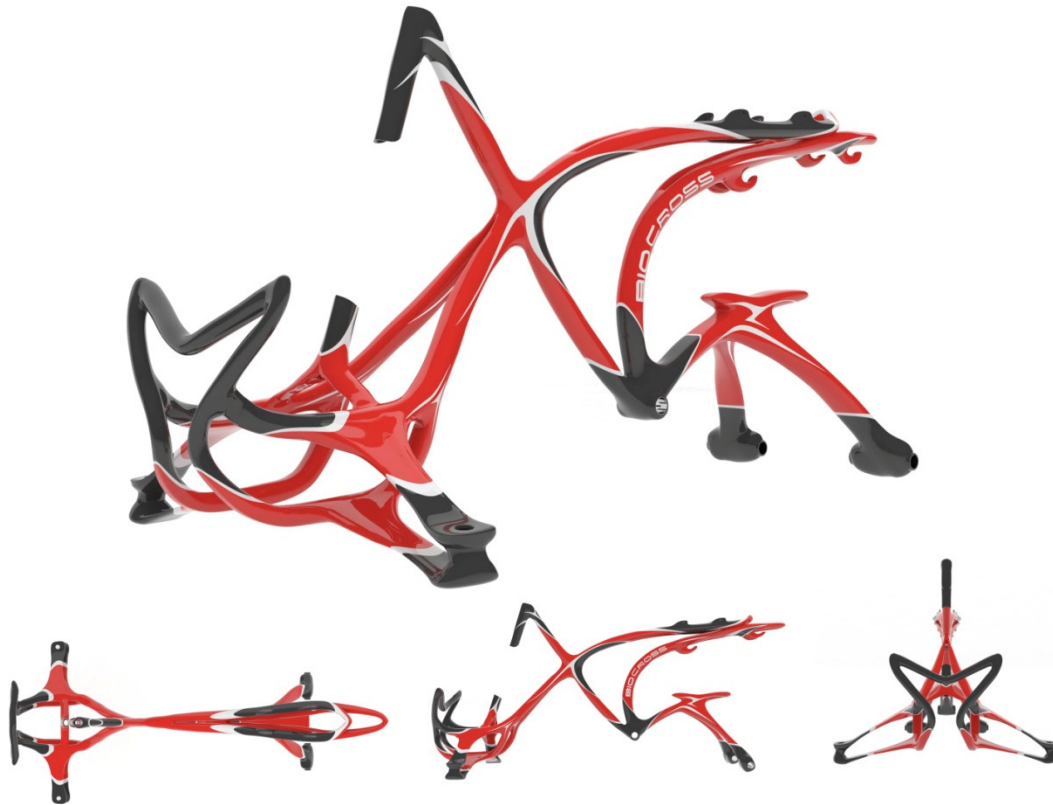


Imagem 44 | Resultado final da otimização da estrutura do veículo a pedais biônico.

A satisfação do requisito que pretende a adaptação de acessórios para transporte de utensílios foi atendida pela implementação das bases para suporte e dos ganchos de fixação.

No que diz respeito à leveza do produto de modo a reduzir o esforço necessário a realizar pelo utilizador para deslocamento do veículo, referente ao requisito (3), a validação é feita por meio do cálculo de massa da estrutura e dos elementos seleccionados para o funcionamento do veículo, comparando-o com o valor da massa de uma bicicleta de montanha otimizada para reduzida massa (Imagem 45).



Imagem 45 | Comparação visual entre uma bicicleta de montanha existente [56] e o veículo biônico Biocross.

Ao comparar-se a massa de uma bicicleta de montanha existente e equipada (cerca de 12Kg) com a massa total do veículo biónico (aproximadamente 16Kg), calculada por software ao modelo desenhado, com equipamento semelhante, é notória a desvantagem do modelo biónico face ao convencional. No entanto, tendo em conta que o modelo biónico utiliza quatro rodas, tendo espessuras de jantes e pneus maiores que as rodas das bicicletas, a diferença não foi considerada significativa e impeditiva de considerar o requisito válido. O facto de a estrutura ter dimensões maiores comparativamente à estrutura de uma bicicleta, pela ligação necessária às quatro rodas, e ser completamente maciça também justifica os cerca de 4kg de diferença.

3.4 Nota Conclusiva

Tendo como objectivo aplicar e complementar a metodologia desenvolvida no capítulo anterior, a concepção de projectos baseada nos princípios da biónica é o principal promotor do terceiro, e último, capítulo. De forma a validar e comprovar os ganhos introduzidos em projectos que seguem a metodologia relativa ao processo de design de inspiração na natureza, os projectos desenvolvidos procuraram responder à pergunta de investigação associada. Como resposta foram concebidos dois projectos otimizados, cada um seguindo uma orientação de análise do método, avaliados e validados por um processo rigoroso de conceptualização e análise de resultados. A geração destes projectos comprovou a aplicabilidade e a eficácia da orientação segundo o método desenvolvido.

O primeiro projecto, relativo à concepção de torres para CDs e DVDs, beneficiou de mais tempo para o desenvolvimento, demonstrando, por esse motivo, um processo de aperfeiçoamento extenso e uma validação com recurso a métodos empíricos e de simulação numérica. O resultado comprova e satisfaz o objectivo específico do método e pergunta de investigação correspondente. O segundo projecto, baseado na orientação de análise que se inicia com a identificação de uma solução à procura de aplicabilidade em projectos, resultou na aplicação de um princípio de solução para o desenvolvimento de um produto original. Contudo, pela complexidade do projecto e pela limitação de tempo e de software o processo de afinação e de validação do conceito não ficou completo. Testar resultados considerando outros materiais e realizar testes dinâmicos serão opções futuras a desenvolver no âmbito profissional do autor. Nos dois projectos realizados não foram

considerados de forma completa ou principal as cinco metas a alcançar estabelecidas. Para uma demonstração completa da satisfação de todas as metas a continuação e projecção de outros projectos de várias temáticas seria fundamental.

A realização de protótipos seria um meio auxiliar adequado na validação, quer pela possibilidade de avaliação visual mais realista que permite, quer pela realização de testes para comprovar a sua funcionalidade.

Conclusão Final

Retomando o objectivo geral deste trabalho, que propõe a revisão de casos de design biónico existentes analisando-os face a soluções convencionais, ficou demonstrado, através das análises realizadas, a potencialidade da biónica em promover a concepção de produtos superiores a níveis da eficácia funcional, da forma, e a nível da sustentabilidade. A consistência dos resultados obtidos permite demonstrar e comprovar a importância desta corrente para os designers da actualidade na resposta às necessidades e exigências dos dias de hoje. A diferenciação de produtos, a inovação de soluções, a emergência de novos materiais e os sistemas mais sustentáveis são aspectos em voga com teor de importância cada vez mais relevante e para os quais o design assente nos princípios da biónica pode contribuir e tem contribuído.

De modo a contribuir para uma difusão eficiente dos princípios desta corrente ainda em desenvolvimento, as metodologias de apoio à mesma são essenciais. As análises realizadas aos métodos de design biónico existentes denotaram algumas lacunas que a criação e o desenvolvimento da nova metodologia, apresentada nesta dissertação, procurou resolver e melhorar. As exigências sentidas hoje em dia no trabalho de um designer obrigam à resolução de problemas complexos e de forma cuidada, onde a margem de erro é cada vez mais diminuta. A necessidade de processos de avaliação e de validação durante o desenvolvimento projectual que permitam aferir o sucesso do produto na satisfação eficiente dos objectivos e dos requisitos propostos, foi um dos aspectos em falta evidenciado e ao qual a metodologia proposta procurou atender. Além destes aspectos, procurou-se também apoiar uma abordagem iterativa na condução do projecto, tendo em vista alcançar a optimização dos resultados e corrigir os desvios detectados face aos objectivos e às necessidades propostas.

Atendendo ainda ao objectivo geral, a aplicação do método proposto em casos práticos tem como propósito a validação do mesmo e ainda comprovar os ganhos introduzidos em projectos que seguem a metodologia relativa ao processo de design de inspiração colhida na natureza. Entende-se, através dos resultados obtidos ao longo dos dois projectos realizados, que além de validar o método, os projectos servem de complemento à exposição metodológica e são uma base para a apresentação de um conjunto de considerações práticas e técnicas para a resolução de problemas.

Esta dissertação, que como contributo é comparável a um pequeno grão de areia

numa praia, pretende contribuir para a construção de teoria que conduza de forma mais sustentada cada projecto de design ao encontro dos seus objectivos finais.

Proposta para trabalhos futuros

O design biónico, sendo uma disciplina capaz de enriquecer projectos com ganhos de eficácia, estética e sustentabilidade e ainda com uma vasta margem de progressão e com um mundo inteiro por onde se inspirar, trará certamente benefícios aos designers com o desenvolvimento e a investigação dos seus conceitos no futuro.

Um dos trabalhos inseridos nesta temática que se poderia realizar no futuro, tendo como objectivo o seu desenvolvimento e a sua expansão, seria considerar um estudo empírico por amostragem de designers em actividade que permitisse a identificar os intervenientes que fazem uso da metodologia, dos princípios e da abordagem da biónica no quotidiano profissional. Com o mesmo objectivo, a aplicação de uma metodologia comparativa de análise aos ganhos introduzidos pela biónica a uma gama alargada de produtos seria de igual forma interessante.

Durante a concepção dos projectos de apoio ao método de design biónico, foi salientada a importância e a necessidade de, no futuro, testar resultados considerando os vários materiais de origem e de base biológica que cada vez mais assumem um papel fundamental na protecção ecológica. Ao serem demonstrados os ganhos de nível sustentável que a biónica e os bio-materiais introduzem na concepção de um produto, a divulgação e a expansão dos mesmos será também propiciada. Este facto poderá contribuir para a consciencialização das pessoas e conseqüente aumento da procura, da exploração e da aplicação destes materiais a uma escala industrial.

A realização de protótipos seria também um recurso futuro adequado para se proceder à validação dos projectos desenvolvidos nesta dissertação e em projectos de design biónico futuros. A avaliação visual mais eficaz e a possibilidade de realização de testes mais completos permitiria consolidar e testemunhar de forma mais realista e persuasiva os benefícios da biónica.

É importante também salientar que o método apresentado neste trabalho, tal como qualquer outro, não é considerado perfeito ou intemporal. As evoluções dos conhecimentos científicos e biológicos, as tecnologias emergentes e os princípios de sustentabilidade permitem novos pontos de vista e novos processos criativos e de concepção. O método deve por isso ser encarado como um processo em constante melhoria, optimização e evolução. Tal como acontece na natureza.

Referências

Almeida, Ana (2009) ‘Desenvolvimento de uma base de dados de eco-materiais – “SUSMATERIALS” – Bioplásticos e fibras naturais como reforço de bio-compósitos’ Dissertação de mestrado em Design e Cultura Visual, ramo de especialização em Design de Produção Industrial. Instituto de Artes Visuais, Design e Marketing, Portugal.

Benyus, J. (1997) ‘Biomimicry - Innovation Inspired by Nature’, New York: Harper Perennial.

Bright, M. (2001) ‘A vida secreta dos animais’, Lisboa: Selecções do Reader’s Digest

Camocho, David (2010) ‘Design Cerâmico - Guia de apoio ao Desenvolvimento Sustentável do Sector’ Dissertação de Mestrado em Design e Cultura Visual, ramo de especialização em Design de Produção Industrial. Instituto de Artes Visuais, Design e Marketing, Portugal.

Colombo, B. (2007). ‘Biomimetic design for new technological developments’ in Salmi, E., Stebbing, P., Burden G., Anusionwu, L. (Eds) *Cumulus Working Papers*, Helsinki, Finland: University of Art and Design Helsinki, pp. 29-36.

Corda, Filipe (2010) ‘A função e a tecnologia como determinantes da forma de objectos de consumo que incorporam tecnologia – estudo de casos segundo uma perspectiva histórica’ [in Portuguese: Function and technology as determinants of technology incorporating consumer object shape - case studies from a historical perspective], Master of science dissertation in Technological Industrial Design. University of Beira Interior, Portugal.

Crul, M.R.M. e Diehl J.C. (2006) ‘Design for Sustainability a practical approach for Developing Economies’, (editor Garrette Clark) United Nations Environment Programme Division of Technology, Industry and Economics and Delft University of Technology, Faculty of Industrial Design Engineering, Design for Sustainability Programme.

Helms, M., Vattam, S.S., Goel, A. (2009) ‘Biologically inspired design: process and products’, *Design Studies*, Vol. 30, No. -, pp. 606-622.

Järvinen, P. (2004) ‘On a variety of research outputs types’, Series of publications D – Net Publications, D-2004-6, December 2004, DEPT. Computer Sciences, University of Tampere, Finland.

- Jordan, P. W. (2002) 'The Personalities of Products' In William S. Green and Patrick W. Jordan (Editors) *Pleasure with Products: Beyond Usability*, London: Taylor & Francis, pp. 19-48.
- Junior, W.& Guanabara, A.& Silva, E.& Platcheck, E. (2002) 'Proposta de uma Metodologia para o Desenvolvimento de Produtos Baseados no Estudo da Biónica', Brasília: P&D - Pesquisa e Design.
- Kindersley, D. (1995) 'Máquinas Voadoras', Lisboa: Editorial Verbo.
- Kindlein, W.J., Cândido, L. H. A., Platcheck, E., (2003) 'Analogia entre as metodologias de desenvolvimento de produto atuais, incluindo a proposta de uma metodologia com ênfase no ecodesign', Congresso Internacional de Pesquisa em Design, Outubro 2003, Rio de Janeiro: Anped
- Lage, A; Dias, S. (2003) 'Desígnio - Teoria do design', parte 2, Porto: Porto Editora.
- Lovegrove, R. (2004) 'Supernatural: the work of Ross Lovegrove', New York, NY : Phaidon.
- Mueller, T. (2008) 'Biomimetismo – Desenho Natural', National Geographic, Maio, p.60
- Munari, B. (1982) 'Das Coisas Nascem Coisas', Lisboa: Edições 70, 388 pp.
- Pernodet, P., Mehly, B. (2000) 'Luigi Colani – Biography', Paris: Dis Voir.
- Rao, V., Johns, J. (5 de November de 2007). Mechanical Properties of Thermoplastic Elastomeric Blends of Quitosano and Natural Rubber Latex. *Journal of Applied Polymer Science, Wiley InterScience* , Vol. 107, pp. 2217-2223 (2008).
- Siegel, S., Castellan, N. J. (1988) 'Nonparametric Statistics for the Behavioural Sciences', New York: McGraw-Hill, 399pp.
- Ulrich, K.T., Eppinger, S.T., (2004) 'Product Design and Development', international edition, McGraw-Hill.
- Wilson, J.O., Rosen, D., Nelsen, B.A., Yen, J. (2010) 'The effects of biological examples in idea generation', *Design Studies*, Vol. 31 (2), 169-186.
- Yahia, H (2001) 'The Miracle in the Spider', New Delhi: Goodword Books.

Webgrafia

- [1] <http://www.biomimicryinstitute.org/>. Obtido em 23 de Janeiro de 2010.
- [2] Lloyd, 'E. The History of Bionics' Obtido em 10 de Janeiro de 2010, acessível em: <http://www.brighthub.com/science/medical/articles/9070.aspx>
- [3] <http://news.mongabay.com/2005/0710-DaimlerChrysler.html>. Obtido em 15 de Janeiro de 2010.
- [4] <http://www.biomimicryinstitute.org/home-page-content/home-page-content/education.html>. Obtido em 18 de Dezembro de 2010.
- [5] <http://www.paxscientific.com/>. Obtido em 10 de Janeiro de 2010.
- [6] <http://www.asknature.org/>. Obtido em 10 de Janeiro de 2010.
- [7] Biomimicry Institute. 'Biomimicry: A Tool for Innovation. Obtido em 29 de Dezembro de 2009, de biomimicryinstitute: <http://www.biomimicryinstitute.org/about-us/biomimicry-a-tool-for-innovation.html>.
- [8] <http://www.fastcompany.com/files/feature-129-biomimicry3LG.jpg>. Obtido em 15 de Janeiro
- [9] http://www.altrec.com/images/shop/photos/TZL/30698_d.jpg. Obtido em 15 de Janeiro
- [10] <http://www.designboom.com/contemporary/biomimicry/11.jpg>. Obtido em 10 de Janeiro de 2010.
- [11] <http://www.designboom.com/contemporary/biomimicry/10.jpg>. Obtido em 10 de Janeiro de 2010.
- [12] <http://www.isa.upv.es/investigacion/supervision-y-diagnostico-de-fallos/turbina.jpg>. Obtido em 10 de Janeiro de 2010.
- [13] http://www.paxscientific.com/all_images_august/mixer_new.jpg. Obtido em 10 de Janeiro de 2010.
- [14] http://www.thepaxgroup.com/assets/paxfan_side_stillfan.gif. Obtido em 10 de Janeiro de 2010.

- [15] http://www.unisanet.unisa.edu.au/staff/PeterPudney/France_2006/bionic.jpg. Obtido em 12 de Janeiro de 2010.
- [16] http://images04.olx.pt/ui/4/41/58/66303358_2-Mercedes-Benz-Classe-A-170-Cdi-Rio-Tinto.jpg. Obtido em 12 de Janeiro de 2010.
- [17] http://www.japaneselifestyle.com.au/travel/images/japanese_bullet_train.jpg. Obtido em 12 de Janeiro de 2010.
- [18] <http://people.hofstra.edu/geotrans/eng/ch2en/conc2en/img/shinkansen0.jpg>. Obtido em 12 de Janeiro de 2010.
- [19] http://www.stocorp.com/images/mcm/product/thumbnail/1257535211_06754.jpg. Obtido em 13 de Janeiro de 2010.
- [20] http://i.treehugger.com/files/lotusan_combo.jpg. Obtido em 13 de Janeiro de 2010.
- [21] <http://biodsign.files.wordpress.com/2009/02/morphotex.jpg>. Obtido em 13 de Janeiro de 2010.
- [22] http://www.fazfacil.com.br/images/tecido_colorido.jpg. Obtido em 13 de Janeiro de 2010.
- [23] http://spdo.imageg.net/graphics/product_images/pSPDO1-4754867p275w.jpg. Obtido em 13 de Janeiro de 2010.
- [24] http://www.aqualoja.net/components/com_virtuemart/shop_image/product/a4dca1e9236b0a55dc7b867f1c6d0ec5.jpg. Obtido em 14 de Janeiro de 2010.
- [25] <http://www.designboom.com/eng/interview/lovegrove/bottle.jpg>. Obtido em 14 de Janeiro de 2010.
- [26] <http://www.hipersuper.pt/wp-content/uploads/2007/07/luso.jpg>. Obtido em 14 de Janeiro de 2010.
- [27] http://www.yankodesign.com/images/design_news/2009/06/02/bionic_designs2.jpg. Obtido em 23 de Junho de 2010.
- [28] <http://www.megasub.pt/loja/images/BarbatanaMundialCarbon.jpg>. Obtido em 23 de Junho de 2010.
- [29] Daimler. 'Press Kit: The Mercedes-Benz bionic car as a concept vehicle' Obtido em 14 de Fevereiro de 2010, acessível em: <http://media.daimler.com/dcmmedia/0-921-885913-1-815003-1-0-0-0-1-11702-854934-0-1-0-0-0-0-0.html>

- [30] <http://media2.worldcarfans.com/2005/6/medium/2050607.004.Mini1L.jpg>. Obtido em 23 de Fevereiro de 2010.
- [31] <http://www.mercedesbenz.com/Images/Nov05/17BionicCarPhotos/BionicCar2.jpg>. Obtido em 23 de Junho de 2010.
- [32] <http://media2.worldcarfans.com/2005/6/medium/2050607.004.Mini5L.jpg>. Obtido em 23 de Junho de 2010.
- [33] <http://www.swimming-faster.com/>. Obtido em 23 de Junho de 2010.
- [34] <http://doostang.files.wordpress.com/2009/08/shark2.jpg>. Obtido em 23 de Junho de 2010.
- [35] http://3.bp.blogspot.com/_cBkbdLQJPmM/RoUQcEX30wI/AAAAAAAAAEo/cz-fX2iVNw4/s400/hai.jpg. Obtido em 23 de Junho de 2010.
- [36] http://spiff.rit.edu/classes/phys311.old/lectures/termvel/fastskin_closeup.gif. Obtido em 23 de Junho de 2010.
- [37] http://www.fluent.com/about/news/newsletters/04v13i1/img/a1i4_lg.jpg. Obtido em 23 de Junho de 2010.
- [38] <http://www.biomimicryinstitute.org/case-studies/case-studies/energy.html>. Obtido em 23 de Junho de 2010.
- [39] http://www.biomimicryinstitute.org/images/case_studies/energy.jpg. Obtido em 9 de Março de 2010. Obtido em 23 de Junho de 2010.
- [40] <http://nanotechweb.org/cws/article/tech/16392>. Obtido em 9 de Março de 2010.
- [41] <http://www.biomimicryinstitute.org/case-studies/case-studies/toxics.html>. Obtido em 9 de Março de 2010.
- [42] http://www.biomimicryinstitute.org/images/case_studies/toxics.jpg. Obtido em 9 de Março de 2010.
- [43] <http://mw2.google.com/mw-panoramio/photos/medium/4869460.jpg>. Obtido em 9 de Março de 2010.
- [44] http://www.paintpro.net/images/Feature_Photos/PP705/pp705pp_lotusan01.jpg. Obtido em 9 de Março de 2010.

- [45] Sto Corp. 'Product/System Catalog' Obtido em 17 de Março de 2010, acessível em:
http://www.stocorp.com/index.php/component/option,com_catalog2/Itemid,196/catID,43/catLevel,5/lang,en/productID,34/subCatID,44/subCatIDBP,44/subCatIDnext,0/.
- [46] Pax Cientific 'Innovative Technology' Obtido em 18 de Março de 2010, acessível em:
http://www.paxscientific.com/tech_what.html.
- [47] Pax Water 'Active Mixing - The Solution to Residual Loss' Obtido em 18 de Março de 2010, acessível em: <http://www.paxwater.com/why-pax-mixer/>
- [48] Biomimicry Institute 'energy efficiency' Obtido em 18 de Março de 2010, acessível em:
<http://www.biomimicryinstitute.org/case-studies/case-studies/energy-efficiency.html>.
- [49] http://www.yankodesign.com/images/design_news/2009/06/02/bionic_designs3.jpg.
Obtido em 18 de Março de 2010
- [50] <http://www.paxwater.com/Portals/79614/images//Mixercu.jpg>. Obtido em 18 de Março de 2010.
- [51] http://2.bp.blogspot.com/_NyV8gVnAKgM/SMjtMK83eqI/AAAAAAAAAlk/l8ZPFWPQg8U/s400/remo%zC3%ADnho.png. Obtido em 18 de Março de 2010.
- [52] http://www.asknature.org/images/uploads/product/1a119e978284900963298a0aac59a120/pax_mixingimpeller.jpg. Obtido em 18 de Março de 2010.
- [53] http://www.paxwater.com/Portals/79614/images//PAX-water-homepage_25.jpg. Obtido em 18 de Março de 2010.
- [54] http://www.aeplus.com/Car%20companies/MercedesBenz%20pics/Bionic%20car/400_05C2472_04.jpg. Obtido em 9 de Junho de 2010.
- [55] http://asknature.org/images/uploads/strategy/547dbeb778bd94c5d78eb0d18d39ccdc/459057_779381_4992_3328_89348305c2545_86.jpg. Obtido em 18 de Março de 2010.
- [56] <http://www.giant-bicycles.com/en-GB/bikes/model/anthem.x3/4892/39049/>. Obtido em 12 de Junho de 2010.

Anexos

Anexo A | Ficha informativa do Bio-polímero Ingeo Biopolymer 3251



Ingeo™ Biopolymer 3251D Injection Molding Process Guide

Ingeo™ Biopolymer 3251D is designed for injection molding applications. This polymer grade has a higher melt flow capability than other Ingeo™ resins currently in the market place. The higher flow capability allows for easier molding of thin-walled parts.

It is designed for injection molding applications, both clear and opaque, requiring high gloss, UV resistance and stiffness.

Processing Information

Ingeo™ Biopolymer 3251D can be processed on conventional injection molding equipment. The material is stable in the molten state, provided that the drying procedures are followed. Mold flow is highly dependent on melt temperature. In order to control melt temperature, it is recommended to balance screw speed, back pressure, and process temperature. Injection speed should be medium to fast.

Process Details

Startup and Shutdown

Ingeo™ Biopolymer 3251D is not compatible with a wide variety of other resins, and special purging sequences should be followed:

1. Clean extruder and bring temperatures to steady state with low-viscosity, general-purpose polystyrene or polypropylene.
2. Vacuum out hopper system to avoid contamination.
3. Introduce Ingeo™ polymer into the extruder at the operating conditions used in Step one.

Processing Temperature Profile		
Melt Temperature	370-410°F	188-210°C
Feed Throat	70°F	20°C
Feed Temperature	330-350°F	166-177°C
Compression Section	360-380°F	182-193°C
Metering Section	370-400°F	188-205°C
Nozzle	370-400°F	188-205°C
Mold	75°F	25°C
Screw Speed	100-200 rpm	
Back Pressure	50-100 psi	
Mold Shrinkage	.004 in/in. +/- .001	

Note: These are starting points and may need to be optimized.

5. At shutdown, purge ma-

Table 1 – Typical Material & Application Properties ⁽¹⁾

	Ingeo 3251D (General Purpose)	ASTM Method
Physical Properties		
Specific Gravity	1.24	D792
Melt Index, g/10 min (210°C/2.16K)	70-85	D1238
Melt Index, g/10 min (190°C/2.16K)	30-40	
Relative Viscosity	2.5	
Crystalline Melt Temperature (°C)	160-170	D3418
Glass Transition Temperature (°C)	55-65	D3417
Clarity	Transparent	
Mechanical Properties		
Tensile Yield Strength, psi (MPa)	7,000 (48)	D638
Tensile Elongation, %	2.5	D638
Notched Izod Impact, ft-lb/in (J/m)	0.3 (16.0)	D256
Flexural Strength (MPa)	12,000 (83)	D790

4. Once Ingeo™ polymer has purged, reduce barrel temperatures to desired set points.
- chine with high-viscosity polystyrene or polypropylene.

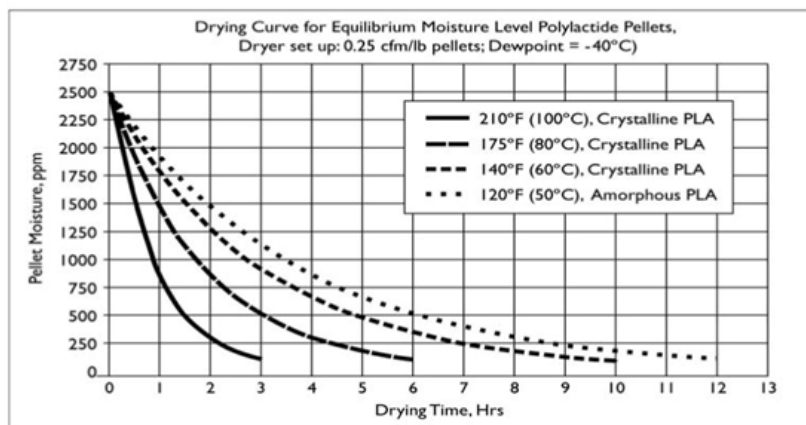
Fonte: <http://www.natureworkslc.com/>

Ingeo™ Biopolymer 3251D

Drying

In-line drying is recommended for Ingeo™ biopolymers. A moisture content of less than 0.010% (100 ppm) is recommended to prevent viscosity degradation. Polymer is supplied in foil-lined boxes or bags dried to <250 ppm. The resin should not be exposed to atmospheric conditions after drying. Keep the package sealed until ready to use and promptly dry and reseal any unused material. The drying curves for both amorphous and crystalline resins are shown to the right.

Note: Amorphous polymer must be dried below 120F (50C).



Compostability

Composting is a method of waste disposal that allows organic materials to be recycled into a product that can be used as a valuable soil amendment. Ingeo™ Biopolymer 3251D is made primarily of polylactic acid, a repeating chain of lactic acid, which undergoes a 2-step degradation process. First, the moisture and heat in the compost pile attack the polymer chains and split them apart, creating smaller polymers, and finally, lactic acid. Microorganisms in compost and soil consume the smaller polymer fragments and lactic acid as nutrients. Since lactic acid is widely found in nature, a large number of organisms metabolize lactic acid. At a minimum, fungi and bacteria are involved in polymer degradation. The end result of the process is carbon dioxide, water and also humus, a soil nutrient. This degradation process is temperature and humidity dependent. Regulatory guidelines and standards for composting revolve around four basic criteria: Material Characteristics, Biodegradation, Disintegration, and Eco-toxicity. Description of the requirements of these testing can be found in the appropriate geographical area: DIN V 54900-1 (Germany), EN 13432 (EU), ASTM D 6400 (USA), GreenPla (Japan).

This grade of NatureWorks® PLA meets the requirements of these four standards with limitation of maximum layer thickness of 1650 µm and for coating layers up to 37 µm thick

FDA Status

U.S. Status-

This is to advise you that on January 3, 2002 FCN 000178 submitted by NatureWorks® LLC to FDA became effective. This effective notification is part of list currently maintained on FDA's website at <http://www.cfsan.fda.gov/~dms/opa-fcn.html>. This grade of NatureWorks LLC Biopolymer may therefore be used in food packaging materials and, as such, is a permitted component of such materials pursuant to section 201(s) of the Federal, Drug, and Cosmetic Act, and Parts 182, 184, and 186 of the Food Additive Regulations. All additives and adjuncts contained in the referenced Ingeo™ Biopolymer formulation meet the applicable sections of the Federal Food, Drug, and Cosmetic Act. The finished polymer is approved for all food types and B-H use conditions. We urge all of our customers to perform GMP (Good Manufacturing Procedures) when

constructing a package so that it is suitable for the end use. Again, for any application, should you need further clarification, please do not hesitate to contact NatureWorks LLC.

European Status

This grade of Ingeo™ Biopolymer complies with EU Plastics Directive 2002/72/EC, which applies to all EU member states. The Plastics Directive is a consolidated version of the "Monomers Directive (Commission Directive 90/128/EEC) and its first 7 amendments. This grade of Ingeo™ Biopolymer is also in compliance with "Bedarfgegenstände Gesetz", which is the German implementation of the EU Plastics Directive 2002/72/EC. Substances used in the manufacturing of this product which are not yet regulated by EU Plastics Directive 2002/72/EC, as amended, are in compliance with appropriate EU national regulations. NatureWorks® LLC would like to draw your attention to the fact that the EU-Directive 2002/72/EC, which applies to all EU-Member States, includes a limit of 10 mg/dm² of the overall migration from finished plastic articles into food. In accordance with EU-Directive 2002/72/EC the mi-

Fonte: <http://www.natureworkslc.com/>

Anexo B | Relatório de análise de resistência – Torre biônica 2
 Study name: COSMOSXpress Study Model name: Moldura da teia – torre 2

1. Materials

No.	Body Name	Material	Mass	Volume
1	Moldura – Torre 2 análise	Ingeo Biopolymer 3251D	4.46977 kg	0.00360465 m ³

2. Load & Restraint Information

Restraint

Restraint1 <Moldura – torre 2>	on 5 Face(s) immovable (no translation).
---	---

Load

H tensão <torre 2 análise>	on 68 Face(s) apply force -16.06 N normal to reference plane with respect to selected reference Front Plane using uniform distribution
H carga <torre 2 análise>	on 68 Face(s) apply force -4.5 N normal to reference plane with respect to selected reference Top Plane using uniform distribution
V tensão superior <torre 2 análise>	on 36 Face(s) apply force -4.34 N normal to reference plane with respect to selected reference Top Plane using uniform distribution
V tensão inferior <torre 2 análise>	on 36 Face(s) apply force 4.34 N normal to reference plane with respect to selected reference Top Plane using uniform distribution

3. Study Property

Mesh Information

Mesh Type:	Solid Mesh
Mesher Used:	Standard
Smooth Surface:	On
Jacobian Check:	4 Points
Element Size:	12.269 mm
Tolerance:	0.61343 mm
Quality:	High
Number of elements:	75184
Number of nodes:	152271

Solver Information

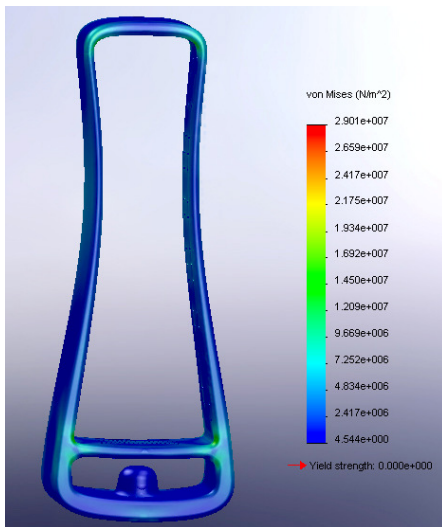
Quality:	High
Solver Type:	Automatic

4. Results

4a. Stress

Name	Type	Min	Location	Max	Location
Plot1	VON: von Mises Stress	4.40408 N/m ²	(93.7631 mm, 9.1359 mm, 312.096 mm)	2.90047e+007N/m ²	(133.582 mm, -61.344 mm, 300 mm)

Torre 2 análise - COSMOSXpressStudy-Stress-Plot1



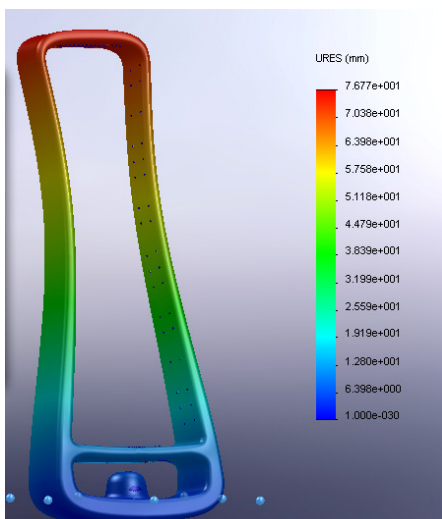
Deformation Scale:

1,68383

4a. Displacement

Name	Type	Min	Location	Max	Location
Plot2	URES: Resultant Displacement	0 mm	(115.045 mm, -46.3416 mm, 300 mm)	76.7751 mm	(290.247 mm, 1211.29 mm, 264.759 mm)

Torre 2 análise-COSMOSXpressStudy-Displacement-Plot2



Deformation Scale:

1,68383

Anexo C | Questionário sobre a utilização de torres de CDs/DVDs

Inquérito sobre a utilização de torres de CDs/DVD's

Sexo: M F Idade: -18 18-20 21-40 41-60 +60

MUDE A COR DA SUA RESPOSTA ESCOLHIDA

1| Com que frequência compra Cds ou Dvs?Nunca *(Se escolheu esta resposta passe para a pergunta N.º3)*

Raramente

Algumas vezes

Frequentemente

2| Onde os guarda?

Numa torre para CDs/DVDs

Numa bolsa

Numa gaveta

Em caixas de arrumação

Outro

3| Com que frequência adquire ficheiros de música ou vídeos através da Internet?Nunca *(Se escolheu esta resposta passe para a pergunta N.º5)*

Raramente

Algumas vezes

Frequentemente

4| Onde guarda a maioria dos ficheiros de música ou vídeos que obtém através da internet?*(Indique uma ou mais opções)*

No computador

Num leitor MP3

Num disco externo

Em CDs/DVDs

Outro

5| Em geral, o que acha do nível de dificuldade de limpeza das caixas dos CDs/DVDs quando estes estão numa torre para CDs/DVDs?

- Nenhuma dificuldade
- Pouca dificuldade
- Alguma dificuldade
- Bastante dificuldade
- É indiferente

6| Entre os seguintes aspectos, escolha 2 que considera mais importantes numa torre de CDs/DVDs?

- Capacidade de arrumação
- Equilíbrio da torre
- Limpeza
- Design
- Durabilidade

7| Que importância visual, na decoração de um espaço, pensa que uma torre para CDs/DVDs tem?

- Nenhuma
- Alguma
- Bastante
- É Indiferente

8| Qual destas duas torres para CDs e DVDs é, na sua opinião, esteticamente mais agradável e apelativa? (Responda a esta questão para as três imagens seguintes)



A

B



A

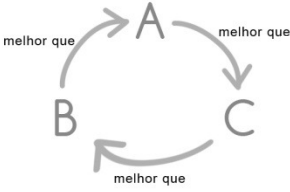
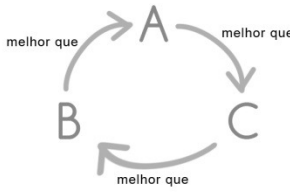
C



B

C

Anexo D | Grelha para verificação de consistência de respostas à questão N.º8 do inquérito sobre a utilização de torres de CDs e DVDs.

Possibilidades de resposta	Classificação
1. (A)B (A)C (B)C	1 ^o A 2 ^o B 3 ^o C
2. (A)B A(C) (B)C	 Respondente incongruente
3. A(B) (A)C (B)C	1 ^o B 2 ^o A 3 ^o C
4. A(B) A(C) (B)C	1 ^o B 2 ^o C 3 ^o A
5. (A)B (A)C B(C)	1 ^o A 2 ^o C 3 ^o B
6. (A)B A(C) B(C)	1 ^o C 2 ^o A 3 ^o B
7. A(B) (A)C B(C)	 Respondente incongruente
8. A(B) A(C) B(C)	1 ^o C 2 ^o B 3 ^o A

Anexo E | Procedimento para calcular W , o coeficiente de concordância de Kendall

Fonte: Siegal e Castellan (1988)

1 – Seja N , o número de entidades a ordenar e k o número de juízes a atribuir a ordenação, colocar as ordenações numa tabela k e N .

2 – Para cada objecto, determine R_i , o somatório de ordenações atribuídas a esse objecto por todos os juízes (k).

3 – Calcule o quadrado das somas (R_i^2).

4 – Não havendo empates, ou sendo a sua proporção pequena, calcule

$$W = \frac{12 \sum R_i^2 - 3k^2 N (N+1)^2}{k^2 N (N^2 - 1)}$$

5 – Para $N \leq 7$, a Tabela T dá valores críticos de W para os valores de significância de $\alpha = 0,05$ e $\alpha = 0,01$.

6 – Se W for maior que o valor encontrado na Tabela, então pode-se concluir que os julgamentos não são independentes uns dos outros. Há concordância.

Anexo F | Tabela das ordenações, N (número de entidades a ordenar) e k (número de juizes a atribuir ordenação), para a questão N.º8 do inquérito realizado.



(A)

(B)

(C)

Respondentes

1	3	2	1
2	3	1	2
3	3	1	2
4	3	1	2
5	1	3	2
6	3	1	2
7	3	1	2
8	3	1	2
9	3	1	2
10	3	2	1
11	2	2	3
12	3	1	2
13	3	2	1
14	3	1	2
15	1	2	3
16	3	1	2
17	3	2	1
18	3	2	1
19	2	1	3
20	3	2	1
21	3	2	1
22	3	1	2
23	3	1	2
24	3	1	2
25	3	1	2
26	3	1	2
27	3	2	1
28	3	1	2
29	3	2	1
30	3	2	1
31	3	2	1
32	1	2	3
33	1	2	3
34	2	3	1
34	3	1	2

35	3	2	1
36	3	2	1
37	3	1	2
38	1	2	3
39	1	2	3
40	1	3	2
41	3	1	2
42	1	3	2
43	3	1	2
44	3	2	1
45	3	2	1
46	3	1	2
47	3	1	2
48	3	1	2
49	3	1	2
50	1	3	2
51	1	3	2
52	3	1	2
53	3	1	2
54	3	1	2
55	3	1	2
56	3	2	1
57	3	2	1
58	3	2	1
59	3	2	1
60	3	1	2
61	3	2	1
62	3	2	1
63	3	1	2
64	3	2	1
65	3	2	1
66	2	1	3
67	3	2	1
68	3	1	2
69	3	1	2
70	3	1	2
71	2	1	3
72	1	2	3
73	1	3	2
74	3	1	2
75	3	2	1
76	1	3	2
77	3	1	2
78	3	2	1
79	3	1	2
80	3	1	2
81	3	2	1
82	3	1	2
Ri	215	131	147
Ri²	46225	17161	21609
Classificação	3º	1º	2º

Anexo H | Tabelas de análise das ordenações médias obtidas para as torres (N = 3) para cada um dos 12 perfis de personalidade estabelecidos, e análise do coeficiente de concordância (W)

Valores de coeficiente de concordância de Kendall

Para N (números de entidades a ordenar) =3 e k (números de opinadores) =8

$\alpha=5\%$ - $W=0,376$

$\alpha=1\%$ - $W=0,522$

Análise 1 | Ordenação das 3 torres para CDs e DVDs para o perfil de personalidade Claro-Escuro (leia-se de claro - 1º lugar - para escuro)



Respondentes	Ordenação			Classificação		
				(A)	(B)	(C)
1	1º B	2º C	3º A	3	1	2
2	1º C	2º B	3º A	3	2	1
3	1º B	2º Empate A, C		2,5	1	2,5
4	1º A	2º C	3º B	1	3	2
5	1º A	2º Empate B, C		1	2,5	2,5
6	1º Empate B, C		3º A	1,5	1,5	3
7	1º B	2º C	3º A	3	1	2
8	1º A	2º B	3º C	1	2	3
			Ri	16	14	18
			Ri ²	256	196	324
		Ordenação média obtida		2º	1º	3º
		Coeficiente de concordância de Kendall		W = 0,0625 Não significativa		

Análise 2 | Ordenação das 3 torres para CDs e DVDs para o perfil de personalidade Simples-Complexo (leia-se de simples - 1º lugar - para complexo)

Respondentes	Ordenação			Classificação			
				A	B	C	
1	1º A	2º C	3º B	1	3	2	
2	1º A	2º B	3º C	1	2	3	
3	1º A	2º B	3º C	1	2	3	
4	1º A	2º C	3º B	1	3	2	
5	1º A	2º Empate B, C		1	2,5	2,5	
6	1º A	2º Empate B, C		1	2,5	2,5	
7	1º A	2º Empate B, C		1	2,5	2,5	
8	1º B	2º A	3º C	2	1	3	
				Ri	9	18,5	20,5
				Ri ²	81	342,25	420,25
				Ordenação média obtida	1º	2º	3º
				Coefficiente de concordância de Kendall	W = 0,590		
					Com significância a 99%		

Análise 3 | Ordenação das 3 torres para CDs e DVDs para o perfil de personalidade Gentil -Violento (leia-se de gentil - 1º lugar - para violento)

Respondentes	Ordenação			Classificação			
				A	B	C	
1	1º B	2º C	3º A	3	1	2	
2	1º C	2º A	3º B	2	3	1	
3	1º B	2º A	3º C	2	1	3	
4	1º A	2º C	3º B	1	3	2	
5	1º Empate B, C		3º A	3	1,5	1,5	
6	1º Empate B, C		3º A	3	1,5	1,5	
7	1º Empate B, C		3º A	3	1,5	1,5	
8	1º Empate B, C		3º A	3	1,5	1,5	
				Ri	20	14	14
				Ri ²	400	196	196
				Ordenação média obtida	3º	1º	
				Coefficiente de concordância de Kendall	W = 0,186		
					Não significante		

Análise 4 | Ordenação das 3 torres para CDs e DVDs para o perfil de personalidade Moderado -Excessivo (leia-se de moderado - 1ºlugar - para excessivo)

Respondentes	Ordenação			Classificação			
				A	B	C	
1	1º B	2º A	3º C	2	1	3	
2	1º A	2º B	3º C	1	2	3	
3	1º B	2º A	3º C	2	1	3	
4	1º A	2º C	3º B	1	3	2	
5	1º A	2º Empate B, C		1	2,5	2,5	
6	1º A	2º Empate B, C		1	2,5	2,5	
7	Empate geral			2	2	2	
8	1º A	2º Empate B, C		1	2,5	2,5	
				Ri	11	16,5	20,5
				Ri ²	121	272,25	420,25
				Ordenação média obtida	1º	2º	3º
				Coeficiente de concordância de Kendall	W = 0,355 Não significativa		

Análise 5 | Ordenação das 3 torres para CDs e DVDs para o perfil de personalidade Liberal -Autoritário (leia-se de liberal - 1ºlugar - para autoritário)

Respondentes	Ordenação			Classificação			
				A	B	C	
1	1º B	2º C	3º A	3	1	2	
2	1º C	2º B	3º A	3	2	1	
3	1º B	2º C	3º A	3	1	2	
4	1º A	2º C	3º B	1	3	2	
5	1º Empate B, C		3º A	3	1,5	1,5	
6	1º Empate B, C		3º A	3	1,5	1,5	
7	1º B	2º C	3º A	3	1	2	
8	1º C	2º B	3º A	3	2	1	
				Ri	22	13	13
				Ri ²	484	169	169
				Ordenação média obtida	3º	1º	
				Coeficiente de concordância de Kendall	W = 0,891 Com significância a 99%		

Análise 6 | Ordenação das 3 torres para CDs e DVDs para o perfil de personalidade Rebelde -Conformista (leia-se de rebelde - 1ºlugar - para conformista)

Respondentes	Ordenação			Classificação			
				A	B	C	
1	1º C	2º B	3º A	3	2	1	
2	1º B	2º C	3º A	3	1	2	
3	1º C	2º B	3º A	3	2	1	
4	1º B	2º C	3º A	3	1	2	
5	1º Empate B, C		3º A	3	1,5	1,5	
6	1º Empate B, C		3º A	3	1,5	1,5	
7	1º C	2º Empate A, B		2,5	2,5	1	
8	1º C	2º B	3º A	3	2	1	
				Ri	23,5	13,5	11
				Ri ²	552,25	182,25	121
				Ordenação média obtida	3º	2º	1º
				Coeficiente de concordância de Kendall			W = 0,684
							Com significância a 99%

Análise 7 | Ordenação das 3 torres para CDs e DVDs para o perfil de personalidade Optimista -Pessimista (leia-se de optimista - 1ºlugar - para pessimista)

Respondentes	Ordenação			Classificação			
				A	B	C	
1	1º C	2º B	3º A	3	2	1	
2	1º C	2º B	3º A	3	2	1	
3	1º B	2º Empate A, C		2,5	1	2,5	
4	1º A	2º C	3º B	1	2	3	
5	1º Empate B, C		3º A	3	1,5	1,5	
6	1º Empate B, C		3º A	3	1,5	1,5	
7	1º B	2º C	3º A	3	1	2	
8	1º Empate B, C		3º A	3	1,5	1,5	
				Ri	21,5	12,5	14
				Ri ²	462,25	156,25	196
				Ordenação média obtida	3º	1º	2º
				Coeficiente de concordância de Kendall			W = 0,363
							Não significativa

Análise 8| Ordenação das 3 torres para CDs e DVDs para o perfil de personalidade Divertido -Sério (leia-se de divertido - 1ºlugar - para sério)

Respondentes	Ordenação			Classificação			
				A	B	C	
1	1º C	2º B	3º A	3	2	1	
2	1º C	2º B	3º A	3	2	1	
3	1º Empate B, C		3º A	3	1,5	1,5	
4	1º C	2º B	3º A	3	2	1	
5	1º Empate B, C		3º A	3	1,5	1,5	
6	1º B	2º C	3º A	3	1	2	
7	1º Empate B, C		3º A	3	1,5	1,5	
8	1º Empate B, C		3º A	3	1,5	1,5	
				Ri	24	13	11
				Ri ²	576	169	121
				Ordenação média obtida	3º	2º	1º
				Coeficiente de concordância de Kendall	W = 0,766 Com significância a 99%		

Análise 9| Ordenação das 3 torres para CDs e DVDs para o perfil de personalidade Simpático - Antipático (leia-se de simpático - 1ºlugar - para antipático)

Respondentes	Ordenação			Classificação			
				A	B	C	
1	1º C	2º B	3º A	3	2	1	
2	1º C	2º B	3º A	3	2	1	
3	1º B	2º C	3º A	3	1	2	
4	1º A	2º C	3º B	1	3	2	
5	1º B	2º C	3º A	3	1	2	
6	1º Empate B, C		3º A	3	1,5	1,5	
7	1º B	2º C	3º A	3	1	2	
8	1º Empate B, C		3º A	3	1,5	1,5	
				Ri	22	13	13
				Ri ²	484	169	169
				Ordenação média obtida	3º	1º	
				Coeficiente de concordância de Kendall	W = 0,422 Com significância a 95%		

Análise 10 | Ordenação das 3 torres para CDs e DVDs para o perfil de personalidade Flexível – Inflexível (leia-se de flexível - 1º lugar - para inflexível)

Respondentes	Ordenação			Classificação			
				A	B	C	
1	1º C	2º B	3º A	3	2	1	
2	1º C	2º B	3º A	3	2	1	
3	1º C	2º B	3º A	3	2	1	
4	1º A	2º C	3º B	1	3	2	
5	1º A	2º Empate B, C		1	2,5	2,5	
6	1º Empate B, C		3º A	3	1,5	1,5	
7	1º C	2º Empate A, B		2,5	2,5	1	
8	1º C	2º B	3º A	3	2	1	
				Ri	19,5	17,5	11
				Ri ²	380,25	306,25	121
				Ordenação média obtida	3º	2º	1º
				Coeficiente de concordância de Kendall			W = 0,309 Não significativa

Análise 11 | Ordenação das 3 torres para CDs e DVDs para o perfil de personalidade Energético – Não energético (leia-se de energético - 1º lugar - para não energético)

Respondentes	Ordenação			Classificação			
				A	B	C	
1	1º C	2º B	3º A	3	2	1	
2	1º C	2º B	3º A	3	2	1	
3	1º Empate B, C		3º A	3	1,5	1,5	
4	1º C	2º B	3º A	3	2	1	
5	1º B	2º C	3º A	3	1	2	
6	1º Empate B, C		3º A	3	1,5	1,5	
7	1º B	2º C	3º A	3	1	2	
8	1º C	2º B	3º A	3	2	1	
				Ri	24	13	11
				Ri ²	576	169	121
				Ordenação média obtida	3º	2º	1º
				Coeficiente de concordância de Kendall			W = 0,766 Com significância a 99%

Análise 12 | Ordenação das 3 torres para CDs e DVDs para o perfil de personalidade Estável – Instável (leia-se de estável - 1º lugar - para instável)

Respondentes	Ordenação			Classificação		
				A	B	C
1	1º Empate A, B	3º C	1,5	1,5	3	
2	1º B	2º C	3º A	3	1	2
3	1º Empate A, B	3º C	1,5	1,5	3	
4	1º A	2º C	3º B	1	3	2
5	Empate geral			2	2	2
6	Empate geral			2	2	2
7	1º B	2º C	3º A	3	1	2
8	1º A	2º Empate B, C		1	2,5	2,5
			Ri	15	14,5	18,5
			Ri ²	225	210,25	342,25
			Ordenação média obtida	2º	1º	3º
			Coeficiente de concordância de Kendall	W = 0,074 Não significativa		

Anexo I | Relatório de análise de resistência e teste de esforços à estrutura do veículo a pedais biônico desenvolvido

Study name: COSMOSXpress Study Model name: Estrutura de veículo a pedais biônico

1. Materials

No.	Body Name	Material	Mass	Volume
1	Estrutura do veículo	Ingeo Biopolymer 3251D	10.5323 kg	0.00849381 m ³

2. Load & Restraint Information

Restraint

Restraint1 <Estrutura>	on 6 Face(s) immovable (no translation).
-------------------------------------	---

Load

Load1 <Estrutura>	on 1 Face(s) apply force 184 N normal to reference plane with respect to selected reference Front Plane using uniform distribution
Load2 <Estrutura>	on 1 Face(s) apply force 184 N normal to reference plane with respect to selected reference Top Plane using uniform distribution
Load3 superior <Estrutura>	on 1 Face(s) apply force 341 N normal to reference plane with respect to selected reference Top Plane using uniform distribution
Load4 <Estrutura>	on 1 Face(s) apply force 341 N normal to reference plane with respect to selected reference Top Plane using uniform distribution

3. Study Property

Mesh Information

Mesh Type:	Solid Mesh
Mesher Used:	Standard
Smooth Surface:	On
Jacobian Check:	4 Points
Element Size:	1.6325 cm
Tolerance:	0.081626 cm
Quality:	High
Number of elements:	45193
Number of nodes:	80048

Solver Information

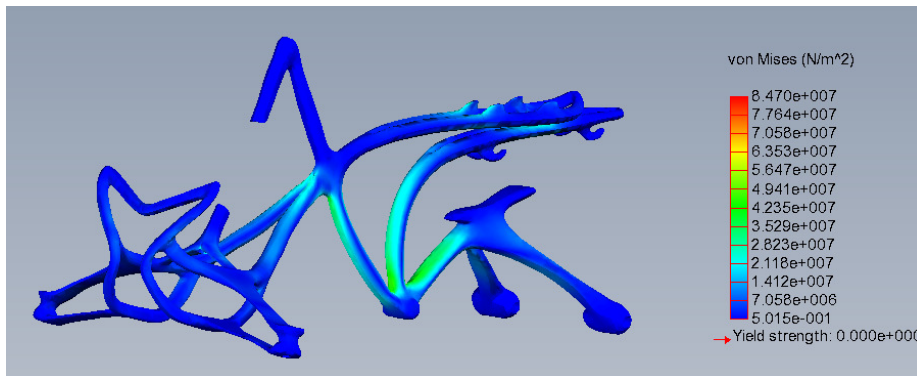
Quality:	High
Solver Type:	Automatic

4. Results

4a. Stress

Name	Type	Min	Location	Max	Location
Plot1	VON: von Mises Stress	0.501461N/m ²	(-23.3817 cm, 0.794405 cm, 47.0697 cm)	8.4701+007 N/m ²	(19.5467 cm, 1.81808 cm, 0.974484 cm)

Estrutura - COSMOSXpressStudy-Stress-Plot1



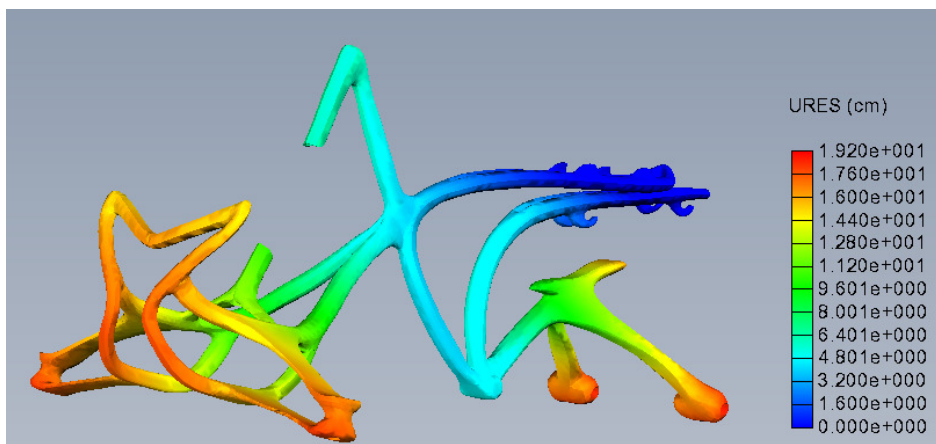
Deformation Scale:

0,789871

4a. Displacement

Name	Type	Min	Location	Max	Location
Plot2	URES: Resultant Displacement	0 mm	(37.8641 cm, 3.41644 cm, 42.6316 cm)	19.202 mm	(65.3544 mm, 15.6494 mm, -15.9111 mm)

Torre 2 analise-COSMOSXpressStudy-Displacement-Plot2



Deformation Scale:

0,789871

Anexo J | Relatório de análise de resistência e teste de esforços à estrutura do veículo a pedais biônico desenvolvido - 2ª Iteração

Study name: COSMOSXpress Study Model name: Estrutura de veículo a pedais biônico (2)

1. Materials

No.	Body Name	Material	Mass	Volume
1	Estrutura do veículo(2)	Ingeo Biopolymer 3251D	10.5323 kg	0.00852545 m ³

2. Load & Restraint Information

Restraint

Restraint1 <Estrutura (2)>	on 6 Face(s) immovable (no translation).
---	---

Load

Load1 <Estrutura (2)>	on 1 Face(s) apply force 184 N normal to reference plane with respect to selected reference Front Plane using uniform distribution
Load2 <Estrutura (2)>	on 1 Face(s) apply force 184 N normal to reference plane with respect to selected reference Top Plane using uniform distribution
Load3 superior <Estrutura (2)>	on 1 Face(s) apply force 341 N normal to reference plane with respect to selected reference Top Plane using uniform distribution
Load4 <Estrutura (2)>	on 1 Face(s) apply force 341 N normal to reference plane with respect to selected reference Top Plane using uniform distribution

3. Study Property

Mesh Information

Mesh Type:	Solid Mesh
Mesher Used:	Standard
Smooth Surface:	On
Jacobian Check:	4 Points
Element Size:	1.6325 cm
Tolerance:	0.081626 cm
Quality:	High
Number of elements:	45193
Number of nodes:	80048

Solver Information

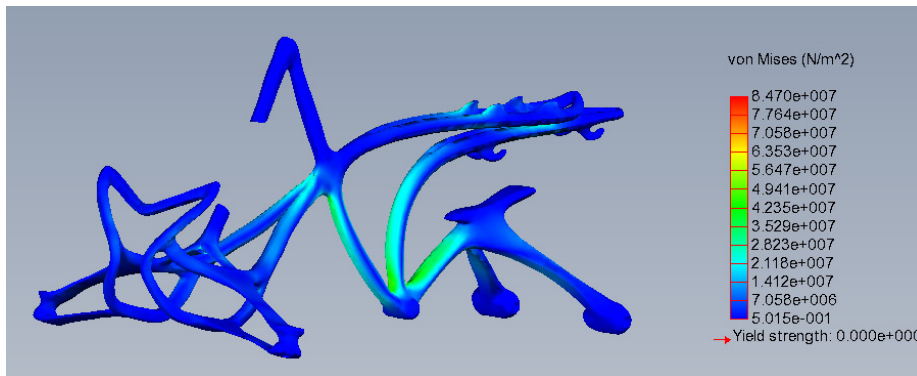
Quality:	High
Solver Type:	Automatic

4. Results

4a. Stress

Name	Type	Min	Location	Max	Location
Plot1	VON: von Mises Stress	0.192477 N/m ²	(-22.7805 cm, 0.779082 cm, 47.0518 cm)	4.49177+007 N/m ²	(18.874 cm, -0.270775 cm, 5.33341 cm)

Estrutura - COSMOSXpressStudy-Stress-Plot1

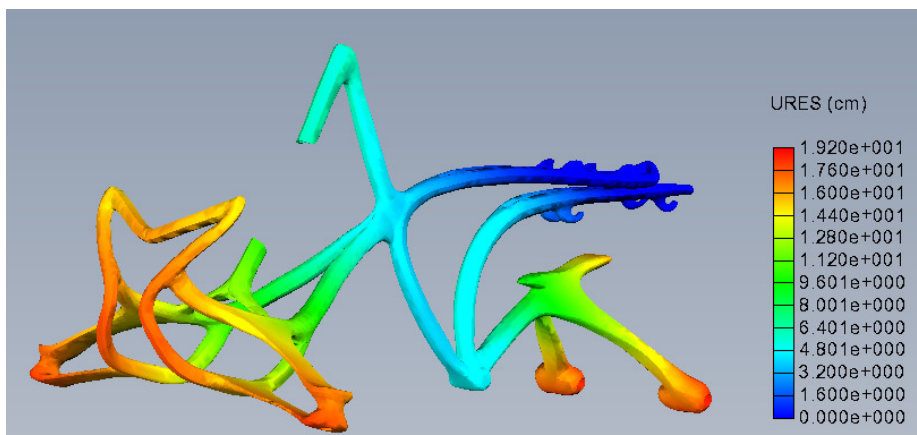


Deformation Scale:
0,990229

4a. Displacement

Name	Type	Min	Location	Max	Location
Plot2	URES: Resultant Displacement	0 mm	(37.8641 cm, 3.41644 cm, 42.6316 cm)	19.202 mm	(-50.6825 cm, 33.7354 cm, -18.9648 cm)

Torre 2 analise-COSMOSXpressStudy-Displacement-Plot



Deformation Scale:
0,990229

Artigo I

A comparative analysis of five bionic design methods

Carlos A. M. Versos and Denis A. Coelho

Submitted to International Journal of Design Engineering

Title:

A comparative analysis of five bionic design methods

Authors:

Carlos A. M. Versos

Denis A. Coelho*

Institutional Address:

Technological Industrial Design Studies

Dept. of Electromechanical Engineering

Universidade da Beira Interior

6201-001 Covilhã, Portugal

* corresponding author: denis@ubi.pt

Abstract:

Having received growing attention in recent years, despite having been a source of inspiration for as long as design exists, design inspired by nature, or bionic design, is getting to the forefront of the search for environmental sustainability. A number of design methods, intended especially to guide industrial designers in carrying out the development of biologically inspired design, have been proposed. The paper establishes a comparative analysis between five methods, retrieved from literature. The methods are presented in similar depth, and the parameters of analysis are also described. The analysis is based on the scrutiny of the five methods, in relation to the support given towards the attainment of four goals, considered of paramount importance, and which are present in typical design projects, albeit translated into a number of requirements, specific to the problem at hand. The comparative analysis is intended to support designers in the process of selecting a design method that is adequate to

the problem at hand. The analysis also identifies goals where the methods considered offer no or reduced support for their attainment, hence identifying the need for novel methodological proposals. As a conclusion, the requirement to integrate validation activities in the bionic design processes is emphasized.

Keywords: industrial design, design methodology, design goals, design inspired by nature

1. Introduction

Design inspired by nature, bionic design, biomimetism, or biomimicry, despite having been a source of inspiration for design activities for a long time, have recently, under pressure from sustainability concerns, gained a role as part of a standard set of approaches to deal with design problems. Nature provides an important model to find solutions to the ecological crisis. The aim of this paper is to establish a comparison among a set of design methods, meant to guide industrial designers in carrying out activities leading to bionic design. The results of literature review are presented, with emphasis drawn on existing documented approaches to design inspired by nature, and the presentation of the methods, on which a comparative analysis is established. The parameters for the comparative analysis are set out, based on four general goals that are considered applicable to design problems, within the realm of industrial design. The presentation and explanation of the comparisons is followed by a discussion on their implications for theory and practice. The paper concludes with a summary of the findings attained and a presentation of the issues unveiled that warrant future inquiry.

2. Bionic Design

The term bionic system, or bio-inspired systems, generally has two usual interpretations, concerning different application domains. The popular interpretation, based frequently on science fiction, is associated to more or less fantastic super-powers, to cybernetics and to robotic creations or additions to organisms. In this line of thought, bionics is presented as a science uniting biology and mechanics, producing devices that capacitate human beings with enhanced powers, whether to compensate for innate or acquired physical limitations, or for mere enhancement. Besides this interpretation, the term bionics is associated with the original meaning of biomimeticism (*bios* – life, *mimesis* – imitation). According to Benyus (1997), biomimeticism is a way to see and value nature, representing a novel mindset based not on what can be extracted from the natural world, but what can be learnt from it. This interpretation is the one of concern in this contribution. In this view, the main purpose of bionics is to carry out a benchmark of nature, of what it created, tested and has evolved over millions of years, in order to improve what man creates artificially. In the following sub-sections, the origins and evolution of bionics are summarily reviewed, while recalling a few well known examples of bionic design solutions. Arguing for the growing importance of design inspired by nature for industrial designers, the section ends with the presentation of five bionic design methods that will come under scrutiny in the remaining sections of the paper.

2.1. Origins and evolution of bionics

Although the terminology of this area of design is relatively recent – appearing for the first time in the U.S.A. in 1958, by the hand of Jack E. Steele (Lloyd, 2008) – the practice, creation and inspiration through learning about nature comes from the most remote and pre-historic times. Primitive human beings used bone harpoons, that were serrated on their edges, to improve their piercing ability. This feature was likely inspired by animal teeth.

Leonardo da Vinci was probably the first systematic student of the possibilities of bionics (Lage and Dias, 2003). From the classical times of the Icarus legend, to the drawings of Leonardo da Vinci, man's dream to fly originated in the observation of bird and insect flight. Leonardo da Vinci realized that the human arms were too weak to flap wings for a long time, and hence developed several sketches of machines he called ornithopters (Kindersley, 1995). Human flight would only be possible in the XXth century, with the aid of the internal combustion engine and the propeller, but the inspiration from nature is anyway at its onset.

One of the most disseminated examples of bionic design is Velcro, invented in 1948, by Swiss engineer George de Mestral, from inspiration he got while observing thistles and the way they got caught in his dog's tail and adhered to clothes. In current times, designers Luigi Colani and Ross Lovegrove have been instrumental in portraying the use of bionics in their creations. Colani became notorious by the use of biodynamic forms in products such as automobiles and airplanes, during the second half of the XXth century (Pernodet and Mehly, 2000). Lovegrove's designs typically demonstrate a link between organic shapes and material science (Lovegrove, 2004). While a bionic approach to design may not represent a universal tool that is applicable to any problem, it may provide support to design activities (Colombo, 2007). A set of five bionic approaches to

design, documented in literature, are presented in the following subsection.

2.2 Bionic design methods

The goal of bionic design methods consists in offering designers an organized process in order to attain a model that may be applied in design, inspired by the relations between form and function in nature (Colombo, 2007). Despite the success attained in several cases from the use of this approach in design, the bionic design approach may still have room for improvement, in order to become more systematic. Five existing methods have been collected from literature and are presented in Tables 1 to 5.

Table 1. The Aalborg bionic design method (Colombo, 2007).

Phase	Description
1. Analysis	Choice and analysis of a natural system. The purpose of this phase is to understand the form, structure and functional principles of the natural system.
2. Transformation	Extrapolation of mathematical, geometrical and statistical principles through a process of abstraction and simplification. Transformation, by the analysis of the analogy, of the characteristics of the biological system into technical and mechanical terms.
3. Implementation	Implement the principles of the relationship between form and structure found in the natural system analysis, for the development of new products.
4. Product development	Development and evaluation of a new product taking

	the environmental and economic factors for all life stages of the product into account.
--	---

The design method presented in Table 1 emphasizes the importance of environmental and economical sustainability factors in the development and evaluation of the project by the designer. This method shows little support for organization problems. The method presented in Table 2 provides a detailed description of the procedures involved in natural sample collection and analysis. It also prescribes completely listing the working principles of the natural system. However, this method does not include any procedures concerning the design transfer of the features found in the natural samples.

Table 2. The Biomimetism design method (Junior et al., 2002).

Phase	Description
1. Identification of need	Identification of an unmet need in a satisfactory manner and that allows the satisfaction of a particular problem and accurately, for subsequent analysis of the environment in search of potential solutions.
2. Selection and sampling	Practical process step involving the selection of samples in nature that fit the problem and the need at hand. Involves the search for samples in nature and some knowledge about the habitat of the samples to be collected and of the equipment to be used for the collection.
3. Observation of the sample	Observation and analysis of the components of the morphological structure, functions and processes, of the distributions in time and space and of the relationship

A comparative analysis of five bionic design methods

	with the environment. Classification of the sample.
4. Analogy of the natural system with the product	Through the information of functional analysis, morphology and structure, the designer has the capacity to start considering the possibility and feasibility of application of an analogy between the sample studied and the product to design.
5. Design implementation	Considering the feasibility of application of the sample characteristics to the design and from the functional, formal and structural analysis, as well as the needs and requirements of the proposed product, an analysis of the system is held at this stage.

Table 3. The spiral design method (Biomimicry Institute, 2007).

Phase	Description
1. Identify	Development of the Design Brief for a human need with the details and specifications of the problem to be solved.
2. Interpret	Biological view of the problem. Questioning the Design Brief from the perspective of nature. Translation of the functions of the project into tasks performed in nature.
3. Discover	Find the best natural models to answer / address the challenges posed.
4. Abstract	Select the "champions" with the strategies most relevant to a particular challenge of the project.
5. Emulate	Developing ideas and solutions based on natural models to mimic aspects of form, function and of the ecosystem as much as possible.
6. Evaluate	Evaluate the design solution considering the principles of life. Identify ways to improve the design and bring

	forward questions to explore issues such as those related to packaging, marketing, transportation, new products, additions and refinements.
7. Identify	Develop and refine design briefs based on lessons learned from evaluation of life's principles.

The design method presented in Table 3 gives emphasis to the product life cycle, by giving consideration to issues such as manufacturing processes, packaging and recycling of the product in development. In this method, iterations are implicit, and evaluation of the result of every step is also recommended.

Table 4. Bio-inspired design method (Helms et al., 2009).

Phase	Description
1. Problem definition	Selection of a problem to solve and performing further definition of it through functional decomposition and optimization.
2. Reframe the problem	Redefining the problem using broadly applicable biological terms. Asking the question: "How do biological solutions perform this function?"
3. Biological solution search	Find solutions that are relevant to the biological problem with techniques such as changing constraints, analysis of natural champions of adaptation, variation within a family of solutions and multi-functionality.
4. Define the biological solution	Identify the structures and surface mechanisms of the biological system related to the recast function.
5. Principle	Extraction of the important principles of the solution in

A comparative analysis of five bionic design methods

extraction	the form of a neutral solution, requiring a description that removes, as much as possible, the various structural and environmental constraints.
6. Principle application	Translation of the bionic solution principle extracted into a new area, involving an interpretation of a domain space (e.g., biology) to another (e.g., mechanics) by introducing new constraints.

For the method presented in Table 4, the process of problem definition and searching for biological solutions is supported by elucidative techniques, suggestions and practical examples. The method presented in Table 5 supports an iterative formulation of the bionic design principle.

Table 5. Bio-solution in search of a problem method (adapted from Helms et al., 2009).

Phase	Description
1. Biological identification solution	From the observation of natural phenomena on a macro scale and / or a micro level, a potential solution to apply is sought to transfer to a human problem.
2. Define the biological solution	The components or systems involved in the phenomenon in question are identified in order to outline the biological solution in functional notation.
3. Principle extraction	From the analysis of the biological solution in schematic notation, the fundamental principle of the solution is extracted.
4. Reframe the solution	In this case, reframing forces designers to think in terms of how humans might view the usefulness of the biological function being achieved.

5. Problem search	Whereas search in the biological domain includes search through some finite space of documented biological solutions, the search problem may include defining entirely new problems (this is much different than the solution search step in the problem-driven processes).
6. Problem definition	By analogy with the definition of the solution in schematic / functional notation, the problem is outlined similarly. The aim is thus to establish a clear parallel between the systems and components of the biological solution and the problem where a solution inspired by nature is to be applied.
7. Principle application	Once the solution principle is established, it is transformed into a working principle of the technological concept that is needed. This activity will culminate in the embodiment of a bio-inspired solution of a technological product or system.

The application of bionic principles in a design project can be accomplished through according to two opposing directions: find a solution to a problem in nature, or looking for a problem to which a solution was found in nature. The former approach starts with the identification of a problem (human applications, such as developing or improving products or services) or the need of a project, followed by looking for inspiration from nature or an analogy to foster a solution to the problem (a bionic solution proposal). This approach is well suited to designers seeking inspiration for the development of a particular product. The other approach is based on the observation of nature and its structures in order to collect useful information (bionic inspiration based solution) for human applications (design problems to be sought).

3. General goals considered for bionic design

Four general goals are proposed that may encompass many of the requirements pertaining to design projects for which inspiration in nature is sought. Form optimization, organization effectiveness, multiple requirements satisfaction and paradigm innovation for improved functional performance are the goals in question, and that are used as a basis for the comparative analysis presented in the following section. The analysis is based on the scrutiny of the five methods presented in the previous section, in relation to the support given towards the attainment of the four goals. These are considered of paramount importance, because they are typically present in design projects, albeit translated into a number of requirements, specific to the problem at hand.

3.1. Form optimization

Optimizing the shape of an object or structure can result directly from the balanced satisfaction (with concessions on both sides - trade-offs) of several key requirements, such as the reduction of material and, or, weight, or size or the attainment of greater stability, resistance or reduced drag, depending on the targeted objectives. It is not always possible to achieve an optimal configuration, with maximization of all properties due to inherent conflicts that they sometimes impart (e.g. contradiction between low weight and high strength or high volume or stability). Thus, optimization requires that the configuration reached is the one that best addresses the contradictions and conflicts between the desired properties.

3.2. Organization effectiveness

The effectiveness of organization depends on the coordination of multiple structures (which also includes communication) for the performance of activities with the need of differentiation. The coordination of multiple entities in joint activity may lead to more effective results than the performance of the activity separately by each entity, such as that “the whole is greater than the sum of its parts”. An example of excellent coordination and effectiveness of the resulting organization can be inferred from observation of the natural system comprised of a pack of wolves. The group can hunt animals larger than the wolf, while a lone wolf may only hunt smaller animals or of a scale similar to his. The organization of the roles of each element within the pack is a pre-condition for achieving this result.

3.3. Multiple requirements satisfaction

Nature is rife with effective solutions in order to enable, in a limited space, a system to perform various tasks or fulfil several functions. Compliance with multiple requirements reflects the achievement of several key points that are inherent to the problem at hand, aiming for viability and profitability of a small number of structures and elements that are to be used in performing more than one function. This simultaneous satisfaction opens the way for consideration of new objectives to add value and profitability to the designed product or system. Compliance with various targets, carried out by a limited set of features, structures or entities implies streamlining for functional efficiency, which will result in resource savings.

3.4. Paradigm innovation for improved functional performance

Another goal is to achieve change in the conventional paradigm used to implement a feature, replacing it with an innovative paradigm proposed

A comparative analysis of five bionic design methods

based on the observation of structures, behaviours and / or processes of nature that enable improved performance of the facility. The features can be characterized by transformation of physical state, state association or state hierarchy, to name a few.

4. Results

Considering the four goals presented in the previous section, the five methods presented in the second section were subjectively analysed in terms of the support offered to the designers making use of them towards the attainment of each goal. In what concerns the effectiveness of organization, a method oriented from the solution to the problem (Aalborg) is considered applicable to support the attainment of this goal, demonstrating that there are a few gaps remaining in order to lead to the full satisfaction of this goal. None of the problem-oriented methods analyzed is considered fully adequate to achieve this goal.

With regard to satisfying multiple requirements, methods oriented from the solution to the problem show, from the analysis, gaps in support to achieve this goal. The methods providing guidance in implementing bionic projects in the contrary direction of analysis, are very heterogeneous.

While the method of bio-mimicry offers no support for the pursuit of this goal, in the opposite extreme, with considerable support, is the method of bio-inspired design.

When considering the goal of form optimization, one is faced with a relatively homogeneous landscape, with the methods only offering partial support to attain this goal. The exception of the method of spiral design is highlighted, as it is considered significantly applicable in order to achieve this purpose (this method provides guidance in following the direction from problem to solution).

In what concerns the innovation of paradigm for improved functional performance, all analyzed methods provide satisfactory guidelines which can support the achievement of this purpose. This demonstrates that the primary approach that has been recommended for bionic design centres on the functionality. Moreover, except for individual cases, the remaining goals have been given a minor importance. Although the Aalborg and biomimicry method ratings were similar (except for organizational effectiveness), the steps of the latter are more detailed than the ones of the former, and there is a descriptive complementarity between both. The results of the overall analysis are presented in Table 6.

Table 6. Subjective analysis of support provided by selected bionic design methods in attaining four fundamental design goals.

Direction of analysis	Bionic design method	Goal sought			
		Form optimization	Multiple requirements satisfaction	Paradigm innovation for improved functional performance	Organization effectiveness
From solution to problem	Aalborg (Colombo, 2007)	Applicable with shortcomings	Applicable with shortcomings	Applicable	Applicable
	Bio-solution seeks problem	Applicable with shortcomings	Applicable with shortcomings	Applicable	Not applicable
From problem to solution	Spiral design (Biomimicry Institute, 2007)	Applicable	Applicable with shortcomings	Applicable	Applicable with shortcomings
	Bio-inspired design (Helms et al., 2009)	Applicable with shortcomings	Applicable	Applicable	Not applicable
	Bio-mimicry (Junior et al., 2002)	Applicable with shortcomings	Not applicable	Applicable	Applicable with shortcomings

4.1. Results for the Aalborg bionic design method

In the Aalborg method, which provides guidance in the direction from the solution to the problem, the degree of applicability to the goals of form optimization and satisfaction of multiple conditions, was assigned as "Applicable with shortcomings". For the first goal, despite the focus on form, there is no effort to optimize. Secondly, because shape, structure and functional principles are considered in this method the, implementation of multiple principles of form and structure may result from the analysis but is not explicitly considered. For the goals of innovation of paradigm for improved performance of functions and for effectiveness of organization, this method is deemed applicable.

4.2. Results for the design method of bio-solution in search of a problem

For the bio-solution in search of a problem method, which is directed from the solution to the problem, as this method focuses on extracting and implementing the solution principle form nature, both the aspects of optimizing the shape and satisfying multiple requirements, are bound to be sidelined at the expense of the functional principle. The evaluation of this method and the previous one only differ significantly on the applicability to provide support to the pursuance of the goal of organizational effectiveness, because in this method there is no focus on the organizational structure of the biological system centred upon. The method is deemed applicable to support attaining the goal of paradigm innovation for increased functional performance.

4.3. Results for the spiral design method

Following an orientation analysis from a given problem to its solution, the spiral design method, was granted the degree of "Applicable with

shortcomings” to the goal of satisfying multiple requirements. In this method, the process is initiated starting from a human need, and as such, satisfaction of multiple requirements may take place according to their explanation in the initial specification, if natural models demonstrating the reunion of the functions and / or qualities sought are sought. However, the method does not explicitly consider a way to guide the quest to satisfy multiple requirements. The goal of organizational effectiveness receives the same evaluation, as the aspect of organization is not considered directly in this method, but it is only implicit in the consideration of the analysis of ecosystems and natural social conditions. For the other goals at hand, this method proves to be applicable to support their attainment if the target is form optimization (especially given the nature of this iterative method, which favours systematic optimization) or innovation paradigm with regard to performance features.

4.4. Results for the bio-inspired design method

The bio-inspired design method follows the same line of analysis as the previously analysed method (from the problem to the solution), with gaps in support to designers if the goal is to achieve optimal form, as in this method, the focus is on function. In some design processes supported by the procedures inherent to this method, the search for a biologically inspired solution to perform a function could lead to considerations of form. However, the method does not provide procedures for optimization and does not explicitly consider form. The method is also applicable in a satisfactory manner to problems where the targeted goal is paradigm innovation for improved functional performance, or to satisfy multiple requirements. However, it is not applicable to support the pursuance of the goal of effectiveness of organization.

4.5. Results for the bio-mimicry design method

The design method named bio-mimicry follows the directional line of the two previous methods (from the problem to the solution). After examining the applicability of the method to provide support to the attainment of the goals at hand, it is only deemed "applicable with shortcomings" with regard to the goals of optimizing form and improving effectiveness of organization. For the first goal, this assessment is due to the absence of iteration in order to pursue optimization (morphology is what is suggested in the method that may provide limited support for the pursuance of this goal). For the second goal, the assessment takes into account that the method supports no direct account of the organizational aspects, but only does that indirectly through the structural analysis. Thus, this objective can only be satisfied in some cases by the use of the method, by means of which structural analysis can be the basis to establish organizational analogies. The evaluation also results in suggesting the applicability of the method to support the pursuance of the goal of paradigm innovation for increased functional performance, and on the other hand, enables suggesting its non-applicability if the goal is to achieve satisfaction of multiple requirements.

5. Discussion

The comparative analysis presented in the previous section is intended to support designers in the process of selecting a bionic design method that is adequate to the problem at hand. The analysis identifies goals where the methods considered offer no support, or only reduced support, for their pursuance and attainment, hence leading to identifying the need for novel methodological proposals. The need to integrate validation activities in the

bionic design processes is emphasized, as only a few of the methods (the spiral design and Aalborg design methods) entail some evaluation and iteration. The development and testing of improved methods, providing broad support to pursuing a large scope of design goals, and considering both directions of analysis (possibly with the possibility of interchanging within the method) and with support for validation of the quality of results attained, is hence a challenge for future conceptual and practical research.

6. Conclusions

Taking an industrial design perspective, the comparative analysis presented suggests that current methods to support bionic design, reported in literature, despite supporting specific goal attainment, are not effective across the whole spectrum of typical design goals. All the methods surveyed provide adequate support to the search for paradigm innovation, but form optimization, organization effectiveness and multiple requirement satisfaction are only adequately supported by some of the methods, albeit without any case of adequate support to all four goals found. The Aalborg method (Colombo, 2007) is deemed to adequately support attaining organization effectiveness, while the spiral design method (Biomimicry Institute, 2007) is deemed to adequately support attaining form optimization. Finally, the bio-inspired design method (Helms et al., 2009) is deemed applicable for problems seeking multiple requirements satisfaction, especially where trade-offs have to be established. Moreover, little support is given in the methods towards validation activities, concerning the attainment of the goals set for the design. The development and testing of more fully supportive

A comparative analysis of five bionic design methods

methodologies, which encompass validating actions, is hence sought in future research.

References

- Benyus, J. (1997) 'Biomimicry - Innovation Inspired by Nature', New York: Harper Perennial
- Biomimicry Institute. (2007) Biomimicry Institute - Board. URL: <http://www.biomimicryinstitute.org/about-us/board.html> (accessed December 29th, 2009).
- Colombo, B. (2007). 'Biomimetic design for new technological developments' in Salmi, E., Stebbing, P., Burden G., Anusionwu, L. (Eds) Cumulus Working Papers, Helsinki, Finland: University of Art and Design Helsinki, pp. 29-36.
- Helms, M., Vattam, S.S., Goel, A. (2009) 'Biologically inspired design: process and products', Design Studies, Vol. 30, No. -, pp. 606-622.
- Junior, W., Guanabara, A., Silva, E., Platcheck, E. (2002) 'Proposta de uma Metodologia para o Desenvolvimento de Produtos Baseados no Estudo da Biónica', Brasília: P&D - Pesquisa e Design.
- Kindersley, D. (1995) 'Máquinas Voadoras', Lisboa: Editorial Verbo.
- Lage, A., Dias, S. (2003) 'Desígnio - Teoria do design', parte 2, Porto: Porto Editora.
- Lloyd, E. (2008) The History of Bionics. URL: <http://www.brighthub.com/science/medical/articles/9070.aspx> (accessed January 10th, 2010)
- Lovegrove, R. (2004) Supernatural : the work of Ross Lovegrove, New York, NY : Phaidon.
- Pernodet, P., Mehly, B. (2000) Luigi Colani – Biography, Paris: Dis Voir.

Artigo II

Validation of industrial design engineering concepts inspired
by nature

Carlos A. M. Versos and Denis A. Coelho

Submitted to Journal of Engineering Design

Validation of industrial design engineering concepts inspired by nature

Carlos A. M. Versos and Denis A. Coelho

Tecnological Industrial Design Studies; Department of Electromechanical Engineering, University of Beira Interior, Covilhã, Portugal

DEM-UBI, Calçada Fonte do Lameiro, 6201-001 Covilhã, Portugal;
email: denis@ubi.pt

(Received 20 July 2005; final version received 17 August 2006)

Various systematic approaches to generation of bionic design concepts, following an analytical direction that involves seeking inspiration in nature to solve a given problem, have been proposed. Three such methods were analysed considering their perceived ability to support the attainment of five design goals. The latter were deemed representative of the high level aims sought by those using bionic approaches to design, even if not every single goal considered is necessarily sought in every project. A major shortcoming that was found, concerning the methods scrutinized, is that these hardly prescribe any verification procedures regarding the level of attainment of the goals sought. Hence, in order to support the use of those methods, within systematic approaches to design, a validation itinerary is proposed, encompassing the five goals identified for bionic design. The paper also presents the deployment of the validation process proposed within a design case, consisting of a novel CD shelf, which is inspired on the spider-web.

Keywords: design goals, design methodology, bionic design, systematic approach to design

1. Introduction

The present day's urgency in achieving environmental sustainability has promoted renewed interest on gathering inspiration from nature in order to create novel design concepts. Design endeavours in several technical disciplines may lead to groundbreaking new concepts when natural systems are considered as a source of inspiration. The focus of this paper is on joining a bionic approach to the creation of industrial design engineering concepts with a systematic approach to design. The conduction of industrial design engineering projects is inherently structured and supported by methods set forth in the systematic design literature (e.g. Hales 1991, Hubka and Eder 1992, Roozenburg and Eekels 1995, Pahl and Beitz 1996, or Ulrich and Eppinger 2004). Hence, in order to be useful and of practical value to the generation of

industrial design engineering concepts, bionic design methods should be able to fit into design endeavours that follow a systematic approach to design.

The main purpose of bionics is to carry out a benchmark of nature, of what it created, tested and has evolved over millions of years, in order to improve what man creates artificially (Benyus 1997). Three bionic design methods, following an analytical direction that involves seeking inspiration in nature to solve a given problem, were retrieved from literature and are summarily presented. These methods are analysed in this paper with regard to their perceived capacity to support the attainment of the five chosen high level design aims. These aims were selected considering their high degree of perceived relevance to industrial design engineering problems. A critique of the bionic design methods retrieved is laid out, informed by comparison between the methods regarding their ability to support the attainment of the goals. To this follows the proposal of a validation approach. This approach is intended to enable the evaluation of outcomes attained with the use of bionic design methods, offering methodological support to designers in order to pursue the validation of bionic concepts generated by them. A specific design case is presented with the purpose of exemplifying the application of the validation steps proposed. The requirements initially considered for the development of the product functionality considered in the case are presented and a solution that is proposed to fulfil these requirements, generated using a bionic approach, is evaluated, according to the validation approach presented.

2. Existing methods to support the generation of bionic design concepts for the solution of a given problem

Three existing methods to support the generation of bionic design concepts for the solution of a given problem, retrieved from literature, were analyzed, and are presented in Table 1 through Table 3. These share a common direction of analysis, which departs from a given problem and seeks the proposal of solutions by gathering insight and inspiration from natural systems. This approach begins with the identification of a problem or the needs of a project, which is followed by looking for inspiration from nature or seeking an analogy with a natural solution to foster the emergence of a solution to the problem (a bionic solution proposal).

The method presented in Table 1 provides a detailed description of the procedures involved in natural sample collection and analysis. It also prescribes completely listing the working principles of the natural system. However, this method does not include any procedures concerning the design transfer of the features found in the natural samples. The design method presented in Table 2 gives emphasis to the product life cycle, by giving consideration to issues such as manufacturing processes, packaging and recycling of the product in development. In this method, iterations are implicit, and evaluation of the result of every step is also recommended. Finally, for the method presented in Table 3, the process of problem definition and searching for biological solutions is supported by a set of techniques that foster elicitation.

Table 1. The Bio-mimicry design method (Junior et al., 2002).

Phase	Description
1. Identification of need	Identification of an unmet need in a satisfactory manner and that allows the satisfaction of a particular problem and accurately, for subsequent analysis of the environment in search of potential solutions.
2. Selection and sampling	Practical process step involving the selection of samples in nature that fit the problem and the need at hand. Involves the search for samples in nature and some knowledge about the habitat of the samples to be collected and of the equipment to be used for the collection.
3. Observation of the sample	Observation and analysis of the components of the morphological structure, functions and processes, of the distributions in time and space and of the relationship with the environment. Classification of the sample.
4. Analogy of the	Through the information of functional analysis, morphology and structure, the

natural system with the product	designer has the capacity to start considering the possibility and feasibility of application of an analogy between the sample studied and the product to design.
5. Design implementation	Considering the feasibility of application of the sample characteristics to the design and from the functional, formal and structural analysis, as well as the needs and requirements of the proposed product, an analysis of the system is held at this stage.

Table 2. The spiral design method (Biomimicry Institute, 2007).

Phase	Description
1. Identify	Development of the Design Brief for a human need with the details and specifications of the problem to be solved.
2. Interpret	Biological view of the problem. Questioning the Design Brief from the perspective of nature. Translation of the functions of the project into tasks performed in nature.
3. Discover	Find the best natural models to answer / address the challenges posed.
4. Abstract	Select the "champions" with the strategies most relevant to a particular challenge of the project.
5. Emulate	Developing ideas and solutions based on natural models to mimic aspects of form, function and of the ecosystem as much as possible.
6. Evaluate	Evaluate the design solution considering the principles of life. Identify ways to improve the design and bring forward questions to explore issues such as those related to packaging, marketing, transportation, new products, additions and refinements.
7. Identify	Develop and refine design briefs based on lessons learned from evaluation of life's principles.

Table 3. Bio-inspired design method (Helms et al., 2009).

Phase	Description
1. Problem definition	Selection of a problem to solve and performing further definition of it through functional decomposition and optimization.
2. Reframe the problem	Redefining the problem using broadly applicable biological terms. Asking the question: "How do biological solutions perform this function?"
3. Biological solution search	Find solutions that are relevant to the biological problem with techniques such as changing constraints, analysis of natural champions of adaptation, variation within a family of solutions and multi-functionality.
4. Define the biological solution	Identify the structures and surface mechanisms of the biological system related to the recast function.
5. Principle extraction	Extraction of the important principles of the solution in the form of a neutral solution, requiring a description that removes, as much as possible, the various structural and environmental constraints.
6. Principle application	Translation of the bionic solution principle extracted into a new area, involving an interpretation of a domain space (e.g., biology) to another (e.g., mechanics) by introducing new constraints.

In the following sub-sections, five general goals are proposed that are deemed to encompass many of the requirements pertaining to design projects for which inspiration in nature is sought. These are the basis from which a comparative analysis is drawn.

2.1 Goals for bionic design

The goals were selected based on their perceived level of importance and their ubiquitous relevance across design projects, albeit translated into a number of requirements, specific to the problems at hand. Communication effectiveness, form optimization, multiple requirements satisfaction, organization effectiveness and paradigm innovation for improved functional performance are the goals considered.

Effectiveness of communication depends on the sharing of a language that may be based on a code, gestures, or on signal that is appropriate to the activity and context. For effective communication to accrue it is necessary that the message is clearly delivered and received in a timely fashion, without noise, and that it is relevant to the situation or event that is ongoing.

Optimizing the shape of an object or structure can result directly from the balanced satisfaction (with concessions on both sides - trade-offs) of several key requirements, such as the reduction of material and, or, size, or the attainment of greater stability, or reduced drag, depending on the targeted objectives. It is not always possible to achieve an optimal configuration, with maximization of all properties due to inherent conflicts that they sometimes impart (e.g. contradiction between low weight and high strength or high volume or stability). Thus, optimization requires that the configuration reached is the one that best addresses the contradictions and conflicts between the desired properties.

Compliance with multiple requirements reflects the achievement of several key points that are inherent to the problem at hand, aiming for viability and effectiveness of a small number of structures and elements that are to be used in performing more than one function. This simultaneous satisfaction opens the way for consideration of new objectives to add value to the designed product or system.

Compliance with various targets, carried out by a limited set of features, structures or entities, implies seeking functional efficiency, which will result in resource savings.

Effectiveness of organization depends on the coordination of multiple structures for the performance of activities with the need of differentiation. The coordination of multiple entities in joint activity may lead to more effective results than the performance of the activity separately by each entity, such as that “the whole is greater than the sum of its parts”.

Finally, the fifth goal considered consists in achieving change in the conventional paradigm used to implement a feature, replacing it with an innovative paradigm. The latter may be proposed based on the observation of structures, behaviours and, or, processes of nature that enable improved performance of the function or feature. This is deemed to represent one of the most commonly sought goals by designers inclined to use a bionic approach.

2.2 Likelihood of achieving the goals selected by using the methods under focus

The bionic design methods at hand were subjectively analysed in terms of the support offered towards the attainment of each of the goals presented in the previous subsection. None of the methods is deemed applicable to support the goal of effectiveness of communication, since no provisions in this regard are encompassed by any of the three.

When considering the goal of form optimization, the landscape is relatively homogeneous, with most methods deemed to offer partial support towards attaining this goal. The method of spiral design is highlighted as an exception, as it is considered particularly applicable for achieving this purpose.

With regard to satisfying multiple requirements, the analysis reveals heterogeneity across methods. While the method of bio-mimicry seems to offer no

support for the pursuit of this goal, in the opposite extreme, with considerable support, is the method of bio-inspired design. In what concerns the effectiveness of organization, none of the methods analyzed is considered fully adequate to support achieving this goal.

In what concerns the innovation of paradigm for improved functional performance, all analyzed methods provide satisfactory guidelines which can support the achievement of this purpose. This suggests that the primary approach that has been recommended for bionic design is centred on functionality. Moreover, except for individual cases, the remaining goals have been given a minor importance. The results of the overall analysis are presented in Table 4.

Table 4. Perceived support of selected bionic design methods to attaining fundamental design goals.

Bionic design method	Goals sought				
	Communication effectiveness	Form optimization	Multiple requirements satisfaction	Organization effectiveness	Paradigm innovation for improved functional performance
Bio-mimicry (Junior et al., 2002)	Not Applicable	Applicable with shortcomings	Not applicable	Applicable with shortcomings	Applicable
Spiral design (Biomimicry Institute, 2007)	Not Applicable	Applicable	Applicable with shortcomings	Applicable with shortcomings	Applicable
Bio-inspired design (Helms et al., 2009)	Not Applicable	Applicable with shortcomings	Applicable	Not applicable	Applicable

The bio-mimicry design method is only deemed "applicable with shortcomings" with regard to attaining the goals of optimizing form and improving effectiveness of organization. For the first goal, the assessment derives from the absence of iteration in order to pursue optimization (observing the morphological structure is what is suggested in the method that may provide limited support to

pursuing this goal). For the second goal, the assessment takes into account that the method supports no direct account of organizational aspects, but only does that indirectly through structural analysis. The evaluation also results in suggesting the applicability of the method to support the pursuance of the goal of paradigm innovation for increased functional performance, and on the other hand, enables suggesting its non-applicability if the goal is to achieve satisfaction of multiple requirements and communication effectiveness.

The spiral design method was granted the rating of "Applicable with shortcomings" with respect to the goal of satisfying multiple requirements. In this method, satisfaction of multiple requirements may take place according to their explanation in the initial specification, if natural models demonstrating the reunion of the functions and, or, qualities sought are analysed. However, the method does not explicitly consider a way to guide the quest to satisfy multiple requirements. The goal of organizational effectiveness receives the same evaluation, as the aspect of organization is not considered directly in this method, but it is only implicit in the consideration of the analysis of ecosystems and natural social conditions. For the other goals at hand, this method proves to be applicable to support their attainment if the target is form optimization (especially given the nature of this iterative method, which favours systematic optimization) or innovation paradigm with regard to performance features. No support is perceived to attain the goal of communication effectiveness.

The bio-inspired design method shows gaps in the support offered to designers if the goal is to achieve optimal form, since the focus in this method is set on function. In some design processes supported by the procedures inherent to this method, the search for a biologically inspired solution to perform a given function could lead to

considerations of form. However, the method does not provide procedures for optimization and does not explicitly consider form, or shape. The method is also deemed applicable in a satisfactory manner to problems where the targeted goal is either paradigm innovation for improved functional performance, or to satisfy multiple requirements, or a combination of both. However, it is not applicable to support the pursuance of the goals of effectiveness of either communication or organization.

3. Proposed validation approach

The analysis presented in the previous section identified goals where the methods considered were deemed to either offer no support, or only offer reduced support, towards their pursuance and attainment. Moreover, only one of the three methods (the spiral design method) entails some evaluation procedures, albeit limited in scope. This leads to suggest the integration of validation activities in bionic design processes, in order to ascertain whether the desired goals might be met by the use of the concepts generated with the support of bionic design methods. The current section presents a proposed validation approach, summarily depicted on Table 5, based on considering specific validation procedures matching each of the five goals focused in the previous section. The validation procedures suggested for each goal are presented in more detail in the following sub-sections of this paper.

Table 5. Specific procedures suggested for validation of goals sought by bionic design.

Goal	Validation procedures to evaluate goal accomplishment
Communication effectiveness	Validation is made according to the level of communication involved. <ul style="list-style-type: none"> • Passive communication (triggered by observation) - the effectiveness may be evaluated by assessing the degree of the overlap between the meaning intended to be incorporated into the product or system by the designer and the readings of signification made by users or observers (empirical verification). • Active communication (synchronous process between a sender and a receiver) - effectiveness evaluated from the assessment of the overlap between the

	messages from the sender and what is perceived by the receiver, which should conform to what is desired by the sender (empirical verification).
Form optimization	Validation based on a comparative approach with regard to a conventional product with functionality that is similar to the one intended for the bionic concept. Examples: <ul style="list-style-type: none"> • Reducing material and weight - analysis from solid modelling. • Stability - static analysis of mass centre (force vector modelling). • Resistance for maximum capacity - finite element method and prototype testing. • Object storage - capacity, maximum capacity; quantification.
Multiple requirements satisfaction	Validation based on objectively verifying, as much as possible, the level that has been reached for each property implicit in every requirement. This is followed by checking if the resolution of conflicts between non-compatible properties was made with compromises established on every side of the requirements concerned.
Organization effectiveness	Validation based on the comparison between two or more systems performing the same function (including the proposed system), but with different methods of organization. Collect measures of the levels of operation effectiveness from the (real or simulated) systems (including the proposed system), such as execution time, energy expended, material resources expended, or resources generated.
Paradigm innovation for improved functional performance	The evidence of paradigm change depends on the type of paradigm involved. Consider these examples of two kinds of paradigm change: <ul style="list-style-type: none"> • Paradigm change at the organizational level - could involve changing from a centralized model of decision making to a process of cooperative decision making distributed and performed by multiple system elements. • Paradigm change at the technical level – could involve fundamental changes in working principle, shape archetype, drive technology or kind of energy supplied. The verification of the attainment of this goal may centre on a conceptual-analytical argument distinguishing between the existing and the new paradigm, possibly illustrated by descriptive imagery and, or, technical schemes.

3.1 Validation of attainment of the goal of effective communication

To perform the validation of the effectiveness of communication it is necessary to act according to the level of communication involved. At one extreme is the communication triggered by passive observation. Its effectiveness depends on the quality of the design process regarding the incorporation of the intended meanings. In this case, a measure of effectiveness may lie in the overlap between the meaning intended to be incorporated into the product or system designed and readings made by users or observers (with verification from data collected on a sample of individuals). At the other end of the range of communication processes, we find the active communication that occurs between a sender and a receiver in synchronous mode. In this type of communication, noise is prominent as a factor of disturbance in the transmission of the message. However, differentiated contextual factors between the transmitter and receiver can lead to loss of effectiveness of the process. In order to

measure effectiveness of communication in this mode we propose overlapping the messages (as issued and as approved) to verify if the result perceived by the receiver is in accordance with what is desired by the sender (empirical verification).

3.2 Validation of attainment of the goal of optimizing the shape

If the objective is to optimize form, validation may proceed by way of a comparative approach against a conventional product. A comparison to verify reduced material mass and weight are easily seen from solid modelling. However, it is also necessary to validate the satisfaction of other basic requirements, such as stability (done through centre of mass static analysis of (mechanical vector), resistance for maximum capacity (using the finite element method or testing prototypes), or storage of objects (assessing capacity, maximum capacity or performing a general quantification).

3.3 Validation process for the goal of satisfying multiple requirements

In the presence of multiple requirements, it is necessary to verify objectively, and as much as possible, the level that has been reached for each property implicit in every requirement. This should be done to avoid conflicts between non compatible properties with trade-offs established on both sides and without compromising the achievement of a minimum acceptable level for each property. In each project, the validation will depend on the properties in question. As an example, consider the conflict between low mass and high resistance to shock in objects subjected to impact.

3.4 Validation of attainment of the goal of organizational effectiveness

The level of effectiveness of organization may be assessed by means such as comparing two or more systems with the same function (including the proposed system), but with different methods of organization. This will require effective measures to collect operating system parameters in comparison, which vary according

to function but can encompass runtime, energy used for material resources spent or according to resources generated (this approach qualifies as empirical verification).

3.5 Validation of attainment of the goal of paradigm innovation for improved functional performance

To validate the goal of paradigm innovation for improved functional performance of a proposed bionic design, a conceptual and analytical description may be performed and illustrations may be used as a basis on which to emphasize the change. An innovation in paradigm may be a way to make a leap in efficiency of the function that the product performs, whether the efficiency is measured as energy efficiency, or as compliance with sustainability objectives.

Evidence of a paradigm shift may vary with the type of paradigm in question. At the organizational level, for example, this may consist in a shift from a model of centralized decision-making within the organization, towards a process of collaborative decision-making, distributed and performed by multiple elements. In this case, the parameters associated with organizational functioning will be those in which the marks of paradigm change will be noticed. Technically, the shift in paradigm can refer, for instance, to the operating principle, the shape, the drive technology, or the source of energy, among others.

4. Validation procedures applied to a novel bionic design case

A bionic design project was carried out, following an approach combining the methods reviewed (Tables 1, 2 and 3). The problem considered was the storage and the physical display to enable browsing of personal music collections, focusing on CDs and DVDs. The conduction of the design process led to seek inspiration from nature, having selected the spider web as a natural example that was the basis for the analogy of working principle established. The requirements established for the project

and their corresponding goals are listed in Table 6. Moreover, environmental concerns were expressed in terms of reduced environmental impact of materials, ease of maintenance and repair, as well as low weight of the product (and its package) for transportation. These requirements were dealt with in the design project, impinging on the selection of materials (selection of a biopolymer and an organic elastomeric material) and on the design of the project (impinging on the goal of paradigm innovation for improved functional performance).

The validation processes carried out within the exemplified design case used are summarily described, and an overview of the evidence used and the results obtained is provided in the following sub-sections, considering the goals depicted in Table 6. In what concerns the goal of satisfaction of multiple requirements, a conflict was detected between the requirement of enhanced stability and lightness. This conflict was solved by means of an approach akin to TRIZ (Altshuller 1994), with the contradiction solved by change of state, in the second iteration of the design. Bionic tower 2 hence encompasses a reservoir in the basis which may be filled with water or sand for added stability, while lightness is still guaranteed, for the sake of environmental concerns, especially focusing on the production and distribution phases of the product's lifecycle.

Table 6. Listing of requirements set for the bionic design case and their corresponding goals that were sought.

Requirements	Goals sought*
1. Nice and appealing shape, enabling the user to develop an aesthetic interest in product	Communication effectiveness
2. Sending a message of an avant-garde character, creative and youthful	
3. Enhanced stability against a dynamic disturbance compared with a conventional solution [†]	Form optimization
4. Increased lightness compared to conventional solution [†]	
5. Proper positioning of the title of the CDs, DVDs and books for enhanced readability	Organization effectiveness
6. Storage with versatility of CDs, DVDs or	

books

7. Enhanced gripping of objects compared with a conventional solution	Paradigm innovation for improved functional performance
---	---

* - Satisfaction of multiple requirements is implicit in the consideration of the several requirements; † - Conflicting requirements, requiring a trade-off.

4.1 Design case validation of requirements contributing to the goal of communication effectiveness

The perception by the user of pleasantness and appeal, enabling the development of an aesthetic interest in the product (first requirement in Table 6) was validated through a questionnaire where, among other things, each of the two bionic CD towers was visually compared, with a conventional tower (Figure 1). The validation of this requirement is necessarily subjective, because the key issue that arises relates to the taste and sensitivity of each individual questioned. Respondents, answering by email, accounted to 85, aged between 18 and 60, both male and female, and with diverse professional and knowledge specialties.



Figure 1. Depiction of a conventional CD tower, and the two bionic CD towers developed: conventional tower(A), bionic tower 1 (B) and bionic tower 2 (C).

Each respondent indicated which of the towers was personally more aesthetically pleasing and appealing, from 3 paired comparisons presented. The paired comparisons approach applied to this case of three objects enables 8 possibilities of response, two of which are incongruent, since no ranking of preference can be established out of them. Three out of the 85 respondents reported incongruent paired

comparisons. Thus, the analysis of results was carried out for 82 responses. The results were analyzed on the basis of the procedure for calculating the Kendall coefficient of concordance (Siegel and Castellan 1988). The average ranking obtained was bionic tower 1 (first place), bionic tower 2 (second place) and conventional tower (third place). This result is considered significant to represent the overall opinion of respondents to a confidence level of 99%. These results support the validation of the first requirement depicted in Table 6. Both the first and second bionic towers received the preference of respondents over the conventional tower, which proves the validation of the gains in terms of pleasantness and aesthetic appeal, for both versions of the project.

In what concerns the second requirement that contributes to the goal of effective communication, validation was sought by means of a technique of anthropomorphizing products through the attribution of personality dimensions. In a first phase, a translation of the requirement into a product personality profile (Jordan, 2002) was proposed. In the second phase of the process, a sample of specialized public (eight undergraduate Industrial Design students) assessed the personality profile of the three objects shown in Figure 1. In such, whether or not the message intended by the designer was transmitted to the public could be verified.

The second requirement set in Table 6, was decomposed in a number of concepts to promote the matching process envisaged. This led to considering the attributes of modern, elegant, youthful, joyful, flexible and dynamic. Moreover the attributes consisting of lightweight and stable were also considered from the third and fourth requirements. The correspondence between product attributes intended by the designer to be perceived by the public and product personality dimensions (Jordan, 2002) are shown in Table 7. The outcome of analysis on the respondents assessment

of the personality profiles is also shown, based on evaluation of Kendall's coefficient of concordance (Siegel and Castellan, 1988).

For every personality pair, analysis was performed as exemplified for the pair energetic – non energetic energy, the average ranking of the panel of respondents (with a significance of 99%, given by the assessment of Kendall 's coefficient) resulted in the following rank order: 1st C, 2nd B, 3rd A. As a conclusion to this result, it is understandable that tower C (bionic tower 2) is considered more energetic than the tower B (bionic tower 1), and that tower C (conventional tower) is considered less energetic than tower B. This means that tower C is deemed the least energetic of the three towers and that C is the tower that emerges as the most dynamic and the less dynamic, thus validating this communication requirement.

Table 7: Analysis of the results of the survey on the personality profile of the towers for CDs and DVDs storage and verification of messages perceived from observation of the objects.

Designer's message	Personality profile	Average ranking 1 st - 2 nd - 3 rd	Significance level of Kendall's coefficient of concordance	Conclusion
Modern	Bright – Dim	B – A – C	Not significant	Sample did not reveal agreement
Lightweight	Simple – Complex	A – B – C	99%	Tower A is considered most simple (lightweight)
Elegant	Gentle – Violent	B and C – A	Not significant	Sample did not reveal agreement
	Moderate - Excessive	A – B – C	Not significant	Sample did not reveal agreement
Youthful spirit	Liberal – Authoritarian	B and C - A	99%	Towers B and C are the most liberal (youthful)
	Rebel – Conformist	C – B – A	99%	Tower C is the most rebellious (youthful)
	Optimistic – Pessimistic	B – C – A	Not significant	Sample did not reveal agreement
Joyful	Light-hearted – Serious-minded	C – B – A	99%	Tower C is the most light-hearted (joyful)
	Kind – Unkind	B and C - A	95%	Towers B and C are the most kind (joyful)
Flexible	Flexible – Inflexible	C – B – A	Not significant	Sample did not reveal agreement
Dynamic	Energetic – Unenergetic	C – B – A	99%	Tower C is the most

					energetic (dynamic)
Stable	Stable - Unstable	B – A – C	Not significant		Sample did not reveal agreement

According to the findings obtained, the communication of a message of young spirit, dynamism and joyfulness were validated. Tower C (bionic tower 2) is the one which, according to the survey, more effectively conveys the desired messages, is considered the most dynamic, the most rebellious, most joyful and, together with tower B (bionic tower 1), most kind and most liberal. Regarding the transmission of the message of lightness, the personality profile related (simple - complex) did not translate so well the associated requirement. This might have led respondents to identify tower A (conventional) as the simplest, and therefore, according to the tenuous association, the lightest of the three. Interpretative meanings vary from person to person. The absence of actual trial of the towers on the part of respondents, who just exercised visual perception, may have also influenced and contributed to vagueness and lack of agreement among some of the responses.

4.2 Design case validation of requirements contributing to the goal of form optimization

The results concerning requirements contributing to the attainment of the goal of form optimization are shown in Table 8 (enhanced stability – according to force vector analysis), Table 9 (increased lightness – solid modelling analysis) and Figure 2 (enhanced readability of CD titles – graphical depiction). For the first of the three requirements concerned by this goal, bionic tower 2 ranks in first place, while for the second requirement, bionic tower 1 is clearly the lightest, while for the last of the three requirements both bionic towers achieve a tie ahead of the conventional tower. The results support validation of the achievement of the goal sought of form optimization, albeit both bionic towers are deemed equivalent in this respect.

Table 8: Comparison of results for the maximum lateral disturbance tolerated without loss of stability in the three concepts.

Maximum lateral disturbance to maintain stability	Conventional tower	Bionic tower 1	Bionic tower 2
At maximum capacity	49,96 N	49,59 N	74 N
At medium capacity	35,11 N	29,57 N	56,34 N

Table 9: Comparison of mass data among the three objects.

Total mass	Conventional tower	Bionic tower 1	Bionic tower 2
Transport mode	11,049 Kg	4,763 Kg	8,087 Kg
Use mode	11,049 Kg	4,763 Kg	17,087 Kg

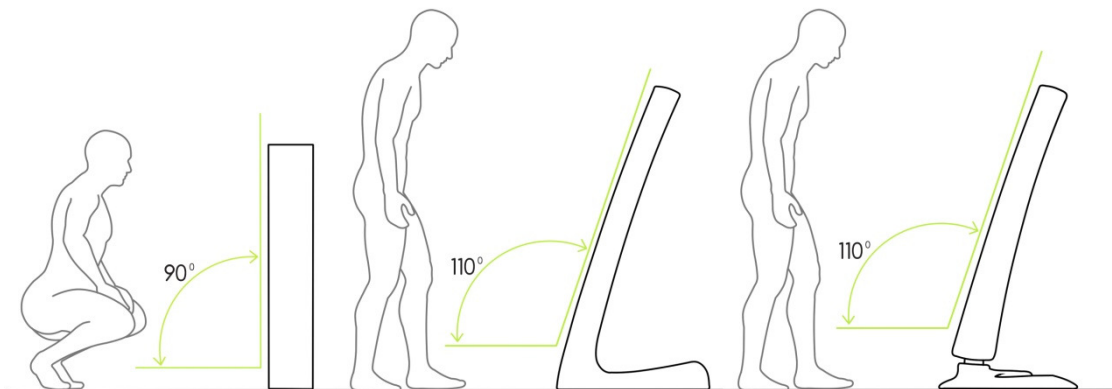


Figure 2: Graphical depiction of readability of content titles for the three objects (from left to right: conventional tower, bionic tower 1 and bionic tower 2).

4.3 Design case validation of requirements contributing to the goal of organization effectiveness

To validate the goal of organization effectiveness, the proof of achievement of the requirement of storage with versatility of CDs, DVDs or books was sought by means of a graphical depiction (Figure 3) which is deemed self-explanatory with regards to this requirement's attainment.

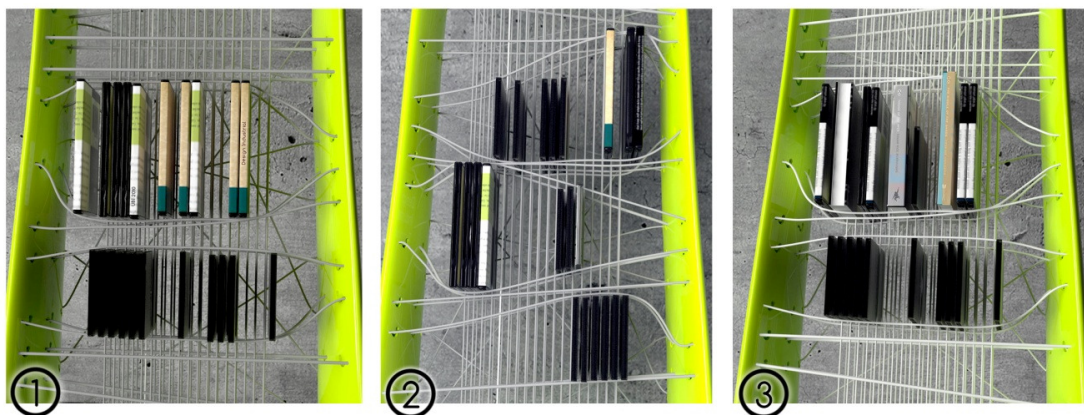


Figure 3: Depiction of three possibilities of dynamic storage of objects in the bionic towers.

4.4 Design case validation of requirements contributing to the goal of paradigm innovation for improved functional performance

To validate the achievement of the goal of paradigm innovation for improved functional performance, verification of the attainment of the requirement of enhanced gripping of objects in the bionic towers was sought. Calculations were established and performed analytically, resulting in an estimation of approximately 0,5 N of vertical compression force per CD. Finite element modelling was also pursued resulting in successful validation of the design for full capacity.

5. Conclusion

The approaches to validation proposed combine engineering approaches with social science approaches to validation, in accordance with the nature of each of the goal that is focused. Two variations of a novel bionic design for CD and DVD storage were analysed in terms of satisfaction of requirements and validation of attainment of goals sought in the project, in comparison to a conventional solution for the same problem. This design case hence demonstrated the deployment of the validation process proposed in this paper. This validation process may necessitate further refinement and improvement, which might be attained through its use in an array of bionic design cases.

References

- Altshuller, H. , 1994. *The Art of Inventing (and Suddenly the Inventor Appeared)*, Translated by Lev Shulyak, Worcester, MA: Technical Innovation Center.
- Benyus, J., 1997. *Biomimicry - Innovation Inspired by Nature*, New York: Harper Perennial
- Biomimicry Institute, 2007. *Biomimicry – a tool for innovation*, URL: <http://www.biomimicryinstitute.org/about-us/biomimicry-a-tool-for-innovation.html> (accessed June 20th, 2010).
- Hales, C., 1991. *Analysis of the Engineering Design Process in an Industrial Context*, Eastleigh, UK: Gants Hill Publications.
- Helms, M., Vattam, S.S., Goel, A., 2009. *Biologically inspired design: process and products*, *Design Studies*, Vol. 30, No. -, pp. 606-622.

- Hubka, V., Eder, W.E., 1992. Einführung in die Konstruktionswissenschaft – Übersicht, Modell, Anleitungen. Berlin: Springer Verlag.
- Jordan, P. W., 2002. The Personalities of Products. In William S. Green and Patrick W. Jordan (Editors) *Pleasure with Products: Beyond Usability*, London: Taylor & Francis, pp. 19-48.
- Junior, W., Guanabara, A., Silva, E., Platcheck, E., 2002. Proposta de uma Metodologia para o Desenvolvimento de Produtos Baseados no Estudo da Biônica [in Portuguese – Proposal for a Product Development Methodology Based on the Study of Bionics], Brasília: P&D - Pesquisa e Design.
- Pahl, G., Beitz, W. 1996. *Engineering Design – A systematic Approach*, 2nd edition, London: Springer.
- Roozenburg, N.F.M., Eekels, J., 1995. *Product Design: Fundamentals and Methods*, Chichester: John Wiley & Sons.
- Siegel, S., Castellan, N. J., 1988. *Nonparametric Statistics for the Behavioural Sciences*, New York: McGraw-Hill.
- Ulrich, K.T., Eppinger, S.T., 2004. *Product Design and Development*, international edition, McGraw-Hill.