

Biomimetismo

Como imitar a natureza na Arquitectura

Jaques Julião do Patrocínio Santos

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Arquitectura

Júri

Presidente: Professor Doutor António José Luís dos Reis

Orientador: Professor Doutor Manuel Guilherme Caras Altas Duarte Pinheiro

Vogal: Professor Doutor Pedro Filipe Pinheiro de Serpa Brandão

Maio 2009

Para o meu pai

Agradecimentos

Agradeço muito ao meu orientador, o professor Manuel Pinheiro, por toda a assistência e pronta disponibilidade, bem como pela sua orientação estratégica que junto com o seu optimismo me motivaram a desenvolver o trabalho.

Também estou grato ao professor Pedro Brandão, pelo seu auxílio, apoio e solicitude, muito essenciais na fase terminal da dissertação.

Agradeço a muitos colegas e amigos pelo constante apoio moral, sempre necessário num trabalho onde é necessária alguma resistência e persistência.

Agradeço por fim ao apoio de toda a minha família, e com algum carinho especial ao meu pai, pela ajuda na pesquisa e redacção da dissertação, e pelo seu entusiasmo contagiante pelo tema.

Para ser grande, sê inteiro: nada

Teu exagera ou exclui.

Sê todo em cada coisa.

Põe quanto és

No mínimo que fazes.

Assim em cada lago a lua toda

Brilha, porque alta vive.

Ricardo Reis

Resumo

Desde a antiguidade que o Homem vem imitando a natureza nas construções arquitectónicas, daí que o uso de características biomiméticas na arquitectura tem sido uma constante ao longo dos tempos.

A palavra "biomimetismo" tem as suas origens no grego: *bio* – vida + *mimetikos* – imitação. Foi Janine Benyus a responsável pela recente sistematização do Biomimetismo como um campo de pesquisa e estudo. Segundo Benyus (1997) existem três princípios (3 Ms) que o descrevem:

1. A Natureza como **Modelo**
2. A Natureza como **Medida**
3. A Natureza como **Mentor**

Esta dissertação tem como objectivo comprovar como as exigências da arquitectura contemporânea – tais como sustentabilidade, a funcionalidade ou até mesmo a estética - podem ser colmatadas recorrendo a princípios do mundo natural.

O estudo dos princípios biológicos mais aplicáveis à natureza, sistematizados de acordo com os critérios do famoso arquitecto romano Vitruvio - *Utilitas* (funcionalidade), *Firmitas* (solidez) e *Venustas* (beleza) - aos quais se acrescentou a sustentabilidade, permitiu demonstrar inúmeras vantagens de uma abordagem biológica da arquitectura.

Propõe-se uma matriz de avaliação do grau biomimético para analisar a forma como um projecto preenche as especificações biomiméticas, que foi aplicada a projectos reais tais como o Eastgate Center em Harare, Zimbabwe (Pearce, 1996), o Estádio Olímpico de Pequim (Herzog & De Meuron, 2008) e a Estação de TGV Rhône-Alpes (Calatrava, 1994), assim como três projectos académicos desenvolvidos ao longo do curso.

Os resultados demonstraram que a aplicação do biomimetismo à arquitectura não é uma utopia, mas sim uma prática desejável.

Palavras-chave:

Biomimetismo, princípios, sustentabilidade, arquitectura, funcionalidade, beleza

Abstract

Throughout the ages man is imitating nature in construction. That's why the use of biomimetic features in architecture has been a constant over time.

The word "biomimicry" has its origins in Greek: bio - life + mimetikos - imitation. Janine Benyus was responsible for the recent systematization of biomimicry as a field of research and study. According to Benyus (1997) there are three principles (3 Ms) that describe this new field of study:

1. Nature as *Model*
2. Nature as a *Measure*
3. Nature as *Mentor*

This dissertation aims to show how the demands of contemporary architecture - such as sustainability, functionality, or even the aesthetics - can be filled using the natural world principles.

The study of biological principles that are more applicable to nature, systematized according to the criteria of the famous Roman architect Vitruvio - *Utilites* (functionality), *Firmitas* (strength) and *venustas* (beauty) - to which is added sustainability, has demonstrated several advantages of a biological approach to architecture. A matrix for assessing the biomimetic degree is proposed to analyze how a project meets biomimetic specifications, which was applied to real projects such as the Eastgate Center in Harare, Zimbabwe (Pearce, 1996), the Olympic Stadium in Beijing (Herzog & De Meuron, 2008), the TGV station, Rhône-Alpes (Calatrava, 1994) and three academic projects developed throughout the course.

Results showed that biomimicry applied in architecture is not a utopia, but a desirable practice.

Keywords:

Biomimetics, principles, sustainability, architecture, functionality, beauty

Índice	pag.
Lista de figuras	vi
Introdução	1
Capítulo I	7
I _ Conceitos e enquadramento	
I.1 – História da Arquitectura inspirada na natureza	7
I.2 - Biomimetismo – origem, conceito e relação com a arquitectura	30
I.3 – Pressupostos biomiméticos de sustentabilidade	36
I.4 – Tipos de abordagem à investigação biomimética	38
Capítulo II	45
II _ Que Princípios biomiméticos são aplicáveis na arquitectura	
II.1 – “ <i>Utílitás</i> ”	45
II.2 – “ <i>Firmitas</i> ”	51
II.3 – “ <i>Venustas</i> ”	68
II.4 – “ <i>Restituitas</i> ”	76
II.5 – Grau biomimético	79
Capítulo III	83
III _ Análise de Casos	
III.1 - Projectos executados e divulgados:	83
“ <i>Utílitás</i> ” – Multiplex Cinema – Wilkinson Eyre Architects	
“ <i>Firmitas</i> ” - Estádio Olímpico de Pequim - Herzog & De Meuron	
“ <i>Venustas</i> ” - Estação TGV - Santiago Calatrava	
Sustentabilidade - Eastgate Building – Mick Pearce	
III.2 - Projectos académicos – experiência pessoal no IST:	105
Projecto 2º ano	
Projecto 4º ano	
Projecto 5º ano	
Capítulo IV	120
IV _ Discussão dos resultados e Recomendações	
Conclusão	128
Referências	xiii
Anexos	xviii

Lista de figuras

(esquerda para a direita e cima para baixo)

Capítulo I

Fig.1 – Vista aérea de Stonehenge

Fonte: http://news.cnet.com/2300-1008_3-6240627-1.html

Fig.2 – Esquema da evolução de Stonehenge

Fonte: <http://abyss.uoregon.edu/~js/glossary/stonehenge.html>

Fig.3 – Flor simétrica em forma de cruz com os eixos ortogonais realçados pelas sépalas.

Fonte: Portoghesi, (2000:111)

Fig.4 – O observatório astronómico pré-histórico de Stonehenge.

Fonte: Portoghesi, (2000:111)

Fig.5 – Montes negros do deserto do Egípto

Fonte: http://www.westerndeserthotel.com/images/gallery/big/black_mountains.jpg

Fig.6 – Pirâmides de Gizé

Fonte: http://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:All_Gizah_Pyramids.jpg

Fig.7 - Zigarette da Mesopotâmia

Fonte: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:Choghazanbil2.jpg>

Fig.8 - Pirâmides da América pré-colombiana

Fonte: <http://www.chessbase.com/news/2007/mexico/pyramids20.jpg>

Fig.9 – Borobudur na Indonésia

Fonte: <http://en.wikipedia.org/wiki/File:Bobobudur-Nothwest-view.jpg>

Fig.10 – Proporções da grande pirâmide

Fonte: Doczi, (2005:41)

Fig.11 – Esquema de uma pirâmide dourada

Fonte: http://en.wikipedia.org/wiki/File:Mathematical_Pyramid.svg

Fig.12 – Coluna egípcia papiriforme, com capitel de flor de papiro fechada, Luxor

Fonte: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:Egypt.MedinetHabu.02.jpg>

Fig.13 – Pormenor do capitel campaniforme

Fonte: http://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:Hypostyle_karnak_colonne.jpg

Fig.14 – Tipos de colunas

Fonte: <http://www.gutenberg.org/files/26319/26319-h/arch1.html#chapIII>

Fig.15 – Ordem Dórica

Fonte: Vitruvius, (2006:162)

Fig.16 – Ordem Jónica

Fonte: Vitruvius, (2006:162)

Fig.17 – Capitel da ordem Jónica

Fonte: <http://nanamada.blogspot.com/2007/12/manual-bsico-do-curioso-em-artes.html>

Fig.18 – Ilustração do cesto sobre a raiz de acanto

Fonte: <http://www.mlahanas.de/Greeks/Temples/CorinthianOrder.html>

Fig.19 – Capitel da ordem coríntia

Fonte: http://www.arts.auckland.ac.nz/ahist/arhist111/orders_of_architecture/ionic_order/Images/corinthian%20capital.gif

Fig.20 - Orquídea da espécie “Odontonia”

Fonte: Portoghesi, (2000:367)

Fig.21 – Fachada da Catedral de Reims

Fonte: http://terre.sans.frontiere.free.fr/page_a_voir_a_faire/a_voir_a_faire_images/cathedrale_reims_6.jpg

Fig.22 – Fachada da Catedral de Laon

Fonte: Portoghesi, (2000:366)

Fig.23 - Pormenor da folha Victoria Regia

Fonte: Portoghesi, (2000:286)

Fig.24 – Interior da Catedral de Segóvia

Fonte: http://1.bp.blogspot.com/_ZGeDkEGsb8M/SRnlbNVdvtI/AAAAAAAAABOk/ViUBmXh0sfM/s320/20081111_segovia_catedral.jpg

Fig.25 – A flor do “Butomus umbrellatus”

Fonte: Portoghesi, (2000:283)

Fig.26 – nervuras da capela Frauenkirche em Ingolstadt (1509-24)

Fonte: Portoghesi, (2000:283)

Fig. 17 – Imagem da animação 3D “Catedral”.

Fonte: http://features.cgsociety.org/press_releases/2003_02/discreet/platige01.jpg

Fig. 28 – Capela King’s College em Cambridge

Fonte: <http://www.kings.cam.ac.uk/chapel/images/ceiling.jpg>

Fig.29 - Catedral de Beauvais

Fonte: <http://www.detudo.org/wp-content/uploads/2008/05/catedral-gotica-beauvais.jpg>

Fig.30 - Caminho ladeado de árvores

Fonte: http://www.quatrocinco.com.br/config/imagens_conteudo/produtos/imagensPQN/PQN_1_FLORESTA.bmp

Fig.31 - Catedral de Gloucester, nave lateral

Fonte: http://farm1.static.flickr.com/36/119770566_a3caba0197.jpg

Fig.32 – Catedral de Gloucester, nave principal

Fonte: http://robertarood.files.wordpress.com/2007/07/gloucester_2.jpg

Fig.33 – Corte de típico de uma catedral gótica

Fonte: <http://www.pitt.edu/~medart/image/france/france-a-to-c/bourges/de376bou.jpg>

Fig.34 – Esquema da estrutura da catedral gótica

Fonte: <http://npacemo.com/wordpress/wp-content/uploads/2008/05/gothic-cathedral-drawing.jpg>

Fig.35 – Esqueleto do ser humano

Fonte: http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/f7/Skeleton_woman_back.png

Fig.36 – Esquícios de Leonardo da Vinci

Fonte: Portoghesi, (2000:439)

Fig.37 – Cacto Mammillaria

Fonte: Portoghesi, (2000:439)

Fig.38 – Estudo das proporções áureas na figura humana de Francesco di Giorgio

Fonte: Portoghesi, (2000:345)

Fig.39 – Cristal hexagonal

Fonte: Portoghesi, (2000:44)

Fig.40 – Villa Rotonda

Fonte: Portoghesi, (2000:345)

Fig.41 – Flor da cenoura silvestre (*Daucus carota*)

Fonte: Portoghesi, (2000:86)

Fig.41 – Praça do Capitólio

Fonte: Portoghesi, (2000:87)

Fig.43 – Gravura do projecto de Michelangelo para a Praça do Capitólio

Fonte: <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/d8/CampidoglioEng.jpg>

Fig.44 – Foto de uma colmeia

Fonte: http://www.magnavita.com.br/img/ft_dicas_abelhas.gif

Fig.45 – Cúpula de Santo André do Quirinal em Roma

Fonte: http://farm3.static.flickr.com/2085/2461515224_550825e6e6.jpg?v=0

Fig.46 – Cúpula de Santo André do Quirinal em Roma (planta)

Fonte: <http://www.usc.edu/dept/architecture/slide/ghirardo/CD2/031-CD2.jpg>

Fig.47 – Cúpula da Igreja de S. Ivo de Sapiência e a *Iris germanica*

Fonte: Portoghesi, (2000:354)

Fig.48 – Cúpula da Igreja de S. Ivo de Sapiência, a concha *Turritella terebra* e o cacto Brasileiro

Fonte: Portoghesi, (2000:267)

Fig.49 – Torre Eiffel

Fonte: http://en.wikipedia.org/wiki/File:Tour_Eiffel_1878.jpg

Fig.50 – Osso do Fémur

Fonte: <http://cache.lexico.com/dictionary/graphics/ahd4/jpg/A4femur.jpg>

Fig.51 – Diagrama de linhas de força aplicados ao Colo do osso do Fémur

Fonte: http://www.theodora.com/anatomy/the_femur.html

Fig.52 – Casa Horta, Victor Horta, 1892 - 1893

Fonte: http://1.bp.blogspot.com/_CYnouSOCe5Q/Rx-ZAegednl/AAAAAAAAAHE/xXoTq0r03rl/s320/vhort04e.jpg

Fig.53 – Casa Tassel, Victor Horta, 1892

Fonte: http://www.nga.gov/feature/nouveau/teach/large/slide_11.jpg

Fig.54 – Casa Van Eetvelde, Victor Horta, 1895 - 1898

Fonte: http://www.settimatorre.com/_immagini/articoli/architettura_e_fantasy/20_Casa_VanEetvelde_Bruxelles_Victor_Horta.jpg

Fig.55 – Casa Milá (foto geral)

Fonte: <http://www.gaudidesigner.com/uk/casa-mila.html>

Fig.55 – Casa Milá (foto pormenor)

Fonte: <http://www.jumpcut.com/view?id=F405707437BC11DBA65C1EE329CBD869>

56 – Casa Milá (planta)

Fonte: http://www.vitruvius.com.br/arquitextos/arq000/imagens/149_06.jpg

Fig.57 – Pallazeto dello Sport (exterior)

Fonte: http://www.columbia.edu/cu/gsap/BT/DOMES/TIMELN/rome_sm/rs17-01.jpg

Fig.58 – Pallazeto dello Sport (corte)

Fonte: <http://www.designboom.com/contemporary/stadium/12.jpg>

Fig.59 – Pallazeto dello Sport (cobertura)

Fonte: http://www.columbia.edu/cu/gsap/BT/DOMES/TIMELN/rome_sm/rs17-05.jpg

Fig.60 – Esquços para o planetário baseado no olho humano

Fonte: http://archnewsnow.com/features/images/Feature0184_02x.jpg

Fig.61 – Hemisférico (planetário), na Cidade das Artes e das Ciências em Valência

Fonte: http://archnewsnow.com/features/images/Feature0184_03.jpg

Fig.62 – Turning Torso

Fonte: http://blog.miragestudio7.com/wp-content/uploads/2007/07/santiago_calatrava_turning_torso.jpg

Fig.63 – Ilustração do voo da águia

Fonte: Aldersey-Williams, (2003: capa)

Fig.64 – Milwaukee art museum

Fonte: <http://www.calatrava.info/imageViewer/mam/mam10.jpg>

Fig.65 - Escola Internacional Watsu Center

Fonte: Aldersey-Williams, (2003: 59)

Fig.66 – Ilustração da “formiga-pote-de-mel”

Fonte: Aldersey-Williams, (2003: 59)

Fig.67 – Casa de Florence e William Tsui (foto entrada)

Fonte: http://farm3.static.flickr.com/2135/2103357657_45bdd5e1ba.jpg?v=0

Fig.68 - Casa de Florence e William Tsui (foto lateral)

Fonte: Aldersey-Williams, (2003: 57)

Fig.69 - Tardigrado

Fonte: <http://www.nenh.com/articles/images/tardigrade.jpg>

Fig.70 – “The TumbleTruss Project”

Fonte: <http://anm.sagepub.com/cgi/reprint/1/1/105>

Fig.71 – Sementes de Bardana

Fonte: <http://www.millhouse.nl/graphics/FredKamphues04D12439.jpg>

Fig.72 - Detalhe dos pequenos ganchos da semente de Bardana

<http://www.flickr.com/photos/jenniferschlick/438183420/sizes/l/>

Fig.73 – Ampliação dos ganchos do Velcro

Fonte: http://www.seeingscience.cclrc.ac.uk/Light/KS3/brightlightfiles/media_lesson1_velcro_hooks.jpg

Capítulo II

Fig.74 - Túneis do cão da pradaria

Fonte: Tsui, (1999:60)

Fig.75 – Processo ilustrando a evolução do caminho para a superfície e do padrão para a estrutura.

Fonte: http://www.fabrication.ald.utoronto.ca/papers_presentations/research/bell.htm

Fig.76 – Endo-esqueleto humano

Fonte: <http://users.tinyworld.co.uk>

Fig.77 - Exo-esqueleto do caranguejo

Fonte: <http://www.odu.edu>

Fig.78 - Corte longitudinal dum osso de ave

Fonte: http://uk.dk.com/static/cs/uk/11/clipart/sci_animal/image_sci_animal029.html

Fig.79 – Efeitos do vento e da carga viva sobre a estrutura

Fonte: Tsui, (1999:38)

Fig.80 - Efeitos da carga viva sobre a estrutura

Fonte: Tsui, (1999:39)

Fig.81 - Concha de vieira estriada

Fonte: <http://www.bmyersphoto.com/BWXRAY/animals43.html>

Fig.82 – Concha de caracol

Fonte: <http://images.google.ca/images>

Fig.83 – Flor de Girassol

Fonte: <http://images.google.ca/images>

Fig.84 – Urso de água doce microscópico

Fonte: <http://images.google.ca/images>

Fig.85 - Formigueiro de forma hemisférica

Fonte: <http://images.google.ca/images>

Fig.86 - Teia de aranha

Fonte: <http://images.google.ca/images>

Fig.87 - Casulo da cigarrinha

Fonte: <http://images.google.ca/images>

Fig.88 - Ninho do pássaro tecelão

Fonte: <http://images.google.ca/images>

Fig.89 - Folha: veios

Fonte: <http://images.google.ca/images>

Fig.90 - Plissado num cacto

Fonte: <http://images.google.ca/images>

Fig.91 - Asa da libélula

Fonte: <http://images.google.ca/images>

Fig.92 - Tensão superficial em embarcações cilíndricas e esféricas

Fonte: hyperphysics.html

Fig.93 - Cantos redondos nos ramos duma árvore

Fonte: www.photo.net/photo/pcd1628/point-lobos-tree-25

Fig.94 - Localização da tensão e rachaduras nos cantos

Fonte: <http://images.google.ca/images>

Fig.95 - Flexibilidade da árvore durante um furacão

Fonte: <http://images.google.ca/images>

Fig.96 - Ao aumentar o tamanho, mantém-se a escala

Fonte: Llorens, (2008:7)

Fig.97 - Proporções áureas da mão humana

Fonte: http://pt.wikipedia.org/wiki/Propor%C3%A7%C3%A3o_%C3%A1urea

Fig.98 - Homem Vitruviano

Fonte: http://pt.wikipedia.org/wiki/Propor%C3%A7%C3%A3o_%C3%A1urea

Fig.99 - Rectângulo de ouro

Fonte: http://pt.wikipedia.org/wiki/Propor%C3%A7%C3%A3o_%C3%A1urea

Fig.100 - Espiral áurea inscrita no retângulo áureo

Fonte: http://pt.wikipedia.org/wiki/Propor%C3%A7%C3%A3o_%C3%A1urea

Fig.101 - Diferenças de cor nas asas das borboletas

Fonte: Georgia, (2006)

Fig.102 - Uma diatomácea

Fonte: <http://www.inovacaotecnologica.com.br/noticias/noticia.php?artigo=010160071120>

Fig.101-104 – Aplicações da folha de Lótus.

Fonte: Llorens, (2008:2)

Fig.105 – Earthship – projecto e construção de Dennis Weaver

Fonte: markmarchesi.com/.../uploads/2008/09/image5.gif

Fig.106 e 107 – “Castle Earthship” – projecto de Michael Reynolds.

Fonte: <http://www.greenhomebuilding.com/earthship.htm>

Fig.108 - “PowerTile” – revestimento pedonal que produz energia eléctrica

Fonte: Yowell, (2007:33)

Capítulo III

Fig.109 – Multiplex Cinema (maqueta)

Fonte: Aldersey-Williams, (2003:84)

Fig.110 – Multiplex Cinema (planta)

Fonte: Aldersey-Williams, (2003:85)

Fig.111 – Ilustração do Nautilus

Fonte: Aldersey-Williams, (2003:84)

Fig.112 e 113 – Multiplex Cinema – imagens modeladas em computador

Fonte: Aldersey-Williams, (2003:86)

Fig.114 – Estádio Olímpico de Pequim – em fase de construção

Fonte: Arup/Martin Saunders

Fig.115 – Padrão de desenvolvimento estrutural do estádio Olímpico de Pequim

Fonte: Arup/Martin Saunders

Fig.116 – A rede metálica que envolve o anel de betão baseia-se nos padrões aleatórios da natureza (biomimetismo).

Fonte: Arup/Martin Saunders

Fig.117 – Cada pedaço que forma os 36 km de caixas metálicas ocas suporta o próprio peso, além de exercer função estrutural chave no conjunto. O anel elíptico é dividido em oito zonas de estruturas independentes.

Fonte: Arup/Martin Saunders

Fig.118 – Zona entre a estrutura de betão e a malha metálica

Fonte: Arup/Martin Saunders

Fig.119 – O operário, à esquerda, dá ideia da grandiosidade das estruturas do estádio

Fonte: Arup/Martin Saunders

Fig.120 e 121 – Estação de TGV Rhône-Alpes (interior e exterior)

Fonte: http://www.metallica.com.br/pg_dinamica/bin/pg_dinamica.php?id_pag=93

Fig.122 e 123 – Estação de TGV Rhône-Alpes (alçado frontal e esquiço)

Fonte: http://www.metallica.com.br/pg_dinamica/bin/pg_dinamica.php?id_pag=93

Fig.124 e 125 – Comparação entre o Papa-formigas e a forma da Estação

Fonte: Aldersey-Williams, (2003:54)

Fig.126 – Estação de TGV Rhône-Alpes - Hall inferior.

Fonte: Aldersey-Williams, (2003:54)

Fig.127-129 – Estação de TGV Rhône-Alpes – Analogia com o olho humano

Fonte: <http://archrecord.construction.com/features/aiaAwards/05gold.asp>

Fig.130 e 131 – Eastgate Building (Harare, Zimbabwe)

Fonte: (<http://images.google.ca/images>) – busca: Eastgate Zimbabwe

Fig.132-135 – O Eastgate Building utiliza os mesmos princípios de aquecimento e arrefecimento dos ninhos das térmitas locais da espécie *Macrotermes Subhylinus*

Fonte: (<http://images.google.ca/images>) – busca: Eastgate Zimbabwe

Fig.136 – Esquema do sistema de ventilação incorporado no Eastgate Building.

Fonte: (<http://images.google.ca/images>) – busca: Eastgate Zimbabwe

Fig.137-138 – Esquiços de estudo do voo da gaivota

Fonte: Autor

Fig.139-143 – Esquiços e fotos de maquete do plano urbano

Fonte: Autor

Fig.144 e 145 – Esquiços para o edifício de alojamento para refugiados no Cais do Sodré

Fonte: Autor

Fig.146 – Painel com modelações 3D do edifício de alojamento para refugiados no Cais do Sodré

Fonte: Autor

Fig.147-149 – Fotos de maquete do edifício de alojamento para refugiados no Cais do Sodré

Fonte: Autor

Fig.150-155 – Esquiços e modelação da estrutura do centro de congressos.

Fonte: Autor em parceria com Domingos Mendes

Fig.156-162 – Fotos de maquete e desenhos rigorosos do Centro de Congressos

Fonte: Autor em parceria com Domingos Mendes

Fig.163 – Os 3 eixos afectos a actividades distintas

Fonte: Autor

Fig.164 – Plano de pormenor, dividido pelas 3 zonas

Fonte: Autor

Fig.165-167 – Centro de congressos, em planta e em corte

Fonte: Autor

Fig.168 – Terminal rodoviário e biblioteca

Fonte: Autor

Introdução

Objecto do trabalho

Antes de tudo o mais, torna-se essencial definir a palavra “biomimetismo”. A palavra tem as suas origens no grego: (*bio* - vida) + (*mimetikos* - imitação).

Foi Janine Benyus – uma escritora científica, professora de ciências ambientais – a responsável pela recente sistematização do Biomimetismo como um campo de pesquisa e estudo. Segundo Benyus (1997) existem três princípios (3 Ms) que descrevem este novo campo de estudo:

1. A Natureza como **Modelo** - Estuda os modelos da natureza e imita-os ou usa-os como inspiração para os designs/processos, com o intuito de resolver os problemas humanos;
2. A Natureza como **Medida** - Usa o padrão ecológico para julgar a relevância das nossas inovações. Após tantos de anos de funcionamento, a natureza “sabe”: O que funciona; O que é apropriado; O que dura.
3. A Natureza como **Mentor** – É uma nova forma de observar e avaliar a natureza. Introduce uma Era baseada, não no que podemos extrair do mundo natural, mas no que podemos aprender dele.

Refere-se portanto à aplicação de princípios biológicos em outras áreas, como por exemplo a engenharia e a arquitectura. Far-se-á uma abordagem centrada na arquitectura.

A cidade é hoje o habitat por excelência do ser humano. Em 1950, 29% da população mundial habitava as áreas urbanas. Em 1975, essa mesma população já era de 36%, em 1990, 50% e até 2025 poderá ser pelo menos 60%, ou chegar até mesmo aos 75%. A taxa anual de crescimento da população urbana no mundo entre 1965 e 1980 foi de 2,6%, mas entre 1980 e 1990 essa taxa foi de 4,5% (Rogers, 1997:iii).

A quase totalidade do crescimento actual ocorre nos países pobres, por definição, aqueles com menos recursos e menor capacidade de eliminar o lixo urbano de forma adequada (Rogers, 1997:iii).

De facto, grande parte da população encontra-se nas grandes cidades, de modo que o pensar da cidade é cada vez mais o desafio do futuro, enquanto estratégia global de sobrevivência.

Na Europa contemporânea, as pessoas passam em média entre 80 e 90% do seu tempo dentro de edifícios. Métodos de concepção e construção incorrectos podem ter um efeito significativo na saúde dos ocupantes dos edifícios e podem ter como resultado edifícios com manutenção, aquecimento e arrefecimento dispendiosos,

afectando nomeadamente os idosos e os grupos sociais menos favorecidos. Acresce que a escolha de materiais e soluções (por vezes com componentes de toxicidade), a inadequada concepção e a manutenção dos equipamentos de climatização, podem originar importantes problemas de saúde pública (Pinheiro, 2006:19).

O edificado, especialmente o urbano, é amiúde apreendido como oposto ao mundo natural, e isso acontece por vários motivos – poluição do ar e da água, problemas de escoamento de resíduos e de abastecimento, por exemplo. Apesar de fruto de um ser que faz parte do mundo natural, o edificado carece de uma sabedoria instintiva adaptada e aperfeiçoada pelo tempo que só encontramos no que chamamos de natureza.

O tema da dissertação “Biomimetismo – como imitar a natureza na arquitectura” centra-se em explorar a ideia de que exigências do edificado contemporâneo podem ser colmatadas recorrendo a princípios do mundo natural, nomeadamente no seu desempenho e na procura de melhorias que consigam atingir a sustentabilidade. Mais especificamente esta dissertação propõe estudar que princípios biológicos são aplicáveis na arquitectura contemporânea.

Uma abordagem consiste em olhar para o mundo natural à procura de soluções que se apliquem directamente no projecto para resolver determinado problema. É uma abordagem que tem sido utilizada ao longo da história, ao se imitar formas da natureza nos edifícios, ou ao adoptar soluções estruturais baseadas em soluções naturais, como nos ossos de mamíferos ou numa simples folha de uma planta.

Outra abordagem, o método indirecto, visa encontrar soluções através da definição geral dos princípios de concepção da natureza, utilizando-os como directrizes no desenvolvimento progressivo do projecto. É sobre os princípios que esta dissertação se debruçará, sendo portanto estes o objecto e base da análise efectuada.

Motivações

A convicção de que a arquitectura tem muito a aprender ao aplicar os princípios subjacentes à inteligência patente na forma como a natureza cresce e se organiza, foi a principal motivação para a investigação que levei a cabo na elaboração deste trabalho.

Por exemplo, os artistas reconhecem há muito que a proporção criada pelo ângulo de ouro (aproximadamente 137,5 graus) é a mais agradável aos nossos olhos. O que faz com que as plantas formem novas estruturas precisamente nesse ângulo?

A maioria das plantas forma novos órgãos tais como caules, folhas e flores a partir de um pequeníssimo ponto central de crescimento, chamado meristema. Cada nova estrutura desenvolve-se e cresce começando do centro para uma nova direcção, formando um ângulo com a estrutura que cresceu antes. A maioria das plantas

organiza novos crescimentos num ângulo único que forma espirais – o chamado ângulo de ouro (Rutishauser, 2007).

Pense-se no seguinte desafio: imagine-se que se tentasse projectar uma planta em que as estruturas fossem organizadas de modo compacto em volta de um ponto de crescimento sem desperdiçar espaço. Supondo que se decidisse que cada nova estrutura formasse um ângulo de dois quintos de uma rotação com o crescimento anterior, nesse caso, toda a quinta nova estrutura cresceria do mesmo lugar e na mesma direcção que outra estrutura já existente. O resultado seriam fileiras com espaço desperdiçado entre elas. A verdade é que, *qualquer* fracção simples de uma rotação resulta em fileiras em vez de num aproveitamento total do espaço. Somente aquele que foi chamado de “ângulo de ouro”, de aproximadamente 137,5 graus, resulta num esquema ideal de crescimento compacto. O que torna esse ângulo tão especial?

É interessante que o número de espirais resultantes do crescimento à base do ângulo de ouro seja normalmente um número que se encontra na série chamada sequência de Fibonacci. Essa série foi descrita pela primeira vez pelo matemático italiano Leonardo Fibonacci, do século XIII. Nessa progressão, cada número depois de 1 equivale à soma dos dois números anteriores — 1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, 34, 55, e assim por diante.

Padrões como o acima, que têm excepcional influência na estética, na estrutura e na funcionalidade do mundo que nos rodeia sempre me fascinaram e maravilharam.

Por outro lado, a natureza revela uma incrível ordem e harmonia interna, que contrasta com as realizações humanas e muitas das suas actuais formas sociais, que se consubstanciam no edificado.

Objectivos a atingir

Conforme acima focado, toda a investigação se vai centrar em comprovar como as exigências da arquitectura contemporânea – tais como sustentabilidade, a funcionalidade ou até mesmo a estética - podem ser colmatadas recorrendo a princípios do mundo natural.

Em consonância com o supra mencionado, esta dissertação propõe:

- Sintetizar princípios fundamentais para a concepção de uma arquitectura biomimética.
- Entender o campo de aplicabilidade do biomimetismo na arquitectura, ao identificar quais as áreas distintas onde podem ser aplicados princípios biológicos: forma - funcionalidade - estrutura.
- Compreender quais as vantagens de uma abordagem biológica da arquitectura, e entender quais as ferramentas disponíveis para conseguir bons resultados.

- Evidenciar casos práticos de aplicação dos princípios biomiméticos na arquitectura, e identificar os seus resultados.

Metodologia aplicada

Para se atingir os objectivos propostos, investigar-se-á em primeiro lugar como, no decorrer da história, o Homem tem aplicado princípios da natureza na arquitectura.

Em seguida, vai-se investigar quais são os princípios biomiméticos que este novo ramo da ciência tem sistematizado e estudado, e que tipos diferentes de abordagem se podem fazer na sua aplicação prática, de forma que se possa compreender se e como podem ser aplicados à arquitectura.

De entre aqueles que se identificarem como aplicáveis, procurar-se-á sistematizá-los de acordo com conceitos arquitectónicos.

Finalmente, elaborar-se-á uma matriz biomimética de avaliação de projectos, que testaremos em casos práticos de análise.

Vai-se abordar os vários aspectos da aplicação do biomimetismo à arquitectura, com base na sistematização de Vitruvius encontrada no seu tratado "*De architectura*", que se baseia em 3 princípios fundamentais: "*venustas, utilitas, firmitas*".

Presente em todas as soluções biomiméticas, a sustentabilidade ambiental é sem dúvida uma exigência da arquitectura contemporânea que se procurará enquadrar nas soluções biomiméticas propostas.

Pretende-se sistematizar a investigação e a recolha de informação que se levará a cabo, de forma que os princípios básicos subjacentes às soluções biomiméticas propostas possam ser enquadrados nas aplicações arquitectónicas subsequentes.

Enquadramento à abordagem biomimética - principais referências documentais

Sobre biomimetismo, a obra fundamental e imprescindível foi escrita há mais de 10 anos por Janine Benyus, intitulada *Biomimicry – Innovation Inspired by Nature*.

Neste livro, a autora demonstra claramente como a natureza detém as mais avançadas concepções até hoje conhecidas. Apesar disso ela aponta como nós - "pequenas unidades de carbono" - na maior parte temos insistido em fazer as coisas à nossa maneira. São aqui apontados inúmeros exemplos de sucesso da natureza que ultrapassam o saber humano até à data desenvolvido, entre os quais a aranha, que é capaz de criar fibra relativamente mais forte que o melhor dos aços por nós produzidos, fazendo-o à temperatura ambiente, sem produtos químicos tóxicos e à pressão normal. Ou o diminuto mexilhão, que é capaz de criar uma cola no local que lhe permite manter a aderência subaquática para superfícies escorregadias melhor do que qualquer cientista até agora produziu (Benyus, 1997:97).

Nesta obra, através destes e de muitos outros exemplos, Janine Benyus lembra que, se abirmos os olhos para a natureza que nos rodeia, podemos aprender concepções de “design” que irão realmente fazer avançar a tecnologia e, simultaneamente, nos ajudarão a minimizar o nosso impacto ambiental.

(BENYUS, Janine – *Biomimicry – Innovation inspired by nature*. Quill, 1998)

Por outro lado, muitas são as obras que já se escreveram sobre biomimetismo e a sua aplicação, nos seus diferentes aspectos – zoomórficos, harmónicos, ecológicos, analógicos e muitos outros – na arquitectura e noutros ramos do saber. De entre todos, destacam-se as seguintes, em virtude da sua indubitável importância no tema que se vai desenvolver, conforme os diversos assuntos aí versados:

- Princípios da natureza aplicáveis na arquitectura:

Evolutionary Architecture: nature as a basis for design

Este livro do arquitecto Eugene Tsui apresenta-nos a visão única do seu autor sobre a arquitectura biomimética. O autor apresenta as bases teóricas da sua visão futurista de uma arquitectura totalmente ligada à natureza, tanto formalmente como funcionalmente e estruturalmente. Apresenta projectos feitos por ele tendo em conta os seus enunciados teóricos, alguns construídos dentro das actuais possibilidades tecnológicas.

(TSUI, Eugene – *Evolutionary Architecture: nature as basis for design*. Wiley, 1999)

Nature and Architecture

É um livro que apresenta a relação da arquitectura com a natureza, num contexto de reflexão – não como algo que divida o Homem do Universo, mas como um “tecido de comunicação” – sendo o pensamento um processo material que absorve o que vê e sente do ambiente que o rodeia, num fluir constante, em que o pensamento se vai impregnando das formas da natureza. Contém uma interessante e ampla pesquisa feita por Paolo Portoghesi, aos vários níveis da construção arquitectónica, detectando as várias similitudes entre construções da natureza e a arquitectura.

(PORTOGHESI, Paolo - *Nature and Architecture*. Skira, 2000)

- Princípios do mundo animal aplicados na arquitectura:

Zoomorphic: new animal architecture

Este livro de Hugh Aldersey-Williams possui muitos exemplos de princípios da biologia animal aplicados à arquitetura, especialmente no que diz respeito à forma. Explica também como esta nova “arquitetura biológica” é suportada pelas inovações tecnológicas, tanto ao nível de desenho assistido por computador como de tecnologia de construção.

(ALDERSEY-WILLIAMS, Hugh – *Zoomorphic: new animal architecture*. Laurence King Publishing/Harper Design International, 2003)

- A harmonia proporcional da natureza e a arquitetura:

The Power of Limits – Proportional Harmonics in Nature, Art and Architecture

A descoberta e redescoberta dos padrões de beleza e ordem na natureza - o “design” revelado por corte através de uma cabeça de repolho ou uma laranja, as formas de conchas e asas de borboletas - são imagens impressionantes não só pela sua beleza, mas também porque eles sugerem uma ordem subjacente no seu crescimento, a harmonia existente na natureza. O que significa a existência de uma tal ordem, e até que ponto se estende?

O Poder dos Limites foi inspirado por essas descobertas simples de harmonia. O autor então passou a investigar e medir centenas de padrões - antigos e modernos, pequenos e vastos. A sua descoberta, vividamente ilustrada nesta obra, é que determinadas proporções ocorrem uma e outra vez em todas estas formas. Os padrões também são repetidos na maneira como as coisas crescem e são feitas - pela dinâmica união de opostos - conforme demonstrado pelas espirais que se deslocam em direcções opostas no crescimento de uma planta.

(DOCZI, Gyorgy - *The Power of Limits*. Shambhala, 2005)



"Look deep, deep into nature, and then you will understand everything better." Albert Einstein (atribuído)

Capítulo I

Conceitos e Enquadramento

I.1 – História da Arquitectura inspirada na natureza

A história da arquitectura demonstra que muitos princípios do Biomimetismo, apesar de apenas agora ser considerado uma ciência, já têm sido postos em prática pelo homem ao longo da sua história. Não será excessivo comentar que o ser humano como o conhecemos tem sempre imitado a natureza nas suas façanhas, o que não é de estranhar porque o ser humano faz parte da natureza. (Portoghesi, 2000:9)

A história da Arquitectura não é excepção. Desde sempre que a natureza está presente nas criações arquitectónicas do homem. Vejamos alguns exemplos na corrente do tempo...

Arquitectura da Pré-História



Fig.1 – Complexo megalítico de Stonehenge – vista aérea.

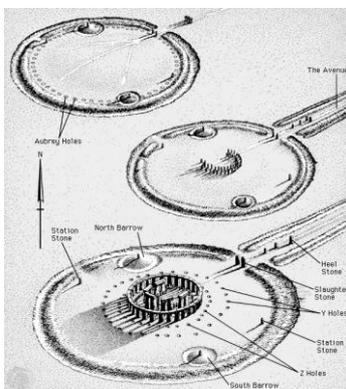


Fig.2 – Esquema da evolução de Stonehenge ao longo do tempo.

Desde a pré-história que o homem se inspira no mundo natural que o rodeia de forma a satisfazer a sua necessidade criativa. A observação cósmica da natureza, resultante da necessidade de conhecimento espaço-temporal, parece ter sido uma das mais marcantes nas primeiras representações da vocação do homem para a arquitectura, como os cromleques pré-históricos. (Portoghesi, 2000:111)

Um exemplo bem conhecido é o complexo megalítico de Stonehenge. Este monumento apresenta um enorme círculo de pedras erguidas a intervalos regulares, que sustentam traves horizontais (lintéis), rodeando outros dois círculos interiores. No centro do último está um bloco semelhante a uma ara.

Desde a sua primeira fase de construção, que os arqueólogos estimam ser por volta de 2750 a.C.,

Stonehenge tinha todas as características de um enorme calendário solar, e possivelmente também lunar.

O que é mais invulgar é o facto de Stonehenge estar situado numa latitude do hemisfério norte onde os dois alinhamentos, solar e lunar, nos solstícios de verão e inverno são ortogonais.

Por exemplo, todo o conjunto está orientado para o ponto do horizonte onde nasce o Sol no dia do solstício do Verão, mas o alinhamento lateral coincide com a direcção em que a Lua cheia nasce também no solstício de Verão.

Este monumento megalítico parece revelar-nos mais que um calendário, mas um local propício para o estudo de fenómenos cósmicos, sendo a arquitectura o meio de assinalar e enaltecer (de certa forma). (Portoghesi, 2000:111)

“O complexo megalítico de Stonehenge é um exemplo de imitação estrutural da natureza, possível pela abstracção criativa. Em Stonehenge a arquitectura torna possível que o homem e o universo se unam no processo de escutar, questionar, conhecer e confirmar as teorias formuladas mentalmente por memórias do passado, por reflexão e pela repetição da experiência directa ao longo do tempo.” (Portoghesi, 2000:338)

Stonehenge revela-nos como a observação da natureza pode conformar o espaço arquitectónico. A ideia de centralidade, presente em torno de um ponto de observação, leva à junção de formas geométricas elementares como o círculo, o quadrado e a cruz, símbolos de união. A junção destes elementos é comum na natureza, especialmente em algumas flores.

Inspiração na natureza: centralidade, simetria.



Fig.3 e 4 – Acima: Flor simétrica em forma de cruz com os eixos ortogonais realçados pelas sépalas.
Ao lado: O observatório astronómico pré-histórico de Stonehenge.

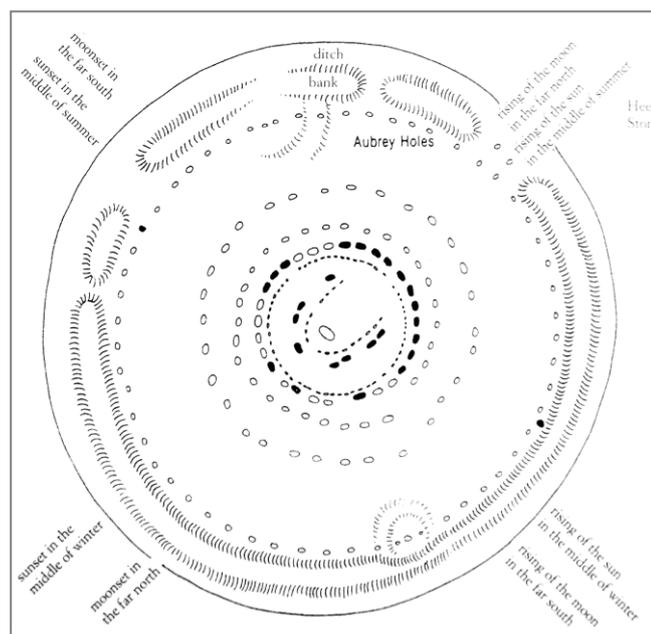




Fig.5 e 6 – Ao lado: Montes negros no deserto, Egípto.
Acima: As Pirâmides de Gizé, Egípto.

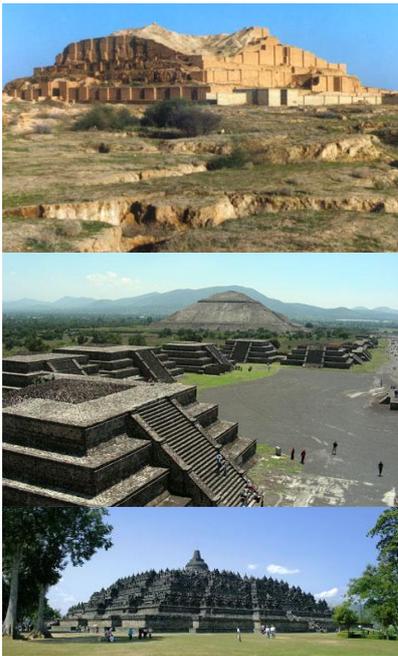


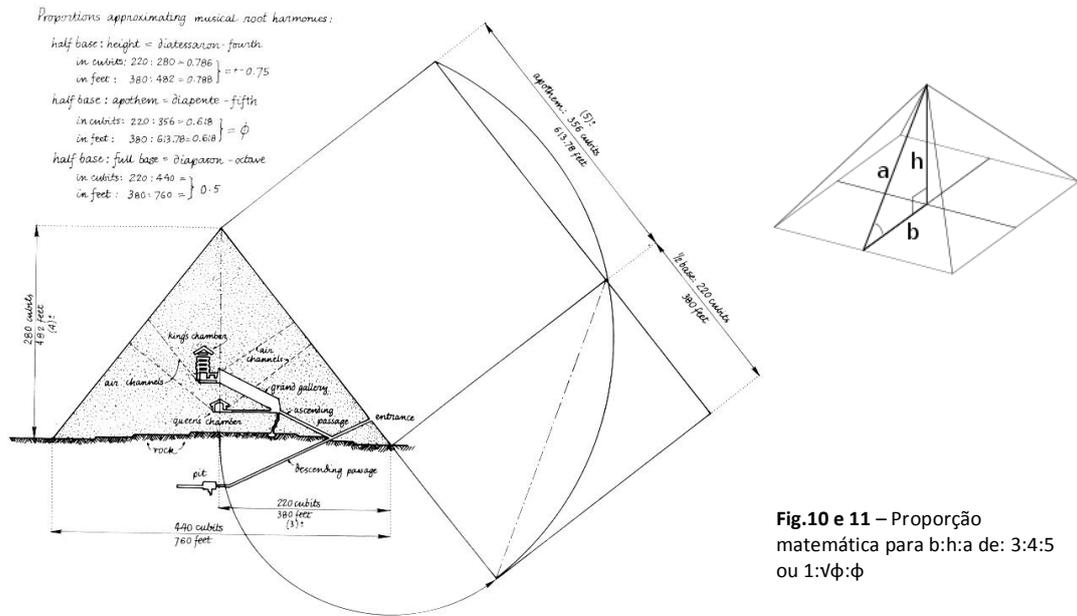
Fig.7,8 e 9 – Topo: Zígarate da Mesopotâmia;
Centro: Pirâmides da América pré-colombiana;
Em Baixo: Borobudur – templo budista na Indonésia.

Considerada uma das sete maravilhas do mundo antigo, a mais antiga de todas e ironicamente a única que sobreviveu até aos nossos dias, as Pirâmides de Gizé dominam a paisagem envolvente. O papel simbólico destes túmulos reais revê-se nas palavras de Gaston Bachelard: “Para aqueles cujos sonhos advêm da natureza, até a mais pequena colina é uma inspiração”. O culto da montanha, enquanto ponto de referência espacial (por vezes adquirindo um significado espiritual – de montanha sagrada como em Machu Pichu ou na Acrópole), inspirou as primeiras civilizações a erigirem autênticas montanhas artificiais como os zigurates da mesopotâmia, as mastabas e as pirâmides do Egípto, mais tarde as pirâmides da América pré-colombiana ou templos como Borobudur – templo budista na Indonésia. Mais tarde esse mesmo simbolismo está presente nas cúpulas ou nos arranha-céus. (Portoghesi, 2000:32)

Inspiração na natureza: simbolismo de poder (referência espacial).

Construída há mais de 4.500 anos, por volta do ano 2550 a.C., chamada de *Grande Pirâmide*, a majestosa construção de 147 metros de altura foi a maior construção feita pelo homem durante mais de quatro mil anos, sendo superada apenas no final do século XIX (precisamente em 1889), com a construção da Torre Eiffel. (wikipedia)

A grande pirâmide é uma referência também por estar construída segundo a proporção áurea, ou seja, corresponde praticamente a uma pirâmide dourada. Nesta pirâmide a relação entre a hipotenusa e metade da base do triângulo da secção da pirâmide corresponde à proporção áurea (a hipotenusa é igual a metade da base vezes a secção áurea – ϕ). (Doczi, 2005:41)



Na natureza a proporção áurea é uma constante, definindo padrões de crescimento, relações proporcionais entre as partes e o todo, como falaremos mais à frente (ver ponto II.3), sendo assim uma inspiração natural para os antigos Egípcios.

Apesar de existirem reservas quanto a se o uso dessa proporção nas Pirâmides foi planeada ou se aconteceu por acidente, a realidade é que a margem de erro é muito pequena, o que é impressionante para uma obra desta envergadura tendo em



Fig.12 – Coluna egípcia papiriforme, com capitel de flor de papiro fechada, Luxor.

conta os meios disponíveis na altura. (wikipedia)

Inspiração na natureza: proporção áurea

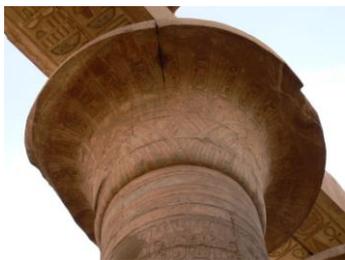


Fig.13 – Pormenor do capitel campaniforme.

Do legado arquitectónico Egípcio ficaram muitas referências à natureza, por exemplo pela representação do ser humano e de animais em estatuária ou baixos-relevos, partes integrantes da arquitectura egípcia. Mais interessante é a interpretação geométrica presente nas colunas Egípcias e nos capitéis, que apesar de ser óbvia é uma estilização e não uma representação directa. Por exemplo os tipos de colunas dos templos egípcios são divididos conforme o seu capitel: Palmiforme - flores de palmeira; Papiriforme - flores de papiro; e Lotiforme - flor de lótus. (Portoghesi, 2000:135-137)

Inspiração na natureza: estilização de elementos vegetais

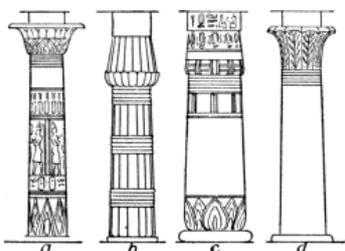


Fig.14 – Tipos de colunas: a, Campaniforme; b, Lotiforme fechada; c, Lotiforme simples; d, Palmiforme.

Segundo Protágoras, filósofo grego do quinto século a.C., "o homem é a medida de todas as coisas". (Doczi, 2005:104) Este lema está bem presente na arquitectura clássica, termo que se refere à arquitectura da Antiguidade Clássica, época que abrange as civilizações Grega e Romana. O sistema arquitectónico clássico, que foi desenvolvido especificamente pela civilização Grega mas posteriormente reutilizado e adaptado pelos Romanos, assenta sobretudo na criação de três ordens arquitectónicas: dórica, jónica e coríntia. Na realidade, há apenas duas, porque a coríntia mais não é do que uma variedade da jónica. (Jason, 1998:158)

Marcos Vitruvius Polião, arquitecto e engenheiro romano autor do manual "*De Architectura*" escrito no século I a.C. (o único legado escrito sobre a arquitectura na Antiguidade a sobreviver à passagem do tempo), deixou-nos a explicação prática da origem do sistema proporcional de medidas das ordens clássicas.

Os gregos ao fundarem as suas colónias na Ásia procuravam um sistema de comensurabilidades e uma metodologia para as colunas dos novos templos. Encontraram uma metodologia, relacionando a *ordem dórica* com o corpo masculino: "Tendo descoberto que o pé correspondia no homem à sexta parte da sua estatura, transferiram o mesmo para a coluna e, qualquer que fosse o diâmetro da base do fuste, elevaram-no seis vezes em altura incluindo o capitel. Deste modo, a coluna dórica começou a mostrar nos edifícios a proporção, a solidez e a elegância de um corpo viril." (Vitruvius, 2006:143)

O mesmo aconteceu com a *ordem jónica*, mas desta vez com o corpo feminino: "Da mesma maneira levantaram depois um templo a Diana, procurando uma forma de novo estilo [...], levando para lá a delicadeza da mulher e dispuseram em primeiro lugar o diâmetro da coluna segundo a oitava parte da sua altura, a fim de que ela apresentasse um aspecto mais elevado." A inspiração feminina está presente até em alguns detalhes: "Na base colocaram uma espira imitando um sapato; no capitel dispuseram, à direita e à esquerda, volutas, como se fossem caracóis enrolados pendentes de uma cabeleira; ornamentaram a frente com cimácios e festões dispostos como madeixas e por todo o fuste deixaram cair estrias como o drapeado das sobrevestes de uso das matronas." (Vitruvius, 2006:143)

Vitruvius: "Assim, lograram a invenção de dois tipos discriminados de colunas, uma viril, sem ornamento e de aparência simples, a outra, com a subtileza, o ornato e a proporção femininas." (Vitruvius, 2006:143)

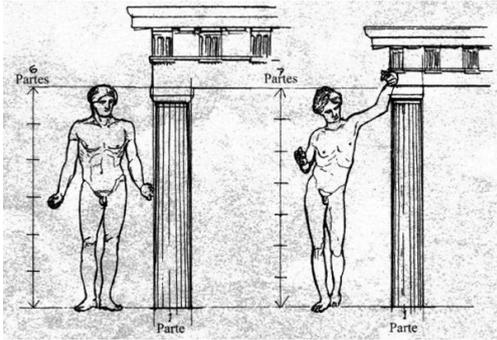


Fig.15 – Coluna de ordem dórica – inspiração na proporção do corpo masculino.

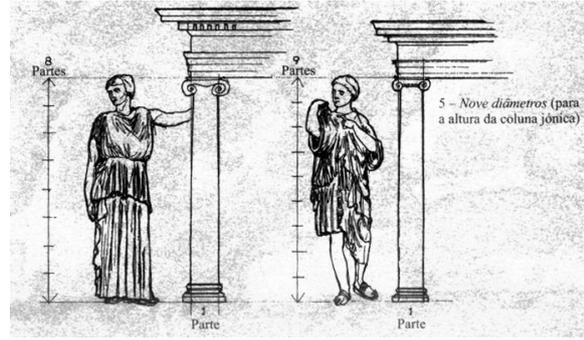


Fig.16 – Coluna de ordem jônica – inspiração na proporção do corpo feminino.

A proporção viria a ser no entanto alterada, conforme explica Vitruvius: “Os que lhe sucederam, progredindo nos juízos formulados sobre a elegância e a subtileza, e encantados com a aplicação de módulos mais graciosos, constituíram sete diâmetros de espessura na base para a altura da coluna dórica e nove para a da jônica.”

(Vitruvius, 2006:143,144)

O capitel da ordem coríntia tem como inspiração a raiz de acanto, que segundo a história ao se encontrar “comprimida pelo peso do cesto centrado sobre ela, estendeu as suas folhas e os caulículos em volta, caulículos estes que cresceram pelos lados do cesto e produziram curvaturas na direção das extremidades dos ângulos da tégula, sendo obrigados devido ao peso deste, a enrolar-se em voluta.” (Vitruvius, 2006:144)

Inspiração na natureza: proporção do corpo humano



Fig.17 – Inspiração do capitel da ordem jônica – “caracóis enrolados pendentes de uma cabeleira”.



Fig.18 e 19 – Inspiração do capitel da ordem coríntia - um cesto sobre a raiz de acanto.

Idade Média

Com a alteração profunda na sociedade, e nos seus valores, a arquitectura da idade média sofreu alterações profundas. Não deixou no entanto de ir buscar a sua inspiração ao mundo natural.

Nas fachadas das catedrais góticas, certos elementos como portais, as rosetas, as torres sineiras, estão lá para exaltar frontalidade e consequentemente orientação. A fitomorfologia natural das rosetas é bastante literal, enquanto a série de padrões

decorativos e simbólicos nos portais sugerem imagens de ondas do mar e círculos concêntricos na superfície quando uma pedra é atirada à água. (Portoghesi, 2000:366)

Esta ideia de frontalidade, e de direccionalidade, está de acordo com a função essencial dos espaços religiosos da idade média, que é a de orientar os fiéis e os peregrinos ao espaço de culto. Esta técnica é usada amiúde na natureza, e faz lembrar a orquídea *Ophrys* que atrai os insectos por ter um “flabellum” cujo padrão atrai os insectos polinizadores.

Inspiração na natureza: frontalidade



Fig.20 – Orquídea da espécie “*Odontonia*”



Fig.21 – Fachada da Catedral de Reims



Fig.22 – Fachada da Catedral de Laon

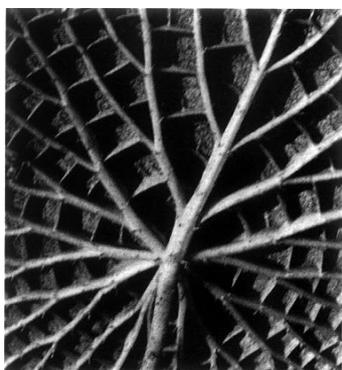


Fig.23 e 24 – Pormenor da folha *Victoria Regia*;
(em baixo) interior da Catedral de Segóvia

A arquitectura gótica é caracterizada e identificada pela sua principal inovação técnica, o arco ogival. Mais dinâmico que o estático arco redondo da arquitectura românica, e exercendo menores pressões laterais, o arco em ogiva possibilitou grandes conquistas técnicas. Usado como elemento construtivo das abóbadas – abóbadas de cruz ou abóbadas de cruzaria de ogivas - permitiu uma melhor articulação dos panos murais que as compunham, conseguindo assim uma mais eficiente distribuição das forças que elas exerciam sobre os pilares e paredes da construção. Através das nervuras estruturantes dos arcos ogivais, essas forças eram desviadas para os pilares de sustentação colocados no interior do edifício e para os contrafortes exteriores.

Com o peso melhor distribuído, as abóbadas tornaram-se mais elásticas e dinâmicas, adaptando-se melhor às formas dos espaços a cobrir e facilitando a cobertura de espaços mais extensos. Ao longo do tempo, a evolução estilística criou vários tipos de abobadas ogivais cada vez mais

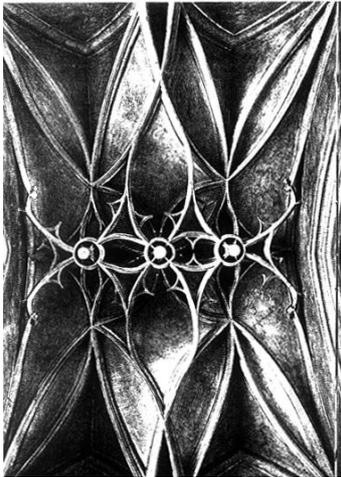


Fig.25 e 26 – A flor do “Butomus umbrellatus” e as nervuras da capela Frauenkirche em Ingolstadt (1509-24)

divididas – em 4, 6, 8 ...até 16 “panos” – para uma melhor distribuição das forças e seu encaminhamento, através das nervuras, para os respectivos colunelos e pilares de sustentação. São alguns exemplos disso, as abóbadas estreladas, ou ainda as abóbadas de leque (próprias do gótico perpendicular inglês). (Pinto, 1998:V,8,10)

Na arquitectura Gótica tardia da Europa do Norte e de Inglaterra, o sistema nervurado que tinha surgido como técnica de construção para aligeirar o sistema de distribuição das forças, passou a assumir um papel expressivo preponderante, e a infinita variedade de padrões passou a ser o tema central de investigação por quase dois séculos. Parece que procuravam imitar toda a variedade de formas naturais, a inesgotável capacidade criativa que a natureza possui ao na primavera preencher campos e florestas com infinitas variedades de plantas e flores. (Portoghesi, 2000:276)

Há de facto uma grande semelhança entre os pilares fasciculares da arquitectura gótica e o crescimento das plantas. Como na planta, os elementos similares são mantidos juntos com o mesmo objectivo de se elevarem esforçadamente em direcção à luz. (Portoghesi, 2000:145)

A verticalidade, criando espaços interiores mais amplos com permeabilidade de luz pela reticulada estrutura que a sustém, confere ao estilo gótico uma clara analogia com o mundo natural, nomeadamente com a floresta.

Inspiração na natureza: suporte por nervuras (folha), verticalidade para captação da luz (floresta)



Fig. 17 – Imagem da animação 3D “Catedral”.

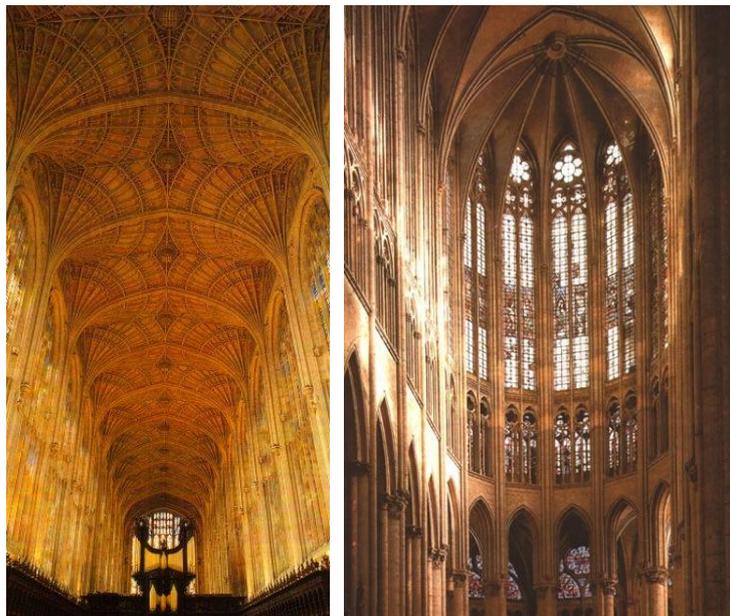


Fig. 28 e 29 – Capela King’s College em Cambridge;
Catedral de Beauvais



Fig.30,31 e 32 – Caminho ladeado de árvores.
Catedral de Gloucester, nave lateral e principal.



Virtualmente mais leves, porque eram mais fáceis de sustentar, as abóbadas ogivais puderam ser construídas a níveis cada vez mais altos, o que agradava à estética da época. Isso obrigou, no entanto, a reforçar os apoios exteriores com os botaréis e os arcobotantes. Deste modo toda a técnica de construção consistia nas abóbadas de cruzaria ogival, assentes sobre um novo e complexo sistema de pilares e de contrafortes que suportavam todo o peso daquelas através de um perfeito equilíbrio de forças. (Pinto, 1998:V,10,12)

Um observador reflexivo poderá visualizar uma analogia entre o esqueleto estrutural dos edifícios góticos o esqueleto de qualquer mamífero, onde o equilíbrio de forças é perfeito segundo a função que desempenha. A estrutura leve, ritmada, otimizada pela permeabilidade de luminosidade, lembra por exemplo a estrutura da caixa torácica – evidente especialmente nos arcobotantes que parecem finas costelas.

Inspiração na natureza: equilíbrio estrutural do esqueleto (caixa torácica)

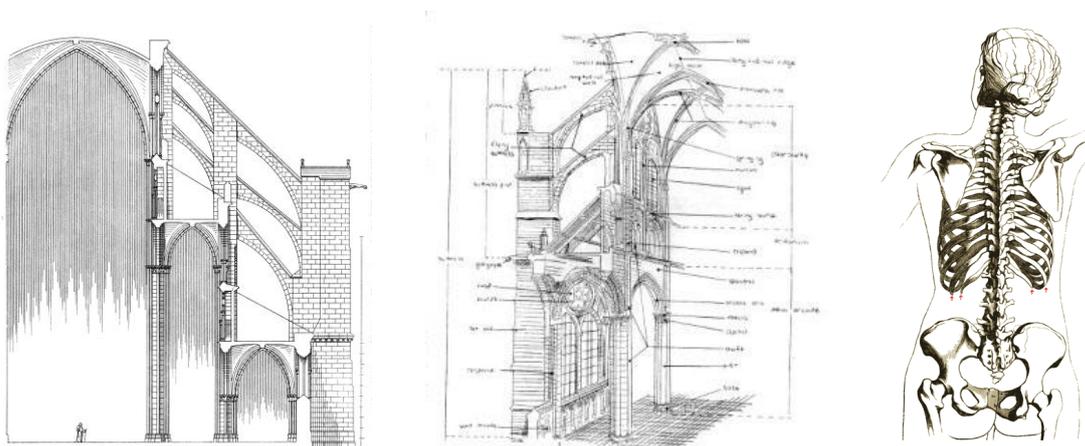


Fig.33,34 e 35 – Comparação entre o esqueleto estrutural da catedral gótica com o esqueleto estrutural do ser humano.

Renascimento

A Leonardo Da Vinci, uma das mentes mais influentes do pensamento renascentista, é atribuída a seguinte conclusão: “A *subtileza humana nunca conceberá uma invenção*”

mais bela, mais simples ou mais directa do que a natureza tem, pois nas suas invenções nada falta, e nada é supérfluo."

A ideia de Leonardo, da natureza como mentora do artista, está bem patente em todo o seu trabalho artístico e científico, mas especialmente nas suas invenções.

Os testemunhos dos contemporâneos mostram que Leonardo gozava de reputação como arquitecto. No entanto, a construção parece tê-lo interessado menos que os problemas básicos do traçado e da estrutura. Os numerosos projectos arquitectónicos entre os seus desenhos destinavam-se, na maioria, a ficar no papel. (Jason, 1998:449)

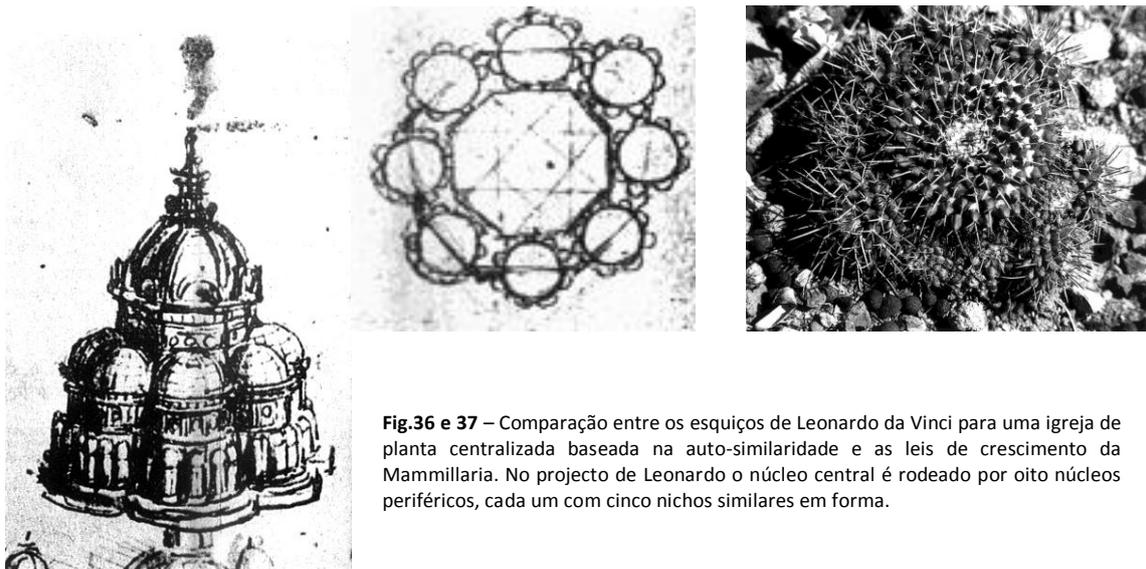


Fig.36 e 37 – Comparação entre os esboços de Leonardo da Vinci para uma igreja de planta centralizada baseada na auto-similaridade e as leis de crescimento da Mammillaria. No projecto de Leonardo o núcleo central é rodeado por oito núcleos periféricos, cada um com cinco nichos similares em forma.

A arquitectura renascentista procura a perfeição, a harmonia e a simplicidade que só a natureza tem. Por isso o que a caracteriza é a preocupação de encontrar uma harmonia inteligível e racional entre as diferentes partes ou espaços de um edifício, um conjunto de regras formais e de proporções modulares que ligassem entre si todas as partes, isto é, a ordem arquitectónica renascentista, herdada da ordem clássica. Estas regras deviam estar em relação estreita com as que regiam o Universo e o Homem. As mais importantes, de ordem estética e construtiva, eram: a simetria, a regularidade, o alinhamento, e a proporção. (Pinto, 1998:VI,10)

Por isso, as construções apresentavam um traçado rigoroso e geométrico: preferência pelas volumetrias circulares, cúbicas e paralelepípedicas; fachadas rectilíneas, segundo a regularidade ortogonal que, acentuando a horizontalidade, davam forma ao conjunto – a "caixa". Esta era completada pelos elementos estruturais da arquitectura (colunas, entablamentos e cúpulas) e pela ornamentação. (Pinto, 1998:VI,10)

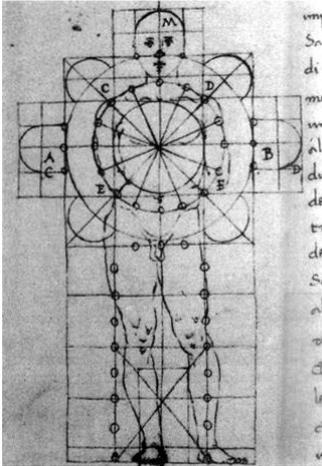


Fig.38 – Estudo das proporções áureas na figura humana de Francesco di Giorgio, 1482

O homem volta a ser *a medida de todas as coisas*, e o corpo humano é tido como modelo e cânone. Em estudos como o desenvolvido por Francesco di Giorgio – Estudo das proporções áureas na figura humana – pode-se depreender raízes antropomórficas na centralidade cruciforme das plantas renascentistas. O ideal renascentista da centralidade, na procura do perfeito, do absoluto e do puro, teve no entanto que ser alterado por não ser funcional para igrejas de grande afluência, sendo adoptada uma planta intermédia com uma nave central alongada.

O arquitecto do Renascimento pleno, Bramante, pode marcar a excepção com o seu célebre Tempíeto de S. Pedro de Montélios, e no projecto da Basílica de S. Pedro em Roma. (Pinto, 1998:VI,10-14)

Palladio iria mais tarde produzir uma jóia de arquitectura, onde a expressão de Aristóteles “*o todo é maior que a soma das partes*” se aplica plenamente – a Villa Rotonda. O edifício é um volume prismático em plena harmonia com a natureza envolvente, um exemplo de centralidade, de simetria e de união. Quatremère de Quincy define com exactidão como a imitação da natureza acontece: “é a natureza em si, a sua essência abstracta de onde a arquitectura tira o modelo. É a ordem por excelência da natureza que se torna o seu arquétipo e génio (...)” (Portoghesi, 2000:345)

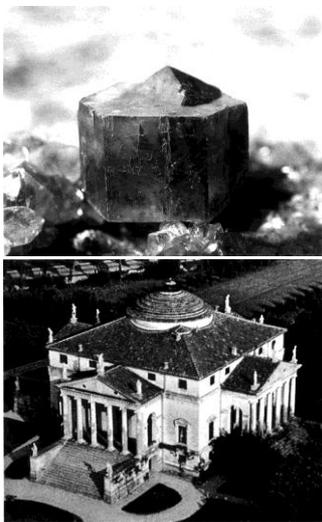


Fig.39 e 40 – Analogia entre a ordem natural presente num cristal e a Villa Rotonda.

O projecto de Michelangelo Buonarroti para a praça do Capitólio, em Roma, propunha um pavimento inspirado no padrão das sementes de Girassol. Este padrão, muito usado pelos romanos no pavimento, é uma simplificação do padrão de crescimento em espiral encontrado frequentemente na natureza, que obedece à sequência de Fibonacci. (Portoghesi, 2000:86,87)

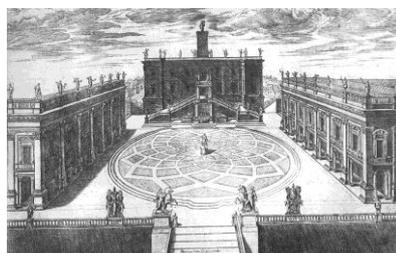
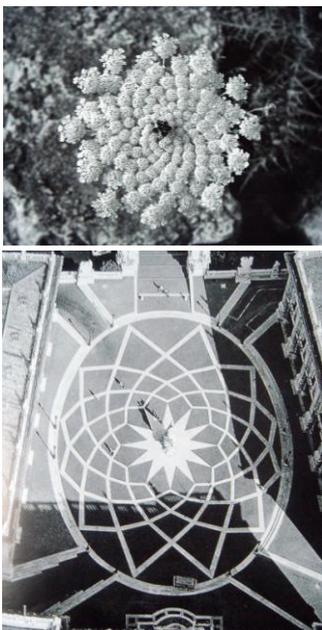


Fig.41, 42 e 43 – Analogia entre o padrão em espiral da flor da cenoura selvagem (Daucus carota) e o pavimento projectado por Michelangelo para a Praça do Capitólio.

Barroco

O Barroco arquitectónico dirigia-se ao grande público, e por isso destinava-se a persuadir e a estimular as emoções pelo movimento curvilíneo, real ou aparente, pela busca do infinito, pelo jogo ostentatório da luz e da sombra, pelo teatral e pelo fantástico. Nesta busca pela emoção e pelo mundo dos sentidos, a natureza serviu de mote a muitas concepções dinâmicas e fantasistas.

Arquitectos como Gianlorenzo Bernini, Borromini, Guarino Guarini, deixaram-nos muitos exemplos de inspiração no mundo natural. Um exemplo recorrente é a cúpula, que se assume como peça de destaque da arquitectura, especialmente nos edifícios religiosos, e que tanto no interior como no exterior revela frequentemente uma temática biológica na sua concepção (figuras abaixo).



Fig.44, 45 e 46 – Cúpula de Santo André do Quirinal em Roma, Gianlorenzo Bernini, 1676. À esquerda a semelhança com uma colmeia ou um ninho de vespas.



Fig.47 – Interior da cúpula da Igreja de S. Ivo de Sapiência em Roma (Francesco Borromini, 1642-50) comparada com a fotografia de uma Iris germanica. Em ambos os casos, as leis de composição são baseadas em dois grupos de três eixos equiângulos simétricos rodados 30°.

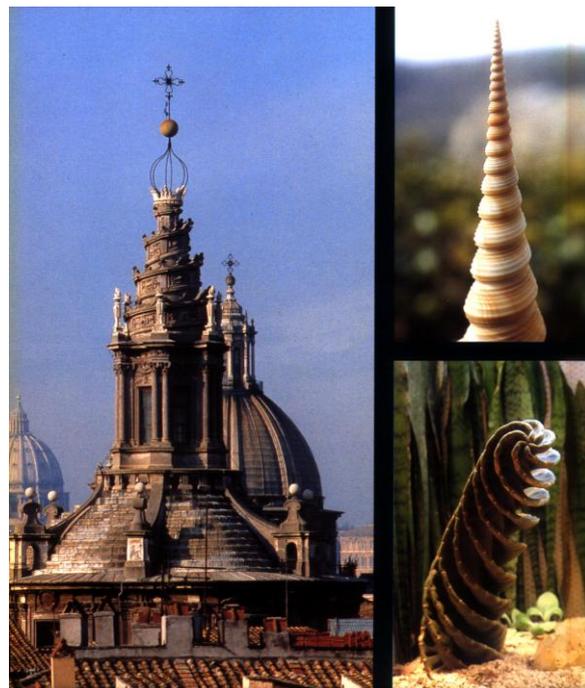


Fig.48 – A cúpula da Igreja de S. Ivo de Sapiência em Roma (Francesco Borromini, 1642-50) comparada com uma concha (a Turritella terebra) e um cacto Brasileiro.

Durante mais de um século, desde os meados do século XVIII aos fins do XIX, a arquitectura fora dominada por uma sucessão de “estilos de revivência ou de ressurgimento”. Este termo não implica que as formas antigas fossem servilmente copiadas; as melhores obras da época têm ao mesmo tempo individualidade e superior distinção. No entanto, no que diz respeito à análise da arquitectura inspirada na natureza é irrelevante repetir os mesmos princípios do passado, por isso passar-se-á desde já ao século XIX. (Jason, 1998:746)

Arquitectura do ferro e do vidro

No final do séc. XVIII, a máquina a vapor já se encontrava de tal modo desenvolvida que podia ser aplicada na produção de quantidades cada vez maiores de ferro. Leveza, transparência, uma impressão de tensão e fragilidade são características estéticas da construção metálica. No entanto foi preciso passar mais de meio século até que um público mais alargado tivesse consciência disso (mudança marcada pelo Palácio de Cristal em Londres, 1851, de Joseph Paxton).

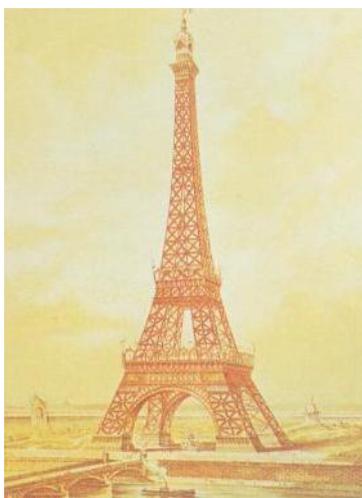


Fig.49 – Torre Eiffel

As exposições Mundiais tornaram-se, durante a segunda metade do séc. XIX, nas exposições públicas das capacidades do progresso técnico e científico, cada vez mais impressionantes. Para a Exposição Mundial de Paris, em 1889, o engenheiro Gustave Eiffel erigiu uma torre com uma altura inimaginável nesse tempo. Na Idade Média a torre catedral de Ulm tivera de ser interrompida ao atingir os setenta metros de altura (a altura projectada era de 162 metros). A Torre Eiffel, em contrapartida, media 300 metros tendo permanecido durante 40 anos a construção mais alta erigida pelo homem.

Concebida como entrada triunfal da exposição, a Torre Eiffel foi a sua principal atracção, apesar da sua inutilidade. Por isso mesmo, impôs-se ao público como um manifesto arrojado e provocador das possibilidades ilimitadas da ciência e da técnica. O sucesso foi tal que, em vez de ser desmontada no final da exposição, como se previa, ainda hoje se ergue sobre Paris, que a transformou no seu símbolo universal. Existe uma ligação clara entre a torre e o biomimetismo, uma vez que Gustave Eiffel desenhou os elementos estruturais da torre tendo por base um dos ossos do corpo humano – o fémur.

O fémur é o osso mais comprido do corpo humano, percorrendo toda a coxa e estendendo-se desde a articulação da anca até ao joelho.

A extremidade inferior articula-se com a tibia, formando o joelho. A extremidade superior termina numa meia-esfera (cabeça do fémur) que se encaixa numa cavidade que lhe é congruente no osso ilíaco para formar a articulação da anca.

Durante os primeiros anos de 1850, o anatomista Hermann Von Meyer estudou a parte deste osso que se insere nos ossos da bacia. Esta articulação é muito interessante porque ao contrário de muitas, o colo do fémur estende-se horizontalmente até entrar em contacto com o osso da bacia e desta forma leva as cargas descentradas. Von Meyer descobriu que o interior do colo do fémur contem uma ligação regular entre várias rótulas com pequenas rugas salientes e compridas chamadas trabaculae.

Em 1866 o engenheiro Suíço Karl Cullman visitou o laboratório de Von Meyer. Como Thompson escreve no seu livro *On Growth and Form*, "O engenheiro reparou que a forma da *trabaculae* óssea não era mais nem menos que uma diagrama de linhas de força, ou direcções de tensão e compressão: a natureza estava a reforçar o osso na direcção em que esse reforço era necessário." (Thompson, 1992:250)

Para além de demonstrar o acima referido, Cullman continuou mostrando que esta era uma das formas mais eficientes de suportar cargas descentradas. Foram estas descobertas que inspiraram Gustave Eiffel ao desenhar a torre que tem o seu nome. Ele calculou a curva dos pilares de base da torre de forma que as forças de esforços normais e tangenciais causadas pelo vento fossem convertidas em forças de compressão que a estrutura conseguiria aguentar melhor. Semelhante ao fémur, as grandes curvaturas do aço são suportadas por ligações regulares entre rótulas feitas através de ligações metálicas, que ajudam a suportar a carga. (Forbes, 2005:208)

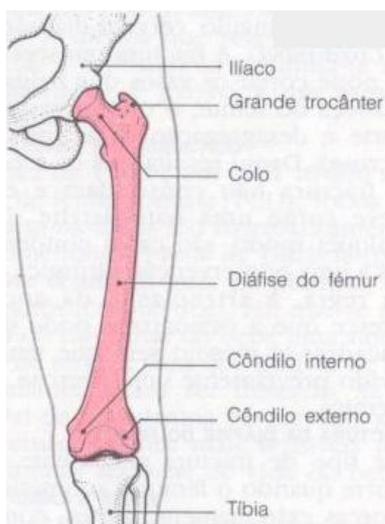


Fig.50 – Osso do Fémur

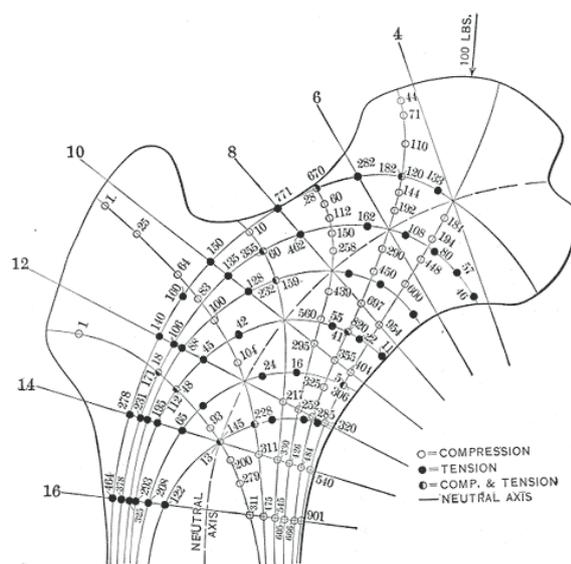


Fig.51 – Diagrama de linhas de força (direcções de tensão e compressão) aplicados ao Colo do osso do Fémur: a natureza a reforçá-lo na direcção em que esse reforço era necessário.

O movimento da Arte Nova, que surge nas décadas de transição entre o século XIX e o século XX, abarcou diferentes cunhos pessoais, diferentes escolas e diferentes designações, sob alguns princípios unificadores.

O primeiro foi o da inovação formal, numa forte atitude de originalidade e criatividade, mas também de rejeição aos estilos académicos, históricos e revivalistas da sua época. As novas formas inspiravam-se, agora, na Natureza (fauna e flora) e no Homem, com preferência pelas estruturas e texturas orgânicas, e pelos movimentos sinuosos e encadeados, captados no seu dinamismo expressivo, através de linhas e formas estilizadas, sintetizadas ou geometrizadas.

O segundo foi o da adesão ao progresso do seu tempo pela integração e recurso às novas técnicas e aos novos materiais (ladrilho cozido, ferro, vidro, betão e outros) que usava estrutural e decorativamente, sem disfarces, tirando partido da sua resistência e eficácia, mas também da sua maleabilidade e sentido plástico.

Por último, a adopção de uma nova estética que se expressava, sugestivamente, através da linha sinuosa, elástica e flexível, estilizada ou geometrizada, na procura do movimento, do ritmo, da expressão e do simbolismo poético, num claro intuito decorativo que apelava à sensibilidade estética e à fantasia do espectador.

A Arte Nova exprimiu a modernidade numa fórmula onde estética e técnica, tradição e inovação se misturavam em doses iguais, e cedo se transformou numa moda que aplicou a sua estética a todas as modalidades artísticas – da arquitectura, pintura e escultura, às artes aplicadas, às artes gráficas, à dança e ao bailado – comungando do princípio da unidade das artes que William Morris tinha já anunciado. (Pinto, 1998:IX, 80-84)

Um dos méritos reconhecidos da arquitectura modernista da Arte Nova é o de ter conseguido romper com as tradições historicistas e ecléticas da arquitectura académica para implantar, finalmente, o primeiro estilo verdadeiramente inovador do século XIX, conseguindo conjugar na perfeição, as conquistas técnicas e construtivas da engenharia do seu tempo com as elevadas exigências formais estéticas dos arquitectos.

O princípio de “unidade das artes” está bem presente na maioria dos arquitectos da Arte Nova, que foram simultaneamente artesãos-designers, cuidando dos interiores com o mesmo rigor dispensado à edificação. (Pinto, 1998:IX,86)

Victor Horta

O primeiro foco da arquitectura da Arte Nova foi a Bélgica, sobretudo a cidade de Bruxelas, onde se destacou o arquitecto Victor Horta. Criou edifícios de estruturas simples e sóbrias, de fachadas movimentadas e com grandes janelões, e interiores funcionais, onde aliou a decoração aos elementos estruturais e dilatou os espaços recorrendo a jogos de espelhos e pinturas ilusórias. Entre os seus melhores trabalhos contam-se a Casa Tassel (1892), a Casa Solvay (1895-1900) e a Casa do Povo (1897), todas em Bruxelas.



Fig.52 – Casa Horta, Victor Horta, 1892 - 1893



Fig.53 – Casa Tassel, Victor Horta, 1892



Fig.54 – Casa Van Eetvelde, Victor Horta, 1895 - 1898

António Gaudí

António Gaudí (1852-1926) foi sem dúvida um dos mais criativos e originais arquitectos do modernismo europeu. Dentre a sua obra (que teve também intervenções no design de equipamento e no urbanismo), destacam-se as casas Batlló (1905-06) e Milá (1905-10) e a Catedral da Sagrada Família, ambiciosa construção a que dedicou toda a sua vida e que deixou incompleta. (Pinto, 1998:IX,88)

A casa Milá em Barcelona é um dos mais notáveis exemplos de arquitectura da Arte Nova. Este grande edifício de apartamentos mostra uma rejeição quase paranóica de todas as superfícies planas e linhas rectas, e de qualquer espécie de simetria, de tal modo que o edifício parece ter sido livremente moldado em alguma substância maleável (o material não é estuque ou cimento, como seria de esperar, mas pedra talhada). O telhado tem o movimento rítmico de uma onda e as chaminés parecem ter formas saídas de um funil de pasteleiro. A Casa Milá exprime a devoção fanática de um homem ao ideal da forma “natural”; não podia ser repetida, e muito menos desenvolvida. (Janson, 1998:750)

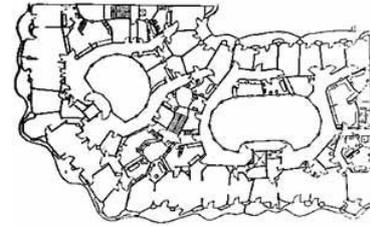
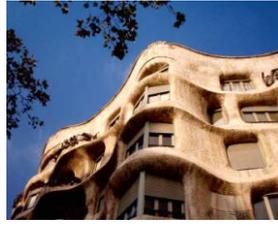
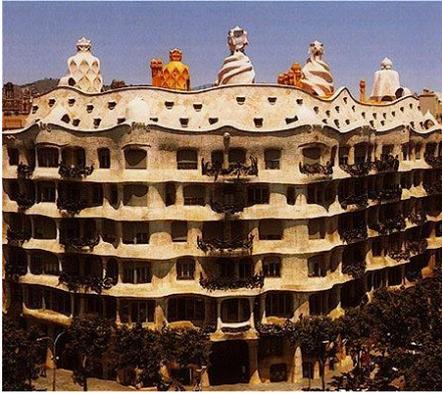


Fig.55, 56 e 57 – Casa Milà

Gaudí observou de perto formas naturais e foi um inovador audacioso de sistemas estruturais avançados. Ele concebeu estruturas "equilibradas" (que se levantam como uma árvore, sem necessidade de reforço interno ou de suporte externo) com catenária, arcos e abóbadas hiperbólicas e parabólicas, colunas inclinadas e pilares helicoidais (cones espirais). Foi o primeiro a projectar habilmente complexas forças estruturais através de modelos pendurados com cordéis e pesos (os seus resultados foram agora confirmados por análise computadorizada). (Pearson, 2001:11)

"O requisito mais importante para que um objecto seja considerado belo é que atinja a finalidade à qual se destina, não como se fosse uma questão de ajuntar problemas resolvidos individualmente e montá-los para produzir um resultado heterogéneo, mas sim como uma tendência para uma solução unificada onde as condições materiais, a função, e o carácter do objecto são cuidados e sintetizados e, uma vez se conheçam as boas soluções, seja uma questão de tomar aquela que é mais adequada para o objecto em consequência da necessidade de atingir a sua função, carácter e condições físicas." (Martinelli 1967,p125)

Gaudí foi um arquitecto que acreditava que, se procuramos a funcionalidade num projecto, então ele acabará por chegar à beleza. Ele pensava que, se só se almejasse a beleza, então alcançar-se-ia a arte apenas no seu aspecto teórico, estético ou filosófico. Gaudí foi capaz de reconhecer a infinita variedade de formas estruturais na natureza e inferir que há grande sabedoria em estudar estruturas naturais que estão submetidos à gravidade, e que obtêm soluções finais de máxima funcionalidade. Ele procurou obter conhecimentos a partir dessas estruturas e trazê-los para a realidade arquitectónica. Gaudí combinou princípios do design numa nova teoria que uniu três anteriormente diferentes áreas de arquitectura, em que: "... o facto mecânico é geometricamente demonstrado e é traduzido em material tri-dimensional, tornando-se estrutural. A mecânica, a geometria e a estrutura foram sintetizadas para produzir uma arquitectura lógica em que cada elemento activo desempenha a sua função numa forma equilibrada e com o mínimo esforço." (Martinelli p134)

"O helicoidal é a forma de um tronco de árvore, e Gaudí utilizou esta forma nas colunas do Colégio das Teresianas. O hiperbólico é a forma do fémur, uma forma que ele usou nas colunas da Sagrada Família. A forma de cone é uma forma frequentemente encontrada nas folhas das árvores, e foi esta forma que ele usou nos telhados da Escola Provisória da Sagrada Família. A hiperbólica parabolóide é formada pelos tendões entre os dedos da mão, e ele construiu com esta forma as cúpulas da cripta da igreja da Colónia Guell." (Nonell 2000)

Arquitectura do século XX e XXI

A natureza torna-se a mentora de muitos arquitectos no século XX até aos nossos dias, e por isso apenas são dados alguns exemplos de seguida...

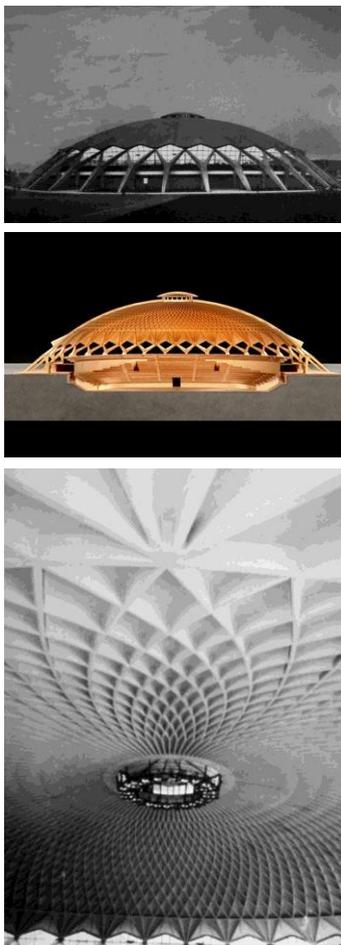


Fig.57, 58 e 59 – Pallazetto dello Sport, 1957

Pier Luigi Nervi

Este arquitecto e engenheiro italiano foi responsável por uma série de construções baseadas na forma da espiral equiangular que aparece no mundo natural com regularidade. Nervi encarava a natureza como sendo um mestre que busca atingir os melhores resultados com o mínimo esforço, criando assim harmonia pela beleza das proporções manifesta através de princípios matemáticos. Ele experimentou com estes princípios estabelecer a relação harmoniosa entre o reforço interno e a pele externa que o envolve. (Portoghesi, 2000)

A habilidade para desenvolver estas formas delicadas surgiu quando Nervi fez uma importante descoberta no campo do betão armado: a invenção do *ferrocimento*. Este material foi formado usando a malha de aço como núcleo com camadas de argamassa de cimento aplicadas sobre ele. A malha de aço era fina, flexível, e elástica, e a sua adição ao cimento criou um material que poderia resistir a grandes tensões. O Ferrocimento permitiu a Nervi projectar qualquer forma que quisesse, dando-lhe uma maneira de resolver os problemas de tensão e

equilíbrio estático com maior liberdade que a convencional, segundo o que dantes era possível. De forma a reduzir o custo da construção, o material podia ser facilmente

pré-fabricado em moldes de gesso. Esta abordagem permitia que o edifício – pele e estrutura – se torna-se numa unidade coesa. (Leslie, 2003:45)



Fig.60, 61 – Esquícios e foto do planetário inspirado no olho humano.

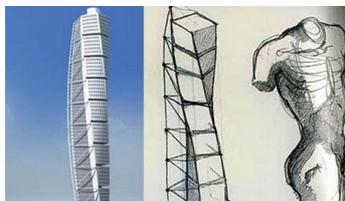


Fig.62 – Esquícios e modelação para o projecto do arranha-céus *Turning Torso*, analogia com a torção do corpo humano.



Fig.63, 64 – Museum de Arte de Milwaukee, comparação com um pássaro em movimento (topo).

Santiago Calatrava

As obras de Santiago Calatrava evocam inevitavelmente a natureza. Seja como arquitecto, engenheiro ou escultor, Calatrava vai buscar a inspiração ao mundo natural, como ele próprio explica:

“Fui guiado pelo lema “*natura mater et magistra*” – a natureza tanto é mãe como mestre. Este lema tem guiado todo o meu trabalho. Há muitas lições que se podem retirar da natureza como regras directivas reais e metáforas da observação de plantas e animais”. (Tichhauser, 1998:6,7)

As estruturas de Calatrava nem sempre correspondem a soluções mínimas de engenharia; o escultor nele por vezes torna-as mais pesadas ou muda o equilíbrio das partes. Apesar de isso parecer um disparate do ponto de vista da engenharia, atribui às suas obras um potencial expressivo que o levou a tornar-se num dos mais proeminentes arquitectos contemporâneos de símbolos. (Aldersey-Williams, 2003:53) Ele procura na natureza mais que apenas um diagrama de forças, conforme o próprio manifesta: “...existem dois grandes princípios a encontrar na natureza, que são extraordinariamente adequados à construção: um é a optimização do uso do material; a outra é a capacidade dos organismos para mudar de forma, para crescer, e se mover. O movimento, em particular, tem sido uma verdadeira fonte de inspiração para mim.” (Tichhauser, 1998:6,7)

A interpretação dinâmica da natureza, numa busca pela elegância natural que se tornou a sua imagem de marca, torna evidente uma analogia com a morfologia animal e vegetal, como o próprio admite:

“Tenho construído estruturas semelhantes a árvores e os meus desenhos lembram frequentemente a forma de esqueletos. Atrás está o princípio da recorrência. Quer no caso das árvores, quer das vértebras, encontra-se sempre

a forma ditada pela lei estrutural universal de que a base é mais espessa do que o topo." (Tichhauser, 1998:6,7)

Assim como nas suas estações de Lyon e de Zurique, os seus projectos para a Cidade das Ciências e das Artes em Valência apresentam claras similaridades com animais. Torna-se evidente que o arquitecto se inspirou em fósseis ou em outras estruturas biológicas. Aspectos similares também são claramente identificáveis no seu projecto do Museum de Arte de Milwaukee, Wisconsin, construído entre 1994 e 2001. Localizado no eixo da avenida principal de Milwaukee, o pavilhão projectado por Calatrava cria uma encenação profundamente dramática. A estrutura sugere movimento, parece ser uma escultura cinética, facto criado pelas duas grandes asas que lembram um pássaro em movimento. (Aldersey-Williams, 2003:53,54)

Eugene Tsui

Tsui tem projectado e construído inúmeros projectos desenvolvidos através do seu fascínio pela natureza e pelo processo de biologia evolutiva com o qual ele está fortemente envolvido. As suas obras são inspiradas numa grande variedade de organismos, cujas diferentes características estruturais e funcionais são estudadas e associadas individualmente a cada projecto. Ainda que os seus projectos tenham um carácter expressamente zoomórfico, estão infundidos com princípios naturais que fundamentam a concepção formal. Tsui tem efectuado muitos ensaios estruturais sobre uma série de formas naturais, e utiliza esses resultados ao desenvolver a sua arquitectura.

"Dr. Tsui não está a imitar as formas da natureza. Ele está a tentar penetrar na "mente" da natureza - na fonte que gera as fórmulas e processos - e aplicar esse conhecimento para criar uma nova arquitectura, uma nova atitude em relação ao ambiente em que vivemos. Nenhum outro arquitecto na história olhou profundamente a natureza, de uma forma rigorosa científica, e em seguida aplicou essas descobertas à arquitectura." (site de Eugene Tsui, 2006)

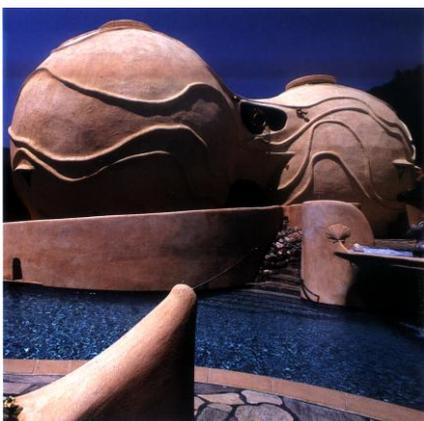


Fig.65 e 66 – Escola Internacional Watsu Center, compreende cinco módulos esféricos inspirados nas “formigas-pote-de-mel”.



A casa que projectou para os seus pais é baseada na morfologia do tardigrado. Os tardigrados constituem um filo de invertebrados de tamanho microscópico, também conhecidos por ursos de água doce. São criaturas muito resistentes, que segundo últimas experiências suportam (durante certo período de tempo) temperaturas tão baixas como -271°C e tão altas como 100°C , pressão 75 mil atmosferas e radiação 5700 grays. São capazes de sobreviver no vácuo do espaço e viver até 120 anos.

Tsui destaca a geometria da carapaça do tardigrado – elíptica em planta e em corte com uma curva parabólica superior e uma curva catenária inferior – que pode ser um factor decisivo na sua resistência. A casa também é elíptica em planta, com a estrutura parcialmente enterrada e uma série de arcos parabólicos de betão projectado como cobertura. Como o tardigrado, foi desenhada para suportar temperaturas extremas e abalos fortes como um sismo. (Aldersey-Williams, 2003:57)

Fig.67, 68 e 69 – A casa de Florence e William Tsui, inspirada no Tardigrado (em baixo).

Arquitetura Genética

Com o avanço tecnológico, especialmente com a assimilação do computador em todos os campos da vida humana, a arquitectura pode dar um passo importante em frente – a arquitectura genética. É assim que designa Alberto Estévez, coordenador do departamento de investigação e pós-graduação em arquitectura genética da ESARQ (Escola Técnica Superior de Arquitectura) da Universidade Internacional da Catalunha, a um novo projectar ecológico-ambiental e cibernético-digital. (Estevez, 2003:5)

Este novo projectar que Estévez propõe não se refere a realidade virtual, nem à simples metáfora da forma natural aplicada na arquitectura por imitação ou inspiração. Refere-se antes a uma realidade nova, que começa agora a germinar, que pretende não simplesmente criar *na* natureza mas criar *com* a natureza. O objectivo último é o arquitecto criar ele próprio natureza. (Estevez, 2003:9)

O primeiro passo, antes de se conseguir produzir arquitectura genética, é incorporar elementos vivos como partes integrantes da arquitectura. Amiúde estes elementos servem para melhorar o funcionamento físico e até estrutural do edifício, no entanto a sua inclusão pode ir além de motivos funcionais. O próximo passo consistiria em

melhorar geneticamente esses elementos vivos aplicados; e o seguinte, a sua integração, de forma a criar uma completa casa viva. Apesar de tudo isto parecer utópico, segundo o autor, hoje o único obstáculo para que se torne uma realidade é o dinheiro. (Estevez, 2003:9)

Um design genético, a possibilidade de manipular os dados da natureza - todas as formas, texturas, cores, e até sons. Acabaremos por nos acostumar, pois ao fim e ao cabo trata-se de um processo criativo similar ao de qualquer arte, apenas troca-se o óleo, o bronze ou a pedra por cadeias de ADN. (Estevez, 2003:13)

A evolução da linguagem arquitectónica ao longo dos séculos corresponde não só à evolução dos materiais, mas também à evolução dos processos de construção. No passado os objectos eram produzidos um por um. Hoje são produzidos em série, todos idênticos. Os objectos genéticos do futuro também serão produzidos automaticamente, mas todos diferentes. Tal seria possível através de uma conexão directa entre o projecto no computador e o processo de produção do edifício, criando idealmente o edifício robotizado vivo.

Em conclusão, o arquitecto já não teria de pensar na forma final do edifício. Como um geneticista, o arquitecto desenharia o software, a cadeia de DNA (artificial ou natural), que produziria o edifício por si. O arquitecto seria assim criador de raças de edifícios, com infinidade de pequenas variações automatizadas. (Estevez, 2003:15) Mas será mesmo possível produzir um software arquitectónico idêntico ao software natural, o DNA?

Entre outros arquitectos, Dennis Dollens (docente na ESARQ) tem explorado a hipótese de uma arquitectura botânico-digital, que funde a visualização electrónica com a tecnológica, o ambiente, a biomimética, e a rápida prototipagem. Começou em 1995 a investigação "The TumbleTruss Project", com dois objectivos: (1) procurar estruturas e formas derivadas de plantas autóctones e invasivas na área de Santa Fé, no estado do Novo México (EUA); (2) extrair princípios de crescimento e desenvolvimento dessas estruturas e aplicar essas extrapolações a modelos digitais experimentais e mais tarde testá-los fisicamente e digitalmente nos domínios da arquitectura e escultura. Mais especificamente, para este projecto Dollens desenvolveu uma visão biomimética para as plantas que são levadas pelo vento no deserto do Novo México (Salsola Kali) cujo extraordinário sistema de interligações estruturais cria um globo estrutural preparado para resistir à dura viagem essencial para a disseminação das suas sementes.

A investigação levou-o por fim a extrapolar os princípios naturais para a arquitectura, procurando uma arquitectura de crescimento digital. Cruzou os seus resultados com o gráfico criado em 1924 pelo arquitecto norte-americano Louis Sullivan (A System for Architectural Ornament), procurando desenvolver um léxico formal. Depois usou este léxico para estimular e fazer crescer de uma forma programada experiências, formas

parecidas a plantas no Xfrog – um software desenvolvido pela Greenworks que é normalmente utilizado por paisagistas para prever o crescimento das plantas num determinado espaço, baseado em algoritmos sobre o crescimento de plantas recolhidos numa série de 40 anos. Como o software não é pensado para arquitectura ou design, o resultado é depois refinado no software Rhinoceros, e por fim exportado para o 3D Studio Max donde pode ser impresso directamente como modelo tridimensional por uma impressora 3D. (Estevez, 2003:71-73)

A investigação de Dennis Dollens apesar de ainda estar numa fase apenas experimental, uma vez que não tem exemplos construídos mas apenas alguns projectos desenvolvidos como o Barcelona Podhotel ou a Arizona Tower, responde à visão futurista da arquitectura genética enunciada por Estévez. Com os meios que tem à sua disposição Dollens procura desde já criar um código genético para a arquitectura, imitando assim a natureza na sua génese.

Será este o futuro da arquitectura inspirada na natureza?

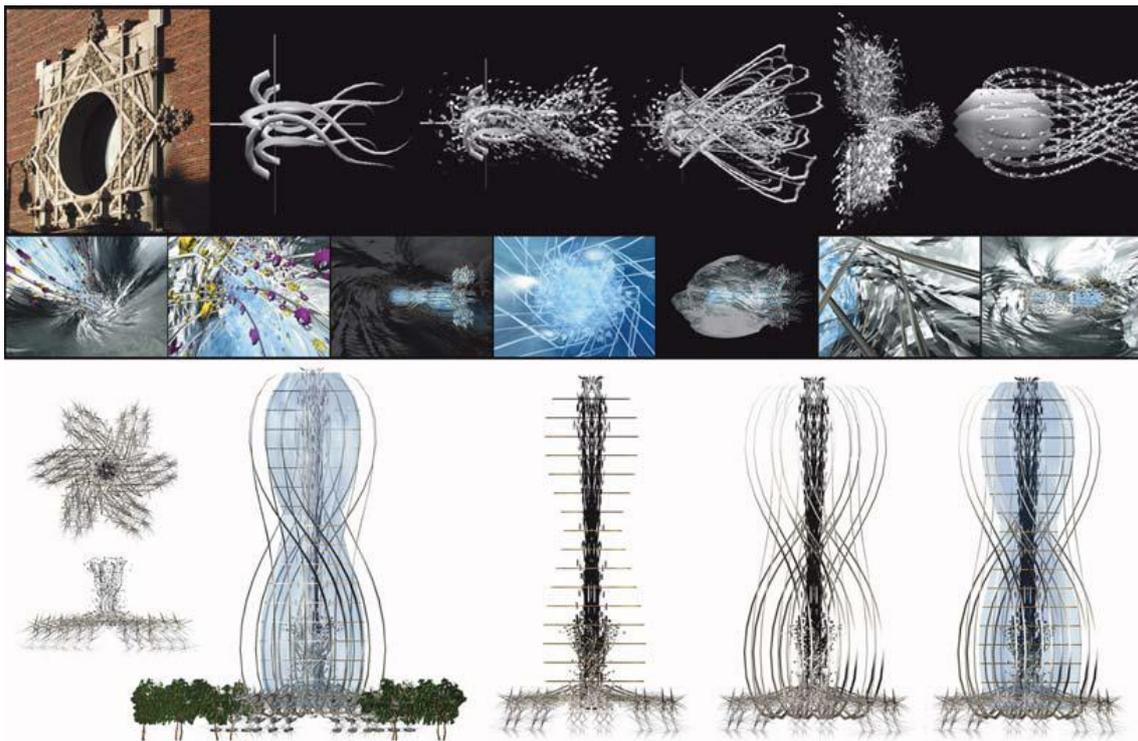


Fig.70 – “The TumbleTruss Project” - Topo: Ornamento de Louis Sullivan; sequência de hipotético crescimento digital guiado pelo seu ornamento em terra cota. No centro: Excertos de uma animação do estudo das formas criadas digitalmente. Em baixo: O crescimento digital aplicado à estrutura de arranha-céus.

Origem e conceito

Apesar de serem muitas vezes atribuídos a Buckminster Fuller (1895-1983) os primeiros conceitos sobre esta nova ciência (Fuller, 1981:25), foi Janine Benyus – uma escritora científica, professora de ciências ambientais – a responsável pela recente maior divulgação e sistematização do Biomimetismo como um campo de pesquisa e estudo. O seu livro intitulado “*Biomimicry: Innovation Inspired by Nature*” escrito em 1997 congregou descobertas recentes duma multidão de disciplinas, desde a engenharia à agricultura, que podem ser identificadas para pesquisa e investigação dos projectos e processos que se encontram na natureza. O livro avança com uma série de propostas que efectivamente ilustram as tendências e os princípios correntes da investigação biomimética.

O Biomimetismo é uma abordagem tecnologicamente orientada para aplicar as lições de design da natureza. Conforme se explicitou na Introdução deste trabalho, segundo Benyus (1997) existem três princípios (3 Ms) que descrevem este novo campo de estudo:

1. A Natureza como **Modelo**.
2. A Natureza como **Medida**.
3. A Natureza como **Mentor**.

Precedendo o conceito de Biomimetismo, a Biónica surgiu em meados do século XX como um último reforço na procura criativa de novos materiais e abordagens, potenciada pela situação ambiental vivida por todo o planeta. No entanto só agora designers, engenheiros e cientistas começam a compreender melhor esta metodologia, e o meio que nos rodeia.

Segundo Podborschi, M. Vaculenco (2005), a Biónica é a ciência que estuda os princípios básicos da natureza (construtivos, tecnológicos, de formas, etc.) e a aplicação destes princípios e processos na procura de soluções para os problemas que a humanidade encontra. Uma vez que a Biónica lida com a aplicação das estruturas, procedimentos e princípios de sistemas biológicos, converteu-se num campo interdisciplinar que combina a biologia com a engenharia, arquitectura, e matemática. (Lodato, 2005; Reed, 2004)

De acordo com aqueles autores, a Biónica pode ser classificada em 5 categorias principais (Podborschi, M. Vaculenco) (2005):

1. Mimetismo total – uma estrutura material do objecto que seja indistinguível do produto natural, por exemplo tentativas iniciais para construir máquinas do voo;
2. Mimetismo parcial – uma versão modificada do produto natural, por exemplo madeira artificial;
3. Analogia não-biológica – mimetismo funcional, por exemplo planos modernos e usos das superfícies de sustentação;
4. Abstracção – o uso de um mecanismo isolado, por exemplo reforço da fibra dos compostos;
5. Inspiração – propulsora para a criatividade, por exemplo design de construções arquitectónicas e de engenharia semelhantes a plantas, animais e insectos.

Como uma disciplina científica, a Biónica assume uma abordagem sistémica à realização técnica e aplicação de processos de construção e princípios de desenvolvimento observados nos sistemas biológicos. Contribuiu para as inovações tecnológicas na aerodinâmica, sonar, ventilação, empacotamento, adesão, propulsão, bombeamento, locomoção, composição material. No entanto, o rigor técnico da engenharia da Biónica tem virtudes e limitações. (Podborschi, M. Vaculenco 2005)

Esta abordagem pode aplicar-se ao design de um produto (usando soluções funcionais desenvolvidas com base em organismos biológicos), assim como a sistemas mais vastos, como comunidades, organizações, economias locais, entre outros. (Richardson et al., 2005)

Wahl (2006) sugere que Biónica e Biomimetismo representam duas abordagens distintas ao “design e natureza”, baseadas em diferentes concepções da relação entre a natureza e a cultura. Enquanto a Biónica, segundo este autor, trata da previsão, manipulação e controlo da natureza, o Biomimetismo aspira à participação na natureza, e por isso constitui uma maior contribuição para a sustentabilidade. Segundo este autor, uma transição para a sustentabilidade, mediada pelo design, requer uma abordagem holística e participatória da natureza e da cultura, dentro de um sistema dinâmico e interligado.

Segundo Reed (2004), o Biomimetismo continuará a influenciar as nossas vidas uma vez que por mais desenvolvidos que estejamos, ainda não conhecemos muito sobre a natureza.

Por exemplo, estima-se que existam entre cinco a 30 milhões de espécies a habitar a Terra, mas apenas temos conhecimento de cerca de 1.4 milhões.

Evolução da inter-relação com a arquitectura

Apesar da sua introdução como disciplina científica ser relativamente recente, os princípios e as directivas inerentes ao Biomimetismo, na sua relação com a arquitectura, derivam em parte de uma longa linha de contribuições numa variedade de tendências.

No Renascimento, por exemplo, já Leonardo da Vinci, um artista e cientista reconhecido por todos como um visionário, se tinha inspirado em formas da natureza nas suas invenções. As suas máquinas de voar são um claro exemplo disso.

Do ponto de vista histórico, o termo "Biomimético" foi introduzido nos anos 1950s por Otto Schmitt, um inventor americano, engenheiro e biofísico, que foi responsável pelo desenvolvimento da biofísica e fundador da engenharia médica.

Antecedendo o trabalho de Otto Schmitt está o de D'Arcy Thompson, um eminente matemático e biologista escocês, que publicou o livro intitulado *On Growth and Form* em 1917. Esta incrível colectânea de trabalhos foi rapidamente reconhecida pela sua originalidade e profundidade de alcance. Muitas vezes citado como "o primeiro biomatemático", foi Thompson que sugeriu que a influência da física e mecânica no desenvolvimento da forma e estrutura dos organismos estava subestimada. Este livro procurou ilustrar a relação entre as formas biológicas e mecânicas. No seu livro, Thompson não propõe uma relação causal entre as formas emergentes na engenharia e formas semelhantes na natureza. Ele apresenta um catálogo descritivo de formas naturais e da matemática que as define. Desde a sua publicação, o livro serviu de inspiração para biólogos, arquitectos, artistas e matemáticos (O'Connor 2006).

No seu livro, Thompson descreve como os estudos na década de 1850s do anatomista Hermann Von Meyer sobre a estrutura do fémur humano foram notados pelo engenheiro suíço Karl Cullman como evidenciando "nada mais do que um diagrama das linhas de carga, ou direcções da tensão e compressão, no suporte da estrutura." Mais tarde, em 1889, Gustav Eiffel utilizou estes mesmos estudos no seu projecto mais carismático: a torre Eiffel.

"Não existem formas orgânicas que não estejam em conformidade com leis matemáticas... portanto, a forma de qualquer parte de matéria, quer seja viva ou morta, e as mudanças de forma que são aparentes no seu movimento e no seu crescimento podem ser em todos os casos descritas como resultado da acção da força. Em resumo, a forma dum objecto é um "diagrama de forças"" (Thompson, 1963:11)

Por sua vez, o termo Biónica foi inventado, em 1958, pelo Engenheiro da Força Aérea dos E.U.A Major Jack.E. Steele, durante o seu trabalho na Divisão de Aeronáutica.

Steele definiu Biónica como “a análise das formas pelas quais os sistemas vivos actuam e têm descoberto os artifícios da natureza, representando-os em hardware”. O termo Biónica (do Grego – “elemento de vida”) foi oficialmente usado como título de um simpósio em Setembro de 1960. O conceito de Biónica de Steele focava-se basicamente na imitação da forma biológica e estrutura fisiológica dos organismos, utilizando características biológicas induzidas como base para o desenvolvimento técnico. (Hsiao† e Chou‡, 2007)

Em 1969, Ian L. McHarg e os fundadores do “New Alchemy Institute” – John Todd, Nancy Jack Todd e William McLarney – foram pioneiros na nova abordagem ao design, visando aplicar lições de design da natureza à criação de novas infra-estruturas, produtos e processos humanos mais sustentáveis. (Wahl, 2006)

Segundo o Dr. John Todd, importante biólogo cujo trabalho se foca no campo do design ecológico, “a ecologia da Terra está aliada a um conjunto de instruções que precisamos urgentemente de decifrar e aplicar no design dos sistemas naturais.” Após quarenta anos de pesquisa nas áreas de biologia, ecologia e design, John Todd disse: “através do design ecológico é possível conseguir uma civilização superior, que usará um décimo dos recursos mundiais que a sociedade de hoje usa.”

John Todd e a sua mulher Nancy Jack Todd foram os primeiros investigadores a formular uma lista de princípios relativos ao design biológico/ecológico (Wahl, 2006):

1. O mundo vivo é a matriz para todo o “design”;
2. O “design” deve seguir, e não opor-se, às leis da vida;
3. A equidade biológica deve determinar o “design”.
4. O “design” deve reflectir o bioregionalismo;
5. O “design” deve ser baseado em fontes de energia renováveis;
6. O “design” deve ser sustentável na integração de sistemas vivos;
7. O “design” deve ser co-evolucionário com o mundo natural;
8. A construção e o “design” devem ajudar curar o planeta;
9. O “design” deve seguir a ecologia;
10. Todos somos “designers”.

O último princípio foi adicionado mais recentemente, e pretende mostrar a centralidade do “design”. Esta lista de princípios biológicos do “design” reflecte a visão abrangente e participatória que sustenta o “design” sustentável integrado.

Como atrás se disse, em 1997, a escritora e cientista Janine Benyus, introduziu o conceito de Biomimetismo no seu livro *Biomimicry: Innovation Inspired by Nature*. Este novo termo caracterizou-se por um âmbito mais alargado que o conceito de Biónica, conhecido até à data. Além de considerar a imitação da forma biológica, o Biomimetismo inclui também o conceito de replicação do comportamento dos organismos biológicos.

Em 1999, Edwin Datschefski, investigador especializado no desenvolvimento e promoção de conceitos de design de produtos sustentáveis, fundou uma organização denominada Biothinking International. "BioThinking" significa olhar o mundo como um sistema único, e desenvolver técnicas novas, derivadas da ecologia, a aplicar no design industrial, organizacional e sustentável. (Fonte: <http://www.biothinking.com/>) No seu livro *The Total Beauty of Sustainable Products*, Edwin alerta todos os envolvidos no processo de design para o trabalho urgente de repensar a concepção, no sentido de tornar os produtos 100% sustentáveis.

Janine Benyus e Edwin Datschefski são dois nomes indissociáveis da evolução do Biomimetismo como ciência. Os princípios usados, por cada autor, para guiar a concepção e design estão sumarizados na tabela abaixo:

Janine Benyus (1997)	Ed Datchefski (2001)
<ul style="list-style-type: none"> • Usar resíduos como um recurso. • Diversificação e cooperação para usar completamente o habitat. • Obter e usar energia de forma eficiente. • Optimizar em vez de maximizar. • Moderar o uso de materiais. • Não poluir. • Não gastar recursos. • Permanecer em equilíbrio com a biosfera. • Partilhar informação. • Comprar localmente. 	<ul style="list-style-type: none"> • Cíclico: os produtos devem ser parte de ciclos naturais, feitos de material que possa ser compostado ou tornar-se parte de um ciclo humano, como um círculo fechado de reciclagem. • Solar: toda a energia usada para fazer e usar o produto deve provir de energia renovável, em todas as suas formas, como a solar. • Eficiente: aumentar a eficiência dos materiais e uso de energia significa menos danos ambientais. Os produtos podem ser desenhados para usar 1/10 do que usavam antes. • Segurança: os produtos e os subprodutos não devem conter materiais tóxicos. • Social: O fabrico dos produtos não pode incluir exploração dos trabalhadores.

Nos últimos anos, o interesse por parte de arquitectos e engenheiros em retirar conceitos de design da natureza tem aumentado. Em especial ao longo da última década, com o crescente foco na natureza, o campo da Biónica explodiu (Lodato, 2005). Este crescimento tem sido notório, sendo cada vez mais comum encontrar livros,

artigos, sessões de conferência e programas nas Universidades sobre Biónica ou Biomimetismo. (Dickinson, 1999)

De acordo com Dickinson (1999) uma das razões para o crescente interesse, que se verifica actualmente, sobre a Biónica é a elevada sofisticação dos métodos de produção actuais. O Homem só recentemente começou a possuir um conjunto de ferramentas suficientemente sofisticadas para imitar as características das estruturas biológicas, estruturas muito complexas. Devido às inovações na Ciência de Materiais, na Engenharia Eléctrica, na Química e na Genética Molecular, é possível planear e construir estruturas complexas a nível molecular ou próximo.

Outra razão prende-se com o maior conhecimento sobre as plantas e os animais. Ao estudar os animais e plantas, os biólogos podem identificar relações estrutura-função específicas e, por conseguinte, podem fornecer assistência aos arquitectos quando perante problemas análogos.

A atracção dos arquitectos pela Biomimética está no facto de que esta aumenta a perspectiva de uma maior integração entre a forma e a função (no que diz respeito a um design do edifício como um todo). Ela promete acrescentar novos meios através dos quais os edifícios respondam e interajam com os seus utilizadores – meios mais subtis e mais satisfatórios do que os actuais sistemas mecânicos.

A um nível mais profundo, segundo George Jeronimidis da Universidade de Reading, os arquitectos são atraídos por este campo da ciência “pois todos nós somos parte da mesma biologia”. O encorajamento para construir numa relação mais harmoniosa com a natureza é, conforme ele acredita, uma vontade genuinamente biológica, e não meramente romântica. (Aldersey-Williams, 2003:169)

O apelo da Biomimética decorre não apenas de esta ser um método para adquirir ideias da natureza para a concepção e “design”, mas também de descobrir a maneira como a natureza usa essas mesmas ideias.

I.3 – Pressupostos biomiméticos de sustentabilidade

Segundo Drack (2002), os sistemas biológicos são presumivelmente sustentáveis, pois têm existido durante muitos e muitos anos. Se isto for verdade, devemos descobrir como é que os sistemas biológicos realmente funcionam, em termos de sustentabilidade.

Algumas características dos ecossistemas/sistemas naturais que podem ser reproduzidas e aplicadas pelo Homem são (Graedel e Allenby, 1995; Lowe, 1996; Yeang, 2006):

- Nos sistemas naturais não existem resíduos. De várias formas todos os materiais são reutilizados, geralmente com grande eficiência; os resíduos de uma espécie são o alimento de outra;
- Os materiais e nutrientes circulam e transformam-se continuamente. O sistema funciona inteiramente com base em energia solar e armazena, ao longo do tempo, a energia sob a forma de combustíveis fósseis;
- Grande parte dos fluxos de energia nos ecossistemas é consumida nos processos de decomposição, de forma a reciclar resíduos para a sua reutilização;
- As toxinas concentradas não são armazenadas e transportadas em grandes quantidades ao nível do sistema, mas são sintetizadas e usadas quando necessário apenas por certos organismos;
- Um organismo biológico responde aos estímulos externos, como temperatura, humidade, disponibilidade de recursos, entre outros;
- Os sistemas naturais são dinâmicos e orientados pela informação; A flexibilidade dos ecossistemas é uma consequência de múltiplos ciclos de feedback (ciclos retroactivos) que mantêm estes sistemas num estado de balanço dinâmico;
- Um organismo biológico é capaz de actividade independente. No entanto todos os sistemas vivos comunicam e partilham recursos entre si;
- Cada membro de um ecossistema realiza várias funções, interligando-se com outros membros. A cooperação e a competitividade estão interligadas. As trocas de energia e recursos que ocorrem nos ecossistemas são sustentadas pela cooperação.

Na lógica do Biomimetismo, estes princípios naturais podem servir de base para o processo de “design” de produtos mais sustentáveis.

Os conceitos e ferramentas dos sistemas naturais são importantes para perceber a relação da produção com a natureza. O conceito de escala é uma ideia central, permitindo considerar as instalações produtivas como organismos que actuam individual ou colectivamente. Também o conceito de simbiose, comum nos sistemas

naturais, pode ser aplicado aos sistemas tecnológicos; a diferença é que nestes sistemas a simbiose pode ocorrer espontaneamente ou de forma planeada. O conceito de cadeia alimentar fornece uma abordagem analítica aos fluxos de recursos nas sociedades tecnológicas. (Graedel e Allenby, 1995)

Drack (2002) salienta este último conceito. Segundo este autor, a engenharia pode aprender uma lição da natureza no que diz respeito à utilização dos recursos disponíveis no ambiente circundante. Os mecanismos de transporte e armazenamento de recursos industriais (feitos pelo homem) não são eficazes, pois são de manutenção dispendiosa e misturam os materiais, o que torna difícil a recuperação e reutilização. Por outro lado, os organismos usam fluxos de materiais de forma passiva, no sentido em que não há processos de transporte longos e dispendiosos, pelo contrário os ciclos de recursos são temporais e curtos. (Drack, 2002; Graedel e Allenby, 1995) Neste caso, "small is best".

Comum tanto ao ambiente natural como ao ambiente criado pelo Homem está a questão do custo. Existe sempre a questão de quanto um objecto, uma estrutura ou organismo custará para projectar, manufacturar, construir, manter e, ultimamente, reciclar. No ponto de vista do arquitecto, isto pode ser reduzido a um custo monetário, quando acontece geralmente que a oferta mais barata é a que ganha.

No mundo natural, o custo é a energia, e sendo os recursos disponíveis escassos, os organismos para sobreviverem e crescerem tentam fazê-lo com a menor quantidade possível de gasto em materiais e energia. As plantas, por exemplo, desenvolvem formas inovativas de receber mais luz do sol.

De forma similar, um arquitecto deve equacionar uma série de variáveis no projecto cujo resultado é o custo do investimento, que podem ser a estrutura, a aparência, a eficiência ou quaisquer outros requisitos. O projecto que oferece o melhor produto pelo menor montante de investimento será normalmente o que será produzido.

É no entanto digno de nota que as capacidades de projectar, os materiais, e os métodos de fabricação e construção que nós temos na nossa "palette" são diferentes dos que são encontrados na natureza e por isso nem sempre podem ser transferidos da natureza para a arquitectura numa forma eficiente. Assim, um conceito tornar-se-á mais robusto se conseguirmos extrair inspiração nos projectos inovativos e na forma de os produzir dos fenómenos naturais (relativamente às técnicas comuns que conhecemos) do que apenas tentar imitá-los. (Vincent, 2002:4).

A orientação solar correcta é, em si mesma, um princípio biomimético. Como assim? O girassol acompanha o trajecto diário do sol como se fosse uma antena captadora da radiação solar. O edifício sustentável fará o mesmo aproveitando ao máximo a radiação solar e protegendo-se do clima mais agressivo. É um facto que nem sempre se tem as condições ideais nas nossas intervenções para se poder voltar a Sul (no caso

do clima Português) os nossos edifícios. Contudo a preocupação da luz natural em todos os compartimentos será imperativa.

Os princípios metabólicos circulares são a questão primordial na atitude sustentável. Na verdade não passa de uma "imitação" dos processos naturais da Biosfera.

A análise do ciclo de vida do material é incontornável quando se aplicam conceitos de sustentabilidade levantando sempre uma série de questões tais como: São materiais naturais ou reciclados? Como foi produzido? Quanta energia eléctrica e de que tipo foi utilizada na processo de fabrico? Quantas emissões de Co2 foram contabilizadas nesse processo? Que impacto tem o seu transporte para a obra? Existe muito desperdício de material em obra? No final da sua vida ele poderá ser reintroduzido no mercado sem reciclagem ou com reciclagem?

I.4 - Tipos de abordagem à investigação biomimética

I.4.1 - A abordagem directa

Um método directo de investigação activa procura definir a natureza das questões que se procuram resolver com o projecto e o contexto da sua criação e uso. Tendo uma clara compreensão dos requisitos do projecto é então possível olhar para o mundo natural à procura de exemplos que o realizem. É útil investigar uma série de organismos divergentes que dependem das diferentes abordagens para resolver problemas semelhantes. O resultado será uma maior variedade de ideias com as quais poderemos desenvolver o projecto. As soluções estruturais, por exemplo, não existem apenas no interior dos ossos dos mamíferos, mas podem também ser encontradas na composição da madeira, na concha de artrópodes, no "exoskeleton" de um insecto ou na folha duma planta. Podemos desenvolver soluções únicas inspirando-nos numa ampla variedade de soluções encontradas na natureza (Vincent, 2002:3).

Projectos feitos pelo Homem ao longo da história têm sido realizados através de observações e investigações do mundo natural, embora variando em certo grau entre a imitação e a inspiração. Desde as criações de Leonardo Da Vinci, incluindo a sua asa voadora, até aos trabalhos recentes em nanotecnologia, uma variedade de disciplinas têm compreendido a fonte potencial de inspiração que a natureza é. Os exemplos a seguir fornecem uma breve lista de áreas onde influências biomiméticas podem ser encontradas: (Vogel, 1998:276-279)

1. Agilização de organismos - O estudo de organismos aquáticos levou a avanços no desenvolvimento de formas simplificadas em tecnologia. Tal como a truta ou o golfinho, um corpo que se desloca através do ar ou da água experimenta menor

resistência, se for arredondado na frente e se a retaguarda se reduzir a um simples ponto;

2. Airfoils – As asas das aves têm topos curvos e fundos planos. Essa forma aerodinâmica é essencial para que as asas possam levantar os aviões;
3. Manobras de aviação – Mediante a observação do voo dos búrtios, os Irmãos Wright determinaram que eles ganhavam o seu equilíbrio lateral quando este era parcialmente anulado por uma rajada de vento, pela torção do pico das suas asas. Esta descoberta levou ao desenvolvimento dos ailerons, que controlam o movimento do avião que o obriga a virar;
4. Fibras extrudidas - Bichos-da-seda e aranhas. Fibras extrudidas, tais como fibras de carbono foram desenvolvidas a partir dos princípios aprendidos através dessas criaturas. Embora o processo de formação não seja idêntico, a teoria por detrás da tecnologia foi criada através das suas investigações;
5. Velcro - Exame dos barbos duma semente de planta bardana;

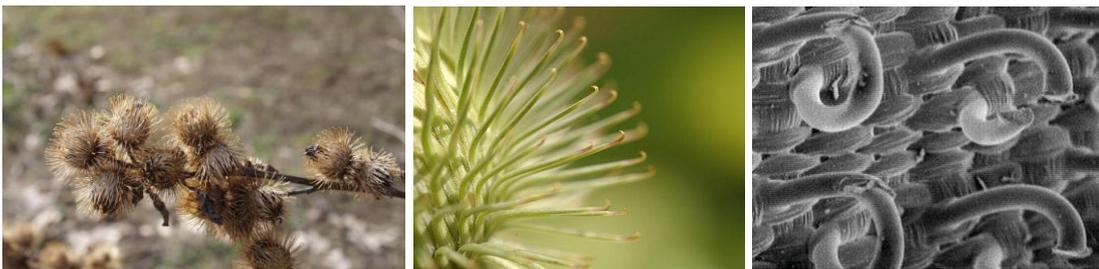


Fig.70 e 71 – Esquerda: Sementes de Bardana. Centro: Detalhe dos pequenos ganchos da semente de Bardana. Direita: Ampliação dos ganchos do Velcro.

6. Redução do arraste - Peixes do lodo e a sua utilização de polímeros solúveis longos e lineares;
7. Painéis solares e ecrãs com milhões de ondulações microscópicas, que reduzem o reflexo da luz - imitação dos olhos das traças e das moscas;
8. Tintas e materiais que repelem a água e não se sujam (auto-desinfectantes e auto-laváveis) – o princípio de auto-limpeza existente na folha de lótus;
9. Tintas, cosméticos e hologramas com micro-estruturas, que reflectem determinados comprimentos de onda da luz, originando uma cor brilhante e persistente (iridescência) – a forma como a natureza produz as cores das aves tropicais, escaravelhos, borboletas e diatomáceas;
10. Revestimentos para navios e fatos de competição para a natação, com micro-ranhas que reduzem o atrito e impedem a fixação de algas - como as escamas da pele do tubarão;

11. Edifícios mais confortáveis - como os ninhos das térmitas, que regulam a temperatura, a humidade e o fluxo de ar;
12. Agulhas que não provocam dor - semelhantes à probóscide dos mosquitos;
13. Detectores de incêndios - como um escaravelho que consegue detectar a radiação infravermelha produzida por um incêndio florestal, sentindo o fogo a 100 km de distância;
14. Luzes mais eficientes - como os insectos com bioluminescência, que produzem luz fria com uma perda energética quase nula (uma lâmpada incandescente normal desperdiça 98% da sua energia na forma de calor).

Para as criaturas vivas os processos de *analogia*, baseados na concordância de funções, e de *homologia*, baseados na concordância da estrutura, são reflectidos na arquitectura que é dominada por processos tipológicos, pelo crescimento de estruturas artificiais e, em escala maior, pelo nascimento e crescimento do tecido urbano. (Portoghesi, 2000:18)

I.4.2 - A abordagem indirecta

Um método indirecto de investigação visa encontrar soluções através da definição geral dos princípios de concepção natural, utilizando-os como directrizes no desenvolvimento progressivo do projecto. Embora seja difícil categorizar com eficácia toda a colecção de projectos naturais em pequenas unidades, surgem daí princípios recorrentes, como os descritos abaixo, que têm sido observados e que formam dessa maneira uma estratégia coerente para a investigação.

12 métodos pelos quais a natureza pode dar informações para o desenvolvimento da tecnologia: (Benyus 2004)

1. Auto montagem	A capacidade de um organismo para dirigir o seu próprio processo de desenvolvimento
2. Química em Água	A natureza produz todos os seus compostos em condições normais de ambiente sem necessidade de temperaturas extremas ou químicos agressivos
3. Transformações solares	Muitos organismos reagem de forma activa para o sol para maximizar a sua absorção de energia
4. O Poder da forma	A natureza utiliza muitas formas não-ortogonais estruturalmente eficientes com as quais cria as suas estruturas

5. Materiais como sistemas	A natureza constrói a partir do pequeno para o grande com um escalonamento correspondente da função em relação aos materiais e componentes envolvidos para funções específicas
6. Adaptação natural como um motor inovador	Forças ambientais que actuam sobre um organismo e afectam a sua boa forma vão direccionar o desenvolvimento de futuros organismos
7. Reciclagem de materiais	Cria estruturas utilizando materiais que sejam não-tóxicos e que podem ser totalmente reciclados no final da sua vida
8. Ecossistemas que produzem alimentação	Os sistemas são criados com um excedente líquido de produção sem um correspondente consumo dos recursos ambientais
9. Poupança de energia, circulação e transporte	Locomoção e sistemas de circulação interna adaptam-se a exigir um mínimo investimento de energia para a sua finalidade
10. Resiliência e Cura	Os organismos vivos têm a capacidade de absorver e reagir aos impactos e podem reparar a si mesmos quando danificados
11. Detecção e Resposta	Uma série de sistemas de feedback dentro de um organismo permite-lhe ter sensibilidade a uma variedade de factores ambientais, reagindo a eles de forma a responder-lhes de forma adequada
12. A vida cria condições propícias à vida	Os resíduos diversos e subprodutos do crescimento e da sustentação criam materiais que são benéficos para o crescimento de outros organismos

I.4.3 - Metáforas e símbolos

O símbolo é um excelente conceito para nos ajudar a compreender a relação específica entre a arquitectura e a natureza. O tipo de imitação que caracteriza a arquitectura, no que diz respeito à natureza, é essencialmente "imitação simbólica", porque o símbolo (do grego "*symballein*", juntar) apresenta um nível de percepção que é diferente da evidência racional, porém expressando o que de outra forma não pode ser expresso: aquilo que não tem "explicação" verbal claramente definida. (Portoghesi, 2000:11)

De acordo com a pesquisa de Fischer-Barnicol e estudos de Schneider, o símbolo é o instrumento mais simples e profundo para exprimir uma realidade específica num meio diferente.

“Por usar um símbolo, pode ser revelada num objecto material uma força transcendente que é literalmente invisível e intangível [...]. Por isso, como um objecto o símbolo não é idêntico à realidade simbolizada. Não é mais do que uma forma de exteriorização que permite que uma força, não exprimível através dos sentidos e escondida na sombra, revele a sua presença”. (Schneider, 1980)

Por exemplo, sempre se disse que a coluna foi inspirada pelo tronco da árvore – até na facilidade com que um objecto rolante pode ser transportado -, mas a coluna também corresponde à posição erecta dos nossos corpos, à expansão vertical das montanhas, à acção de levantar e apoiar dos nossos braços. Esses e outros elementos residem juntos na coluna como símbolos que aumentam a sua virtualidade imaginativa. (Portoghesi, 2000:14)

Como Adria Fortis explica no livro de Peter Galison e Emily Thompson *A arquitectura da ciência*: “metáforas são experiências com semelhanças possíveis de coisas diferentes. Cada uma das incontáveis metáforas na arquitectura do século XX é uma pequena experiência, uma tentativa para encontrar uma relação entre a arquitectura e um ou outro ramo da ciência”.

A história da arquitectura, desde o mundo antigo (Stonehenge, Egípto) até aos nossos dias, demonstra que muitos princípios biomiméticos, tais como a simetria, a centralidade, a frontalidade, o uso da proporção áurea, o suporte por nervuras, o uso de formas idênticas às dos organismos, os princípios estruturais de construção dos ossos, entre outros, têm sido aplicados ao longo dos tempos.

O Biomimetismo é uma abordagem tecnologicamente orientada para aplicar as lições de design da natureza. Segundo Benyus (1997) existem três princípios (3 Ms) que descrevem este novo campo de estudo:

1. A Natureza como **Modelo**.
2. A Natureza como **Medida**.
3. A Natureza como **Mentor**.

Do ponto de vista histórico, o termo “Biomimético” foi introduzido nos anos 1950s por Otto Schmitt, um inventor americano, engenheiro e biofísico, que foi responsável pelo desenvolvimento da biofísica e fundador da engenharia médica.

Antecedendo o trabalho de Otto Schmitt está o de D’Arcy Thompson, um eminente matemático e biologista escocês, que publicou o livro intitulado *On Growth and Form* em 1917. Muitas vezes citado como “o primeiro biomatemático”, Thompson sugeriu que a influência da física e mecânica no desenvolvimento da forma e estrutura dos organismos estava subestimada e procurou ilustrar a relação entre as formas biológicas e mecânicas. No seu livro, Thompson não propõe uma relação causal entre as formas emergentes na engenharia e formas semelhantes na natureza. Ele apresenta um catálogo descritivo de formas naturais e a matemática que as define. Desde a sua publicação, o livro serviu de inspiração para biólogos, arquitectos, artistas e matemáticos (O’Connor 2006). A descrição de Thompson dos estudos na década de 1850s do anatomista Hermann Von Meyer sobre a estrutura do fémur humano foram notados pelo engenheiro suíço Karl Cullman como evidenciando “nada mais do que um diagrama das linhas de carga, ou direcções da tensão e compressão, no suporte da estrutura.” Mais tarde, em 1889, Gustav Eiffel utilizou estes mesmos estudos no seu projecto mais carismático: a torre Eiffel.

Por sua vez, o termo Biónica foi inventado, em 1958, pelo Engenheiro da Força Aérea dos E.U.A Major Jack. E. Steele, durante o seu trabalho na Divisão de Aeronáutica. Steele definiu Biónica como “a análise das formas pelas quais os sistemas vivos actuam e têm descoberto os artificios da natureza, representando-os em hardware”. O termo Biónica (do Grego – “elemento de vida”) foi oficialmente usado como título de um simpósio em Setembro de 1960. O conceito de Biónica de Steele focava-se basicamente na imitação da forma biológica e estrutura fisiológica dos organismos,

utilizando características biológicas induzidas como base para o desenvolvimento técnico. (Hsiao† e Chou‡, 2007)

Wahl (2006) sugere que Biónica e Biomimetismo representam duas abordagens distintas ao “design e natureza”, baseadas em diferentes concepções da relação entre a natureza e a cultura. Enquanto a Biónica, segundo este autor, trata da previsão, manipulação e controlo da natureza, o Biomimetismo aspira à participação na natureza, e por isso constitui uma maior contribuição para a sustentabilidade.

Os princípios usados por Janine Benyus para guiar a concepção de qualquer projecto são os seguintes:

- Usar resíduos como um recurso.
- Diversificação e cooperação para usar completamente o habitat.
- Obter e usar energia de forma eficiente.
- Optimizar em vez de maximizar.
- Moderar o uso de materiais.
- Não poluir.
- Não gastar recursos.
- Permanecer em equilíbrio com a biosfera.
- Partilhar informação.
- Comprar localmente

Segundo Drack (2002), os sistemas biológicos são presumivelmente sustentáveis, pois têm existido durante muitos e muitos anos. Se isto for verdade, devemos descobrir como é que os sistemas biológicos realmente funcionam, em termos de sustentabilidade. Aplicar em projecto os princípios biomiméticos com que a natureza projecta e constrói, conduz inerentemente à sustentabilidade.

Uma abordagem possível consiste em olhar para o mundo natural à procura de soluções que se apliquem directamente no projecto para resolver determinado problema. É a abordagem que tem sido utilizada ao longo da história, ao se imitar formas da natureza nos edifícios, ou ao adoptar soluções estruturais baseadas em soluções naturais, como nos ossos de mamíferos ou numa simples folha de uma planta. Outra abordagem, o método indirecto, visa encontrar soluções através da definição geral dos princípios de concepção da natureza, utilizando-os como directrizes no desenvolvimento progressivo do projecto. São estes últimos que servirão de base à análise efectuada.



Democritus (460 – 370 BC) wrote: “The spider taught us to weave, the swallow – to build houses”.

Capítulo II

Princípios aplicáveis na Arquitectura

A análise do ponto de vista do arquitecto parece ser, enquanto “amostra”, mais interessante, pois possibilita uma simplificação das inúmeras aplicabilidades do biomimetismo em preocupações reais do projectista.

Visto que as preocupações do arquitecto se mantêm basicamente as mesmas ao longo dos tempos, optou-se, como atrás se disse, em fazer uma abordagem de acordo com a sistematização do arquitecto romano Vitrúvio: *Utilitas*; *Firmitas*; *Venustas*. Claro que não se pretende catalogar, pois isso seria castrador e incorreria em muitos erros, visto que na natureza todos os campos estão interligados, como aliás veremos à medida que formos abordando cada uma dessas vertentes. Pretende-se apenas fazer uma clarificação da abordagem.

II.1 – “*Utilitas*”

A funcionalidade foi um aspecto muito estudado, em termos de conceitos biomiméticos aplicados à arquitectura, pelo arquitecto americano de origem chinesa Eugene Tsui. A funcionalidade é também especialmente importante quando falamos de urbanismo. Sem funcionalidade, a solidez e a beleza de um projecto são vãs. Claro que com isto não se quer dizer que a cidade, ou mesmo um único edifício, por ter áreas funcionais é biomimético. O que se quer dizer é que se pode aprender muito com a natureza para se tornar os edifícios e as cidades mais funcionais. Analisa-se portanto em primeiro lugar a “*Utilitas*”:

Respeitar o padrão de circulação dos habitantes

Os seres humanos, como outros seres vivos, não mudam de direcção com ângulos de 90 graus. Qualquer mudança de direcção brusca ou progressiva cria uma curva. Ao examinarmos os caminhos feitos livremente pelas pessoas através dum campo

relvado, as mudanças de direcção são efectuadas geralmente através de curvas pouco apertadas. Um edifício deverá acomodar o nosso comportamento natural como peões. A maioria dos edifícios supõe que os seres humanos se movimentam de forma rectilínea como cadetes militares bem disciplinados. De facto, os cadetes militares de primeiro ano são muitas vezes forçados a andar de certa maneira, como uma forma de manipular e quebrar a sua estrutura psicológica. Sendo assim, que efeito terá no nosso ser emocional e psicológico viver e trabalhar nesses ambientes rectilíneos? Se os nossos próprios ambientes não reforçarem as nossas propensões naturais, de que benefício são eles? Se os nossos ambientes são prejudiciais para o nosso bem-estar, não deveríamos nós encontrar maneiras de modificar esta prática? (Tsui, 1999:59)

A forma como nos movemos dentro e ao redor do nosso ambiente construído pode melhorar a nossa consciência do que nos rodeia. Acolher os nossos padrões naturais de circulação é um passo fundamental para um "design" evoluído. O próximo passo é criar uma sequência de eventos para orientar as pessoas a experimentar mais intimamente o ambiente. Criar uma série de experiências imprevistas, misteriosas e belas permite a uma pessoa relacionar-se emocionalmente com o meio ambiente. A experiência emocional é o aspecto recordável mais poderoso de qualquer experiência. Se reflectirmos sobre as coisas que nos dão um profundo senso de vida, são geralmente aquelas experiências que foram preenchidas com poder emocional: um belo poema, escrito ou recitado, uma peça de música emocionante, o arrebatamento duma ardente e eufórica dança ou a fragrância vertiginosa de um prado campestre - todas estas e muitas mais elaboram um excesso de emoções fortes, tornando a vida uma experiência muito especial. Um edifício deveria ser concebido para criar uma resposta emocional positiva que convida a nossa curiosidade, lança as nossas emoções, o nosso senso de mistério e aventura e a necessidade de paz e repouso (Tsui, 1999:60).

Os padrões de circulação da natureza e a criação habilidosa de experiências sequenciais podem ser relacionados com o funcionamento global do ambiente. A resposta emocional e a utilização funcional podem actuar como uma experiência unificada - cada uma reforçando e exaltando a outra. A natureza pratica este conceito de forma limitada. Por exemplo, o ambiente do túnel do cão da pradaria, um animal da família dos esquilos, é composto por uma série de corredores subterrâneos e tocas. Cada canal funciona como passagem de ar para as câmaras interiores e tocas. Alguns dos túneis são falsos para confundir e dissuadir predadores e intrusos. O padrão de circulação é uma série de entradas e saídas que acomoda da melhor forma a função das câmaras interiores - o sono, a reprodução, a alimentação e a criação dos jovens. Nenhum dos túneis é aleatoriamente gerado. Todos têm um

objectivo designado, que está em conformidade com as necessidades dos habitantes, bem como com os requisitos técnicos do ar, circulação, luz, penetração da água e resistência aos predadores (Tsui, 1999:60).

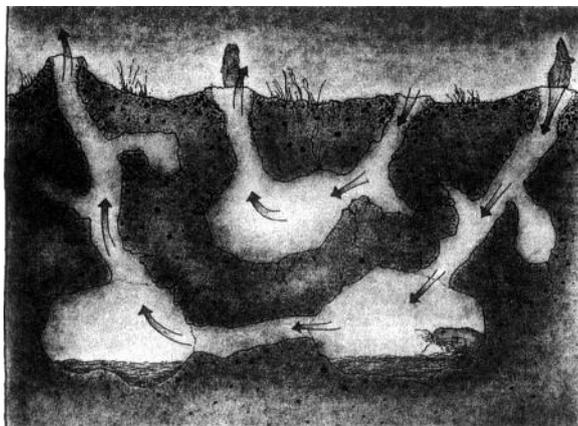


Fig.74 – Túneis do cão da pradaria.

Do mesmo modo, os edifícios feitos pelo homem seriam melhorados se considerássemos a circulação pedestre como sendo parte integrante das funções técnicas do edifício, incluindo prevenção de incêndios, ar natural e circulação da luz, humidade e abertura à luz solar directa. Ao alargar o âmbito das utilizações funcionais da circulação e por estudar a forma como os peões efectivamente circulam (em arcos e curvas), podemos aplicar uma percepção mais desenvolvida dos nossos espaços arquitectónicos e criar edifícios cujas características são obtidas a partir de uma perspectiva interdisciplinar de função, circulação e conseqüente forma (Tsui, 1999:61).

Eliminar todos os pontos de concepção supérfluos e todos os procedimentos de construção desnecessários

Segundo Tsui, a simplicidade é a directiva final da natureza. Muitos itens num edifício - revestimentos, acabamentos, molduras de portas e janelas, ornamentos e enfeites idiossincráticos, por exemplo - podem ser eliminados, porque não são essenciais para o bom funcionamento do edifício. Pode-se eliminar as várias etapas da construção convencional, utilizando materiais que desempenham funções simultâneas, economizando trabalhadores, custos e materiais. As práticas de construção actuais dependem de meios arcaicos para produzir resultados em conformidade. Qualquer alteração a esta abordagem convencional geralmente provoca alarme. Os empreiteiros adicionam uma percentagem alta de custos de "contingência" para a construção ou seja, custos adicionais para cobrir trabalho que para eles seja pouco

familiar. O custo de qualquer projecto que use materiais e métodos pouco familiares é necessariamente com frequência mais caro que a concepção convencional, porque o empreiteiro está habituado a orçamentar a construção com meios convencionais. (Tsui, 1999:61,62).

A eliminação do que não é necessário, não significa que uma obra arquitectónica seja hirta. Significa sim que cada elemento do "design" serve uma função valiosa. Significa fazer mais com menos. Uma moldura de janela não é necessária se a vidraça é suficientemente forte, por si só, para abrir e fechar sem tensões de carga e ruptura. A aduela de uma porta de entrada não é necessária se não existirem falhas de construção para cobrir. Molduras elaboradas, lambris e os ornamentos típicos de interiores convencionais são características cosméticas e onerosas que podem ser eliminadas. Águas furtadas e empenas são itens caros, construídos por uma questão de manter janelas verticais e imitar a estética de uma época passada. As janelas não têm que ser verticais e os edifícios certamente não exigem empenas para criar luz e pontos de vista. Isto não quer dizer que a estética deve ser conduzida apenas por questões funcionais (Tsui, 1999:62).

Eliminar o supérfluo exige maior habilidade do designer. Exige uma multiplicidade de funções aplicadas esteticamente de forma simultânea, características individuais que exercem funções múltiplas criando a estética arquitectónica. Por exemplo, Tsui Design and Research, Inc. projectou uma casa cujo tecto era inclinado para apanhar chuva e dirigi-la directamente para uma cisterna. Um projecto convencional requereria um elaborado sistema de calhas para desempenhar esta função, mas, considerando-se a estrutura como um todo, por que não deixar que a própria estrutura do telhado acomode as necessidades de direcção da água da casa? Isto resultou no telhado se transformar numa funcionalidade única do projecto global, expressando visivelmente múltiplas funções e eliminando a necessidade da instalação de calhas, poupando mão-de-obra e impermeabilização (Tsui, 1999:62).

Em suma, ver o edifício como uma estrutura eficiente e uma obra de arte integrada, como é qualquer das criações da natureza, é um meio útil de abordar os desafios de desenvolver um "design" polivalente. Ao passo que as abordagens convencionais têm muitas vezes uma visão fragmentada, linear do projecto, a perspectiva natural visa unificar função e estética como um processo abrangente (Tsui, 1999:62).

Regular as interacções entre os ambientes interiores e exteriores

“Utilitas” pode também ser traduzido como “comodidade” ou “conforto”. Daí que o controle da interacção entre o ambiente externo e interno dum edifício contribui em muito para a sua “utilitas”.

Pode o revestimento dum edifício funcionar numa forma análoga à da pele, de membranas e dos outros revestimentos encontrados na natureza?

Na natureza, os revestimentos servem normalmente múltiplas finalidades.

A construção da membrana externa, ou envolvente, regula as interacções entre ambientes interiores e exteriores, proporcionando protecção e conforto aos ocupantes e ao seu conteúdo.

A capacidade do revestimento do edifício para regular as interacções com o ambiente afecta:

- A integridade estrutural,
- A qualidade do ar interior,
- O conforto, saúde e segurança do ocupante,
- A eficiência energética, e
- A durabilidade.

Assim, a membrana externa dum prédio contribui para a segurança e conforto mediante o cumprimento de quatro diferentes sub-funções:

- Regular a transferência do ar
- Regular o intercâmbio da luz
- Regular a transferência da humidade
- Regular a transferência de calor

As membranas na natureza lidam com os mesmos problemas?

Como pode um projectista adaptar os métodos que a natureza utiliza para resolver estas mesmas funções e criar um revestimento melhor para o edifício?

Apresentam-se em seguida algumas das soluções naturais e arquitectónicas para cada uma das sub-funções acima descritas (Yowell, 2007:28-30):

 REGULAÇÃO DA TRANSFERÊNCIA DO AR	
<u>NA NATUREZA:</u>	<u>NA ARQUITECTURA:</u>
A pele do anfíbio Cílios Cabelos Efeito de lótus Estômatos	Selagem com silicone e similares Superfícies de plástico e borracha Respiradouros Paredes Sistemas de isolamento de janelas e portas



REGULAÇÃO DO INTERCÂMBIO DA LUZ

<u>NA NATUREZA:</u>	<u>NA ARQUITECTURA:</u>
Córnea Pupilas e pálpebras Iridóforos Íris Protecção ultravioleta	Frequência específica das vidraças Prateleiras reflectoras Tubos solares Estores, gulosias, persianas e alpendres Paredes Sistemas de janelas e portas



REGULAÇÃO DA TRANSFERÊNCIA DE HUMIDADE

<u>NA NATUREZA:</u>	<u>NA ARQUITECTURA:</u>
Goteiras Hiperosmose Nictinastia Permeabilidade à humidade Resposta à humidade sazonal Movimentos tigmomásticos Absorção de vapor de água Repelência de água	Selagem com silicone e similares Espigão de suporte Superfícies de plástico e borracha Placas e ladrilhos Revestimentos de superfícies Respiradouros Paredes e sistemas de janelas e portas



REGULAÇÃO DA TRANSFERÊNCIA DE CALOR

<u>NA NATUREZA:</u>	<u>NA ARQUITECTURA:</u>
Óleo de baleia (isolante) Mudança de cor para termorregulação Emissividade para regular a temperatura Resfriamento evaporativo Monitores de penas Isolamento de pêlo Heterotermia regional Variação de forma para termorregulação	Frequência específica das vidraças Isolamento térmico Paredes Sistemas de janelas e portas

O Eastgate Building em Harare, Zimbabwe, é um exemplo clássico da aplicação de alguns dos princípios acima (ver cap. III).

Não há dúvida de que há lacunas evidentes ao compararmos o revestimento dum edifício com a pele natural dum corpo. Por exemplo, a pele humana está viva e os seus tecidos regeneram-se constantemente, ao passo que o revestimento num edifício está "morto". Por isso, para testarmos estas ideias e, portanto, superarmos estas limitações, serão necessárias muitas experiências ao longo dos anos.

No entanto, os benefícios para a Arquitectura são evidentes:

- Melhor utilização dos recursos (com menos componentes).
- Menos energia necessária para a fabricação.
- Uma adaptação melhor às mudanças climáticas locais.
- Uma melhor integração dos sistemas, estrutura e estética.
- Potencialmente produzir recursos em vez de apenas consumi-los.

II.2 - "Firmitas"

A solidez de um edifício depende, de entre outras coisas, da sua estrutura e da sua forma. Abordaremos em seguida estes dois aspectos arquitectónicos do ponto de vista biomimético.

A estrutura do ADN e a codificação genética

Os Teóricos contestam ferozmente a correlação exacta entre a morfogénese e a codificação genética, mas existe o argumento de que não é a forma do organismo que está geneticamente codificada, mas sim o processo de auto-geração da forma dentro de um ambiente. A geometria tem um papel subtil na morfogénese. É necessário pensar na geometria numa forma biológica ou computacional não apenas como a descrição da forma plenamente desenvolvida, mas também no conjunto das limitações de ligação que funcionam como um princípio de organização local durante a morfogénese. (Weinstock, 2004:14)

A natureza adapta planos a partir dos quais projecta organismos baseando-se num sistema e num conjunto relativamente simples de instruções. O ovo (zigoto) fertilizado de um humano ou de um animal semelhante em tamanho, tem aproximadamente 10^{10} bits de informação no seu DNA, que são responsáveis pelo plano do organismo. Um humano é composto por cerca de 10^{14} células, que é uma grandeza 10.000 vezes

maior que o número de instruções contidas dentro do ovo. Com o aparecimento de Desenho Assistido por Computador e da modelagem em 3D temos vindo a aperceber-nos de que, com cada camada adicional de complexidade introduzida num modelo, existe um aumento correspondente no tamanho do ficheiro e no tempo de processamento. Os organismos são também tridimensionais, e como tais deveriam exigir uma imensamente maior quantidade de informação do que está disponível na célula para efectuar a morfogénese. A partir deste raciocínio, pode-se dizer que a forma de um organismo deve resultar de um conjunto de planos relativamente incompleto. (Vogel, 1998:25)

Num grau notável, a deslumbrante diversidade existente na natureza representa funcionalidades superficiais de sistemas de características excessivamente conservadoras e estereotipadas (Vogel, 1998:31). A relativa ausência de informação clara subjaz uma imensa quantidade de concepção biológica.

Em 1950 um eminente físico, Horace R. Crane, predisse que muitas estruturas subcelulares revelar-se-iam estar construídas em forma helicoidal, não necessariamente porque as hélices trabalhem melhor, mas porque elas poderiam ser especialmente montadas com instruções simples. Crane antecipou não só a existência da dupla hélice de DNA, mas também o seu super enrolamento, os chamados alfavélices de partes de muitas proteínas, e, em maior escala, microtúbulos e microfilamentos helicoidais importantes na manutenção da forma e mobilidade das células. Os microtúbulos e os microfilamentos têm uma capacidade notável para se auto-montarem; se todos os componentes forem colocados juntos (talvez com um pouco da estrutura formada como um começo) eles normalmente vão para os seus lugares, sem necessidade de moldes ou de andaimes ou, mais importante, sem necessitarem de quaisquer informações adicionais. (Vogel, 1998:26)

Essa relativamente pouca informação é provavelmente aquilo de que se necessita para construir grandes organismos a partir de muitas células. As células podem parecer diversificadas, mas elas todas têm muito em comum; se for capaz de construir um tipo delas, só precisa de um pouco mais de informação, relativamente falando, para construir todos os outros tipos. Ademais, no desenvolvimento de cada indivíduo, um grupo de instruções pode definir mais do que uma estrutura.

No ser humano, o tamanho da mão é um excelente vaticinador do tamanho do pé. A simetria bilateral é um método eficiente para reduzir, essencialmente para metade, o número de instruções necessárias para elaborar uma forma desenvolvida. Uma simples alteração do material genético - uma mutação - normalmente afecta ambos os lados do corpo de um animal. (Vogel, 1998:27)

Esta forma relativamente "simples" de projectar e construir o que é complexo é algo a copiar nos projectos feitos pelo Homem.

O interesse em padrões é primário na medida em que eles são essenciais para o suporte estrutural dos sistemas naturais e artificiais. Não podemos continuar a reduzir as coisas a elementos singulares, mas, em vez disso, temos que compreender que tudo é composto de uma série de partes inter-relacionadas que funcionam em conjunto como um todo colectivo. Desde a estrutura celular dos organismos vivos até às redes que compõem a nossa sociedade conectada, os padrões são sempre os agentes que permitem ao conjunto total adaptar-se às modificações ambientais externas. Tradicionalmente, os padrões estruturais são definidos no espaço cartesiano e exigem uma determinada repetição e um elevado grau de redundância para a integridade estrutural. (Bell, 2004:25-26)

Por procurarem a reconfiguração das relações entre componentes, o que revela os padrões estruturais como sendo uma parte importante nas soluções do projecto, as forças são dissipadas através do sistema em múltiplas direcções e finalmente transferidas para as subestruturas. (Bell, 2004:25-26)

A modularidade estruturalmente padronizada está implantada em diferentes escalas, em diferentes configurações, com graus ajustáveis de densidade e direcionalidade. Especificamente, é agora possível ver a junção, ou ponto de intersecção como um aspecto mais dinâmico na definição tectónica. Já não vinculada pela repetição idêntica, a junção deve agora ser capaz de proporcionar a diferença interactiva, se tiver que responder às transformações da superfície resultantes da interacção estrutural e ornamental.

Essencialmente, o sistema de uma hierarquia estrutural baseada na redução gradual de componentes individualmente distintos que é favorecido hoje em dia é reinterpretado de forma que as fronteiras entre sucessivas camadas estruturais sejam esbatidas e o edifício se torne uma unidade indivisível da micro para a macro escala. Esta abordagem reduz a vulnerabilidade de um edifício às falhas devidas à tensão localizada, dado que o sistema estrutural foi construído em redundância estrutural, actuando numa série de níveis para dissipar tensões localizadas através da inteira estrutura. (Bell, 2004:27)

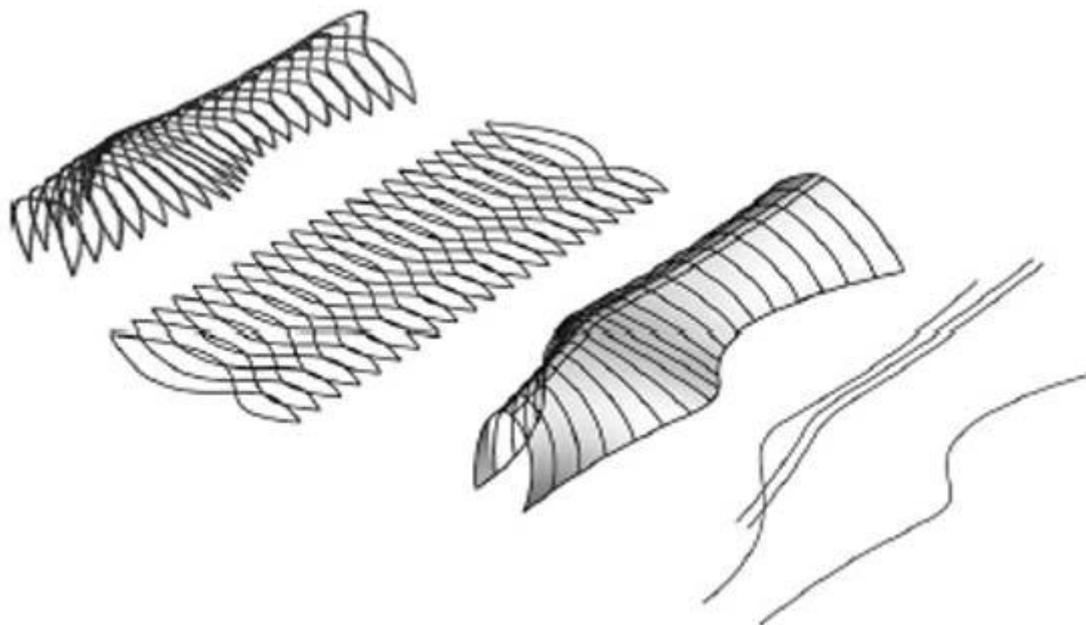


Fig.75 – Processo ilustrando a evolução do caminho para a superfície e do padrão para a estrutura.

A padronização que se realiza neste método pode ocorrer numa variedade de configurações a partir dum simples “layout” em forma de grade escalada para uma geometria mais complexa cujas formas são idênticas em várias escalas. (Bell, 2004:27) Embora não seja exemplar do ponto de vista biomimético relativamente a outros princípios, o Estádio Olímpico de Pequim é um bom exemplo de aplicação prática deste conceito estrutural. Cada pedaço que forma os 36 km contínuos de caixas metálicas ocas da sua estrutura suporta a si mesmo e é uma peça-chave estrutural no conjunto, ou seja, se um pedaço falhar no suporte das cargas, todas as estruturas primária, secundária e terciária compensarão a falha. (Sayegh, 2007:1)

Endo-esqueletos e Exo-esqueletos

Os organismos terrestres têm que viver num ambiente sujeito tanto à gravidade como à pressão atmosférica. Os organismos aquáticos lidam com a gravidade, embora em menor escala, e também com a pressão da água. De forma a contrariar as forças que agem dentro e sobre eles, e simultaneamente manter a sua forma e eventual exigência de locomoção e fluidez morfológica, os organismos têm que utilizar uma estrutura organizativa que as possa acomodar. O sistema estrutural utilizado pela maioria dos organismos multi-celulares pode ser classificado como pertencente a um de dois tipos (wikipedia.org):

1. Endo-esqueletos (Estrutura interna) – os animais com endo-esqueletos podem crescer com facilidade porque não existem limites rígidos externos ao seu corpo. Eles são vulneráveis a ferimentos a partir de fora, mas a reparação de tecidos vivos normalmente não é um problema.
2. Exo-esqueletos (Estrutura externa) – os exo-esqueletos estão fora do corpo e encaixotam-no como uma armadura. São leves e muito fortes, e proporcionam pontos de suporte para os músculos no interior. Protegem o corpo da desidratação, de predadores, e do excesso da luz solar.



Fig.76 e 77 – Esquerda: Endo-esqueleto humano. Direita: Exo-esqueleto do caranguejo.

Resiliência e cura

A resiliência tem que ver com a capacidade de um indivíduo para ultrapassar os traumatismos e construir-se apesar das feridas. Se um organismo for sujeito a uma força externa que cause danos, devem-se verificar um certo número de circunstâncias. Primeiramente, deve ser resistente à força ou ao impacto de forma a reduzir os danos iniciais experimentados. Isto significa utilizar um sistema estrutural que contenha dentro dele uma redundância da estrutura que distribua a força do impacto e impeça uma falha estrutural catastrófica. Subsequentemente aos danos o organismo deve ser capaz de se reparar a si mesmo sem uma perda correspondente da sua função (Srinivasan, 1996:18).

Materiais como sistemas

Segundo Srinivasan (1996:18) os organismos e os sistemas naturais são frequentemente compostos de um número de componentes e materiais inter-relacionados, que actuam numa escala contínua, da micro à macro estrutura. Em cada nível da organização estrutural as células dentro do organismo executam uma função que corresponde a uma exigência necessária nesse nível.

As células dentro de uma árvore executam esta hierarquia de funções em escalas diferentes. No micro nível as células são responsáveis pelo movimento de água das raízes às folhas. Baseadas no peso, as estruturas tubulares das células são também mais fortes do que uma estrutura contínua que não seria capaz de agir como um mecanismo do transporte.

Quando estas células são agrupadas, elas fornecem à árvore um sistema estrutural altamente forte e leve que resiste tanto a forças tensoras como compressoras conservando simultaneamente a sua flexibilidade.

Detectar e responder - Estruturas estáticas e dinâmicas

Para existir e se manter durante toda sua vida, um organismo deve possuir a habilidade tanto de detectar a forma como as forças do ambiente externo actuam sobre ele como de responder a estas forças de forma a minimizar os danos e eliminar a necessidade de um investimento desnecessário em material e reforço estrutural. A habilidade dos organismos biológicos e estruturas funcionarem desta forma pode ser classificada em dois sistemas, a saber (Srinivasan, 1996:19):

1. Um sistema de circuito fechado - a estrutura tem uma habilidade dinâmica integrada de detectar uma ou mais variáveis (tensão, temperatura, etc.), processar a variável, e agir, detectar e reprocessar para continuar o desempenho requerido do projecto.

O osso vivo é um material que está num estado de constante reforma para acomodar mudanças da sua carga. Enquanto estas mudanças podem ocorrer no curso de muitos meses, o ciclo pode começar minutos após uma acção externa.

Ao contrário do processo relativamente lento e contínuo a que esse osso se submete, as folhas de uma árvore podem realinhar-se e reconfigurar-se com deformação rápida em resposta ao vento.

2. Um sistema de circuito aberto - este princípio do projecto visa aumentar a flexibilidade, o que conduz a uma integridade mecânica do sistema. Não há nenhum mecanismo de “feedback” mas o projecto estático estrutural é original. Os organismos

têm particularidades estruturais que actuam de preferência no sentido de evitar os danos ambientais em vez de se terem que reparar caso os danos ocorram.

Os moluscos são estruturas fortes e resistentes que têm a habilidade de impedir a falha estrutural devido a uma microestrutura original. Camadas cerâmicas encaixadas numa matriz proteica estão orientadas em ângulos diferentes para redireccionar a propagação da rachadura.

Os fundamentos da forma natural

A natureza utiliza uma variedade de formas e métodos nas suas construções, de forma a assegurar a maximização da eficiência e da mobilidade estruturais com o mínimo possível de "input" de materiais (Tsui, 1999:21-32,38-40):

1. A maximização da força estrutural - a natureza emprega relativamente poucos materiais nas suas "montagens" em comparação com as construções humanas. No entanto, através de configurações únicas e originais destes materiais simples a natureza é capaz de criar estruturas que suplantam a "performance" de muitas estruturas feitas pelo homem.
2. A maximização do volume incluído - a fim conservar o calor, os organismos devem manter uma relação eficiente entre a sua área de superfície e o volume interno. Com o uso de formas curvilíneas, a natureza é capaz de maximizar o volume interno de um organismo, ao mesmo tempo que minimiza a sua área de superfície. Essa correlação está bem visível na tabela seguinte:

	ESFERA				
Área de superfície (x2)	23	36	47	57	66
Volume (x3)	10	20	30	40	50
	CUBO				
Área de superfície (x2)	28	44	58	70	81
Volume (x3)	10	20	30	40	50

Fig.77 – Quadro: Tsui, 1999, 22 (adaptado)

Este facto tem o efeito de reduzir ao mínimo a quantidade de calor perdida através da superfície de um organismo, permitindo assim que permaneça mais quente com menos entrada da energia. Adicionalmente, uma área de superfície menor resulta

em menos exigência de “input” de materiais para formar o organismo, reduzindo simultaneamente o seu peso.

3. A criação de rácios elevados entre força e peso – visto que há escassez de recursos naturais dentro dum ecossistema, a obrigação natural dos organismos é de utilizarem métodos originais de construção que minimizem o “input” de materiais e o gasto de energia, ao mesmo tempo que maximizam a força subsequente alcançada. Os ossos num organismo, por exemplo, variam a sua largura em função do seu comprimento para depositarem o material onde é mais necessário. Além disso, a ligação cruzada das fibras no osso contribui para o aumento da força sem um aumento correspondente no peso.



Fig.78 – Corte longitudinal dum osso de ave

4. O uso da tensão e pressão como base da eficiência estrutural - as formas naturais derivam das suas respectivas taxas de crescimento, e essas formas tridimensionais dependem de uma taxa de crescimento irregular intrínseca do organismo. O ambiente externo exerce pressões no objecto em desenvolvimento, sendo a sua forma resultante um produto da sua resposta ao ambiente dentro dos limites das propriedades estruturais do material usado. Este processo ocorre tanto a curto como a longo prazo na definição do modelo de crescimento que vai ditar a forma final do organismo.
5. A integração da eficiência aerodinâmica com a forma estrutural - muitos organismos são móveis e como tal estão sujeitados às leis da aerodinâmica ou da hidrodinâmica. Para habitar eficazmente no seu ambiente, a forma do organismo é ajustada frequentemente à eficiência máxima para o gasto mínimo de energia ao locomover-se ou à resistência às forças ambientais tais como o vento numa árvore. Similarmente, uma parede curvada pode dissipar mais facilmente a pressão exercida pelo vento, requerendo ao mesmo tempo menos material para o fim a que se destina.

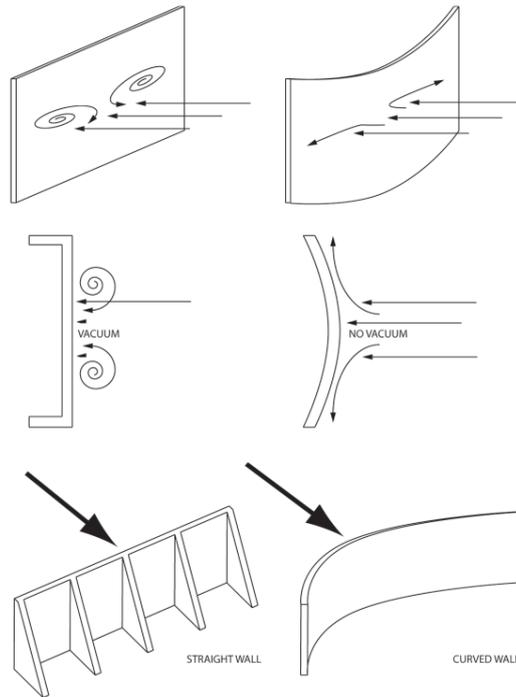


Fig.79 – Efeitos do vento e da carga viva sobre a estrutura.

6. As formas curvilíneas que dispersam e dissipam forças multidireccionais - com o uso de formas curvilíneas, os organismos têm a habilidade de absorver e dissipar cargas em toda a sua estrutura, o que ajuda a reduzir as áreas sujeitas a pressão e a consequente necessidade de reforço estrutural desnecessário.

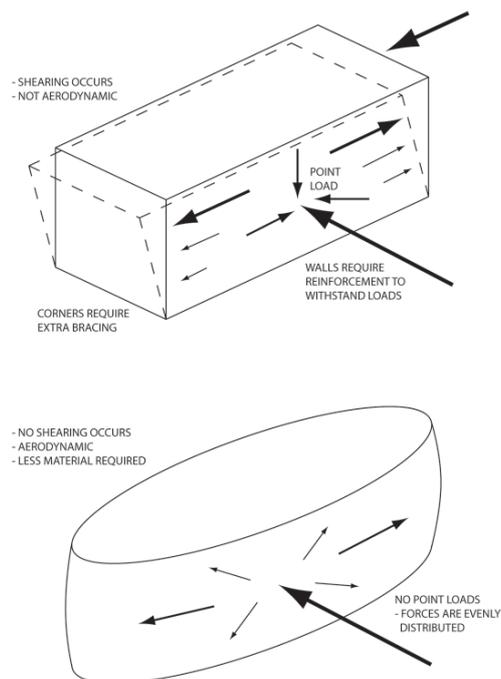


Fig.80 – Efeitos da carga viva sobre a estrutura.

As formas que compõem os organismos da natureza

O mundo natural contém uma variedade muito grande de organismos, que são compostos de muitas formas e modelos diferentes. A variedade existente de formas intrincadas pode no entanto ser entendida como fazendo parte de um jogo de formas e estruturas básicas que cada organismo usa em proporções diferentes (Tsui, 1999:86-131), e que o homem tem copiado em vários campos:

1. Conchas encurvadas - crânios, ovos, exoskeletons (telhados abobadados)
2. Colunas - troncos da árvore, ossos longos, endoskeletons (postes)
3. Pedras encaixadas em matrizes – vermes tubulares (tubos em cimento).
4. Estruturas onduladas (rigidez sem massa) – conchas de vieiras, planta do cacto (portas, caixas de embalagem, soalhos do avião, telhados)



Fig.81 – Concha de vieira estriada.

5. Espirais - Girassóis, conchas, chifres de carneiros selvagens, garras do canário (abobadado dos telhados)



Fig.82 e 83 – Esquerda: Concha de caracol. Direita: Flor de girassol

6. Formas parabólicas – urso de água doce microscópico (estruturas pneumáticas).

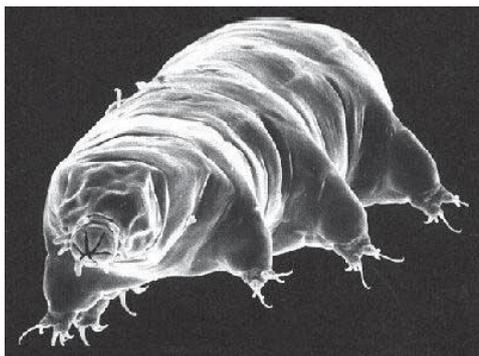


Fig.84 – Urso de água doce microscópico

No capítulo I.1, estão exemplos de aplicação histórica na arquitectura de algumas das formas acima.

As formas que os organismos constroem

Muitos organismos formam os seus abrigos sem o material natural que se encontra dentro do seu próprio habitat. Quer produzido de material encontrado, quer em consequência de produção interna, como no caso das aranhas, a variedade de formas que os organismos constroem pode ser também sistematizada num conjunto de formas e de princípios recorrentes (Tsui, 1999:86-131):

1. Formas e modelos estruturais combinados - As torres da térmita, os abrigos do cão da pradaria.
2. Formas parabólicas – o ninho da ave das pérolas
3. Formas hemisféricas/montículos – represas dos castores, formigueiros
4. Estruturas da tensão/membrana – formigueiro das formigas cortadoras de folhas, formigueiro da formiga tecelã, bichos-da-seda, teias de aranha
5. Formas hemisféricas/esferas - vespa do barro, ninho da mariquita-de-coroa-ruiva, ninho da carriça do cacto, casulo da cigarrinha
6. Formas de ovo/sino - rã cinzenta da árvore em África, ninho de papel da vespa e ninho da abelha doméstica, ninho do pássaro tecelão
7. Formas tubulares/cilíndricas – ninho da andorinha de cauda, caixa do bagworm (insecto), ninho do camarão de salmoura, o tubarão e a hélice.



Fig.85-88 – A partir de cima: Formigueiro em montículo hemisférico; Teia de aranha; Casulo da cigarrinha; Ninho do pássaro tecelão.

Estas formas encontradas na natureza são aplicadas em muitas obras de arquitectura. Antoni Gaudí é o exemplo dum arquitecto que aplicou com mestria muitas delas nos seus projectos (ver capítulo I.1).

Nivelamento

Segundo Vogel, (1998:57-60), podem-se sistematizar as vantagens e desvantagens do nivelamento, ou achatamento, da seguinte forma:

Vantagens de ser liso (ou plano):

1. Fácil de andar em qualquer ponto - um pavimento uniforme, sem deformação na superfície, garante facilidade de circulação em qualquer área da superfície.
2. Utilidade num mundo dominado pela gravidade - a gravidade permite a construção rápida de superfícies niveladas, bem como a aplicação de materiais onde o cimento, por exemplo, tem a tendência de nivelar a si próprio devido à gravidade.
3. A parede de área mínima que separa dois compartimentos - uma parede recta entre quartos adjacentes ou edifícios é a menor área que terá que ser aplainada.
4. Os materiais empilham facilmente uns nos outros - os materiais lisos e rectos são eficientes porque permitem uma melhor arrumação durante o transporte até ao local e no armazenamento subsequente até serem utilizados. Em termos da construção, os telhados lisos são fáceis de construir e acessíveis a uso. As vigas e as placas podem ser colocadas paralelamente umas às outras para facilidade do transporte. O enchimento com cascalho transforma-se numa operação estritamente bi-dimensional. A montagem de materiais lisos requer instruções simples.

Desvantagens de ser liso:

2. A cedência no centro de um elemento horizontal - dependendo das exigências relativas ao tamanho e à extensão dos elementos de construção, ocorrerá sempre uma certa cedência gravitacional devida às cargas vivas e mortas. Para impedir que a cedência ocorra, pode ser necessária uma grande quantidade de material para fornecer adequada resistência à flexão.
3. Quanto maior for a carga, mais espesso terá que ser o pavimento ou as vigas horizontais que o sustentam - quando a exigência de carga aumenta numa situação típica de laje e vigas, é necessário aumentar a espessura de uma ou ambas de forma a alcançar a resistência requerida. Isto terá como

consequência maior espaço entre pavimentos, com os subseqüentes custos de materiais ou com uma redução da altura do tecto.

4. Exige um considerável custo pago devido ao peso - em telhados lisos e edifícios elevados o peso é um factor principal do projecto e o desejo é reduzir a carga cumulativa que pesa sobre os membros de suporte. Um pequeno aumento no peso dos pavimentos do alto e no telhado do edifício resultará num aumento significativo da carga que os membros estruturais dos pavimentos mais baixos do edifício devem suportar. Isto resulta em material adicional e custos mais elevados de construção do edifício.
5. Mais comprido significa mais fraco - com os requisitos para a deflexão mínima da superfície que impeçam a formação de rachaduras no revestimento da superfície, ou a existência duma excessiva flexibilidade, as exigências estruturais impõem a inclusão duma viga. Uma viga mais comprida deflexionará mais e será capaz de resistir menos à carga do que uma mais curta. Em consequência, um aumento na extensão requer ou um aumento na espessura da viga ou uma diminuição da distância entre colunas. Ambos têm o efeito do aumento do peso e dos custos dos materiais.

Como a natureza trata do nivelamento (Vogel, 1998:57-60):

1. Veios - os veios aumentam a espessura funcional das folhas somente com um pequeno investimento extra de material.
2. Curvatura - sem a necessidade de veios, uma superfície plana pode ser eficazmente espessada e endurecida com a introdução de um pouco de curvatura.
3. Plissados - a introdução de um jogo de plissados a funcionar no sentido em que a dobragem é expectável, aumenta a espessura efectiva sem acrescentar o problema da adição de vigas abaixo da superfície.



Fig.89 – Folha: veios



Fig.90 – Plissado num cacto

As asas de um insecto compreendem somente 1% de sua massa corporal. A sua integridade estrutural deriva duma combinação da curvatura, veios e plissados longitudinais. Aqui a chave é o facto de que a natureza, como visto na asa do insecto, frequentemente combina todos estes três métodos, o que pode multiplicar os seus efeitos.

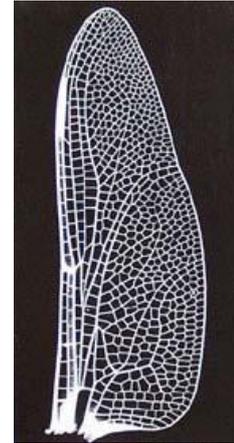


Fig.91 – Asa da libélula

Superfícies

Pressão e curvatura numa esfera - quando uma pressão é exercida externamente ou internamente numa esfera, é produzida uma tensão na superfície. A força da tensão está relacionada directamente com o tamanho da esfera. A Lei de Laplace, que relaciona a pressão interna à tensão de superfície, indica que a força da tensão por comprimento de unidade da superfície é igual à pressão vezes $\frac{1}{2}$ do raio da esfera. Uma embarcação cilíndrica experimentará duas vezes mais tensão na superfície de contacto do que uma embarcação esférica (hyperphysics.html).

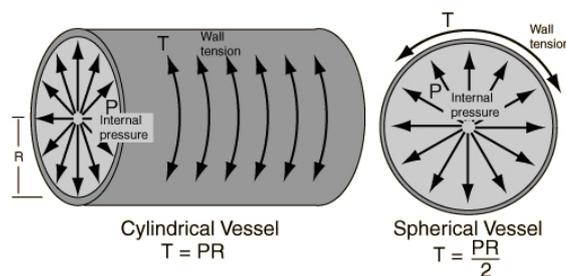


Fig.92 – Tensão superficial em embarcações cilíndricas e esféricas.

Uma esfera grande resulta numa maior tensão de superfície para uma dada pressão do que uma esfera menor. Aumentando o raio, a curvatura da parede da embarcação diminui. Quando a embarcação alcançar um raio infinito a superfície terá uma tensão infinita. Este facto essencialmente põe de lado a hipótese de construir balões, ou quaisquer outras estruturas internamente pressurizadas, com paredes lisas (hyperphysics.html). Os organismos vivos mantêm geralmente diferentes pressões internas e externas e como tal fazem uso eficiente da curvatura nas suas formas corporais para reduzir as exigências de suporte de enormes forças de pressão na sua pele. A natureza evita as superfícies planas sempre que possível e a abóbada dura é a forma preferida, com utilização nas cascas de ovos, crânios, cascas de nozes, conchas de mexilhões, etc. (Tsui, 1999:86-131).

Ângulos e cantos

Ângulos rectos - durante toda a história humana a presença de ângulos rectos foi um sinal infalível das culturas com elevada complexidade técnica. A natureza usa muito raramente a linha recta. Exceptuam-se as bactérias, determinados protozoários e outros (Tsui, 1999:38-39).

Casas redondas são geralmente indicativas de sociedades nómadas ou semi-nómadas, onde os edifícios curvilíneos são mais económicos nos materiais, têm menos peso e são mais fáceis de erigir. As casas rectangulares tipificam sociedades sedentárias onde é possível incluir mais edifícios numa área específica, onde os interiores podem ser divididos mais facilmente e onde adições subsequentes se tornam também mais fáceis de fazer.

Cantos e fendas - os seres humanos tendem a preferir cantos afiados quando a natureza usa cantos arredondados. Há um número de razões pelas quais os cantos afiados são ineficientes e pouco práticos, mas nós ainda os preferimos para a facilidade da construção. As fendas originam-se nas estruturas onde as tensões são maiores, e isto acontece nos cantos das estruturas. O problema intensifica-se quando dois materiais são ajuntados por meio de um fixador (Tsui, 1999:38-39).

Ao fixador é confiada a manipulação tanto do ajuntamento dos materiais como das forças resultantes que actuam sobre eles. A relevância desta realidade estrutural foi bem reconhecida noutros reinos da construção e foi tratada dentro de um esforço de impedir falhas estruturais. Os aviões e os navios têm ambos que lidar com uma enorme quantidade de tensões por toda a fuselagem e casco, sem que se possam quebrar. Numa escala grande, a sua forma é predominantemente curvilínea, de forma que as forças sejam uniformemente distribuídas. As janelas e as vigias em cada uma são também arredondadas para impedir a propagação de fissuras. Este método de distribuição e dissipação de tensões esteve em uso por milénios em muitos dos organismos da natureza, desde os ossos dos nossos corpos à bifurcação dos ramos em cada árvore (Tsui, 1999:38-39).



Fig.93 e 94 – Esquerda: Cantos redondos nos ramos duma árvore. Direita: Localização da tensão e fendas nos cantos.

Rigidez e flexibilidade

Rigidez - Predomina na construção arquitetural, quando a natureza prefere estruturas fortes e flexíveis. Materiais duros como tijolos e blocos são bastante abundantes, fáceis de montar e com bom comportamento em compressão, mas completamente susceptíveis de falhar em caso de acidentes ou cargas incomuns (Tsui, 1999:65).

As estruturas suficientemente duras têm que ser também suficientemente fortes para resistir ao colapso. No entanto, uma estrutura adequadamente forte não é necessariamente suficientemente dura para o conforto ocupacional. Na busca pela rigidez desejada, há um aumento proporcional em material que a deve acompanhar. A rigidez encontrada em produtos naturais como o osso, a cerâmica, o coral e os moluscos são feitos de compostos que existem abundantemente na natureza. Contudo estes compostos são usados somente em localizações cruciais em vez de em todo o organismo onde outros materiais flexíveis podem ser substituídos e até possivelmente requeridos (Tsui, 1999:65).

Flexibilidade - com exceção do uso estratégico de materiais duros, a maioria dos organismos é construída com materiais relativamente flexíveis. Dum ponto de vista arquitetural, os materiais flexíveis são benéficos pois podem suportar condições externas extremas como os impactos das ondas, do vento e dos terremotos sem falhar porque podem flectir e absorver a sua energia. A flexibilidade permite que uma estrutura altere a sua forma como resposta à mesma carga desigual que pode ser desastrosa para estruturas duras (Tsui, 1999:66).



Fig.95 – Flexibilidade da árvore durante um furacão.

Aumentos de escala

Tamanho - quando os objectos crescem em tamanho, o seu volume aumenta mais drasticamente do que a sua área de superfície. Isto pode ter um efeito profundo sobre a habilidade do objecto de resistir e responder às forças internas e externas que agem sobre ele para as quais foi projectado originalmente. Simplesmente escalar o tamanho de um objecto não significa necessariamente que um aumento correspondente no tamanho dos seus componentes estruturais se prove adequado para a sua integridade estrutural (Llorens, 2008:7).



Fig.96 – Ao aumentar o tamanho, mantém-se a escala.

Calor - o calor é gerado no interior do animal, mas perdido através de sua superfície. Um animal grande e um pequeno produzem calor à mesma taxa. Quanto maior for o volume, mais quente será a superfície do animal. Manter um edifício grande aquecido é mais barato, relativamente ao seu volume, do que é manter uma casa pequena aquecida (Tsui, 1999:43).

Colunas - uma estrutura pode falhar em suportar a sua carga se um membro na compressão se vergar, isto é, se mover lateralmente e se encurtar sob uma carga que já não pode suportar. A força crítica varia com um quarto do diâmetro da coluna dividido pelo quadrado da sua altura. Consequentemente, uma coluna com um aumento duplo no tamanho (diâmetro e altura) experimentará um aumento quádruplo na resistência ao vergar. No entanto, sendo consistentes com as propriedades do aumento linear "versus" aumento volumétrico, nós acabamos aumentando tanto o peso da coluna como o do que quer que ela carregue oito vezes. Isto resulta num cenário onde a carga inoperante se torna duas vezes o que a coluna pode suportar, tendo assim por resultado a falha. Aumentando a escala de um edifício, é possível ver que há um relacionamento quádruplo entre a massa do edifício

e a estrutura requerida para suportá-la. Um pequeno aumento no tamanho de um edifício resultará num aumento relativamente grande nos materiais de construção requeridos (Tsui, 1999:21-25).

O desenvolvimento natural da forma

Segundo Eugene Tsui (1999:28-29) as formas naturais são derivadas das suas várias taxas de crescimento e essas formas tridimensionais dependem da existência de taxas de crescimento diferentes em todo o organismo.

A forma alcançada no fim do ciclo do crescimento é determinada tanto pelas limitações físicas do material de construção como pela taxa de crescimento diferencial, sendo esta última responsável pela forma ou curvatura da sua superfície.

Por isso é possível reconhecer uma relação entre a forma do objecto e o espaço que ele ocupa. O ambiente externo exerce uma pressão no objecto em desenvolvimento e sua forma final é um produto da sua resposta ao ambiente com os limites das propriedades estruturais do material usado. É uma culminação da interacção de forças internas e externas. O organismo na natureza cresce ao longo das linhas de maior pressão e é este acto de equilíbrio entre as forças de pressão e de tensão que dão ao objecto as suas características estruturais inerentes.

II.3 - “Venustas”

A beleza é um conceito abstracto e subjectivo, que depende de tudo o resto que foi materialmente concebido, e não só...por isso a deixámos para último lugar.

Tanto a forma como a estrutura, que foram atrás analisadas do ponto de vista dos princípios biomiméticos aplicados à arquitectura, têm uma quota-parte importante na beleza do edifício ou da cidade. Porém, a proporção áurea, a simetria, a frontalidade, a cor e o revestimento sem dúvida desempenham um papel primordial na “Venustas” de cada obra arquitectónica. Vamos pois ver que princípios biomiméticos se aplicarão nestes aspectos.

A proporção áurea (sequência de Fibonacci)

A proporção áurea, número de ouro ou número áureo ou ainda proporção dourada é uma constante real algébrica irracional denotada pela letra grega φ (phi) e com o

valor arredondado a três casas decimais de 1,618. É um número que há muito tempo é empregado na arte. Também é chamada de: razão áurea, razão de ouro, divina proporção, proporção em extrema razão, divisão de extrema razão.

O número áureo é aproximado pela divisão do n ésimo termo da sequência de Fibonacci (1,1,2,3,5,8,13,21,34,55,89,..., na qual cada número é a soma dos dois números imediatamente anteriores na própria série) pelo termo anterior. Essa divisão converge para o número áureo à medida que tomamos n cada vez maior. Podemos ver um exemplo dessa convergência a seguir, em que a série de Fibonacci está escrita até seu sétimo termo [1, 1, 2, 3, 5, 8, 13]:

$$2/1=2; 3/2=1,5; 5/3=1,666\dots; 8/5=1,6; 13/8=1,625$$

Por outro lado, qualquer número desta sequência dividido pelo seguinte, aproximado ao n ésimo termo aproxima-se a 0,618:

$$1/2= 0,5; 2/3=0,66\dots; 3/5= 0,6; 5/8=0,625; 8/13=0,615\dots$$

Esta sequência foi descrita primeiramente por Leonardo de Pisa, também conhecido como Fibonacci, para descrever o crescimento de uma população de coelhos.

Leonardo de Pisa (1170 — 1250) foi um matemático italiano, dito como o primeiro grande matemático europeu depois da decadência helênica. É considerado por alguns como o mais talentoso matemático da Idade Média. Teve um papel preponderante na introdução dos algarismos árabes na Europa.

Phi tem este nome em homenagem ao arquitecto grego Phidias, construtor do Parthenon, que utilizou o número de ouro em muitas das suas obras.

Gyorgy Doczi, no seu livro "The power of limits" descreve amplamente a forma como a natureza utiliza este número (Gyorgy, 2005:1-13). Justamente por estar envolvido no crescimento, este número torna-se tão frequente. O fato de ser encontrado através de desenvolvimento matemático torna-o fascinante.

Este número está envolvido com a natureza do crescimento. O Phi pode ser encontrado, entre outros:

- Na proporção em conchas - no nautilus, por exemplo, na proporção em que cresce o raio do interior da sua concha. Este molusco bombeia gás para dentro de sua concha repleta de câmaras para poder regular a profundidade de sua flutuação.
- Na semente de girassol – A proporção em que aumenta o diâmetro das espirais de sementes de um girassol é a razão áurea.
- Nas folhas das árvores – na proporção em que diminuem as folhas de uma árvore à medida que subimos de altura.
- Na população de abelhas – A proporção entre abelhas fêmeas e machos em qualquer colmeia.

- Nos seres humanos - A figura abaixo ilustra algumas das proporções áureas numa mão:

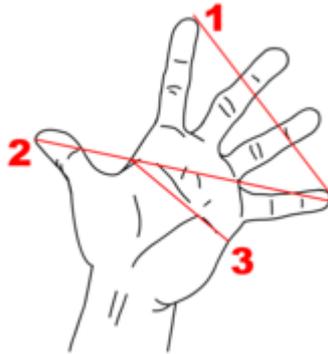


Fig.97 – Proporções áureas da mão humana.

Eis algumas das proporções anatômicas em que o número de ouro está presente:

- A altura do corpo humano e a medida do umbigo até ao chão.
- A altura do crânio e a medida da mandíbula até o alto da cabeça.
- A medida da cintura até à cabeça e o tamanho do tórax.
- A medida do ombro à ponta do dedo e a medida do cotovelo à ponta do dedo.
- O tamanho dos dedos e a medida da dobra central até à ponta.
- A medida do quadril ao chão e a medida do joelho até ao chão.
- A medida do cotovelo até ao pulso e a medida do pé

Essas proporções anatômicas foram bem demonstradas no "Homem Vitruviano", obra de Leonardo Da Vinci, na qual as ideias de proporção e simetria foram aplicadas à concepção da beleza humana

A proporção áurea está assim presente na natureza, no corpo humano e no universo. Essa sequência aparece ainda no DNA, no comportamento da refração da luz, dos átomos, nas vibrações sonoras, no crescimento das plantas, nas espirais das galáxias, dos marfins de elefantes, nas ondas no oceano, furacões, etc.

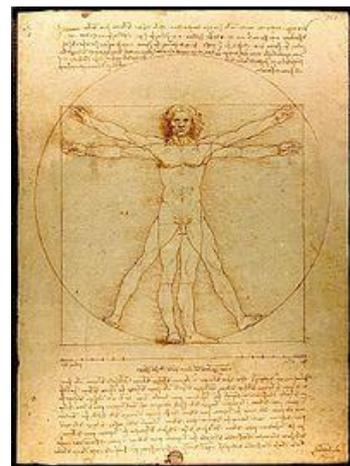


Fig.98 – Homem Vitruviano.

A proporção áurea está presente em muitas figuras, medidas e razões geométricas. Uma das mais simplesmente demonstráveis é o chamado rectângulo de ouro: trata-se do rectângulo no qual a proporção entre o comprimento e a largura é aproximadamente o número Phi, ou seja, 1,618, Esse rectângulo obtém-se pela

construção representada na figura abaixo (esquerda), a partir dum quadrado em que um dos lados é aumentado até à sua intersecção com a circunferência desenhada com centro no meio de lado do quadrado e raio igual à distância desse ponto a um dos vértices opostos desse quadrado. Na figura ao lado (direita), pode-se ver a espiral áurea inscrita no rectângulo áureo.

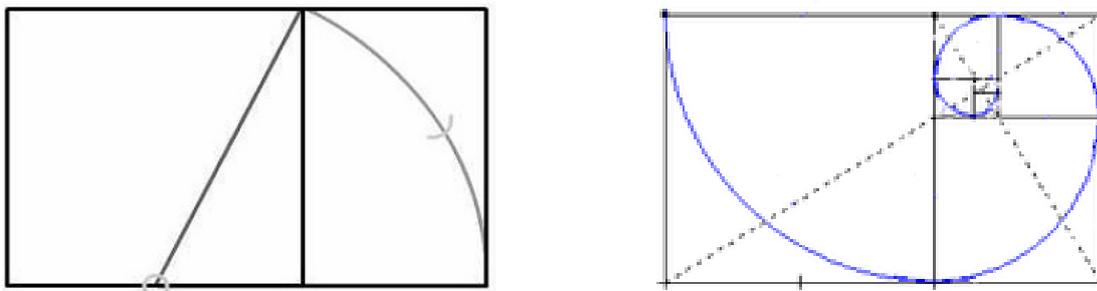


Fig.99 e 100 – Rectângulo de ouro. Direita: Espiral áurea inscrita no rectângulo áureo.

Visto que a proporção áurea foi sempre relacionada com a perfeição e com a harmonia com a natureza, muitos dos projectos arquitectónicos foram concebidos tendo em conta esta constante. É o caso, por exemplo do Parténon, cujas proporções reflectem em pormenor a proporção dourada. As pirâmides (ver ponto 1.1) são outro exemplo da aplicação do número áureo. Por exemplo, cada bloco da pirâmide era 1,618 vezes maior que o bloco do nível logo acima. As câmaras no interior das pirâmides também seguiam essa proporção, de forma que os comprimentos das salas são 1,618 vezes maiores que as larguras.

Simetria, centralidade e frontalidade

A simetria axial e a centralidade são exemplificadas nas flores e em frutos, assim como em microrganismos e certos animais. Em particular no que diz respeito à centralidade, a natureza fornece exemplos de todas as formas de simetria giratória. Há flores com quatro, cinco, seis ou sete pétalas e assim por diante. Em muitos casos, as pétalas podem ser diferentes ou ter formas alternadas, ou então alternam e entrelaçam-se com sépalas ou pequenas folhas para formar imagens complexas. (Portoghesi, 2000:338)

Na natureza, a cruz está presente principalmente em microrganismos, cristais e flores. Sendo a equivalente geométrica do Homem com os braços erguidos, e da ave em voo, a cruz é símbolo da intermediação, da comunicação entre diferentes lugares,

espaços e tempos, uma encruzilhada aberta que aponta nas quatro direcções. (Portoghesi, 2000:340)

Por outro lado, o conceito de frontalidade origina-se na tendência humana de se identificar com aquilo que constrói, como se o seu corpo virtualmente entrasse no espaço do objecto construído. “Quando dava forma a esta fachada, eu imaginava o corpo humano com braços abertos, como se abraçasse todos que entrassem; o corpo com braços abertos tem cinco partes: nomeadamente o peito no meio, e braços articulados em duas partes; mas na fachada a parte central é moldada como o peito, e as partes laterais como os braços, cada uma dividida distintamente em dois por dois pilares que se levantam no centro de cada parte” Francesco Borromini (Portoghesi, 2000:360).

O conceito de frontalidade aplicado aos seres vivos caracteriza as mais complexas e diversas formas de vida, enquanto a simetria em torno dum eixo vertical é uma peculiaridade dos organismos mais adaptados a viajar através dos mares do que a caminhar na terra.

Mesmo nos seres vivos, a frontalidade implica adaptação às forças da gravidade complementada pela distinção entre o alto e o baixo, assim como pela presença de um só eixo vertical de simetria. A maioria das flores e frutos obedecem à simetria axial vertical, assim como os organismos menos complexos do mundo animal (a medusa, p.ex.). No caso das orquídeas, a frontalidade parece corresponder a uma necessidade ambígua de provocar um processo de identificação perante o observador. É um facto bem conhecido que as orquídeas da espécie “*Ophrys*” não são capazes de pôr em prática a polinização anemófila (através do vento). Sendo assim, para se reproduzirem necessitam da colaboração, por vezes exclusiva, de certos insectos, para carregarem o pólen pegajoso duma planta para a outra. A flor da orquídea “*Ophrys*” está equipada com um desenho em forma de leque cujo padrão atrai os insectos, que também actua como amortecedor de aterragem. A cor e a forma desta atracção visual são similares à fêmea do insecto da espécie alvo da orquídea para protagonizar o processo de fertilização (Portoghesi, 2000:366).

A estratégia de atracção e identificação das fachadas das igrejas, por exemplo, é similar. Os portais grandes, por vezes rodeados de estátuas de santos, possuem um apelo imediato à entrada por parte dos crentes.

Na morfologia natural, o eixo é concretizado no mundo animal na espinha dorsal e nos planos de simetria dos invertebrados, enquanto na botânica corresponde ao tronco da árvore, ao ramo, ao talo e à nervura principal da lâmina duma folha (Portoghesi, 2000:369).

Através da história os edifícios têm sido construídos a maior parte das vezes com planos e elevações centrais possuindo um grau substancial de simetria bilateral, i.e.,

uma posição num dos lados de um eixo central que pode ser reflectida através desse eixo para uma posição idêntica como num espelho, no outro lado. Este costume – porque é de um costume que se trata, pois não há nenhuma razão fundamental pela qual os edifícios devam seguir esta regra – deve ter sido inspirado pela simetria bilateral de muitos animais, de plantas e do próprio homem (Aldersey-Williams, 2003:12).

No século XVI, Giorgio Vasari traçou o seu plano conceptual para um palácio em linhas antropomórficas – a fachada era a analogia da face humana, o pátio o corpo, as escadas os membros. A única simetria que este projecto possui é simetria bilateral. A simetria bilateral é especial para nós precisamente porque a reconhecemos na natureza (Aldersey-Williams, 2003:13).

Na arquitectura, a gravidade é sempre um constrangimento. Pelo menos por esta razão, poucos edifícios, se alguns, pareceriam os mesmos se fossem vistos ao contrário. Mas o aspecto dos planos verticais de simetria, esquerda – direita e frente – retaguarda são determinados por regras culturais. Os edifícios não se movimentam, mas pressupõe-se que as pessoas se movimentem através deles de acordo com certas regras sociais. Isto leva ao requisito básico de que um edifício tem que ter uma fachada, onde os visitantes são cumprimentados e por onde entram, e umas traseiras por onde o lixo é evacuado – um esquema de funcionamento que replica as funções animais (Hugh Aldersey-Williams, 2003:14).

A cor no mundo natural

Normalmente, quando estamos diante de questões ambientais, fazemos perguntas como: que tinta é menos tóxica? No entanto, um biomimetista perguntaria: “como a natureza pinta”? E, muito rapidamente, vem a resposta de Janine Benyus: “a natureza não pinta”.

De facto, a natureza utiliza dois métodos básicos para criar cor sem tinta:

Pigmentos internos e Cor estrutural - usando estruturas que reflectem a luz de uma certa maneira, de forma que parece que existem determinadas cores, quando na verdade é só o olho que tem a percepção dessas cores através da forma como a luz reflecte nessas estruturas.

É o caso das borboletas tropicais, dos pavões e dos colibris, que têm cores tão lindas. O pavão, por exemplo, é um pássaro completamente castanho. As suas cores derivam da forma como as camadas de queratina (a substância das nossas unhas), que constituem a pena, são dispostas para reflectir a luz solar.

Por outro lado, e utilizando um princípio semelhante, as cores das asas da borboleta são produzidas por uma combinação de pigmentos e reflexo das estruturas fotônicas. "Se você examinar a escala da asa, é possível ver todo o complexo do micron de dimensão e escala nanométricas cujas características determinam as propriedades ópticas", observou Zhong Lin Wang, professor no Georgia Tech School of Materials Science and Engineering. "De um ponto de vista físico, esta é uma estrutura muito regular: fotônicos regulares com desníveis que produzem a cor azulada (Georgia, 2006).

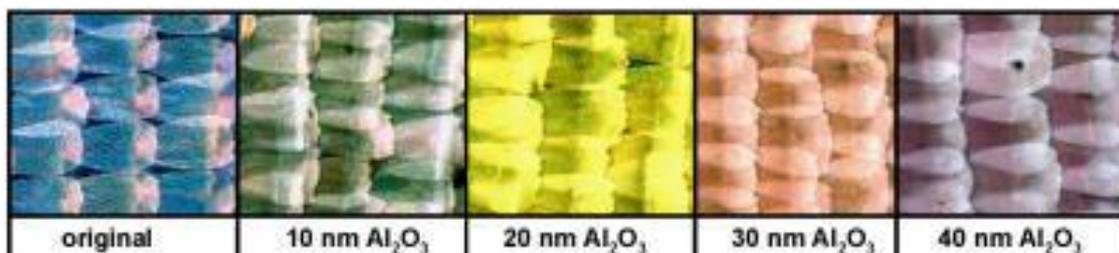


Fig.101 – Diferenças de cor nas asas das borboletas: a imagem dum microscópio óptico, por escala, do revestimento da asa da borboleta, mostra que as diferenças de cor se relacionam com a espessura da alumina depositada.

Um outro exemplo de cor estrutural está a ser estudado por pesquisadores da Universidade de Oxford, na Inglaterra. Eles descobriram como reproduzir em laboratório a alga diatomácea, que apresenta um fenómeno óptico chamado iridiscência. Presente tanto nas asas das borboletas como nas bolhas de sabão, esse fenómeno poderá ser explorado comercialmente tanto em tintas como noutros materiais de acabamento (Inovação, 2007).

A iridiscência da diatomácea, que é um organismo unicelular, vem de sua concha de sílica, que apresenta cores vívidas que se alteram dependendo do ângulo no qual ela é vista. O efeito é causado por uma rede complexa de minúsculos furos na concha, que interferem com as ondas de luz e causam a variação de cores.

A técnica de cultivo da diatomácea é escalável, podendo ser ampliado para operações em escala industrial. Isso permitirá que as diatomáceas sejam produzidas em massa, colhidas e processadas, podendo ser utilizadas para criar efeitos de alteração de cores em tecidos, cosméticos e tintas. Elas poderão também ser incorporadas em plásticos e outros produtos, criando hologramas.

Já existem produtos assim no mercado, mas eles são feitos por meio de um processo industrial sob alta pressão, que cria minúsculos reflectores. O cultivo das diatomáceas deverá ser muito mais barato, já que um único organismo desses gera até 100 milhões de descendentes em um único mês.

Portanto, pesquisando como a natureza obtém o efeito de cor desejado, em vez de se ter de lidar com todos os problemas que vêm, por exemplo, da aplicação da pintura nos materiais, pode-se construir com os compósitos que criam o resultado desejado - cor - da maneira como a natureza o faz.



Fig.102 – Uma diatomácea.

O revestimento auto-limpante

Na natureza, os revestimentos servem normalmente múltiplas finalidades. A folha de lótus é um exemplo paradigmático nesse sentido.

O lótus branco é um símbolo de pureza, porém cresce nos pântanos ao redor do mundo. O segredo de como a flor se ergue acima de seu ambiente horrível foi descoberto pelo botânico alemão Wilhelm Barthlott, da Universidade de Bonn, que passou 20 anos estudando a arquitetura microscópica de milhares de superfícies de plantas com um microscópio electrónico. Barthlott notou que as folhas e as pétalas que menos precisavam de limpeza antes de serem observadas apresentavam as superfícies mais grossas (Robbins, 2001).

Barthlott descobriu que a pétala mais limpa de todas - a do lótus branco - apresentava minúsculas pontas, como uma cama de pregos. Quando uma partícula de pó ou terra cai na folha, ela equilibra-se precariamente nestas pontas. Quando uma gota de água rola pelas pontas minúsculas, ela arrasta a terra mal fixada e leva-a embora. O lótus, em outras palavras, tem uma pétala auto-limpante. O efeito lótus, como é chamado, tem sido aplicado numa tinta feita na Alemanha chamada Lotusan.

A tinta, à venda na Europa e na Ásia, apresenta a garantia de permanecer limpa por cinco anos sem a necessidade do uso de detergentes ou de jacto de areia. Agora o efeito lótus está a ser desenvolvido para outros produtos, incluindo telhas e pintura de automóveis (Robbins, 2001).



Fig.101-104 – Aplicações da folha de Lótus.

À tríade vitruviana que integra a “utilitas”, “firmitas” e a “venustas” postula-se a adição de um quarto ideal: “restituitas” ou restituição, restabelecimento, segundo o qual o acto de edificar valoriza o meio ambiente, local e global, num sentido ecológico e não só visual (A Green Vitruvius, Prefácio, 2001).

Conforme se mostrou no ponto I.3, a aplicação de princípios biomiméticos tais como os delineados nos pontos II.1 a II.3 pode servir de base para uma arquitectura sustentável. Porém isto só será verdade desde que o biomimetismo não se limite à mera analogia formal, sem ter em consideração outros factores envolvidos. As formas naturais são o resultado de uma combinação de factores que interagem, como o ambiente, o comportamento estrutural, a função e a economia. A imitação que ignora os princípios geradores da mesma, o contexto em que se desenvolveu e os requisitos a satisfazer, pode facilmente levar a resultados contrários aos obtidos pelo modelo original. Ou seja, a edifícios caros (de construir e manter), devoradores de energia e recursos, pouco úteis ou pouco eficientes, inadequados, insustentáveis e irrecuperáveis. (Llorens, 2008:7).

Apresenta-se em seguida um exemplo notável de sustentabilidade na arquitectura. São os modernamente chamados “Earthships”.

Uma **Earthship** é uma casa totalmente construída a partir de materiais naturais ou reciclados, com um grande aproveitamento da energia solar. Usando como material isolador nas paredes exteriores pneus reciclados compactados com terra no seu interior, são casas 100% independentes das redes de abastecimento de electricidade, gás ou água. O desenho da arquitectura é condicionado quanto à exposição para o aproveitamento da energia solar e quanto à forma no sentido de melhorar estruturalmente o edifício em termos sísmicos. São portanto casas biomiméticas, pois copiam o meio natural quanto aos princípios da sustentabilidade.

Michael Reynolds, o mentor deste tipo de construção, começou há 30 anos a desenvolver uma habitação ecológica que fosse duradoura e económica (Reynolds, 2009)



Fig.105 – Earthship – projecto e construção de Dennis Weaver – casa luxuosa com 900 m2 de área.



Fig.106 e 107 – “Castle Earthship” – projecto de Michael Reynolds.

Hoje em dia, os “earthships” proliferam em muitas regiões dos EUA, e também na Europa, existindo várias empresas privadas especializadas na sua construção. No ano 2000, Mike Reynolds, em parceria com Daren Howarth, lançou a Earthship Biotecture, uma organização que tem como objectivo explorar e evoluir o conceito do Earthship dentro de um contexto europeu. Mais dois directores foram nomeados na Earthship Biotecture à Europa em Julho de 2006 - Kevan Trott e Kirsten Jacobsen.

Os “Earthships” mantêm temperaturas confortáveis em qualquer clima, com utilização zero de combustíveis fósseis. A casa fica quente no inverno e fria no verão, através da utilização de massa térmica e isolamento. Produz a sua própria electricidade a partir de energia solar e eólica. Permite a utilização de computadores, microondas, equipamentos musicais, equipamentos sensíveis, através de fontes de energia selectivas e automatizadas. Colecta a água da chuva, e utiliza água potável limpa - independente do abastecimento de água municipal. Trata o seu próprio esgoto - no local.

Os 6 princípios que definem um “Earthship”, e que definem a sustentabilidade biomimética da arquitectura são os seguintes:

- Aquecimento e arrefecimento solar e térmico
- Electricidade produzida por energia solar e eólica
- Tratamento de efluentes no local
- Construir com materiais naturais e reciclados, preferivelmente do local
- Incluir recolha de água da chuva
- Produção de alimentos

Os princípios acima encaixam perfeitamente nos princípios de Benyus atrás delineados (ponto I.2), pois biomimetismo e sustentabilidade andam de mãos dadas.

Outro exemplo de aplicação dos princípios biomiméticos de sustentabilidade - como se podem produzir recursos em vez de apenas consumi-los - é um conceito diferente de **revestimento pedonal** cuja génese incide sobre dois grandes desafios da nossa sociedade: a obesidade e a produção eléctrica - o “PowerTile” (Yowell, 2007:23).

Esta inovação utiliza os aspectos da tecnologia da membrana piezoeléctrica para produzir electricidade a partir do movimento de seres humanos. O conceito do “PowerTile” é semelhante à energia hidráulica e eólica, convertendo movimento em electricidade.

Estes mosaicos poderiam ser colocados em calçadas, praças e trilhas pedonais para fornecer electricidade produzida localmente. Seria até possível para as pessoas monitorizarem a electricidade produzida e ganharem créditos fiscais.

O sistema permitiria à comunidade, através da sua actividade, produzir energia a nível local, que é uma forma mais económica e mais eficiente de distribuição da energia. Algumas comunidades poderiam até tornar-se exportadoras de energia.

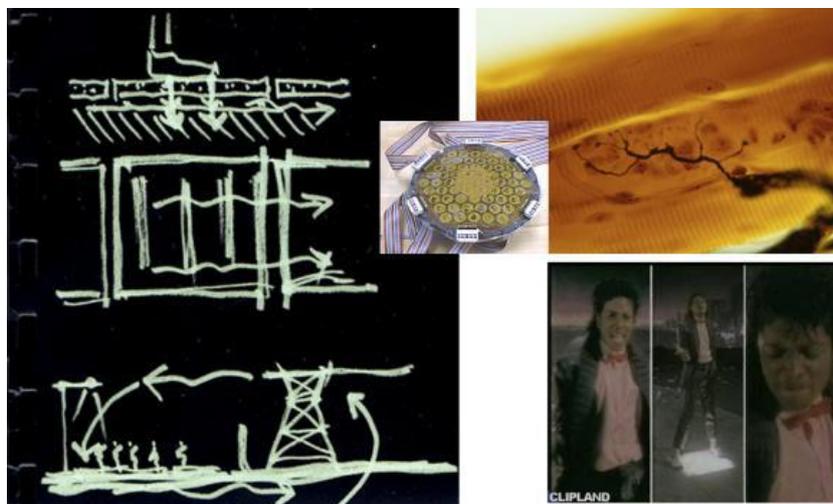


Fig.108 – “PowerTile” – revestimento pedonal que produz energia eléctrica.

Sintetizando:

Relembrem-se em seguida os 10 princípios enunciados por Janine Benyus (ponto I.2), fazendo corresponder-lhes alguns dos princípios enumerados desde o início deste capítulo até agora:

OS 10 PRINCÍPIOS BIOMIMÉTICOS JANINE BENYUS (1997)	EXEMPLOS DE APLICAÇÕES NA ARQUITECTURA (retirados dos pontos II,1 a II.4)
1. Usar resíduos como um recurso	<ul style="list-style-type: none"> • Construir com materiais reciclados (“restituitas”)
2. Diversificação e cooperação para usar completamente o habitat	<ul style="list-style-type: none"> • Explorar multifuncionalidades em cada elemento do projecto (“utilitas”)
3. Obter e usar energia de forma eficiente	<ul style="list-style-type: none"> • Electricidade produzida por energia solar e eólica (“restituitas”)
4. Optimizar em vez de maximizar	<ul style="list-style-type: none"> • Utilização predominante de formas curvilíneas (“firmitas”)
5. Moderar o uso de materiais	<ul style="list-style-type: none"> • Eliminar todos os pontos de concepção supérfluos e todos os procedimentos de construção desnecessários (“utilitas”)

6. Não poluir	<ul style="list-style-type: none"> • Tratar efluentes no local ("restitutas")
7. Não diminuir recursos	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Utilizar aquecimento e arrefecimento solar e térmico ("restitutas")
8. Permanecer em equilíbrio com a biosfera	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Forma adaptada ao espaço ambiental ocupado ("firmitas")
9. Partilhar informação	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Aplicada praticamente em todos os pontos. Por exemplo, foi a partilha de informação sobre as investigações acerca da cor estrutural que permitiu a sua aplicação a materiais de construção ("venustas")
10. Comprar localmente	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Construir com materiais naturais, preferivelmente do local ("restitutas")

II.5 – Grau biomimético

O grau biomimético dum projecto arquitectónico depende da sua integração na natureza e da forma como contribui para a integração dos seus habitantes no meio ambiente envolvente. Os projectos humanos e os projectos da natureza transformam-se num intercâmbio de vivências cooperadoras (Tsui, 1999:71).

Nesta perspectiva, o grau biomimético dum projecto é um conceito qualitativo, que depende da forma como o todo e as partes se relacionam, tendo em vista o objectivo final de integração com a natureza e o meio em que vivemos. Um projecto arquitectónico concebido pela mão humana, se for 100% biomimético, será na realidade um acto da natureza, de tal forma integra todas as suas concepções, com a qual ele mesmo se confunde. Tal projecto é obviamente, nos nossos dias, utópico.

Por isso, quando se pensa em conceber uma forma objectiva de avaliar o grau biomimético dum projecto, depara-se com inúmeras dificuldades. O grau biomimético não é a simples soma quantitativa da aplicação de princípios da natureza à construção arquitectónica. Vai muito para além disso.

Por essa razão, não foi sem hesitação que se tomou a decisão de incluir nesta dissertação uma matriz de avaliação do grau biomimético de projectos arquitectónicos.

Uma das dificuldades com que desde logo se deparou é que os próprios princípios muitas vezes se confundem uns com os outros quando se passa à sua aplicação concreta. Num só elemento arquitectónico podem estar aplicados ao mesmo tempo vários princípios, pois pode ser analisado sob diferentes pontos de vista. Neste caso, qual deles escolher, quando se faz a avaliação? Ou devem-se escolher todos eles em simultâneo?

Outra limitação reside no facto de que para alguns projectos, devido à sua natureza ou especificidade, não é possível a aplicação de alguns dos princípios delineados na matriz. Por outro lado, só será possível identificar a aplicação de cada um dos princípios apontados na matriz se se conhecer muito bem o projecto, em todos os pormenores. Caso estes não se conheçam, não será possível inserir qualquer classificação em muitas das linhas.

Reconhece-se portanto que a matriz apresentada é um mero exercício académico, que resume a realidade a 25 princípios biomiméticos. Sem dúvida este número é em si mesmo discutível, sendo certamente possível identificar mais 25 princípios, todos eles relevantes, que poderiam ser acrescentados na matriz. Porém, procurou-se ser nem muito específico nem demasiado lato na definição dos princípios apresentados. Estes advêm dos que foram explicitados nos pontos II.1 a II.4 deste trabalho.

Reconhece-se portanto que reduzir o grau biomimético à análise dum matriz é um conceito muito redutor, pois como atrás se disse o grau biomimético dum projecto de arquitectura vai muito para além disso. Entende-se porém que a decisão tomada de apresentar esta matriz de análise tem como mérito a sistematização de alguns princípios biomiméticos aplicáveis à arquitectura na sua realidade prática quando relacionados com um projecto concreto de cujo grau biomimético se pretende de alguma forma objectiva aferir – mesmo que essa forma de aferição seja de certo modo rudimentar.

Apresenta-se assim uma matriz com 25 princípios biomiméticos aplicáveis à arquitectura, distribuídos pelas 3 categorias vitruvianas: *Utilitas*, *Firmitas* e *Venustas*. Porém, 4 dos princípios delineados foram incluídos na secção "*Restitutas*", pois são princípios que, não estando incluídos em nenhum dos outros, foram delineados por Janine Benyus como princípios biomiméticos essenciais e são aplicáveis à arquitectura, tornando o projecto mais sustentável do ponto de vista ambiental.

Note-se que, conforme a natureza do projecto que estiver a ser analisado, poderá acontecer que determinado princípio, que na matriz está incluído em certa secção vitruviana, tenha sido aplicado numa faceta que se integre noutra secção de Vitruvius. Caso isso aconteça, esse princípio deve ser mudado para a secção em que se aplique no caso concreto.

A classificação proposta divide-se em 4 escalas, de 1 a 4, em que um projecto predominantemente biomimético na aplicação dum princípio obterá a classificação de 4, enquanto a aplicação rara desse princípio obterá a classificação de 1. Caso um projecto consiga aplicar predominantemente todos os 25 princípios, obterá o presumível grau biomimético de 100%. Inversamente, um projecto em que todos os princípios se apliquem raramente, obtém o grau biomimético de 25%. Estas escalas poderão ser obviamente ajustadas.

A matriz detém ainda a particularidade de ser possível obter uma classificação biomimética em cada secção vitruviana. A penúltima coluna, após o total de pontos obtido em cada secção, faz a ponderação ao total possível nessa secção, obtendo-se assim o presumível grau biomimético individual de cada uma das secções vitruvianas do projecto. Será assim possível obter um grau biomimético de XX% para "Venustas", mas um grau de YY% para "Firmitas", conforme a aplicação dos princípios biomiméticos dentro de cada classe.

A matriz prevê ainda uma última coluna de "observações", em que se poderá caracterizar como na prática o projecto aplicou cada princípio biomimético analisado.

MATRIZ DE GRAU BIOMIMÉTICO

Princípios biomiméticos aplicados		Aplicação de cada princípio				Grau obtido por elemento vitruviano	Observações
		Rara	Alguma	Bastante	Predominante		
Pontuação		1	2	3	4		
"Útilitas"							
1	Respeita o padrão de circulação dos habitantes						
2	Elimina todos os pontos de concepção supérfluos e todos os procedimentos de construção desnecessários						
3	Explora multifuncionalidades em cada elemento do projecto						
4	Capacidade de regular a transferência do ar						
5	Capacidade de regular o intercâmbio da luz						
6	Capacidade de regular a transferência da humidade						
7	Capacidade de regular a transferência de calor						
Total Útilitas		0	0	0	0	0%	
"Firmitas"							
8	Estrutura concebida em sistema de redundância estrutural						
9	Resiliência e cura (auto conservação)						
10	Utilização de materiais como sistemas						
11	É capaz de detectar e responder aos estímulos externos						
12	Utilização predominante de formas curvilíneas						
13	Utilização de formas idênticas às dos organismos ou às que eles constroem						
14	Abordagem do nivelamento semelhante à dos organismos (veios/curvatura/plissados)						
15	Construção sem ângulos e cantos						
16	Rigidez apenas em pontos fulcrais da estrutura e flexibilidade nos restantes						
17	Forma adaptada ao espaço ambiental ocupado						
Total Firmitas		0	0	0	0	0%	
"Venustas"							
19	Utilização da proporção áurea (sequência de Fibonacci)						
20	Predominância de Simetria, centralidade e frontalidade						
18	Utilização de cor estrutural						
21	Revestimento auto-limpante						
Total Venustas		0	0	0	0	0%	
"Restitutas"							
22	Aquecimento e arrefecimento solar e térmico						
23	Electricidade produzida por energia solar e eólica						
24	Tratamento de efluentes no local e recolha de água da chuva						
25	Construir com materiais naturais e reciclados, preferivelmente do local						
Total Restitutas		0	0	0	0	0%	
GRAU BIOMIMÉTICO TOTAL		0	0	0	0	0%	

Rara = 0 a 25%

Bastante = 51 a 75%

Alguma = 26 a 50%

Predominante = 75 a 100%

Geral



"Although nature commences with reason and ends in experience it is necessary for us to do the opposite, that is to commence with experience and from this to proceed to investigate the reason."
Leonardo da Vinci

Capítulo III

Análise de casos

III.1 - Projectos de arquitectos consagrados

Já atrás se falou de vários nomes de arquitectos que aplicaram princípios biomiméticos na sua obra. Apresentam-se em seguida 4 obras arquitectónicas da actualidade, em que cada uma se destaca particularmente por uma das 3 vertentes – *Utilitas, Firmitas, Venustas* – sistematizadas por Vitruvius, às quais se acrescentará o aspecto da *sustentabilidade*. Em cada caso se aplicará aos aspectos conhecidos de cada projecto a matriz de análise do grau biomimético, concentrando-se a análise sobretudo nos pontos mais destacados desses projectos.

A coluna das observações não foi reproduzida no texto por uma questão de espaço e mais fácil leitura, remetendo-se as matrizes completas para os Anexos 1 a 4, onde as justificações relativas ao nível atingido na aplicação de cada princípio biomimético são apresentadas nessa última coluna.

Utilitas: Multiplex Cinema – Wilkinson Eyre Architects

Este projecto, elaborado em 2004 por Wilkinson Eyre Architects para um cinema múltiplo num subúrbio de Birmingham, UK, mostra claramente como os requisitos funcionais dum edifício podem levar a uma solução formal que partilha certas qualidades com organismos naturais.

De forma a acomodar 20 teatros, os arquitectos decidiram distribuí-los em sequência, de acordo com a sua capacidade, à volta de um átrio central que providencia um salão comum e acesso simultâneo a cada um dos teatros através duma rampa em espiral.

A espiral tem uma base matemática de cálculo através da sequência de Fibonacci (uma série de números na qual cada termo é a soma dos dois termos antecedentes: 1,1,2,3,5,8... em que o quociente dos termos adjacentes se aproxima da chamada "Divina Proporção" ou "Secção áurea"). Esta sequência é encontrada na natureza em flores e cones de sementes e nas proporções das câmaras internas das conchas e

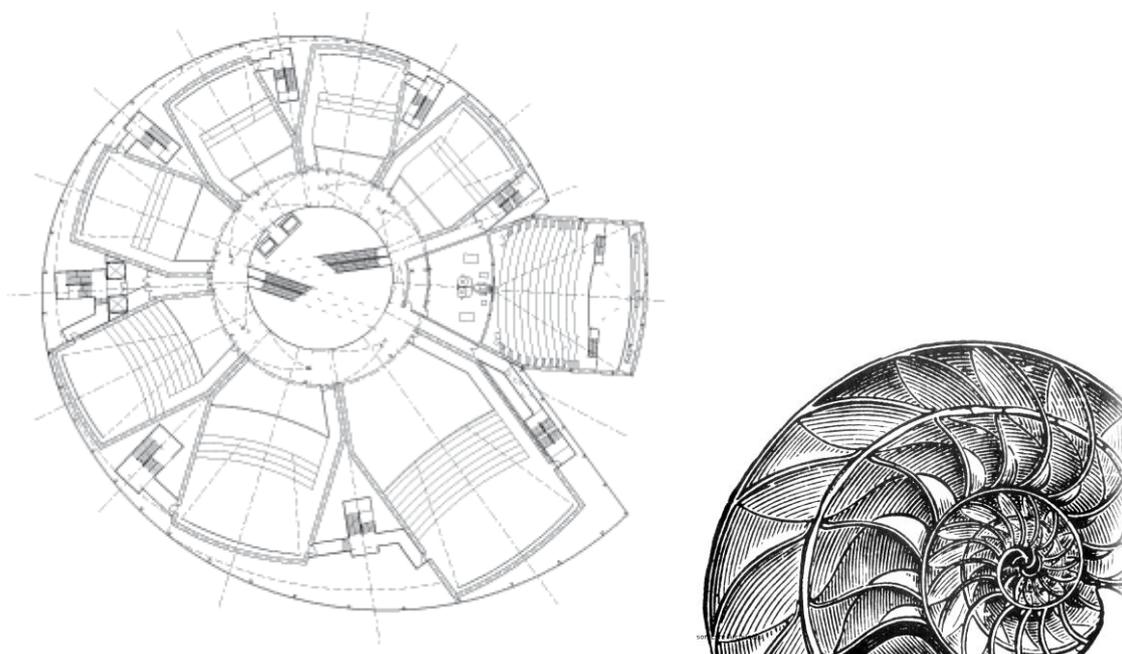
de alguns caracóis e moluscos, como o náutilus gigante. A espiral é uma ocorrência rara na arquitectura, com algumas notáveis excepções dos anos 50 – a Casa Bavinger de Bruce Goff e o Museu Guggenheim de Frank Lloyd Wright. (Aldersey, 2003:87,88)

A solução de espiral aqui providenciada dá aos espectadores um ambiente amigável e fácil de navegação, contrariamente ao dos velhos e grandes cinemas, que se encontra dividido de alto a baixo, ou mesmo ao de um cinema múltiplo albergado num edifício vulgar.

Os auditórios radiais estão envoltos numa parede exterior lisa com o conjunto do revestimento exposto num ângulo que sugere o plano da espiral, que de outra forma é difícil de ver quando se olha para cima. Os auditórios individuais de cada cinema podem discernir-se através de bandas translúcidas nas paredes, como que num eco da delicadeza da concha do náutilus.



Fig.109-111 – Multiplex Cinema. Acima: Foto de maqueta. Em baixo: Planta inspirada no náutilus.



“ Mesmo que os observadores não vejam a analogia natural do princípio estrutural”, sugere Jim Eyre, “ podem sentir que o edifício como que parece ter crescido, o que cria uma forte relação com eles”.

O “design” em espiral está patente em planta, mas não é uma característica importante para quem vai ao cinema, embora faça a diferença no que toca à sua facilidade de navegação dentro do edifício. A semelhança visual e funcional com a natureza é porém quebrada em alguns aspectos. O náutilus não tem, por exemplo, um espaço vazio central para acesso às câmaras que utilize para flutuar, e onde o náutilus tem uma grande cavidade aberta que alberga o próprio animal na câmara ultraperiférica, o edifício tem uma parede com um vídeo, com a entrada através de um ponto na parede da espiral da concha.

Apesar destas diferenças, este é sem dúvida um bom exemplo de extrair funcionalidade a partir das características de um animal existente na natureza. Apresenta-se em seguida a matriz de grau biomimético do projecto, tendo em conta apenas as características que foi possível recolher através do site da Wilkinson Eyre Architects e da descrição feita em “Zoomorphic: new animal architecture” (Aldersey, 2003:84-88).



Fig.112 e 113 – Multiplex Cinema – imagens modeladas em computador.

Na matriz abaixo, só existe informação para 8 dos 25 princípios em análise, pois não se conseguiu obter informação acerca da aplicação ou não dos restantes 17 princípios enunciados. Apesar disso, as percentagens totais obtidas por elemento vitruviano permitem-nos verificar a predominância da aplicação de princípios biomiméticos sobretudo na área da funcionalidade (92%) e da beleza (88%). A percentagem total de 81% para o grau biomimético é bastante elevada, mas pode ser um tanto enganosa em virtude de pontuar apenas 8 princípios. Note-se que as percentagens acima foram sempre ponderadas, tendo sido obtidas pela divisão entre a pontuação obtida e o máximo de pontos possíveis, tendo em conta apenas os 8 princípios analisados. Note-se que em termos de sustentabilidade, não foi possível analisar nenhum dos 4 princípios da matriz.

Remete-se para a matriz apresentada em anexo a informação sobre a forma como cada projecto aplica cada um dos princípios analisados.

MULTIPLEX CINEMA						
MATRIZ DE GRAU BIOMIMÉTICO						
Princípios biomiméticos aplicados		Aplicação de cada princípio				Grau obtido por elemento vitruviano
		Rara	Alguma	Bastante	Predominante	
Pontuação		1	2	3	4	
"Utilitas"						
1	Respeita o padrão de circulação dos habitantes				4	
2	Elimina todos os pontos de concepção supérfluos e todos os procedimentos de construção desnecessários				4	
3	Explora multifuncionalidades em cada elemento do projecto			3		
4	Capacidade de regular a transferência do ar					
5	Capacidade de regular o intercâmbio da luz					
6	Capacidade de regular a transferência da humidade					
7	Capacidade de regular a transferência de calor					
Total Utilitas		0	0	3	8	92%
"Firmitas"						
8	Estrutura concebida em sistema de redundância estrutural					
9	Resiliência e cura (auto conservação)					
10	Utilização de materiais como sistemas					
11	É capaz de detectar e responder aos estímulos externos					
12	Utilização predominante de formas curvilíneas			3		
13	Utilização de formas idênticas às dos organismos ou às que eles constroem			3		
14	Abordagem do nivelamento semelhante à dos organismos (veios/curvatura/plissados)					
15	Construção sem ângulos e cantos		2			
16	Rigidez apenas em pontos fulcrais da estrutura e flexibilidade nos restantes					
17	Forma adaptada ao espaço ambiental ocupado					
Total Firmitas		0	2	6	0	67%
"Venustas"						
19	Utilização da proporção áurea (sequência de Fibonacci)				4	
20	Predominância de Simetria, centralidade e frontalidade			3		
18	Utilização de cor estrutural					
21	Revestimento auto-limpante					
Total Venustas		0	0	3	4	88%
"Restituitas"						
22	Aquecimento e arrefecimento solar e térmico					
23	Electricidade produzida por energia solar e eólica					
24	Tratamento de efluentes no local e recolha de água da chuva					
25	Construir com materiais naturais e reciclados, preferivelmente do local					
Total Restituitas		0	0	0	0	0%
GRAU BIOMIMÉTICO TOTAL		0	2	12	12	81%
Rara = 0 a 25%		Alguma = 26 a 50%				
Bastante = 51 a 75%		Predominante = 75 a 100%				

Firmitas: “Ninho de pássaro” – Estádio Olímpico de Pequim – Consórcio entre Arup, Herzog & De Meuron Architekten AG e China Architecture Design & Research Group

O projecto é resultado de um consórcio entre os arquitectos suíços Herzog & De Meuron, a empresa britânica de consultoria global em engenharia Arup & Partners e o grupo chinês China Architecture Design & Research, que foi vencedor de um concurso internacional realizado em 2002 pela Comissão Municipal de Planeamento Urbano de Pequim. Com um alto custo, que ultrapassou os US\$ 500 milhões, o estádio de 254 mil m² tem capacidade fixa para 91 mil pessoas mais 11 mil assentos temporários. O seu grande volume, cerca de 3 milhões de metros cúbicos, torna-o uma das grandes referências arquitectónicas e construtivas da cidade, sendo inclusive a maior estrutura de aço construída no mundo. (National, 2008)



Fig.114 – Estádio Olímpico de Pequim – em fase de construção.

A estrutura, a forma e a matemática biomimética

O estádio tem a sua arquibancada inteiramente recoberta por uma profusão aparentemente aleatória de vigas e treliças metálicas contínuas e entrelaçadas, exactamente como os gravetos de madeira que formam um ninho. De acordo com os arquitectos, a forma da rede metálica que envolve e cobre o anel de betão dos assentos é baseada na lógica dos aparentes padrões aleatórios da natureza e inspirada nos conceitos de equilíbrio e harmonia do Yin e Yang da filosofia chinesa, onde se combinam o caos e a ordem. É exactamente essa interacção de opostos a força de impacto da construção na cidade. Muitos acham que este design exclusivo com o seu aspecto metálico exterior é um complemento perfeito para o Centro Aquático Nacional, ou “Cubo da Água”, nas proximidades, com a sua suave arquitectura “borbulhante”, como yin e yang, fogo e água, preto e branco.

Para muitos dos visitantes é difícil dizer onde termina a função estrutural da megamalha metálica e começa a pura representação estética e formal da fachada. De acordo com os profissionais responsáveis da Arup, o padrão de disposição das “pernas” metálicas é fruto de uma intensa pesquisa biométrica e matemática que

resultou em uma repetitiva série de vigas e treliças em curvas ascendentes e descendentes que se interconectam com uma grande lógica estrutural e conceptual. Embora o padrão pareça aleatório, existem diversos grupos de tramas metálicas, cada qual com suas ordens e regras particulares, difíceis de apreender ao olho humano comum. Sem a definição exacta da geometria individual de cada peça e sua função na formação da trama colectiva seria impossível o máximo controle e segurança na construção da cobertura. A impressão de maior leveza do conjunto é derivada da busca por formas e características da secção e da espessura do aço que possibilitaram redução de peso e tornaram a construção realmente factível.

Para o projecto da cobertura-estrutura foram utilizados softwares de modelação tridimensional de última geração que utilizaram constantes geométricas ditadas pelo uso e capacidade de cada parte da estrutura. No projecto original a cobertura era retráctil, mas devido aos custos, a abertura sobre o campo aumentou e a cobertura tornou-se fixa, com vãos de 330 m de comprimento por 220 m de largura e altura máxima de 68 m, maior que um prédio de 20 andares. O ângulo de inclinação nas fachadas é de 13°. A cobertura em forma de sela de montaria possui linhas metálicas principais que partem da projecção em balanço no campo, correm por toda a superfície horizontal superior, descem ao longo da fachada e encontram 24 colunas entrelaçadas de 1 ton cada, dispostas à volta da base de betão, pré-fabricadas e em formato piramidal. Esses pontos de apoio formam no seu interior um grande espaço semi-aberto e público, com restaurantes, bares, lojas e as escadas de acesso às arquibancadas e gerais.

Outra rede metálica, formada por linhas diagonais que partem das escadas na intra-cobertura, envolve o perímetro da malha básica e é complementada por linhas que equilibram a estética da fachada. Cada pedaço que forma os 36 km contínuos de caixas metálicas ocas suporta a si mesmo e é peça-chave estrutural no conjunto, ou seja, se um pedaço falhar no suporte das cargas, todas as estruturas primária, secundária e terciária entrarão em compensação. É a visão holística chinesa dentro dos conceitos biomiméticos estruturais e formais da construção. Este sistema estrutural construído em redundância estrutural, actuando numa série de níveis para dissipar tensões localizadas através da inteira estrutura, é idêntico ao utilizado na natureza (ver ponto II.2 – Padrões de desenvolvimento estrutural), conforme ilustra a figura abaixo:

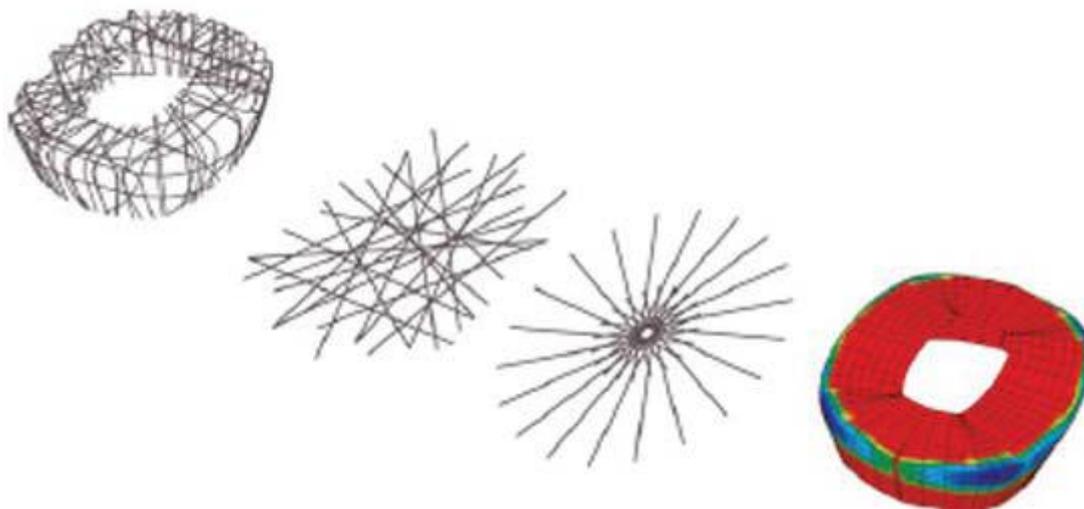


Fig.115 – Padrão de desenvolvimento estrutural do estádio Olímpico de Pequim.

Por razões de segurança contra terremotos, a cobertura é independente do estádio de betão e também foi analisada por avançados softwares sob acção de variadas direcções de forças e carregamentos, para previsões de terremotos em 50, 475 e dois mil anos. Cada uma das 7.500 peças que compõem o conjunto foi analisada e dimensionada separadamente.

O anel elíptico é dividido em oito zonas de estruturas independentes e possui sete níveis de pavimentos, com um gradiente de alturas entre as duas pontas mais elevadas. Essas diferenças entre as porções extremas levam a maioria dos espectadores a acomodar-se no conjunto de fileiras ao longo do comprimento, onde a distância radial ao centro do campo permanece quase a mesma. Essa característica permite uma visão satisfatória dos jogos para a grande parte do público, e a sua definição também foi fruto de análises computacionais.



Fig.116 – A rede metálica que envolve o anel de betão baseia-se nos padrões aleatórios da natureza (biomimetismo).

As partes e o todo

A continuidade dos membros pré-fabricados de aço de última geração – material que não cumpre os princípios biomiméticos, cujo processo de fabricação é contrário aos métodos utilizados pela natureza (ver 2ª linha do quadro do ponto 1.4.2.)- usados na composição da cobertura foi fundamental para o sucesso estrutural do conjunto, com um peso estimado em 42 mil ton. Cada caixa oca é formada de chapas de 1,2 m de largura com espessuras que variam de 10 mm a 100 mm dependendo do local e forma da peça. As secções que giram e torcem em um movimento descendente, da superfície horizontal em direcção à fachada, possuem maior resistência mecânica, propriedade essencial aos membros sujeitos ao carregamento excêntrico experimentado na intersecção arredondada do telhado e da parede. Mais uma vez o uso do software permitiu à equipe da Arup projectar a estrutura em segmentos específicos prontos para serem soldados no local. Os soldadores tiveram grandes desafios na empreitada: as temperaturas precisavam ser controladas, e a quantidade de juntas, 128 no total, perfizeram 600 m de comprimento.

Assim como os outros locais destinados aos jogos, o estádio conta com sistemas especialmente desenvolvidos para economizar energia e água, de acordo com a promessa de preservação ambiental feita pelo Comité Organizador dos Jogos Olímpicos de Pequim (Bocog, em inglês). Para tanto, o local conta com uma estrutura no tecto que aproveita a iluminação natural e está equipado com um sistema de energia solar no tecto da bilheteira. Os espaços abaixo da primeira camada da rede de aço da cobertura foram preenchidos com 40 mil m² de membranas translúcidas, impermeáveis e infladas de ETFE (etileno tetrafluoretileno), também utilizadas no estádio Allianz Arena, em Munique, na ocasião do Campeonato do Mundo na Alemanha, (Téchne, 2006, nº 110). Além da função de protecção contra chuva, esses colchões filtram os raios solares e evitam forte exposição ao sol. Por ser mais leve que o vidro e materiais similares, as membranas auto-limpantes de ETFE evitam maior sobrecarga na estrutura e exigem pouca manutenção. O mesmo material foi disposto em zonas específicas da fachada, para protecção contra ventos fortes e dominantes, regulando o vento, a água e a luz externa para os aproveitar ao máximo no interior do edifício e simultaneamente utilizar ao máximo a acção da ventilação natural dentro do grande espaço urbano coberto ao redor do estádio, pois as unidades comerciais são totalmente fechadas e não necessitam de protecção extra. Neste caso, os princípios de sustentabilidade foram postos em prática, aproveitando ao máximo a capacidade de regulação natural do ambiente interno através da sua inter-relação com o ambiente externo.

Além dessa camada superior de protecção, 53 mil m² de membrana PTFE, (politetrafluoretileno) na cor creme, foram instaladas no último nível interno da

cobertura para garantir maior isolamento acústico, assim como um forro numa construção comum. Essa protecção permite que comunicados e narrações de jogos sejam ouvidos claramente por todo o público, além de abafar a caótica emissão de som dos próprios espectadores. Todo o cabeamento necessário à cobertura foi instalado dentro da própria secção quadrada das peças metálicas – uma multifuncionalidade do projecto que reduz sobremaneira os custos com condutas eléctricas - enquanto até 58.000 ton. de água da chuva são colectadas por calhas especiais e levada para um centro de tratamento para reutilização, que é outra particularidade que revela preocupações de sustentabilidade ambiental.



Fig.117 – Cada pedaço que forma os 36 km de caixas metálicas ocas suporta o próprio peso, além de exercer função estrutural chave no conjunto. O anel elíptico é dividido em oito zonas de estruturas independentes.

Construção

A construção do "Bird's Nest" iniciou-se em 23/12/2003, com movimentações de terra e execução das fundações e já em 2004 houve uma parada para alteração da cobertura - omissão do telhado retráctil - o que reduziu o consumo de aço em 22%. Devido a essa mudança houve um aumento na abertura da cobertura, o que também reduziu o uso da membrana na superfície em 13%. A construção recomeçou em 2005 e a previsão de entrega saltou de 2006 para início de 2008. Em 14 de Maio de 2008, o tapete de relva foi implantado em 24 horas e o estádio foi oficialmente inaugurado na cerimónia olímpica a 28 de Junho de 2008.



Fig.118 – Entre a estrutura de betão e a malha metálica, está edificado um espaço semi-aberto, onde ficam lojas e restaurantes e as escadas de acesso às arquibancadas e gerais.



Fig.119 – O operário, à esquerda, dá ideia da grandiosidade das estruturas do estádio.

Após os jogos, a manutenção do complexo de 250 mil metros quadrados tem um custo anual de 60 milhões de yuans (€ 6,7 milhões), razão pela qual a sustentabilidade económica é particularmente difícil de atingir para o local. (Designbuild, 2009)

Avaliação biomimética

Este projecto, que assenta num conceito biomimético de redundância estrutural construído em analogia de forma com um ninho de pássaro, tem como principal aspecto negativo, do ponto de vista biomimético, a sua falta de sustentabilidade no que diz respeito à quantidade (42.000 ton) de aço – material cujo processo de fabricação é contrário aos métodos utilizados pela natureza – nele empregue. Tentando compensar esta notória debilidade, o projecto foi concebido com algumas preocupações de sustentabilidade no que diz respeito à ventilação, aquecimento e arrefecimento, e também aproveitamento de água da chuva. Foi também projectado com elementos que incluem o aproveitamento de multifuncionalidades, como a instalação dentro da própria secção quadrada das peças metálicas de todo o cabeamento necessário à cobertura.

Apresenta-se em seguida a matriz de grau biomimético aplicada a este projecto, tendo em conta apenas as características que foi possível recolher através do site oficial do Estádio Olímpico de Pequim e de um extenso artigo técnico publicado na revista *Téchne* (Sayegh, 2007). Note-se que não se pretende fazer uma avaliação do que tem mais importância (em sentidos inversos) em termos biomiméticos: se as 42.000 ton. de aço utilizadas ou o que está biomimeticamente sustentável no projecto. Pretende-se sim fazer um levantamento dos aspectos biomiméticos e ver até que ponto estes estiveram na preocupação do projectista.

Na matriz abaixo existe informação para 16 dos 25 princípios em análise, pois não se conseguiu obter informação acerca da aplicação ou não dos restantes 9 princípios enunciados. A percentagem total obtida de 69% para o grau biomimético estará porventura mais próximo da realidade no caso deste projecto, embora faltem cerca de um terço dos princípios existentes na matriz.

ESTÁDIO OLÍMPICO DE PEQUIM

MATRIZ DE GRAU BIOMIMÉTICO

Princípios biomiméticos aplicados		Aplicação de cada princípio				Grau obtido por elemento vitruviano
		Rara	Alguma	Bastante	Predominante	
Pontuação		1	2	3	4	
"Útilitas"						
1	Respeita o padrão de circulação dos habitantes					
2	Elimina todos os pontos de concepção supérfluos e todos os procedimentos de construção desnecessários					
3	Explora multifuncionalidades em cada elemento do projecto			3		
4	Capacidade de regular a transferência do ar				4	
5	Capacidade de regular o intercâmbio da luz			3		
6	Capacidade de regular a transferência da humidade			3		
7	Capacidade de regular a transferência de calor				4	
Total Útilitas		0	0	9	8	85%
"Firmitas"						
8	Estrutura concebida em sistema de redundância estrutural				4	
9	Resiliência e cura (auto conservação)					
10	Utilização de materiais como sistemas			3		
11	É capaz de detectar e responder aos estímulos externos					
12	Utilização predominante de formas curvilíneas			3		
13	Utilização de formas idênticas às dos organismos ou às que eles constroem			3		
14	Abordagem do nivelamento semelhante à dos organismos (veios/curvatura/plissados)					
15	Construção sem ângulos e cantos	1				
16	Rigidez apenas em pontos fulcrais da estrutura e flexibilidade nos restantes					
17	Forma adaptada ao espaço ambiental ocupado	1				
Total Firmitas		2	0	9	4	63%
"Venustas"						
19	Utilização da proporção áurea (sequência de Fibonacci)					
20	Predominância de Simetria, centralidade e frontalidade			3		
18	Utilização de cor estrutural					
21	Revestimento auto-limpante			3		
Total Venustas		0	0	6	0	75%
"Restituitas"						
22	Aquecimento e arrefecimento solar e térmico		2			
23	Electricidade produzida por energia solar e eólica					
24	Tratamento de efluentes no local e recolha de água da chuva			3		
25	Construir com materiais naturais e reciclados, preferivelmente do local	1				
Total Restituitas		1	2	3	0	50%
GRAU BIOMIMÉTICO TOTAL		3	2	27	12	69%
Rara = 0 a 25%		Alguma = 26 a 50%				
Bastante = 51 a 75%		Predominante = 75 a 100%				

“Atrás está o princípio da recorrência. Quer no caso das árvores, quer das vértebras, encontra-se sempre a forma ditada pela lei estrutural universal de que a base é mais espessa do que o topo ... a recorrência resulta de algo bonito, nomeadamente, ritmo...”

“Sinto que, como arquitecto, posso usar o meu trabalho como um meio de fazer afirmações estéticas, da mesma forma como um pintor ou um escultor podem.”
Santiago Calatrava (Tischhauser, 1998:6,7)

Estas afirmações de Calatrava ilustram bem como ele se inspira na natureza e nas suas concepções estruturais para obter resultados estéticos, aliados a um simbolismo metafórico inerente.

A estação de TGV Rhône - Alpes é um projecto notável na maneira de atingir a “venustas” através da interpretação multifacetada da forma estrutural biomimética.

Apesar da sua óbvia semelhança com uma espécie de ave pré-histórica, a forma destas instalações, que foram concebidas para a empresa ferroviária nacional francesa (SNCF) e que serve para ligar a rede ferroviária de alta velocidade (TGV) com o aeroporto de Lyon Satolas (20 kms distante da cidade), é caracterizada por um simbolismo polivalente. A sua função foi também simbolizar as perspectivas económicas da região abertas por este novo eixo de transporte (Aldersey, 2003:54).

Esta estação de 5.600m² foi construída com um custo total de 600 milhões de francos, sendo um projecto relativamente caro, mesmo tendo em conta os níveis atingidos por outras obras públicas em França. Com 120m de comprimento, 100m de largura e 40m de altura, este terminal de passageiros, inaugurado em 7 de Julho de 1994, assenta numa estrutura central de aço de 1.300 toneladas.

O projecto é composto por 2 átrios que se intersectam: o hall da plataforma inferior, uma avenida de 500m de comprimento e 53 m de largura, caracterizada exteriormente por uma cobertura de chapa com nervuras apoiada em arcos de betão, de menor impacto visual, com acesso aos comboios; e enquadrando-se com este perpendicularmente, um espaçoso hall triangular envidraçado com uma arcada de cerca de 120m. Este espaço é amplo, mas leva a uma confluência que inclui bilheteiras, lojas, escritórios e um restaurante, dando aos peões acesso de e para o aeroporto.

A ponte de 180 metros que faz a longa conexão entre a estação e o terminal do aeroporto dá ao plano uma forma que pode trazer à mente tanto uma manta raia como um pássaro em pleno voo, dependendo do ângulo e do plano do qual é visto.



Fig.120 e 121 – Estação de TGV Rhône-Alpes. Em cima: o interior do átrio principal. Em Baixo: o exterior do átrio principal.

A metáfora do voo, patente nas “asas” resultantes do prolongamento curvilíneo para ambos os lados do tecto do hall superior, é algo expectável. Porém, mais surpreendente é o aperceber-se o perfil duma tromba quando este é visto de lado, que faz lembrar um papa-formigas, efeito que é acentuado pela cor preta e branca do edifício. De outros ângulos, o edifício assume mais a aparência de um insecto.

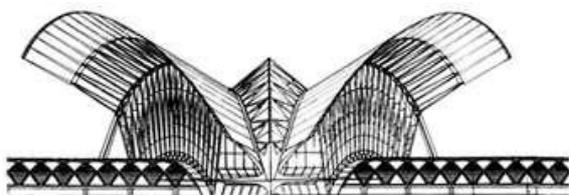


Fig.122 e 123 – Estação de TGV Rhône-Alpes. Analogia clara com o voo patente na forma da cobertura que lembra as asas de um pássaro.

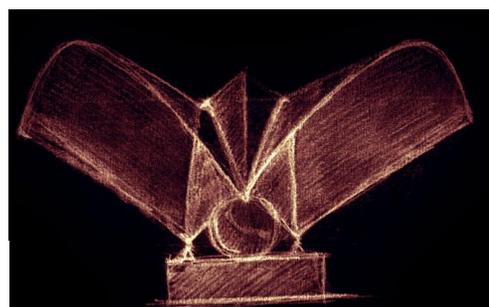




Fig.124 e 125 – Comparação entre o Papa-formigas e a forma da Estação.

Vistos de dentro, alguns dos detalhes do envidraçado lembram o traçado das asas dum libélula. Por outro lado, os arcos de betão da confluência do hall inferior assemelham-se à caixa torácica de um animal.

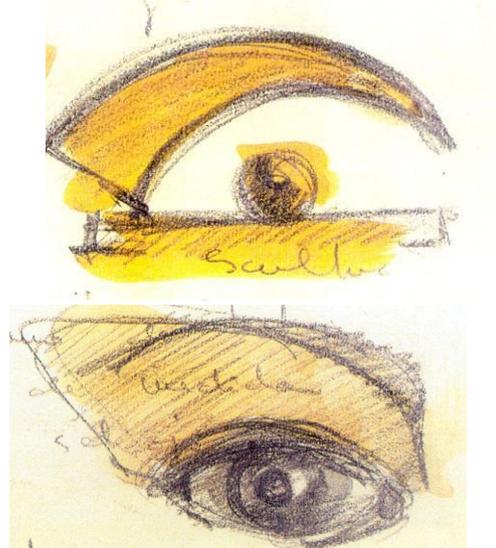


Fig.126 – Estação de TGV Rhône-Alpes - Hall inferior.

Mas o próprio Calatrava vai mais longe, quando ele mesmo afirma:
"...Isto pode ser visto na minha obsessão de longa data de fazer um edifício como um olho, que através de vários ensaios em escultura levou a muitos aspectos que constituem a base da solução do Aeroporto - Estação de Lyon ". (Tischhauser, 1998:7)



Fig.127-129 – Estação de TGV Rhône-Alpes (acima) – Analogia com o olho humano (à direita).



A forma estrutural, tão rica em alusões biomórficas, baseia-se nos estudos esculturais de Calatrava de exploração do equilíbrio físico entre massa e força (Aldersey, 2003:54).

O conceito de “venustas” subjacente a este edifício, tão rico em metáforas e simbolismos relacionados com formas biológicas é uma das coisas que fascinam: um “edifício-olho” e a estreita relação entre o corpo humano e a Estação. Mas o assunto que é mais impressionante na estação é a estrutura. A estrutura é, entre outras coisas, *um olho transformado* numa forma elegante e dinâmica, cheia de ritmo.

Este projecto, notável pelos resultados estéticos em grande parte conseguidos através de um simbolismo metafórico que relaciona a forma estrutural com múltiplas alusões biomórficas, tem nestas características o principal aspecto biomimético. Porém, esse biomimetismo é um tanto ou quanto superficial pois, de acordo com os princípios de Benyus, uma relação biomimética deve abarcar também obrigatoriamente conceitos ligados à sustentabilidade, que não são duma forma geral objectivo neste projecto.

A matriz de grau biomimético aplicada a este projecto que em seguida se apresenta, leva em conta apenas as características do mesmo que foi possível recolher através do site de Santiago Calatrava e da descrição feita em “Zoomorphic: new animal architecture” (ALDERSEY, 2003:54-55) e em “Documentos de arquitectura – Santiago Calatrava – obra completa de Sérgio Polano (Polano, 1996:154-163).

Na matriz abaixo só existe informação para 6 dos 25 princípios em análise, pois não se conseguiu obter informação acerca da aplicação ou não dos restantes 19 princípios enunciados. Apesar disso, as percentagens totais obtidas por elemento vitruviano permitem-nos verificar a predominância da aplicação de princípios biomiméticos sobretudo nas áreas da solidez (75%) e da beleza (100%, com apenas 1 analisado). A percentagem total de 63% para o grau biomimético pode ser assim um tanto enganosa em virtude de pontuar apenas 6 princípios.

ESTAÇÃO DE TGV RHÔNE-ALPES

MATRIZ DE GRAU BIOMIMÉTICO

Princípios biomiméticos aplicados		Aplicação de cada princípio				Grau obtido por elemento vitruviano
		Rara	Alguma	Bastante	Predominante	
	Pontuação	1	2	3	4	
"Ufilitas"						
1	Respeita o padrão de circulação dos habitantes					
2	Elimina todos os pontos de concepção supérfluos e todos os procedimentos de construção desnecessários	1				
3	Explora multifuncionalidades em cada elemento do projecto					
4	Capacidade de regular a transferência do ar					
5	Capacidade de regular o intercâmbio da luz					
6	Capacidade de regular a transferência da humidade					
7	Capacidade de regular a transferência de calor					
	Total Ufilitas	1	0	0	0	25%
"Firmitas"						
8	Estrutura concebida em sistema de redundância estrutural					
9	Resiliência e cura (auto conservação)					
10	Utilização de materiais como sistemas					
11	É capaz de detectar e responder aos estímulos externos					
12	Utilização predominante de formas curvilíneas			3		
13	Utilização de formas idênticas às dos organismos ou às que eles constroem				4	
14	Abordagem do nivelamento semelhante à dos organismos (veios/curvatura/plissados)					
15	Construção sem ângulos e cantos		2			
16	Rigidez apenas em pontos fulcrais da estrutura e flexibilidade nos restantes					
17	Forma adaptada ao espaço ambiental ocupado					
	Total Firmitas	0	2	3	4	75%
"Venustas"						
19	Utilização da proporção áurea (sequência de Fibonacci)					
20	Predominância de Simetria, centralidade e frontalidade				4	
18	Utilização de cor estrutural					
21	Revestimento auto-limpante					
	Total Venustas	0	0	0	4	100%
"Restituitas"						
22	Aquecimento e arrefecimento solar e térmico					
23	Electricidade produzida por energia solar e eólica					
24	Tratamento de efluentes no local e recolha de água da chuva					
25	Construir com materiais naturais e reciclados, preferivelmente do local	1				
	Total Restituitas	1	0	0	0	25%
GRAU BIOMIMÉTICO TOTAL		2	2	3	8	63%
Rara = 0 a 25%		Alguma = 26 a 50%				
Bastante = 51 a 75%		Predominante = 75 a 100%				

O edifício - o maior complexo comercial e "shopping center" do Zimbabwe - abriu em 1996 e oferece 5.600 m² de espaço comercial, 26.000 m² de espaço para escritórios e estacionamento para 450 carros.

O projecto utiliza os mesmos princípios de aquecimento e arrefecimento dos ninhos das térmitas locais da espécie *Macrotermes Subhylinus*. As térmitas no Zimbabué constroem montes gigantescos dentro dos quais cultivam um fungo que é a sua principal fonte alimentar. Para que a fermentação ocorra de forma eficiente, é necessário que a temperatura no interior do ninho seja constante, sem a qual não seria possível preservar as características nutricionais do alimento. O fungo deve ser mantido a exactamente 31 graus centígrados, enquanto as temperaturas no exterior variam entre 2 graus à noite e 40 graus durante o dia. As térmitas alcançam esta notável façanha por constantemente abrirem e fecharem uma série de respiradouros de aquecimento e refrigeração em todo o montículo ao longo do dia (Doan, 2007).

O arquitecto Mick Pearce, em parceria com os engenheiros da Arup Associates, utilizou justamente a mesma estratégia na concepção do Eastgate Center, que não tem ar condicionado e quase nenhum aquecimento. Partindo desse princípio, o sistema de ventilação incorporado no Eastgate Center absorve, através de condutas incorporadas na estrutura do edifício, o calor gerado durante o dia pelas máquinas presentes no edifício e pelas pessoas que frequentam o seu interior. À noite o calor interno é dissipado e sugado naturalmente para cima através das condutas (figura, detalhe) – já que o ar quente é menos denso – até chegar às chaminés. Esse processo continua durante toda a noite até que as dependências do edifício alcancem a temperatura ideal para o próximo dia. (Meira, 2008:5-7)

Para funcionar bem, o edifício teve que ser desenhado com muito cuidado. Após análise e simulação computacional, a empresa de engenharia Ove Arup recomendou a Pearce um conjunto de regras:

- Nenhuma luz directa do sol deve incidir sobre as paredes exteriores.
- Em toda a fachada norte (direcção do sol de verão) a área de vãos exteriores não deve exceder 25%.
- Deve haver equilíbrio entre luz artificial e externa para minimizar o consumo de energia e o ganho de calor.
- Todas as janelas devem ser fechadas por causa da poluição sonora, pressão do vento e temperaturas imprevisíveis, confiando nos canais de ventilação.
- Acima de tudo, as janelas devem ser filtros leves, controlar os reflexos, o ruído e a segurança.

Pearce introduziu nas janelas estores reguláveis, usando também grandes beirais que são uma solução tradicional em África para evitar a luz directa do sol sobre as janelas e paredes. A concepção do edifício afasta deliberadamente o "grande bloco de vidro". Escritórios de blocos de vidro são geralmente caros para manter numa temperatura confortável, necessitando substancial aquecimento no inverno e refrigeração no verão.

O edifício utiliza menos de 10% da energia de um edifício convencional do seu tamanho. Em consequência, os proprietários do Eastgate Building pouparam 3,5 milhões de dólares numa construção de 36 milhões de dólares porque não houve necessidade de importar um sistema de ar condicionado. Estas poupanças também foram obtidas pelos arrendatários, cujas rendas são 20% inferiores ao de um novo prédio vizinho. (Meira, 2008:5-7)

Este projecto ilustra ainda como a aplicação de princípios biomiméticos em projectos arquitectónicos de países subdesenvolvidos conduz os mesmos à sustentabilidade e a valências adicionais do ponto de vista económico.

Também neste projecto se aplicou a matriz de grau biomimético que em seguida se apresenta, que leva em conta apenas as características do mesmo que foi possível recolher através do link <http://archpeace.blogspot.com/2008/08/inhabitat-green-building-in-zimbabwe.html> em www.architectsforpeace.org, site do arquitecto Mick Pearce, bem como do paper citado acima (Meira, 2008:5-7) e da matéria projectada das aulas de DASE do IST (Prof. Manuel Pinheiro).

Na matriz abaixo só existe informação para 12 dos 25 princípios em análise, pois não se conseguiu obter informação acerca da aplicação ou não da restante metade dos princípios enunciados. Apesar disso, as percentagens totais obtidas por elemento vitruviano permitem-nos verificar a predominância da aplicação de princípios biomiméticos sobretudo na área da funcionalidade (83%, com quase todos os princípios da matriz analisados) e da sustentabilidade (100%, com apenas 1 princípio analisado). A percentagem total de 73% para o grau biomimético é interessante, pois denota algumas fragilidades biomiméticas do ponto de vista da solidez. No entanto pode ser um tanto enganosa em virtude de pontuar apenas 12 princípios.

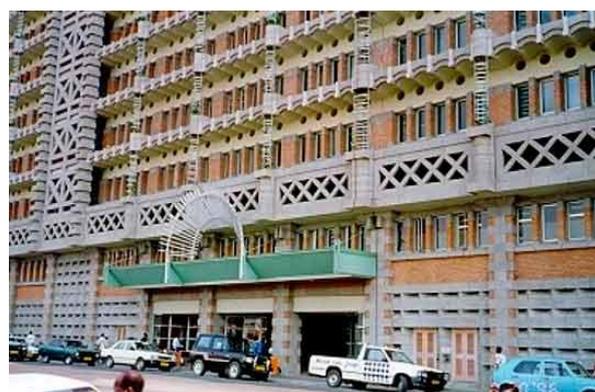
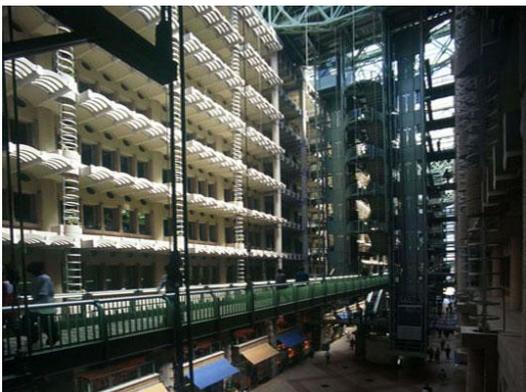
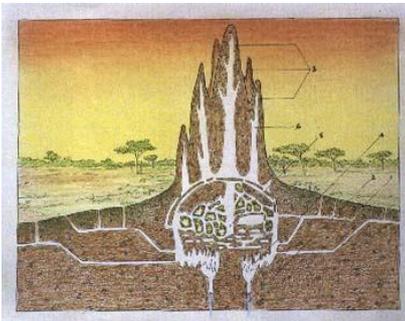


Fig.130 e 131 – Eastgate Building (Harare, Zimbabwe).



A. *Macrotermes michaelseni*

B. *Macrotermes subhyalinus*

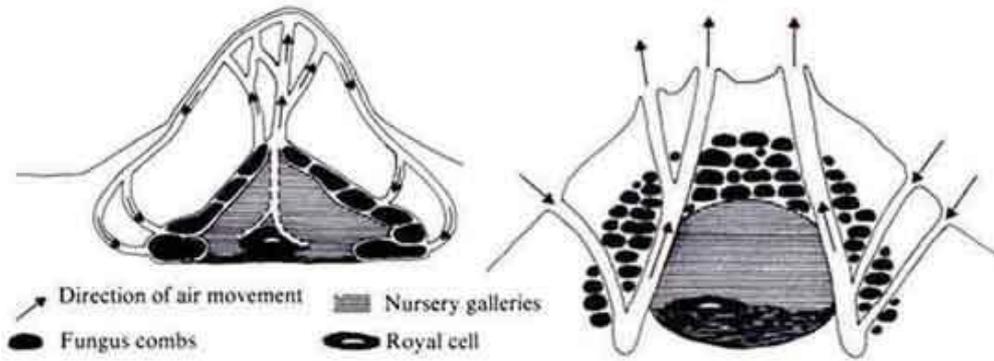


Fig.132-135 – O Eastgate Building utiliza os mesmos princípios de aquecimento e arrefecimento dos ninhos das térmitas locais da espécie *Macrotermes Subhylinus*

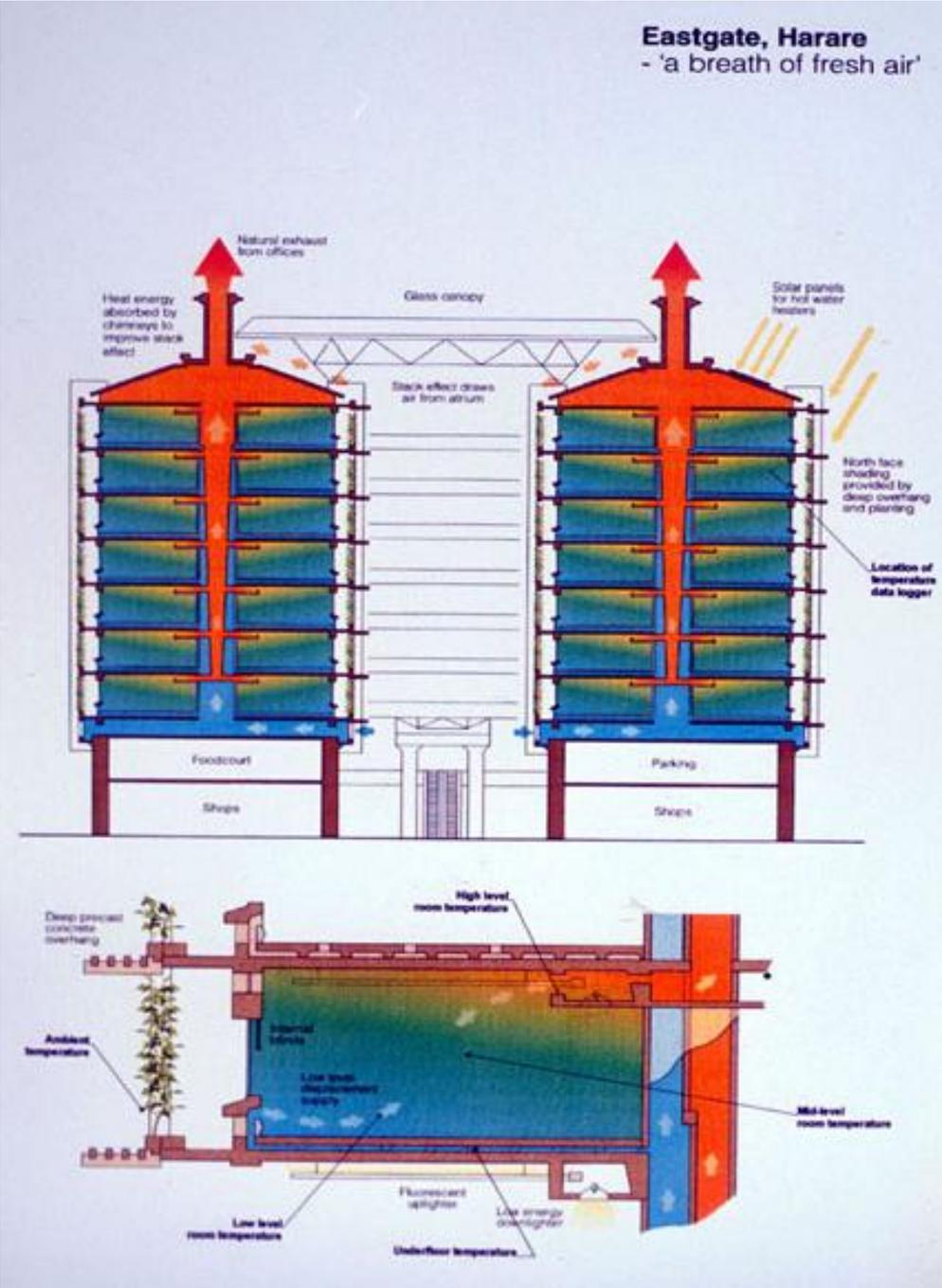


Fig.136 – Esquema do sistema de ventilação incorporado no Eastgate Building.

III.2 - Projectos académicos – experiência pessoal no IST

É óptimo desde cedo, desde a fase de aprendizagem, aprender a imitar as soluções da natureza, aplicando desta forma o pensamento biomimético logo ao nível académico.

Existem também outras vantagens a este nível, como o facto de enquanto estudante se poder “voar”, imaginar quase tudo e mais alguma coisa sem ter preocupações de custo e de praticabilidade desde que a ideia esteja suficientemente sustentada.

Na minha chegada ao Instituto Superior Técnico, conforme me fui familiarizando com a arquitectura, foi-me incutido um espírito criativo no sentido de desenvolver um conceito. A ideia de conceito pode passar por muitos campos. A ideia da metáfora com o mundo natural, com um gesto, com uma imagem, foi desde cedo a que me atraiu, e que teve de alguma maneira que estar sempre presente.

Apresento de seguida alguns dos projectos desenvolvidos, chamando à atenção que são projectos académicos, e portanto carecem de algum fundamento mais sólido na sua concepção.

Projecto do 2º ano – Rua Serpa Pinto / Cais do Sodré

Docentes: Victor Carvalho Araújo, António Manuel Barreiros Ferreira

No âmbito da cadeira de Projecto II, leccionada pelos professores Victor Carvalho Araújo e Barreiros Ferreira no ano escolar 2001/02, foi desenvolvido um projecto académico para a zona urbana de Lisboa entre a Rua Serpa Pinto e o Rio Tejo.

O enunciado de projecto propunha uma ligação da cidade de Lisboa ao rio Tejo, e envolvia 2 fases: plano urbano e posteriormente o desenvolvimento mais pormenorizado de um “momento” arquitectónico.

Considerando a relação entre a Rua Serpa Pinto e o Rio Tejo, o enunciado pedia que se projectasse uma estrutura espaço-formal responsável pela materialização arquitectónica da agregação entre as morfologias edificadas e as descontinuidades urbanas.

O desafio inicial envolvia a ligação de estruturas urbanas muito distintas através de um gesto e de um conceito arquitectónico inovador. A Rua Serpa Pinto tinha a particularidade de ser uma rua que desenhava um cotovelo na ligação difícil, pela topografia, entre o Chiado e toda a zona à beira rio. Acrescendo à dificuldade do terreno ainda havia que superar as barreiras físicas colocadas pelo homem, as vias.

A ideia inicial procurou responder a duas preocupações: preservar a história original da evolução urbana, nomeadamente da rua Serpa Pinto, que embora terminasse de uma forma indefinida, era imbuída por isso mesmo de um romantismo singular;

estabelecer a ligação física entre a cidade consolidada, nomeadamente desde a zona do Chiado que possui uma vivência urbana activa, e a zona beira-rio, muito desaproveitada tendo em conta a sua potencialidade.

Para materializar as ideias, o conceito desenvolvido reportou-se à vivência do local, muito especificamente de um pontão do Cais do Sodré, donde gaivotas partiam. O voo da gaivota passou então a ser o elemento inspirador de todo o projecto, quer a nível conceptual (a gaivotas que voa desde a cidade até ao rio), quer a nível formal. É especificamente a nível estético que essa inspiração se torna mais evidente, como mote de uma intervenção distinta, de um gesto unificador da cidade mas diferente, preservando assim a poesia histórica do local.



Fig.137 e 138 – Esquícios de estudo do voo da gaivota.

As propriedades estéticas do voo da gaivota que são imitadas são sobretudo a leveza, a graciosidade, a silhueta ondulante, o movimento, e num contexto mais de conjunto a intersecção orgânica destes momentos de movimento patentes num bando. Essa noção de conjunto era muito importante para a criação de uma imagem, de uma nova cara da cidade no seu momento de contacto com o rio.

Também se procurou tirar partido da forma estética para definir estruturas capazes de vencer grandes vãos, como asas de gaivotas, abrigo assim o enorme espaço público junto ao rio.

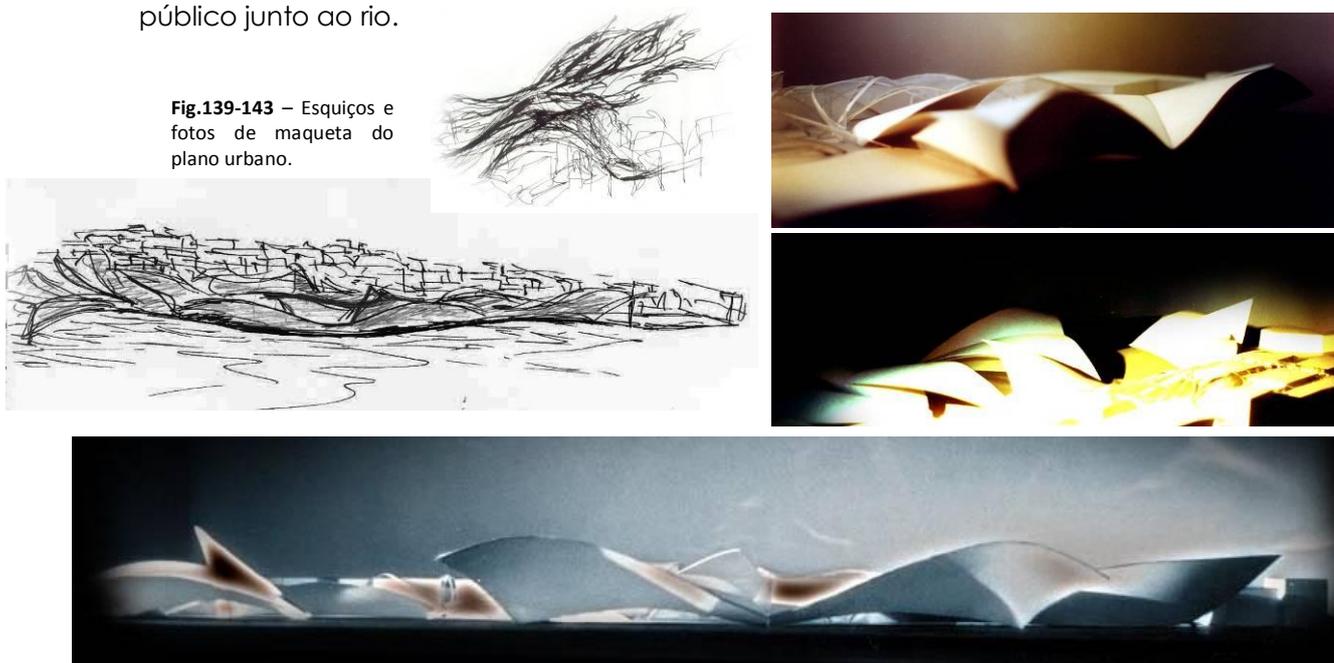


Fig.139-143 – Esquícios e fotos de maquete do plano urbano.

No decorrer do plano desenvolvido, era pedido que se definisse um momento arquitectónico que viabilizasse a estadia temporária de refugiados, chegando a uma pormenorização na escala 1:200 / 1:100.

O edifício desenvolvido foi o que se situava mesmo no Cais do Sodré, e está embutido na sua forma dos princípios biomiméticos pretendidos para todo o plano urbano.

A sua forma baseia-se no movimento das asas da gaivota, o qual procura captar num “momento” arquitectónico concreto. O resultado é um desenho urbano leve, orgânico e elegante, que define uma hierarquia espacial em três momentos formais, e estimula a permeabilidade do espaço público exterior com o interior, conectando a cidade com o rio.

Claro que sendo um projecto ao nível do 2º ano não foram desenvolvidos cálculos ou pormenores estruturais, que seriam essenciais para a exequibilidade de uma ideia biomimética.

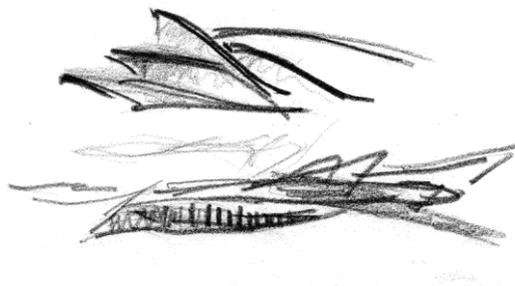


Fig.144 e 145 – Esquícios para o edifício de alojamento para refugiados no Cais do Sodré.

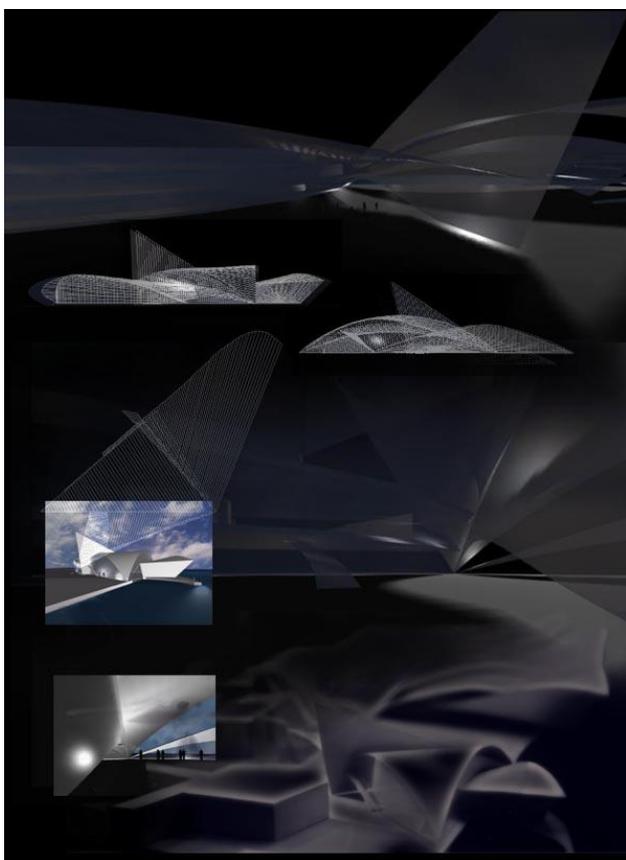


Fig.146 – Painel com modelações 3D do edifício de alojamento para refugiados no Cais do Sodré.

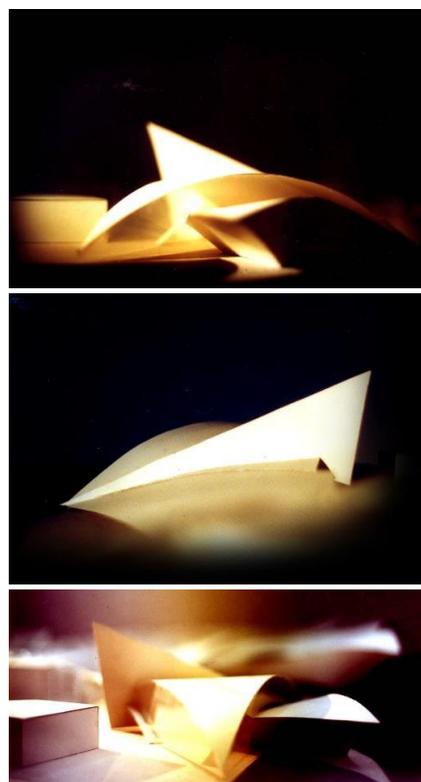


Fig.147-149 – Fotos de maquete do edifício de alojamento para refugiados no Cais do Sodré.

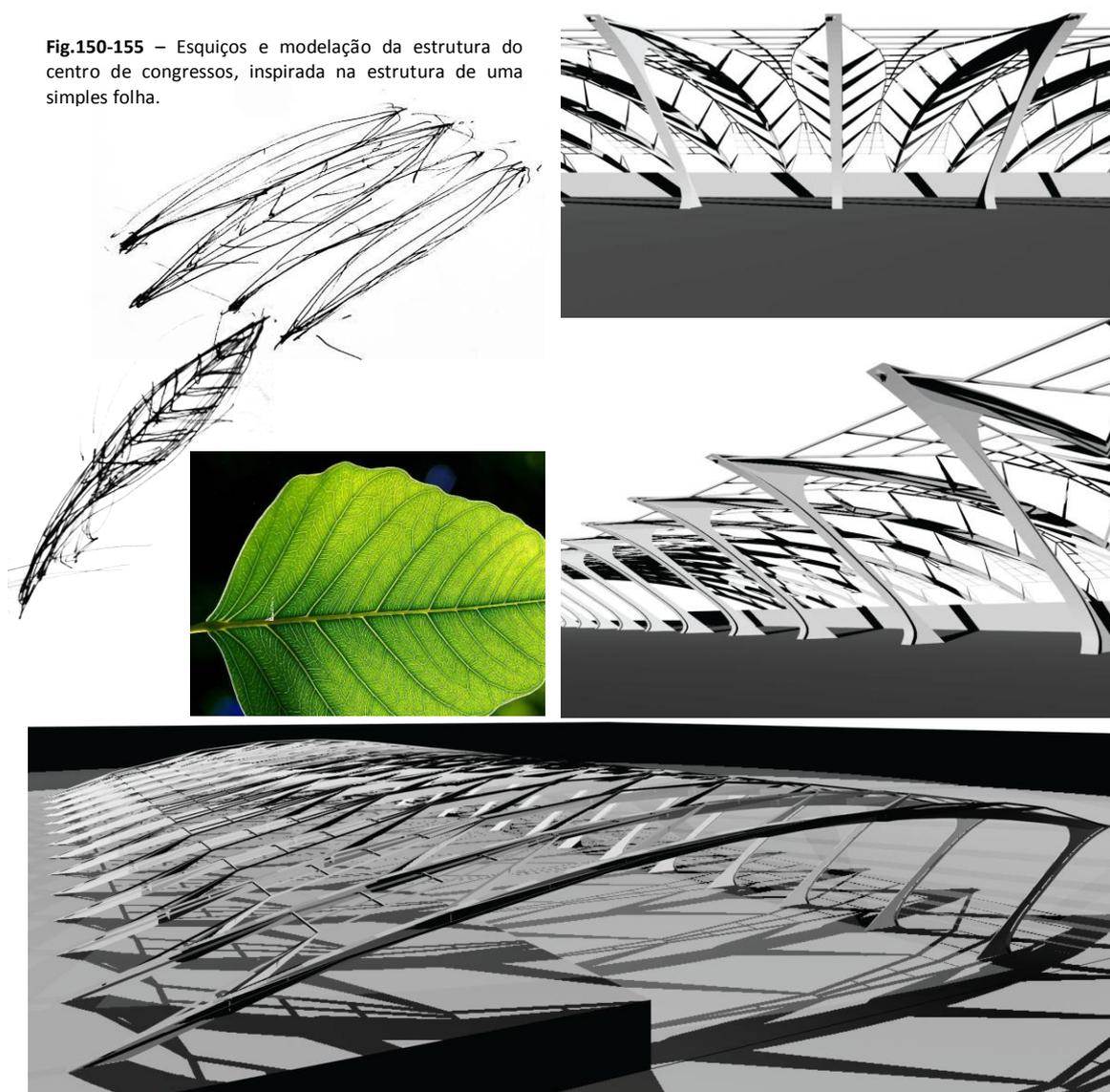
Não se apresenta para este projecto aplicação da matriz de grau biomimético, devido ao nível pouco desenvolvido do mesmo. Dos 25 princípios aí enunciados, apenas se poderia ajuizar a aplicação de 2 deles: a utilização predominante de formas curvilíneas, que se classificaria como “bastante”, e a utilização de formas idênticas às dos organismos ou às que eles constroem, tida como predominante.

Projecto do 4º ano – Centro de congressos e Exposições de Oeiras

Docentes: Mário Sua Kay, Luísa Gama Caldas

Assistentes: Carlos Mourão Pereira, Fernando Vasco Costa

No âmbito da cadeira de Projecto VI, feito no ano escolar 2005/06, foi proposto o programa de um Centro de Congressos e Exposições, localizado na zona de Oeiras. Nesse ano o projecto foi desenvolvido em grupos de dois alunos, sendo que no meu caso tive a parceria do colega e amigo Domingos Mendes.



O projecto desenvolve-se num terreno adjacente à área de serviço da margem sul da A5, perto de uma pedreira desactivada. Foi adoptada uma organização muito simples do programa, centrada nos espaços de exposição, articulados pela zona de recepção e acesso ao auditório. A concepção do edifício é baseada na criação de uma estrutura biomimética inspirada na forma de uma folha. Este conjunto de folhas assenta com leveza sobre o limite da pedreira, estabelecendo um marcado contraste com a rudeza da mesma.

Apesar do princípio estético estar marcadamente presente, é o princípio estrutural da folha que é aplicado e repetido por toda a estrutura do Centro de Congressos. O programa exigia uma estrutura com alguma expressão, pois tinha de abrigar pelo menos 8000 m² de espaço para exposições. Assim optou-se por assumir a estrutura como elemento arquitectónico e estético. Como a função que se pretendia com a cobertura era sobretudo a de abrigo do grande espaço de exposições, a estrutura em forma de folha respondeu com leveza e graciosidade ao desafio.

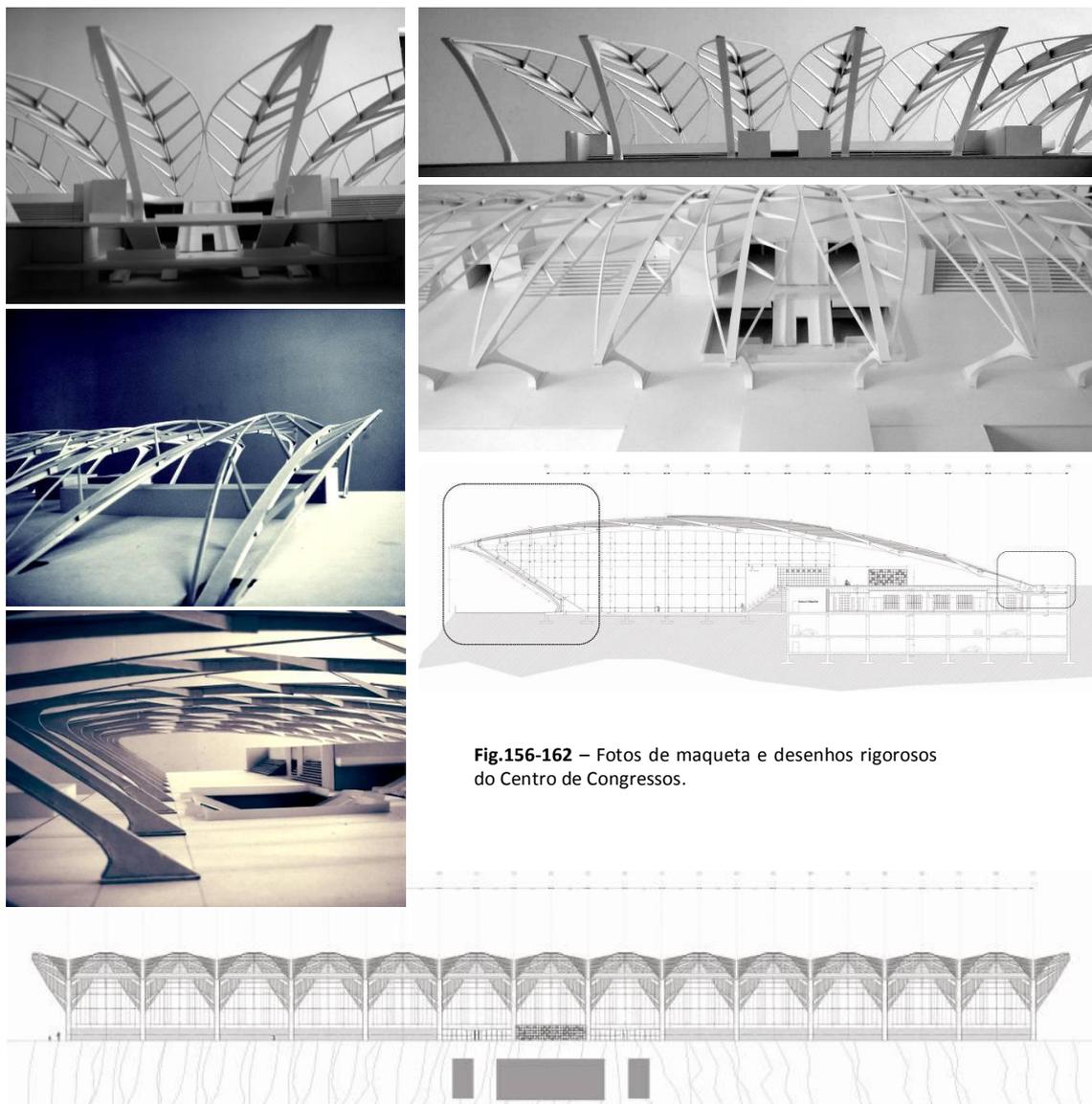


Fig.156-162 – Fotos de maqueta e desenhos rigorosos do Centro de Congressos.

É também evidente que uma estrutura biomimética como esta comporta outras vantagens. Assim como a folha, devido à forma curva e à própria inclinação de cada lado da mesma para o centro, a cobertura pelo seu design efectua a drenagem das águas pluviais de maneira natural. A função de cada elemento estrutural baseia-se assim nas funções específicas que encontramos numa simples folha. Por exemplo a nervura principal da folha tem a função de suporte, mas também é responsável pela distribuição da seiva. Da mesma forma no interior do arco principal da estrutura seria possível acomodar as redes eléctricas ou as condutas de ventilação, juntando a função de distribuição de comodidade ao elemento estrutural principal. Por outro lado, a função da fotossíntese (conversão de energia solar) foi duplicada por células foto-voltaicas instaladas na cobertura.

Aplicando a este projecto a matriz de grau biomimético, que em seguida se apresenta, teve-se em conta as limitações inerentes a um projecto que, lembramos, é apenas académico, e em que faltam logicamente especificações sem as quais não se podem avaliar alguns dos princípios biomiméticos.

Na matriz abaixo só existe informação para 9 dos 25 princípios em análise, pois não se tem informação acerca da aplicação ou não dos restantes 16 princípios enunciados. A percentagem total de 83% para o grau biomimético é bastante elevada, mas pode ser um tanto enganosa em virtude de pontuar apenas 9 princípios. Note-se que com excepção da solidez, em que se analisam 6 princípios, em cada uma das restantes áreas da matriz apenas se analisa um princípio biomimético, o que é manifestamente insuficiente.

Projecto do 5º ano – Projecto Urbano para Sete Rios

Docentes: Carlos Moniz de Almada Azenha Pereira da Cruz, Frederico de Moncada Mendes de Fonseca, Nuno José Ribeiro Lourenço Fonseca

A cidade de Lisboa tem vários centros importantes, mas um centro inegável na estrutura da cidade nos nossos dias é Sete Rios. Outrora foi arredores, já esteve fora da cidade, mas sempre foi um ponto de convergência, pelo menos daí o nome Sete Rios, local onde confluíam ao que parece sete ribeiras. Local de confluência de fluxos urbanos, Sete Rios é um enorme interface urbano, tornando-se num local de passagem, mas também de desassossego, agitação, poluição e barulho, completamente descaracterizado.

O enunciado da Cadeira de Projecto Final no ano escolar 2007/08, dito de uma forma resumida, propunha a reabilitação e reestruturação de Sete Rios enquanto local central na estrutura urbana da cidade de Lisboa.

Após uma fase inicial de análise e de proposta em grupo, foi desenvolvida uma proposta individual. Esta proposta partiu de uma premissa fundamental, especialmente na destroçada zona de Sete Rios, a saber – união. A união, promovendo a permeabilidade de espaços, podia potenciar a vivência saudável de uma nova centralidade.

Citando Eugene Tsui: “A arquitectura é o processo que organiza e compõe várias forças inter-relacionadas num todo unificado.” (site do Tsui)

A união da cidade neste ponto nevrálgico começou com a distinção e definição das partes que a compunham, de forma a estabelecer um conceito agregador. A estrutura viária e a distribuição de usos predispunham a definição clara de 3 eixos que se podiam juntar em Sete Rios: Eixo Cultural / Eixo Empresarial / Eixo Desportivo e Lazer. O Eixo Cultural vem de uma rede forte de teatros na Praça de Espanha na proximidade da Gulbenkian, seguindo o terreno do IPO (que segundo o plano de grupo dá lugar a um Campus Universitário) até a uma praça que assinala o centro de Sete Rios com um equipamento cultural - uma Biblioteca!

O eixo empresarial consiste no prolongamento da Avenida José Malhoa de forma pedonal pelo meio das Twin Towers, levando ao culminar com um Centro de Congressos e uma torre de escritórios de altura máxima de 200 metros.

O eixo Desportivo e de Lazer consiste na materialização do “corredor verde” em conjunto com uma série de equipamentos desportivos e de lazer propostos que, em virtude da sua proximidade, encontram em sete rios o local ideal para ligar com Monsanto.

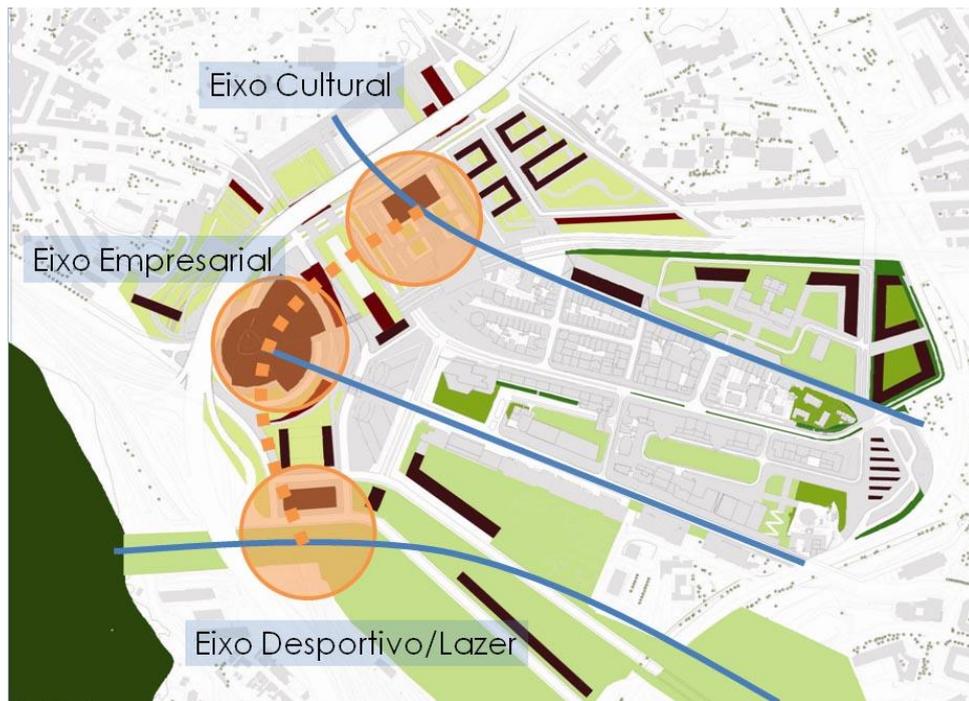


Fig.163 – Os 3 eixos afectos a actividades distintas.

O grande desafio, e é o proposto com o plano, é a junção no ponto estratégico de Sete Rios destes eixos urbanos distintos e com vivências distintas. Pretende-se com isso romper barreiras, unir a cidade, recriar a malha urbana com lógica.

A ideia tem as suas raízes na história do local, Sete Rios, onde confluem as linhas de água das proximidades. A fluidez da água foi o símbolo biomimético aplicado neste projecto, nomeadamente no conceito geral.

A união de estruturas urbanas distintas (os 3 eixos urbanos propostos) podia-se comparar, metaforicamente, à confluência de diferentes linhas de água, ilustrando assim a função da redesenhada centralidade urbana.

A concentração de fluxos urbanos num mesmo local também se revia no princípio de confluência, apelando assim à proposta de programas específicos capazes de reter, como o centro de congressos ou a biblioteca, bem como criar espaços de estar e lazer. Esta ideia de confluência por um lado, mas fluidez por outro, nomeadamente ao nível do espaço público, requeria um desenho urbano audaz.

A fluidez baseou-se principalmente no interface dos vários transportes, privilegiando os transportes públicos. Por outro lado a qualidade do espaço público foi conseguida por se trabalhar a cidade a várias cotas, criando assim locais de retenção de fluxos.

Esteve também presente um princípio da água - o de ultrapassar todas as barreiras no seu caminho. A zona estava dividida por grandes barreiras, como infra-estruturas rodoviárias e ferroviárias de grande expressão, e a cotas diversas. Porque a cidade não é só dos transportes, mas essencialmente das pessoas, o plano urbano propõe a

ligação e a permeabilidade do espaço público sempre que possível a diversas cotas, ligando-as, infiltrando-se e vencendo as barreiras urbanas.

Este também é um princípio da natureza, o de reciclar, reaproveitar, não desperdiçar nada. Nas cidades contemporâneas existe um grande desperdício de espaço, resultante principalmente das exigências de mobilidade. A permeabilidade do espaço público, desenvolvendo-se em cotas diversas, privilegiando a mobilidade em transportes públicos, pode ser uma resposta sustentável de desenho urbano.

Plano de Pormenor

A zona desenvolvida no plano de pormenor foi a nova centralidade inserida no eixo cultural, por ser a zona que beneficia de um grande interface de transportes, sendo vivenciada por inúmeras pessoas, procurando-se por isso criar um conjunto de espaços públicos mais ricos e atraentes.

Para efeitos de análise, o plano de pormenor foi dividido em três zonas distintas, a saber: 1 - Centro de Congressos, 2 - Zona Habitacional, 3 - Praça e Interface.

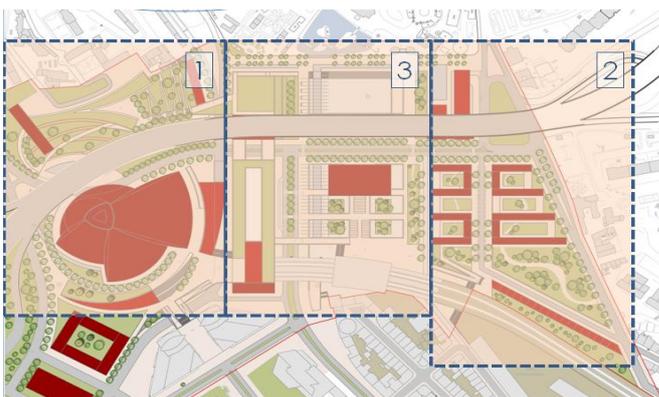


Fig.164 – Plano de pormenor, dividido pelas 3 zonas.

1- Centro de Congressos

O Centro de Congressos afirma-se como momento de conexão entre barreiras urbanas difíceis de transpor, como são as linhas férreas. O programa de Centro de Congressos de grande capacidade, junto com a torre de escritórios com cerca de 200 metros e 50 pisos tornarão rentável uma proposta arrojada de ter uma plataforma sobre as barreiras que hoje são intransponíveis. Na realidade a proposta é nesse troço elas funcionarem em túnel enterrado, assegurando 5 metros de espaço livre.

O formato do edifício, embora seja apenas ilustrativo, evoca o crescimento proporcional do Nautilus, desta feita pelo “crescimento” dos 3 auditórios que em rotação sobre um ponto, a torre, sugerem três alinhamentos urbanos. Como rótula e ponto de união entre 3 eixos da cidade a circunferência e as linhas curvas (inclusive em espiral) são sugestionadas como potenciadoras de um espaço urbano dinâmico.

O espaço público vive em torno do seu desenho urbano.

A ligação feita com o terminal Rodoviário é muito franca a vários níveis. Como o Centro de Congressos desenvolve-se por várias cotas, a ligação com o terminal é feita da mesma forma (cotas 69,65,60). No corte podemos ver a ligação directa que existe por exemplo através das galerias comerciais afectas ao Centro de Congressos.



Fig.165-167 – Centro de congressos, em planta e em corte. Em cima à direita: a secção do nautilus.

2 - Zona Habitacional

A Zona Habitacional possui uma métrica marcada e ortogonal porque vive sobretudo para a praça. A ideia é criar alinhamentos com o espaço público na praça através de edifícios perpendiculares que asseguram nesse alinhamento a transição de cota, e portanto a mobilidade. No intervalo desses blocos temos assim patamares que beneficiam desta mobilidade. Existe também a preocupação de serem patamares ajardinados.

O piso térreo dos blocos de habitação é vocacionado a comércio e serviços por forma a assegurar a mobilidade e fruição do espaço nos patamares. O desenho urbano do conjunto quer assegurar também o constante contacto visual para a praça, local de cota baixa, onde a vida corre mais rápida e tudo acontece.

Note-se que as fachadas da zona habitacional estão maioritariamente viradas a sul, trazendo para os habitantes mais luz e conseqüentemente mais contacto com a natureza, e simultaneamente mais sustentabilidade (poupança de energia). Planeia-se ainda dotar todas as janelas dessas fachadas com gelosias reguláveis de acordo com a incidência do sol e a temperatura interior.

3 – Praça e interface

A Praça é onde existe um interface entre o Metro, o Terminal Rodoviário e os Comboios. Por isso é um local de grande fluxo de pessoas, se tivermos em conta que está ladeada com estacionamento.

Como forma de estabelecer uma vivência de fruição do espaço, introduz-se o elemento água. Na realidade este elemento surge naturalmente como unificador de um percurso público, tanto pela história do local (Sete Rios) como pela comunicação com o Jardim Zoológico. Propõe-se assim que o lago do Jardim Zoológico possa estender-se pelo espaço público fora gradeamento, inclusive abrindo uma permeabilidade visual que outrora existia (originalmente o gradeamento não estava vedado com chapa metálica como hoje).

A água fluirá em circuito fechado, em locais previamente impermeabilizados, com aproveitamento da água da chuva através de sistemas de escoamento do terreno e dos edifícios próximos, com o mínimo de perdas possível, potenciando mesmo a sua utilização, após tratamento, nas edificações a construir.

Outra razão da manipulação de água enquanto elemento potenciador de qualidade de espaço público prende-se mesmo com o equipamento que serve a praça, nomeadamente a Biblioteca.

Uma Biblioteca é um local essencialmente ligado à busca do conhecimento. Interessantemente a água não raro é comparada com o conhecimento, por exemplo na bíblia: “Antes tem o seu prazer na lei do Senhor, e na sua lei medita de dia e de noite. Pois será como a *árvore plantada junto a ribeiros de águas*, a qual dá o seu fruto no seu tempo; as suas folhas não cairão, e tudo quanto fizer prosperará.”(Salmos 1:1-3) A Biblioteca quer ser um local público, que nasce no meio do espaço público, e por isso tem o conhecimento para todos como ponto de partida. Inevitavelmente com uma grande incisão nas novas tecnologias, vai além da biblioteca normal, e procura expelir o conhecimento para fora. Fá-lo pelo espaço interior que tem, um género de átrio, que liga as zonas de consulta com os pisos de espaço público e mesmo de circulação. O objectivo é essa “caixa de luz” poder funcionar como um palco aberto do interior para o exterior. A própria escadaria que desce na praça para o piso inferior funciona como uma espécie de bancada.

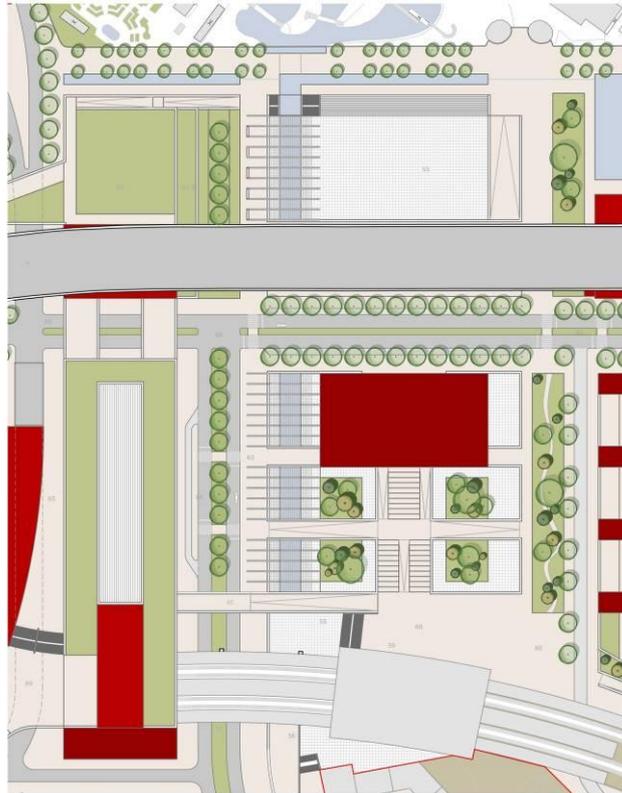


Fig.168 – Terminal rodoviário e biblioteca.

Em síntese os elementos biomiméticos deste projecto estão presentes, entre outros:

- Na premissa fundamental – a união. A natureza é um todo unificado, que funciona de forma harmoniosa como um todo e “a arquitectura é o processo que organiza e compõe várias forças inter-relacionadas num todo unificado” (Tsui).
- No conceito geral – fluidez. Sete Rios, onde confluem todas as linhas de água dos arredores.
- No formato do edifício do centro de congressos – o Nautilus. Evoca o crescimento proporcional, potenciador de um espaço urbano dinâmico. A torre no centro do eixo como ponto de união.
- Nas superfícies curvilíneas, sem vértices marcantes, da torre triangular.
- No desenho urbano do conjunto habitacional promovendo o contacto com a natureza e a sustentabilidade – através dos espaços ajardinados envolventes e da forma como aquele está implantado, com a maioria das fachadas viradas a Sul, para fruição de mais luz e poupança de energia.
- No átrio interior da biblioteca, uma espécie de “caixa de luz” unificadora do edifício.
- Na água, presente em todo o projecto, e nomeadamente na praça, como forma de estabelecer uma vivência de fruição do espaço e simultaneamente

reaproveitando-a, como recurso escasso que é, para o uso da população urbana.

Apresenta-se em seguida a matriz de grau biomimético aplicada a este projecto. Note-se mais uma vez que, sendo este um projecto meramente académico, faltam-lhe naturalmente especificações sem as quais não se podem avaliar alguns dos princípios biomiméticos.

Na matriz abaixo só existe informação para 13 dos 25 princípios em análise, pois não se tem informação acerca da aplicação ou não da restante metade dos princípios enunciados. Apesar disso, as percentagens totais obtidas por elemento vitruviano permitem-nos verificar um certo equilíbrio na aplicação de princípios biomiméticos nas diferentes áreas, em que se destacam essencialmente a solidez (75%) e a beleza (88%, com metade dos princípios desta área analisados). A percentagem total de 73% para o grau biomimético caracteriza o equilíbrio biomimético atrás citado. No entanto pode ser um tanto enganosa em virtude de pontuar apenas 13 princípios.

PROJECTO URBANO DE SETE RIOS

MATRIZ DE GRAU BIOMIMÉTICO

Princípios biomiméticos aplicados		Aplicação de cada princípio				Grau obtido por elemento vitruviano
		Rara	Alguma	Bastante	Predominante	
Pontuação		1	2	3	4	
"Ufilitas"						
1	Respeita o padrão de circulação dos habitantes			3		
2	Elimina todos os pontos de concepção supérfluos e todos os procedimentos de construção desnecessários		2			
3	Explora multifuncionalidades em cada elemento do projecto		2			
4	Capacidade de regular a transferência do ar					
5	Capacidade de regular o intercâmbio da luz			3		
6	Capacidade de regular a transferência da humidade					
7	Capacidade de regular a transferência de calor			3		
Total Ufilitas		0	4	9	0	65%
"Firmitas"						
8	Estrutura concebida em sistema de redundância estrutural					
9	Resiliência e cura (auto conservação)					
10	Utilização de materiais como sistemas					
11	É capaz de detectar e responder aos estímulos externos			3		
12	Utilização predominante de formas curvilíneas			3		
13	Utilização de formas idênticas às dos organismos ou às que eles constroem			3		
14	Abordagem do nivelamento semelhante à dos organismos (veios/curvatura/plissados)					
15	Construção sem ângulos e cantos			3		
16	Rigidez apenas em pontos fulcrais da estrutura e flexibilidade nos restantes					
17	Forma adaptada ao espaço ambiental ocupado			3		
Total Firmitas		0	0	15	0	75%
"Venustas"						
19	Utilização da proporção áurea (sequência de Fibonacci)			3		
20	Predominância de Simetria, centralidade e frontalidade				4	
18	Utilização de cor estrutural					
21	Revestimento auto-limpante					
Total Venustas		0	0	3	4	88%
"Restituitas"						
22	Aquecimento e arrefecimento solar e térmico					
23	Electricidade produzida por energia solar e eólica					
24	Tratamento de efluentes no local e recolha de água da chuva			3		
25	Construir com materiais naturais e reciclados, preferivelmente do local					
Total Restituitas		0	0	3	0	75%
GRAU BIOMIMÉTICO TOTAL		0	4	30	4	73%
Rara = 0 a 25%		Alguma = 26 a 50%				
Bastante = 51 a 75%		Predominante = 75 a 100%				



"We still do not know one thousandth of one percent of what nature has revealed to us."

Albert Einstein

Capítulo IV

Discussão dos resultados e Recomendações

A arquitectura clássica ocidental foi baseada em princípios antropomórficos. A proporção, composição, e simetria eram todas equiparadas à experiência humana e às proporções do corpo humano. Desde a antiguidade que o Homem vem imitando a natureza nas construções arquitectónicas, nomeadamente nalgumas das suas características mais básicas, como por exemplo a simetria bilateral.

Daí que o uso de características biomiméticas na arquitectura e urbanismo tem sido uma constante ao longo dos tempos. O estudo dos princípios biológicos mais aplicáveis à natureza, sistematizados entre *Utilitas* (funcionalidade), *Firmitas* (solidez), *Venustas* (beleza) e sustentabilidade, permitiu demonstrar inúmeras vantagens de uma abordagem biológica da arquitectura.

Porém, as várias ciências interagem, e a arquitectura é em si mesma também uma actividade eclética, que utiliza o saber de muitos outros ramos do conhecimento. Por isso, tem-se a consciência de que esta aparente separação e sistematização poderá acarretar sobreposições ou lacunas, que advêm duma sistematização que é em si mesma artificial, pois a natureza age como um todo cujas partes raramente se podem separar do corpo principal, sob pena de perderem completamente a sua funcionalidade e objectivo.

Esta é sem dúvida a principal limitação deste trabalho.

A elaboração duma matriz de grau biomimético, permitiu no entanto sistematizar e objectivar a avaliação de até que ponto um projecto cumpre com as especificações biomiméticas. Na aplicação prática da matriz a projectos concretos, deparou-se com dificuldades em vários aspectos, tais como a importância relativa de cada um dos princípios aí incluídos, ou a avaliação da forma como cada projecto cumpria ou não com os requisitos. A matriz serviu sobretudo, no presente trabalho, como forma de abordagem mais objectiva à verificação da aplicação dos princípios biomiméticos em determinados projectos, e não a uma avaliação propriamente dita desses projectos do ponto de vista biomimético.

Um edifício pode não aludir a uma forma orgânica individual, contudo a sua função, no que diz respeito à estrutura, à mecânica ou aos sistemas de circulação pode ser um resultado directo das investigações em princípios naturais do projecto e construção, resultando assim da inspiração na ciência biológica.

Em termos de **funcionalidade**, acolher os nossos padrões naturais de circulação, eliminando por exemplo as mudanças bruscas de direcção, é um passo fundamental para um “design” evoluído. O passo seguinte será criar uma sequência de eventos para orientar as pessoas a experimentar mais intimamente o ambiente e ver o edifício como uma estrutura eficiente e uma obra de arte integrada, como é qualquer das criações da natureza (Tsui). Foi interessante ver a aplicação de alguns destes princípios em alguns projectos, como o **Multiplex Cinema (Wilkinson Eyre Architects)**, elaborado em 2004, e no **Projecto Urbano de Sete Rios (projecto de 5º ano)**. Sendo estes 2 projectos de características bem diferentes – uma sala de espectáculos perto de Birmingham e um projecto de desenvolvimento urbano numa zona de Lisboa – o teste da aplicação na prática dos princípios biomiméticos tanto em edifícios como no desenho urbano foi levado a cabo com sucesso. Note-se que observando os resultados nas respectivas matrizes de grau biomimético de cada projecto, o **Multiplex Cinema** aplica 2 princípios de “utilitas” de forma predominante e um de forma bastante, enquanto o **Projecto Urbano de Sete Rios** neste elemento vitruviano aplica bastante 3 princípios biomiméticos, e 2 de forma normal.

“Utilitas” pode também ser traduzido como “comodidade” ou “conforto”. Para isso, o controle da interacção entre o ambiente externo e interno dum edifício é muito importante.

Entre as múltiplas funções que os revestimentos dos seres vivos e dos edifícios executam, as que contribuem para o conforto podem resumir-se em: regular a transferência do ar, regular o intercâmbio da luz, regular a transferência da humidade e regular a transferência de calor. Muitas das soluções da natureza na execução destas 4 funções podem ser copiadas com bom êxito pelos arquitectos. Este foi o caso do edifício do **Eastgate Center (Harare, Zimbabwe)**, que combina algumas soluções de revestimento com soluções biomiméticas de concepção de ventilação aprendidas do “design” e funcionamento dos gigantescos ninhos das térmitas do Zimbabwe. Neste ponto, a “utilitas” liga-se à sustentabilidade, um objectivo primordial em qualquer projecto que se queira biomimético.

Na área da **“Firmitas”** a estrutura e a forma têm primordial importância.

O processo de construção de estruturas na natureza procura a reconfiguração das relações entre componentes, o que revela os padrões estruturais como sendo uma parte importante nas soluções do projecto. As forças são dissipadas através do sistema em múltiplas direcções e finalmente transferidas para as subestruturas. O sistema estrutural é construído em redundância estrutural, actuando numa série de níveis para dissipar tensões localizadas através da inteira estrutura. Isto significa utilizar um sistema estrutural que contenha dentro dele uma redundância da estrutura que distribua a força do impacto e impeça uma falha estrutural catastrófica. Os organismos e os

sistemas naturais são frequentemente compostos de um número de componentes e materiais inter-relacionados, que actuam numa escala contínua, da micro à macro estrutura.

Um exemplo notório da aplicação dos princípios biomiméticos estruturais acima explicitados é o **Estádio Olímpico de Pequim**. Note-se que a tecnologia moderna, apoiada por cálculos para os quais foram utilizados softwares de modelagem de última geração que utilizaram constantes geométricas ditadas pelo uso e capacidade de cada parte da estrutura, foi essencial para o bom sucesso e a exequibilidade prática deste projecto.

Por outro lado, muito se pode aprender dos princípios que estão subjacentes à criação da forma na natureza. Não é por acaso que a natureza usa na sua esmagadora maioria formas curvilíneas nos seus organismos. Com o uso de formas curvilíneas, a natureza é capaz de maximizar o volume interno de um organismo, ao mesmo tempo que minimiza a sua área de superfície. Este facto tem o efeito de reduzir ao mínimo a quantidade de calor perdida através da superfície de um organismo, permitindo assim que permaneça mais quente com menos entrada da energia. Adicionalmente, uma área de superfície menor resulta em menos exigência de "input" de materiais.

Similarmente, uma parede curvada pode dissipar mais facilmente a pressão exercida pelo vento, requerendo ao mesmo tempo menos material para o fim a que se destina. Com o uso de formas curvilíneas, os organismos têm a habilidade de absorver e dissipar cargas em toda a sua estrutura,

Em contrapartida, a natureza trata o nivelamento introduzindo-lhe soluções de sustentação estrutural adicionais, tais como:

1. Veios - os veios aumentam a espessura funcional das folhas somente com pequeno investimento extra de material.
2. Curvatura - sem a necessidade de veios, uma superfície plana pode ser eficazmente espessada e endurecida com a introdução de um pouco de curvatura.
3. Plissados - a introdução de um jogo de plissados a funcionar no sentido em que a dobragem é expectável, aumenta a espessura efectiva sem acrescer o problema da adição de vigas abaixo da superfície.

No entanto, a natureza evita as superfícies planas sempre que possível e a abóbada dura é a forma preferida, com utilização nas cascas de ovos, crânios, cascas de nozes, conchas de mexilhões, etc.

Outros elementos que a natureza evita são os ângulos rectos. Os seres humanos tendem a preferir cantos rectos quando a natureza usa cantos arredondados. Há um número de razões pelas quais os cantos rectos são ineficientes e pouco práticos, mas nós ainda os preferimos para a facilidade da construção, As fendas originam-se nas estruturas onde as tensões são maiores, e isto acontece nos cantos das estruturas.

Falando agora dos materiais que contribuem para a forma, vimos que com excepção do uso estratégico de materiais duros, a maioria dos organismos são construídos com materiais relativamente flexíveis. Dum ponto de vista arquitectural, os materiais flexíveis são benéficos pois podem suportar condições externas extremas como os impactos das ondas, do vento e dos terremotos sem falhar porque podem flectir e absorver a sua energia.

Muitos dos princípios acima focados foram postos em prática no **Centro de congressos e Exposições de Oeiras (Projecto do 4º ano)**, cuja estrutura foi inspirada na forma de uma folha. Foi o princípio estrutural da folha que foi aplicado e repetido por toda a estrutura do Centro de Congressos, respondendo com leveza e graciosidade ao desafio de cobrir o grande espaço de exposições. Esta estrutura biomimética comportou ainda outras vantagens pois, assim como a folha, a cobertura pelo seu design efectua a drenagem das águas pluviais de maneira natural. A função de cada elemento estrutural baseia-se assim nas funções específicas que encontramos numa simples folha. Por exemplo a nervura principal da folha tem a função de suporte, mas também é responsável pela distribuição da seiva. Da mesma forma no interior do arco principal da estrutura seria possível acomodar as redes eléctricas ou as condutas de ventilação, juntando a função de distribuição de comodidade ao elemento estrutural principal. Este foi um bom exemplo de como aplicar num edifício os princípios biomiméticos estruturais da forma duma folha.

Outros aspectos da aplicação dos princípios biomiméticos acima delineados no que diz respeito á forma, podem ser vistos também no **Centro de Congressos de Sete Rios**, no plano de pormenor tanto do edifício como da torre triangular, nomeadamente nas curvaturas curvilíneas e na ausência de vértices marcantes.

Relativamente à beleza (**Venustas**), é ponto assente que a introdução de elementos ou mesmo apenas princípios biomiméticos, como a simetria ou a sequência de Fibonacci (proporção áurea), por motivo da inerência dos mesmos à nossa própria natureza, tornam a obra arquitectónica bela aos nossos olhos. Um exemplo tocante disso é sem dúvida grande parte da obra de Santiago Calatrava, da qual se destacou a **Estação de TGV Rhône-Alpes**. A sua forma, inspirada em simultâneo em elementos naturais tão distintos quanto um pássaro, uma manta raia, um papa-formigas ou um olho humano, demonstra a relação estreita entre o nosso conceito de beleza e a inspiração do arquitecto na natureza. Note-se que na matriz de grau biomimético, este projecto são a forma e a simetria, centralidade frontalidade que sobressaem.

Quanto aos princípios inerentes à formação da cor na natureza, que são um contributo natural para o belo, vimos que aquela utiliza dois métodos básicos para criar cor sem tinta: pigmentos internos e cor estrutural. A natureza utiliza estruturas que reflectem a luz de uma certa maneira, de forma que parece que existem

determinadas cores, quando na verdade é só o olho que tem a percepção dessas cores através da forma como a luz reflecte nessas estruturas. É o caso, por exemplo, das asas das borboletas e das diatomáceas. Estudos à escala nanométrica revelaram a natureza dessa diferenciação estrutural. Muita investigação está a ser levada a cabo neste campo, procurando o desenvolvimento de materiais que produzam cor estrutural. Embora já se tenham feito alguns avanços neste campo, o futuro sem dúvida fornecerá novos desenvolvimentos e aplicações destes princípios na arquitectura.

Na natureza, tal como na arquitectura, os revestimentos servem normalmente múltiplas finalidades. A folha de lótus auto-limpadora é um exemplo paradigmático nesse sentido. Os estudos efectuados sobre a folha de lótus levaram à produção de tintas e outros materiais como telhas e membranas auto-limpadoras, que repelem a sujidade. No **Estádio Olímpico de Pequim** utilizaram-se com sucesso este tipo de membranas (ETFE).

O mundo natural é auto-sustentável. Nos sistemas naturais não existem resíduos. De várias formas todos os materiais são reutilizados, geralmente com grande eficiência; os resíduos de uma espécie são o alimento de outra.

Cada membro de um ecossistema realiza várias funções, interligando-se com outros membros. A cooperação e a competitividade estão interligadas. As trocas de energia e recursos que ocorrem nos ecossistemas são sustentadas pela cooperação.

Um organismo biológico responde aos estímulos externos, como temperatura, humidade, disponibilidade de recursos, entre outros.

No mundo natural, o custo é a energia, e sendo os recursos disponíveis escassos, os organismos para sobreviverem e crescerem tentam fazê-lo com a menor quantidade possível de gasto em materiais e energia. As plantas, por exemplo, desenvolvem formas inovativas de receber mais luz do sol.

Estes princípios, que atestam a eficiência da natureza como um sistema – ou sistemas – auto-sustentável são modernamente aplicados nos chamados “Earthships”. Não podemos no entanto deixar de mencionar que estas construções têm sido muito criticadas por utilizarem garrafas de vidro ou chapas de alumínio na construção das paredes, quando estes materiais poderiam ser reciclados de outra forma mais benéfica para o ambiente.

Nos projectos analisados, o único que obtém na matriz de grau biomimético cotação “predominante” no princípio de sustentabilidade é o **Eastgate Center (Harare, Zimbabwe)**, precisamente no arrefecimento/aquecimento por processos naturais.

Existem no entanto limitações importantes na aplicação dos princípios biomiméticos à arquitectura, pois os organismos são vivos, enquanto os edifícios são constituídos de matéria sem vida. Enumeram-se em seguida algumas dessas limitações

Limitações do Biomimetismo

A transposição das soluções da natureza deve levar em conta diferenças substanciais que estão listadas na tabela abaixo (Llorens, 2008:6):

SERES VIVOS	OBJECTOS
Estrutura e composição	
São húmidos e estruturas flexíveis. Não têm metal. Têm muitos materiais compostos. Produzem materiais heterogéneos, como a madeira.	As estruturas estão secas e rígidas. Têm metais. Têm poucos materiais compostos Utilizam materiais homogéneos como o aço.
Mecanismos	
As articulações dobram-se (a orelha do gato muda de orientação variando as curvaturas). Os motores (músculos) são de contracção. Não utilizam rodas ou eixos. A energia é armazenada de forma gravitacional (ao andar) e elástica (ao saltar). O músculo é a soma de pequenas partes idênticas cujo funcionamento individual não depende das outras.	As dobradiças mudam a orientação deslizando em torno de um eixo. Os motores são de expansão. Usam rodas e eixos. A energia é armazenada de forma gravitacional (pêndulo e contrapeso), elástica (mola, arco, besta), eléctrica (bateria) e inercial (torno). O motor é uma máquina que não pode prescindir de nenhuma parte.
Comportamento estrutural	
As curvas de tensão-deformação são côncavas. Interagem com as solicitações externas e adaptam-se. Lutam contra as acções desfavoráveis e aproveitam as favoráveis	As curvas de tensão-deformação são convexas ou rectas. Resistem passivamente e cedem às forças que as solicitam. (A duna é formada pela acção do vento).
Desenvolvimento	
Inicia-se no momento da reprodução.	Os objectos projectados funcionam sempre da mesma forma desde o princípio.

Renovam-se constantemente. Após um ano, as células foram renovadas.	Não se renovam. Mantêm-se, corroem-se ou degradam-se (as moléculas das pirâmides são as originais).
---	---

O biomimetismo na arquitectura corre o risco de se limitar à analogia formal. As formas naturais são o resultado de uma combinação de factores que interagem, como o ambiente, o comportamento estrutural, a função e a economia. A imitação que ignora os princípios geradores da mesma, o contexto em que se desenvolveu e os requisitos a satisfazer, pode facilmente levar a resultados contrários aos obtidos pelo modelo original. Ou seja, a edifícios caros (de construir e manter), devoradores de energia e recursos, pouco úteis ou pouco eficientes, inadequados, insustentáveis e irrecuperáveis.

O Estádio Olímpico de Pequim, por exemplo, é já uma preocupação nesse sentido. Com um custo anual de manutenção de cerca de 7 milhões de euros e um encargo anual de juros de cerca de 9 milhões de euros, o estádio ameaça tornar-se um grande “elefante branco” da China.

Outro dos erros que é cometido com mais frequência é a mudança de escala (Llorens, 2008:7). A mudança de escala altera o comportamento e as características do modelo que dependem da geometria, pois modifica a relação entre comprimento, superfície e volume. A relação com o exterior aumenta com o diminuir do tamanho. Para os animais pequenos, a gravidade é menos importante que a resistência aerodinâmica. A relação entre o peso próprio e a secção transversal aumenta ao aumentar o tamanho, de forma que os animais grandes são proporcionalmente mais corpulentos que os pequenos. Observe-se que a natureza nunca muda a escala. Muda o tamanho, a forma, as proporções e o material. Os organismos ao crescer, alteram as proporções entre as partes para não perder a funcionalidade (Llorens, 2008:7).

Conclusão:

- Os princípios biomiméticos podem aplicar-se à construção tendo em conta a mudança de contexto e de requisitos.
- Da observação exclusiva da forma e da imitação podem resultar efeitos contrários aos obtidos pelo modelo original, porque não se trata de copiar, mas sim de aprender com a natureza.

Não se pode portanto reconhecer nenhuma obra arquitectónica como sendo completamente biomimética. Mesmo nas construções de Eugene Tsui, que almejam estar o mais integradas possível nos princípios da natureza, tanto do ponto de vista

conceptual, como formal ou estrutural, poderão ser encontrados inúmeros aspectos que ainda não se conformam completamente dentro dos parâmetros biomiméticos. No entanto, de tudo o que atrás ficou dito pode-se com facilidade inferir que, dentro das respectivas limitações, a aplicação dos princípios biomiméticos na arquitectura é muito útil, se se pretende atingir objectivos de optimização estrutural, funcional e estética, dentro da sustentabilidade que deve caracterizar a arquitectura dos nossos dias.

A metodologia de avaliação, aplicando a projectos concretos uma matriz que sistematiza os principais princípios biomiméticos aplicáveis na arquitectura ajudou, no caso de cada projecto concreto, a determinar até que ponto a forma – que em muitos casos é biomimética – se conjuga com o conteúdo global do projecto, permitindo fazer uma abordagem biomimética deste de forma globalizada, nas suas diferentes vertentes relacionadas.

O projecto da Estação de TGV Rhône-Alpes de Santiago Calatrava é paradigmático relativamente à conjugação entre forma e conteúdo biomimético. Este projecto, notável quanto à sua forma biomimética, poderia ter sido potenciado do ponto de vista arquitectónico caso tivesse sido analisado prematuramente por uma matriz de aplicação de princípios biomiméticos, e lhe tivessem sido introduzidas características que preenchessem outros princípios biomiméticos que não foram nitidamente preocupação do projecto.

Conclusão

Esta dissertação, que aborda o tema “Biomimetismo – como imitar a natureza na arquitectura” centrou a sua investigação em estudar que princípios biológicos são aplicáveis na arquitectura contemporânea. A abordagem levada a cabo consistiu em procurar encontrar soluções através da definição geral dos princípios de concepção da natureza, utilizando-os como directrizes no desenvolvimento progressivo do projecto.

No levantamento do estado da arte concluiu-se que a natureza tem demonstrado ter as melhores soluções em inúmeros campos de aplicação. A natureza “sabe” o que funciona, o que é apropriado e o que dura. Sendo assim, nos vários ramos do saber, temos que nos esforçar em examinar o que podemos aprender dela. Esta verdade também se aplica à arquitectura

O resultado do Homem não ter feito isso em muitas das suas obras foi nefasto – a falta de sustentabilidade da construção em muitas cidades é bem evidente, ficando os seus habitantes alheados do mundo natural e dos seus princípios, pelo facto de que a cidade onde habitam é produto duma arquitectura moderna desenraizada do universo natural que a rodeia.

Há portanto que aprender com a natureza. Os princípios e os campos em que o biomimetismo – imitação da natureza - se pode aplicar à arquitectura são inúmeros. Sintetizámos alguns deles, organizando-os em quatro aspectos básicos: “Utilitas” (funcionalidade), “Firmitas” (solidez), “Venustas” (beleza) e sustentabilidade.

“Utilitas” (funcionalidade, conforto):

No que diz respeito ao “design” do edifício como um todo, este deve ser visto como uma estrutura eficiente e uma obra de arte integrada, como é qualquer das criações da natureza, contribuindo para uma maior integração entre a forma e a função,

Os edifícios e zonas urbanas devem responder e interagir com os seus utilizadores, respeitando simultaneamente os padrões naturais de circulação dos seus habitantes. É ainda importante que, a bem da comodidade dos seus habitantes, e também por razões de sustentabilidade, o edificado seja capaz, tal como os organismos vivos fazem, de regular as interacções entre os ambientes interiores e exteriores.

Firmitas” (solidez):

Na natureza, os padrões estruturais são uma parte importante nas soluções do projecto. O sistema estrutural é construído em redundância estrutural, actuando numa série de níveis para dissipar em múltiplas direcções tensões localizadas através da inteira estrutura, distribuindo a força do impacto e impedindo desse modo uma falha estrutural catastrófica. Nesse contexto, os organismos e os sistemas naturais são

frequentemente compostos de um número de componentes e materiais inter-relacionados, que actuam numa escala contínua, da micro à macro estrutura.

Com o uso de formas curvilíneas, a natureza maximiza o volume interno de um organismo, ao mesmo tempo que minimiza a sua área de superfície. Reduz desta forma ao mínimo a quantidade de calor perdida através da superfície e, em simultâneo, o "input" de materiais. Uma parede curva pode dissipar mais facilmente a pressão exercida pelo vento, absorvendo e dissipando melhor as cargas em toda a sua estrutura.

Para compensar a fragilidade das estruturas planas, a natureza ensina-nos a utilizar veios, curvatura (ainda que ligeira como numa folha), e plissagem no sentido em que a dobragem é expectável. No entanto, a natureza evita as superfícies planas sempre que possível, preferindo a abóbada dura, que é mais resistente.

Da natureza, aprendemos ainda a evitar os ângulos rectos.

Salvo raras excepções, os materiais flexíveis são ainda preferidos normalmente aos duros, pois suportam melhor condições adversas por flectir e absorver a energia dos impactos externos.

"Venustas" (beleza):

Na formação da cor, a natureza não pinta. Antes utiliza dois métodos básicos para criar cor sem tinta: pigmentos internos e cor estrutural. O desenvolvimento futuro de materiais que produzam cor estrutural (microestruturas que reflectem a luz de uma certa maneira, de forma que parece que existem determinadas cores, quando na verdade é só o olho que tem a percepção delas) poderá ser aproveitado dentro em breve pela arquitectura.

Em matéria de revestimento, a pesquisa biomimética já produziu tintas auto-limpadoras que repelem a sujidade, inspiradas na microestrutura da folha de lótus.

Sustentabilidade:

Nos sistemas naturais não existem resíduos. De várias formas todos os materiais são reutilizados, geralmente com grande eficiência; os resíduos de uma espécie são o alimento de outra.

Cada membro de um ecossistema realiza várias funções, interligando-se com outros membros. A cooperação e a competitividade estão interligadas. As trocas de energia e recursos que ocorrem nos ecossistemas são sustentadas pela cooperação.

Um organismo biológico responde aos estímulos externos, reagindo de forma dinâmica às mudanças de temperatura, humidade, disponibilidade de recursos, entre outros.

No mundo natural, o custo é a energia, e sendo os recursos disponíveis escassos, os organismos para sobreviverem e crescerem tentam fazê-lo com a menor quantidade possível de gasto em materiais e energia. As plantas, por exemplo, desenvolvem formas inovadoras de receber mais luz do sol.

Estes princípios de sustentabilidade precisam fazer parte integrante de cada projecto arquitectónico.

A imitação da natureza não deve porém ser utilizada de forma que ignore os princípios geradores da mesma, o contexto em que se desenvolveu e os requisitos a satisfazer. Isso poderia facilmente levar a resultados contrários aos obtidos pelo modelo original, tendo como consequência edifícios caros, tanto de construir como manter, pouco úteis ou pouco eficientes, inadequados, insustentáveis e irrecuperáveis.

Grau biomimético

A utilização duma matriz que sistematize os princípios biomiméticos aplicáveis à arquitectura para analisar a forma como um projecto preenche as especificações biomiméticas é útil para aferir do grau biomimético de um determinado projecto. No entanto, a matriz deve ser construída e aplicada de forma cautelosa, em virtude de nem todos os princípios terem o mesmo peso biomimético, e também pelo facto que alguns deles se confundem no mesmo elemento arquitectónico.

Aplicou-se a matriz a 4 projectos reais de arquitectos consagrados - O Multiplex Cinema (Wilkinson Eyre Architects, 2004), o Estádio Olímpico de Pequim (Herzog & De Meuron, 2008), a Estação de TGV Rhône-Alpes (Calatrava, 1994) e o Eastgate Center em Harare, Zimbábue (Pearce, 1996). Analisaram-se também à luz da matriz dois projectos académicos desenvolvidos ao longo do curso: o Centro de congressos e Exposições de Oeiras (Projecto do 4º ano) e o Projecto Urbano de Sete Rios (projecto de 5º ano). Concluiu-se que, apesar de não se possuir informação suficiente para avaliar integralmente o grau biomimético de cada um desses projectos, os resultados ponderados obtidos com a análise dos princípios biomiméticos utilizados em cada projecto permitiram aferir, duma forma integrada, em que aspectos cada um deles aplicou esses princípios, destacando os pontos fortes e fracos de cada um do ponto de vista biomimético.

Na discussão dos resultados evidencia-se que a metodologia de avaliação proposta, aplicando a projectos concretos uma matriz que sistematiza os principais princípios biomiméticos aplicáveis na arquitectura é útil para aferir o grau biomimético de um projecto, sendo simultaneamente capaz, se aplicada, de potenciar a abordagem arquitectónica, conjugando a forma com o conteúdo.

Os vários exemplos apontados, tanto de projectos reais, muitos já construídos, como de projectos académicos desenvolvidos ao longo do curso e nos quais foram aplicados princípios variados dentro das diversas vertentes acima descritas, demonstram que a aplicação do biomimetismo à arquitectura não é uma utopia, mas sim uma prática desejável, que permitirá tanto ao nível da funcionalidade, como da estrutura, estética e sustentabilidade colmatar as exigências da cidade contemporânea recorrendo a princípios do mundo natural.

Para trabalhos futuros recomenda-se a revisão dos princípios biomiméticos sistematizados na matriz, de forma a evitar tanto quanto possível a duplicação ou sobreposição de conceitos e a sua melhor identificação nas características dos projectos em análise.

Será ainda útil efectuar uma eventual reorganização da matriz de avaliação em áreas diferentes das utilizadas, de forma que esta caracterize duma maneira mais clara determinadas áreas do conceito arquitectónico.

Por último, recomenda-se a elaboração de matrizes de avaliação biomimética por sectores de construção, procurando sistematizar duma forma mais específica os princípios biomiméticos aplicáveis em arquitectura de habitação, de unidades industriais, de auditórios, de escritórios, e assim por diante.

Referências Bibliográficas

ACE, ERE, OA (2001) *A Green Vitruvius – Princípios e práticas de Projecto para uma Arquitectura sustentável*, publicado pela OA

ALDERSEY-WILLIAMS, Hugh (2003) *Zoomorphic: new animal architecture*, Laurence King Publishing/Harper Design International.

BELL, B.; Vrana, A. (2004) *Digital Tectonics: Structural Patterning of Surface Morphology. Fabrication: examining the digital practice of architecture*, Cambridge & Toronto.

BENYUS, J. (2004) "Biomimicry", *Pop!Tech Lecture Series*, Camden, Maine, Oct. 22, 2004.

BENYUS, Janine (1997) *Biomimicry – Innovation inspired by nature*, Quill.

BIOINSPIRE - Evolution as Paradigm in Architecture and Urbanism, Disponível em: <http://www.biomimicry.typepad.com/bioinspire/2003/08/august-2003-evo.html>.
[05/03/2009]

BIO THINKING Home page, disponível em: <http://www.biothinking.com/> [07/03/2009]

CANHA da Piedade, A. (2003) *Edifícios para viver melhor*. Curso: "Construção Sustentável – Estratégias, Projectos e Sistemas de Apoio"; Coord. Manuel Duarte Pinheiro, FUNDEC/IST; Lisboa.

CIB - Conseil International du Bâtiment. (1999) *Agenda 21 on sustainable construction*. CIB Publication 237, 121 p. Rotterdam, Holland.

DICKINSON, M. (1999) *Bionics: Biological insight into mechanical design*. Department of Organismal Biology, University of California; Berkeley, vol. 96, no. 25, 14208 - 14209.

DOCZI, Gyorgy (2005) *The Power of Limits*. Shambhala.

DOLLENS, Dennis (2005) *Towards Biomimetic Architecture: EINA Lecture*, Outubro 2004, University of Florida.

DRACK, M. (2002) "Bionics and Ecodesign: how are materials used in nature, and what can thus be applied to sustainable product design?" in: Brebbia, C., Sucharov, L.,

Pascolo, P., *Design and Nature: Comparing Design in Nature with Science and Engineering*. Computational Mechanics, Inc.

ESTEVEZ, Alberto T. (2003) *Genetic Architectures / Arquitecturas genéticas*, Lumen.

FEPICOP/AECOPS, (2009) *Investir em construção, ultrapassar a crise*. Disponível em: http://www.aecops.pt/pls/daecops2/get_noticia [02/02/2009]

FORBES, Peter (2006) *The Gecko's Foot: Bio-inspiration: Engineering New Materials from Nature*, Norton, W. W. & Company, Inc.

FULLER, R. Buckminster (1981) "Introduction" (in English). *Critical Path* (First ed.). New York, N.Y.: St.Martin's Press.

GEORGIA Institute of Technology Research News: Butterfly wing scales provide template for complex photonic structures (December 11, 2006). Disponível em: <http://www.gatech.edu/newsroom/release.html?id=1215> [10/03/2009]

GRAEDEL, T.; Allenby, B. (2003) *Industrial Ecology*. 2 edition, Prentice Hall.

GRAEDEL, T.; Allenby, B. (1995). *Design for Environment*. Prentice Hall.

HEITLINGER, Paulo (2007). Disponível em: Arqueo.org - <http://algarvivo.com/arqueo/romano/vitruvio.html> [10/03/2009]

HSIAO†, CHOU‡, (2007) *Using biomimetic design in a product design course*. World Transactions on Engineering and Technology Education, Vol.6, No.1.

HYPERPHYSICS, disponível em: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/hframe.html>. [10/03/2009]

IF, Revista nº58, 2007. Disponível em: <http://www.infonomia.com/if/articulo.php?id=218&if=58> [10/03/2009]

INOVAÇÃO, artigo 1016 de 20/11/2007, disponível em: <http://www.inovacaotecnologica.com.br/noticias/noticia> [10/03/2009]

LLORENS, Duran, (2008). "zoomorfismo y bio-arquitectura. entre la analogía formal y la aplicación de los principios de la naturaleza". *Departamento de Construcciones Arquitectónicas*. Escuela de Arquitectura de Barcelona.

LODATO, F. (2005). "The nature of design". *Design Management Review* 16, 56 – 61.

LOWE, E. (1996) "Industrial Ecology: A Context for Design and Decision" (Chapter 25); in: Fiksel, J.; *Design for Environment: Creating Eco-efficient Products and Processes*, McGraw-Hill Professional Publishing.

JASON, Horst W. (1998) *História da Arte*, Fundação Calouste Gulbenkian.

OCDE - Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico. (2003) *Environmental sustainable building - Challenges and policies*. OCDE, 194 p. Paris, France. p.2418-2421

PINHEIRO, Manuel Duarte (2006) *Ambiente e construção sustentável*, Instituto do Ambiente.

PINTO, Ana; Meireles, Fernanda; Cambotas, Manuela (1998) *Cadernos de História da Arte*, Porto editora.

PODBORSCHI, V., Vaculenco, M., Ajder, V. (2005) *Mimicry of natural forms for Eco-design*, Technical University of Moldova, Chişinău, Seminarul National de Organe de Maşini, Braşov.

PORTOGHESI, Paolo (2000) *Nature and Architecture*, Skira.

REED, P. (2004) *A Paradigm Shift: Biomimicry*. *The Technology Teacher*, 23 – 27.

REYNOLDS, Michael (2009). Disponível em: <http://www.earthship.net/> [20/03/2009]

RICHARDSON, J., Irwin, T., Sherwin, C. (2005) *Design & Sustainability: A Scoping Report for the Sustainable Design Forum*. Design Council, 27th June

ROBBINS, Jim (2001). Disponível em: <http://www.arn.org/docs2/news/engineersasknature121201.htm> [20/03/2009]

- ROGERS, Richard (1997) *Cidades para um pequeno planeta*, Editorial Gustavo, Gili.
- ROODMAN, D. M., Lenssen, N. (1995) "A building revolution: how ecology and health concerns are transforming construction". In: *Worldwatch Paper*, 124, 67 p. Disponível em: <http://www.worldwatch.org/pubs/paper/124.html> [20/03/2009]
- RUTISHAUSER, Rolf; Grob, Valentin; Pfeifer, Evelin (2007) "Sympodial Construction of Fibonacci-type Leaf Rosettes" in: *Pinguicula moranensis* (Lentibulariaceae). Institute of Systematic Botany, University of Zürich, Switzerland.
- SAYEGH, Simone (2007) "Ninho de aço", revista *Téchne* nº128 Novembro de 2007, Editora PINI Ltda.
- SCNEIDER, Marius (1980) "Pietre che cantano", *Studi sul ritmo di trechiosi catalani di stile românico*, Guanda, Milan.
- SRINIVASAN, A.V. (1996) "Smart biological systems as models for engineered structures" in: *Materials Science & Engineering: C 4*. Technical University of Moldova, Chişinău, Seminarul National de Organe de Maşini, Braşov.
- THOMPSON, D W. (1992) *On Growth and Form*. Dover reprint of 1942 2nd ed. (1st ed., 1917).
- TSUI, Eugene (1999) *Evolutionary Architecture: nature as basis for design*. Wiley.
- UE - União Europeia. (2004) "Para uma estratégia temática sobre ambiente urbano". *Comunicação da Comissão ao Conselho, ao Parlamento Europeu e ao Comité das Regiões* COM(2004) 60, 54 p.
- UNEP - United Nations Environment Programme. (2003) Sustainable building and construction: facts and figures. *Industry and Environment*, 26, 2-3 Sustainable building and construction, p. 5-8, April-September.
- VINCENT, J. (2002) *Deployable structures*, ed. S. Pellegrino. 1st Edition ed.Vol.1. Vienna: Springer.
- VITRÚVIO, M. (2006) *Tratado de arquitectura* (tradução de M. Justino Maciel), IST Press.

VOGEL, S. (1998) *Cat's paws and Catapults. Mechanical worlds of nature and people.* 1st Edition. New York: W. W. Norton & Company.

WAHL, D. (2006) "Bionics vs. biomimicry: from control of nature to sustainable participation in nature" in: Brebbia C.A., *Design and Nature III: Comparing Design in Nature with Science and Engineering*, Wessex Institute of Technology, UK, 289 – 298.

WEINSTOCK, M. (2004) "Morphogenesis and the Mathematics of Emergence" in: *Architectural Design Vol 74; Part 3, p10-17.* Great Britain: Academy Group Ltd.

WHITESIDES, G., Gryboski, B. (2002) "Self Assembly at All Scales" in: *Science 29 March.* Vol. 295, no. 5564.

WIKIPEDIA, disponível em: <http://en.wikipedia.org/> [--/03/2009]

YEANG, K. (2006) *Ecodesign: A Manual for Ecological Design*, Academy Press.

YOWELL, Jay (2007) *Convention: Biomimicry and Architecture (Saturday, 05 May 2007)*, University of Oklahoma - Edmond, Oklahoma.

Anexos

Ordem dos Anexos

1 – 4_ Matrizes de Grau Biomimético para projectos de arquitectos consagrados:

- Multiplex Cinema – Wilkinson Eyre Architects
- Estádio Olímpico de Pequim - Herzog & De Meuron
- Estação TGV - Santiago Calatrava
- Eastgate Building – Mick Pearce

5 – 6_ Matrizes de Grau Biomimético para projectos académicos:

- Projecto 4º ano
- Projecto 5º ano

7_ Artigo na revista Arq./a, nº43 – Março 2007, pág. 95 – Projecto do 4º ano, Centro de Congressos e Exposições de Oeiras

8_ Memória descritiva e elementos gráficos do Projecto Final em Sete Rios

ESTÁDIO OLÍMPICO DE PEQUIM

MATRIZ DE GRAU BIOMIMÉTICO

Princípios biomiméticos aplicados	cada princípio				Grau obtido por elemento vitruviano	Observações
	Rara	Alguma	Bastante	Predominante		
Pontuação	1	2	3	4		
"Utilitas"						
1 Respeita o padrão de circulação dos habitantes						Não foi possível recolher informação acerca deste aspecto
2 Elimina todos os pontos de concepção supérfluos e todos os procedimentos de construção desnecessários						Não foi possível recolher informação acerca deste aspecto
3 Explora multifuncionalidades em cada elemento do projecto			3			São exploradas multifuncionalidades, como a instalação dentro da própria secção quadrada das peças metálicas da estrutura de todo o cabeamento necessário à cobertura
4 Capacidade de regular a transferência do ar				4		Sim, com a forma como foram instalados 40 mil m2 de membranas de ETFE (etileno tetrafluoretileno), e pela concepção individualizada das unidades comerciais implantadas
5 Capacidade de regular o intercâmbio da luz			3			Sim, idem
6 Capacidade de regular a transferência da humidade			3			Sim, idem
7 Capacidade de regular a transferência de calor				4		Sim, idem
Total Utilitas	0	0	9	8	85%	Valor ponderado só com os pontos 3 a 7
"Firmitas"						
8 Estrutura concebida em sistema de redundância estrutural				4		Sim, com 8 zonas de estruturas independentes
9 Resiliência e cura (auto conservação)						Não foi possível recolher informação acerca deste aspecto
10 Utilização de materiais como sistemas			3			Sim, relativamente às propriedades da membrana de ETFE (ver ponto 4 acima) e dos 53 mil m ² de membrana PTFE (politetrafluoretileno) na cor creme, que foram instaladas simultaneamente como isolamento acústico e forro
11 É capaz de detectar e responder aos estímulos externos						Não foi possível recolher informação acerca deste aspecto
12 Utilização predominante de formas curvilíneas			3			Sim, embora estas sejam sobretudo utilizadas na estética global do projecto
13 Utilização de formas idênticas às dos organismos ou às que eles constroem			3			Sim, embora estas sejam sobretudo utilizadas na estética global do projecto
14 Abordagem do nivelamento semelhante à dos organismos (veios/curvatura/plissados)						Não foi possível recolher informação acerca deste aspecto
15 Construção sem ângulos e cantos	1					Não. Embora esteticamente não sobressaiam, predominam na construção da malha estrutural de aço
16 Rigidez apenas em pontos fulcrais da estrutura e flexibilidade nos restantes						Não foi possível recolher informação acerca deste aspecto
17 Forma adaptada ao espaço ambiental ocupado	1					Não foi preocupação-base do projecto
Total Firmitas	2	0	9	4	63%	Valor ponderado só com os pontos 8, 10, 12, 13, 15 e 17
"Venustas"						
19 Utilização da proporção áurea (sequência de Fibonacci)						Não foi possível recolher informação acerca deste aspecto
20 Predominância de Simetria, centralidade e frontalidade			3			Sim, relativamente a simetria e centralidade, por força da natureza do projecto
18 Utilização de cor estrutural						Não foi possível recolher informação acerca deste aspecto
21 Revestimento auto-limpante			3			Sim, no que diz respeito à membrana de ETFE (ver ponto 4 acima)
Total Venustas	0	0	6	0	75%	Valor ponderado só com os pontos 20 e 21
"Restituitas"						
22 Aquecimento e arrefecimento solar e térmico		2				Sim, apenas para a generalidade do projecto. Em zonas "vip" e unidades comerciais foram instalados sistemas de ar condicionado convencionais
23 Electricidade produzida por energia solar e eólica						Não foi possível recolher informações suficientes para avaliar este aspecto do projecto, nomeadamente acerca da natureza do sistema de energia solar instalado sobre as bilheteiras
24 Tratamento de efluentes no local e recolha de água da chuva			3			Sim, para recolha de água da chuva. Em relação a tratamento de efluentes, não foi possível recolher informação
25 Construir com materiais naturais e reciclados, preferivelmente do local	1					Não. A utilização massiva do aço contraria frontalmente este princípio
Total Restituitas	1	2	3	0	50%	Valor ponderado só com os pontos 22, 24 e 25
GRAU BIOMIMÉTICO TOTAL	3	2	27	12	69%	Valor ponderado só com a análise da aplicação de 16 princípios, entre 25 possíveis. O grau obtido não é portanto relevante

Rara = 0 a 25%

Bastante = 51 a 75%

Alguma = 26 a 50%

Predominante = 75 a 100%

ESTAÇÃO DE TGV RHÔNE-ALPES

MATRIZ DE GRAU BIOMIMÉTICO

Princípios biomiméticos aplicados	cada princípio				Grau obtido por elemento vitruviano	Observações
	Rara	Alguma	Bastante	Predominante		
Pontuação	1	2	3	4		
"Útilitas"						
1 Respeita o padrão de circulação dos habitantes						Não foi possível recolher informação acerca deste aspecto
2 Elimina todos os pontos de concepção supérfluos e todos os procedimentos de construção desnecessários	1					Não. Existem elementos estruturais não indispensáveis, como por exemplo as "asas" da estrutura do hall superior
3 Explora multifuncionalidades em cada elemento do projecto						Não foi possível recolher informação acerca deste aspecto
4 Capacidade de regular a transferência do ar						Não foi possível recolher informação acerca deste aspecto
5 Capacidade de regular o intercâmbio da luz						Não foi possível recolher informação acerca deste aspecto
6 Capacidade de regular a transferência da humidade						Não foi possível recolher informação acerca deste aspecto
7 Capacidade de regular a transferência de calor						Não foi possível recolher informação acerca deste aspecto
Total Útilitas	1	0	0	0	25%	Valor ponderado só com o ponto 2
"Firmitas"						
8 Estrutura concebida em sistema de redundância estrutural						Não foi possível recolher informação acerca deste aspecto
9 Resiliência e cura (auto conservação)						Não foi possível recolher informação acerca deste aspecto
10 Utilização de materiais como sistemas						Não foi possível recolher informação acerca deste aspecto
11 É capaz de detectar e responder aos estímulos externos						Não foi possível recolher informação acerca deste aspecto
12 Utilização predominante de formas curvilíneas			3			Sim, embora estas sejam sobretudo utilizadas na estética global do projecto
13 Utilização de formas idênticas às dos organismos ou às que eles constroem				4		Sim, embora estas sejam sobretudo utilizadas na estética global do projecto
14 Abordagem do nivelamento semelhante à dos organismos (veios/curvatura/plissados)						Não foi possível recolher informação acerca deste aspecto
15 Construção sem ângulos e cantos		2				Não são evitados em grande parte do projecto
16 Rigidez apenas em pontos fulcrais da estrutura e flexibilidade nos restantes						Não foi possível recolher informação acerca deste aspecto
17 Forma adaptada ao espaço ambiental ocupado						Não foi possível recolher informação acerca deste aspecto
Total Firmitas	0	2	3	4	75%	Valor ponderado só com os pontos 12, 13 e 15
"Venustas"						
19 Utilização da proporção áurea (sequência de Fibonacci)						Não foi possível recolher informação acerca deste aspecto
20 Predominância de Simetria, centralidade e frontalidade				4		Sim, em toda a concepção
18 Utilização de cor estrutural						Não foi possível recolher informação acerca deste aspecto
21 Revestimento auto-limpante						Não foi possível recolher informação acerca deste aspecto
Total Venustas	0	0	0	4	100%	Valor ponderado só com o ponto 20
"Restituitas"						
22 Aquecimento e arrefecimento solar e térmico						Não foi possível recolher informação acerca deste aspecto
23 Electricidade produzida por energia solar e eólica						Não foi possível recolher informação acerca deste aspecto
24 Tratamento de efluentes no local e recolha de água da chuva						Não foi possível recolher informação acerca deste aspecto
25 Construir com materiais naturais e reciclados, preferivelmente do local	1					Não. A utilização massiva do aço e betão contraria frontalmente este princípio
Total Restituitas	1	0	0	0	25%	Valor ponderado só com o ponto 25
GRAU BIOMIMÉTICO TOTAL	2	2	3	8	63%	Valor ponderado só com a análise da aplicação de 6 princípios, entre 25 possíveis. O grau obtido não é portanto relevante

Rara = 0 a 25%

Bastante = 51 a 75%

Alguma = 26 a 50%

Predominante = 75 a 100%

EASTGATE BUILDING - HARARE (ZIMBABWE)

MATRIZ DE GRAU BIOMIMÉTICO

Princípios biomiméticos aplicados	cada princípio				Grau obtido por elemento vitruviano	Observações	
	Rara	Alguma	Bastante	Predominante			
Pontuação	1	2	3	4			
"Utilitas"							
1						Não foi possível recolher informação acerca deste aspecto	
2			3			O edifício é em grande parte de concepção simples	
3			3			Na estrutura foram incluídas condutas de ar visando a estabilidade térmica do edifício	
4				4		As condutas de ar estão concebidas de forma a regular a transferência do ar do exterior para o interior e vice-versa conforme as necessidades	
5			3			Janelas estores reguláveis, usando também grandes beirais evitam a luz directa do sol sobre as janelas e paredes. Preocupação de equilíbrio entre luz artificial e externa	
6			3			A humidade é parcialmente regulada com os elementos constantes em 4 e 5	
7				4		Os mesmos elementos citados em 4 e 5	
	Total Utilitas	0	0	12	8	83%	Valor ponderado sem o ponto 1
"Firmitas"							
8						Não foi possível recolher informação acerca deste aspecto	
9						Não foi possível recolher informação acerca deste aspecto	
10						Não foi possível recolher informação acerca deste aspecto	
11			3			Sim, relativamente aos factores de temperatura do ar	
12		1				Não	
13			3			Sim, apenas em termos de concepção das estruturas e processos de ventilação do projecto	
14						Não foi possível recolher informação acerca deste aspecto	
15		1				Não	
16						Não foi possível recolher informação acerca deste aspecto	
17						Não foi possível recolher informação acerca deste aspecto	
	Total Firmitas	2	0	6	0	50%	Valor ponderado só com os pontos 11, 12, 13 e 15
"Venustas"							
19						Não foi possível recolher informação acerca deste aspecto	
20			3			Sim, embora não de forma marcante	
18						Não foi possível recolher informação acerca deste aspecto	
21						Não foi possível recolher informação acerca deste aspecto	
	Total Venustas	0	0	3	0	75%	Valor ponderado só com o ponto 20
"Restituitas"							
22				4		Os mesmos elementos citados em 4 e 5	
23						Não foi possível recolher informação acerca deste aspecto	
24						Não foi possível recolher informação acerca deste aspecto	
25						Não foi possível recolher informação acerca deste aspecto	
	Total Restituitas	0	0	0	4	100%	Valor ponderado só com o ponto 22
	GRAU BIOMIMÉTICO TOTAL	2	0	21	12	73%	Valor ponderado só com a análise da aplicação de 12 princípios, entre 25 possíveis. O grau obtido não é portanto relevante

Rara = 0 a 25%

Bastante = 51 a 75%

Alguma = 26 a 50%

Predominante = 75 a 100%

CENTRO DE CONGRESSOS E EXPOSIÇÕES DE OEIRAS

MATRIZ DE GRAU BIOMIMÉTICO

Princípios biomiméticos aplicados	cada princípio				Grau obtido por elemento vitruviano	Observações
	Rara	Alguma	Bastante	Predominante		
Pontuação	1	2	3	4		
"Útilitas"						
1 Respeita o padrão de circulação dos habitantes						Não existe informação acerca deste aspecto
2 Elimina todos os pontos de concepção supérfluos e todos os procedimentos de construção desnecessários						Não existe informação acerca deste aspecto
3 Explora multifuncionalidades em cada elemento do projecto				4		São exploradas multifuncionalidades, como a instalação dentro do arco principal da estrutura das redes eléctricas e de ventilação. Também a função da cobertura, com forma de folha, serve simultaneamente à drenagem das águas, sem necessidade de calhas adicionais.
4 Capacidade de regular a transferência do ar						Não existe informação acerca deste aspecto
5 Capacidade de regular o intercâmbio da luz						Não existe informação acerca deste aspecto
6 Capacidade de regular a transferência da humidade						Não existe informação acerca deste aspecto
7 Capacidade de regular a transferência de calor						Não existe informação acerca deste aspecto
Total Útilitas	0	0	0	4	100%	Valor ponderado só com o ponto 3
"Firmitas"						
8 Estrutura concebida em sistema de redundância estrutural						Não existe informação acerca deste aspecto
9 Resiliência e cura (auto conservação)						Não existe informação acerca deste aspecto
10 Utilização de materiais como sistemas						Não existe informação acerca deste aspecto
11 É capaz de detectar e responder aos estímulos externos						Não existe informação acerca deste aspecto
12 Utilização predominante de formas curvilíneas			3			Sim, mas apenas na cobertura, parte dominante no projecto
13 Utilização de formas idênticas às dos organismos ou às que eles constroem				4		Sim, na cobertura, parte dominante no projecto
14 Abordagem do nivelamento semelhante à dos organismos (veios/curvatura/plissados)			3			Sim, apenas na cobertura, parte dominante no projecto
15 Construção sem ângulos e cantos			3			Sim, mas apenas na cobertura, parte dominante no projecto
16 Rigidez apenas em pontos fulcrais da estrutura e flexibilidade nos restantes			3			Sim, relativamente à estrutura da cobertura
17 Forma adaptada ao espaço ambiental ocupado		2				O projecto adaptou-se à nomenclatura do terreno, embora de forma limitada
Total Firmitas	0	2	12	4	75%	Valor ponderado só com os pontos 12 a 17
"Venustas"						
19 Utilização da proporção áurea (sequência de Fibonacci)						Não existe informação acerca deste aspecto
20 Predominância de Simetria, centralidade e frontalidade				4		Sim, principalmente simetria e centralidade, que são predominantes
18 Utilização de cor estrutural						Não existe informação acerca deste aspecto
21 Revestimento auto-limpante						Não existe informação acerca deste aspecto
Total Venustas	0	0	0	4	100%	Valor ponderado só com o ponto 20
"Restituitas"						
22 Aquecimento e arrefecimento solar e térmico						Não existe informação acerca deste aspecto
23 Electricidade produzida por energia solar e eólica				4		Não existe informação acerca deste aspecto
24 Tratamento de efluentes no local e recolha de água da chuva						Não existe informação acerca deste aspecto
25 Construir com materiais naturais e reciclados, preferivelmente do local						Não existe informação acerca deste aspecto
Total Restituitas	0	0	0	4	100%	Valor ponderado só com o ponto 23
GRAU BIOMIMÉTICO TOTAL	0	2	12	16	83%	Valor ponderado só com a análise da aplicação de 9 princípios, entre 25 possíveis. O grau obtido não é portanto relevante

Rara = 0 a 25%

Bastante = 51 a 75%

Alguma = 26 a 50%

Predominante = 75 a 100%

PROJECTO URBANO DE SETE RIOS

MATRIZ DE GRAU BIOMIMÉTICO

Princípios biomiméticos aplicados	cada princípio				Grau obtido por elemento vitruviano	Observações	
	Rara	Alguma	Bastante	Predominante			
Pontuação	1	2	3	4			
"Útilitas"							
1			3			Sim. Adapta-se à forma como se prevê que os habitantes venham a circular, embora não obedeça a todos os aspectos a ter em conta neste princípio. A forma de Náutilus do Centro de Congressos facilitará também a circulação dos utilizadores	
2		2				Existem pontos de concepção não essenciais do ponto de vista objectivo, mas estes contribuem para união subjectiva do projecto	
3		2				Sim, relativamente ao átrio central da biblioteca, que serve simultaneamente de espaço de convívio comum e meio de usufruir luz no edifício.	
4						Não existe informação acerca deste aspecto	
5			3			Sim, na forma de controlar a luz solar das fachadas Sul	
6						Não existe informação acerca deste aspecto	
7			3			Sim, na forma de controlar a luz solar das fachadas Sul	
	Total Útilitas	0	4	9	0	65%	Valor ponderado só com o ponto 1,2,3, 5 e 7
"Firmitas"							
8						Não existe informação acerca deste aspecto	
9						Não existe informação acerca deste aspecto	
10						Não existe informação acerca deste aspecto	
11			3			Sim, na forma de controlar a luz solar das fachadas Sul	
12			3			Sim, predominante no centro de congressos e na torre	
13			3			Sim, no centro de congressos	
14						Não existe informação acerca deste aspecto	
15			3			Sim, no centro de congressos e na torre	
16						Não existe informação acerca deste aspecto	
17			3			Esta é uma das preocupações de todo o projecto, em virtude das cotas do local.	
	Total Firmitas	0	0	15	0	75%	Valor ponderado só com os pontos 11, 12, 13, 15 e 17
"Venustas"							
19			3			Sim, na espiral intrínseca à forma de Náutilus do centro de congressos, com a sua forma tri-partida	
20				4		Sim, em quase todos os edifícios e na praça. No Centro de Congressos impera a centralidade	
18						Não existe informação acerca deste aspecto	
21						Não existe informação acerca deste aspecto	
	Total Venustas	0	0	3	4	88%	Valor ponderado só com os pontos 19 e 20
"Restituitas"							
22						Não existe informação acerca deste aspecto	
23						Não existe informação acerca deste aspecto	
24			3			A água da chuva é recolhida, utilizada como elemento nos espaços ajardinados da praça, é tratada e reutilizada nos edifícios	
25						Não existe informação acerca deste aspecto	
	Total Restituitas	0	0	3	0	75%	Valor ponderado só com o ponto 24
	GRAU BIOMIMÉTICO TOTAL	0	4	30	4	73%	Valor ponderado só com a análise da aplicação de 13 princípios, entre 25 possíveis. O grau obtido não é portanto relevante

Rara = 0 a 25%

Bastante = 51 a 75%

Alguma = 26 a 50%

Predominante = 75 a 100%

Domingos Mendes e Jaques Santos

Centro de Congressos e Exposições de Oeiras

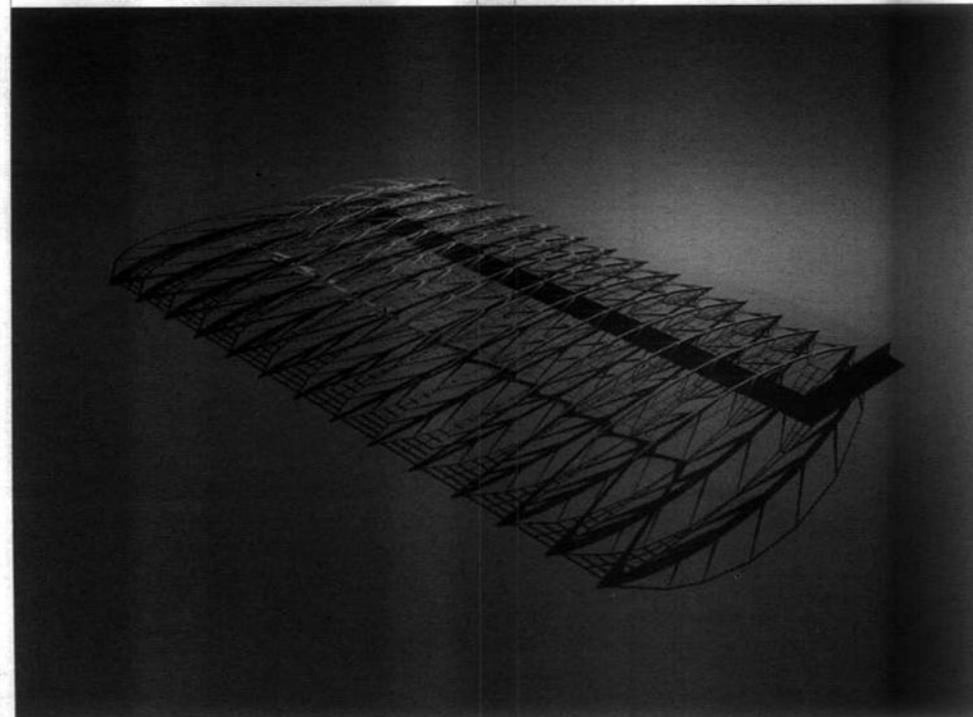
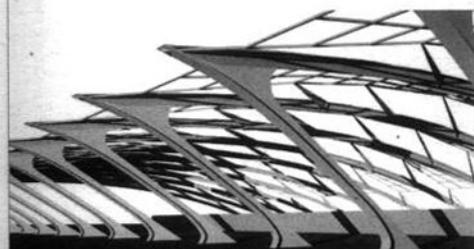
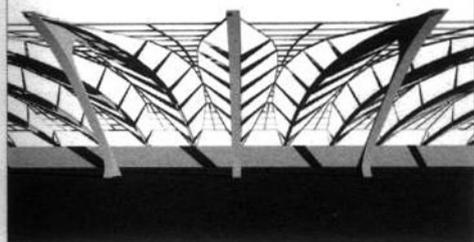
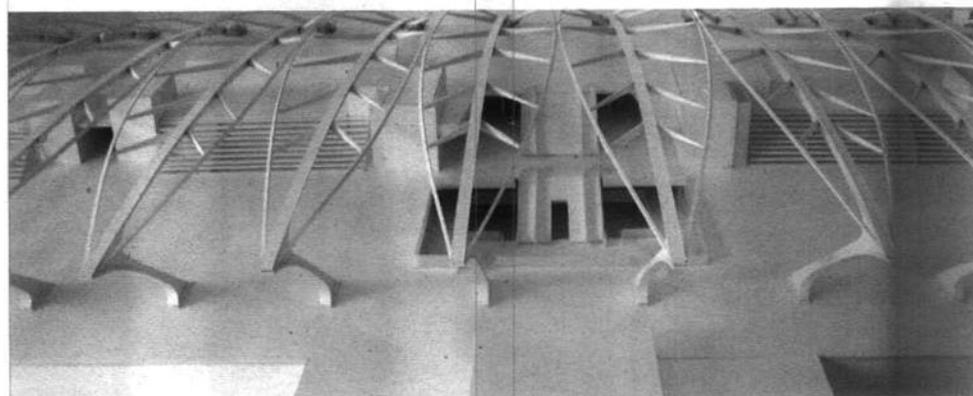
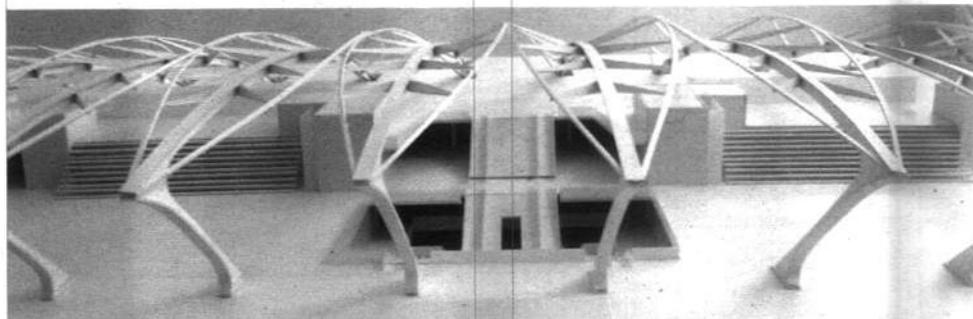
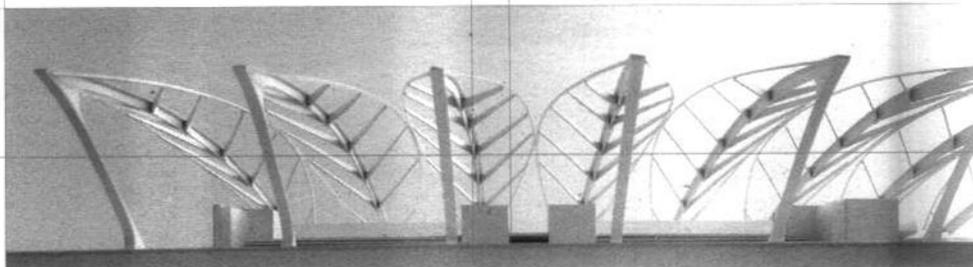
O projecto desenvolve-se num terreno adjacente à área de serviço da margem sul da A5, perto de uma pedreira desactivada. Foi adoptada uma organização muito simples do programa, centrada nos espaços de exposição, articulados pela zona de recepção e acesso ao auditório. A concepção do edifício é baseada na criação de uma estrutura biomimética inspirada na forma de uma folha. Este conjunto de folhas assenta com leveza sobre o limite da pedreira, estabelecendo um marcado contraste com a rudeza da mesma.

Docentes:

Mário Sua Kay
Luísa Gama Caldas

Assistentes:

Carlos Mourão Pereira
Fernando Vasco Costa



SETE RIOS



PROJECTO FINAL 2007/08

MESTRADO INTEGRADO EM ARQUITECTURA

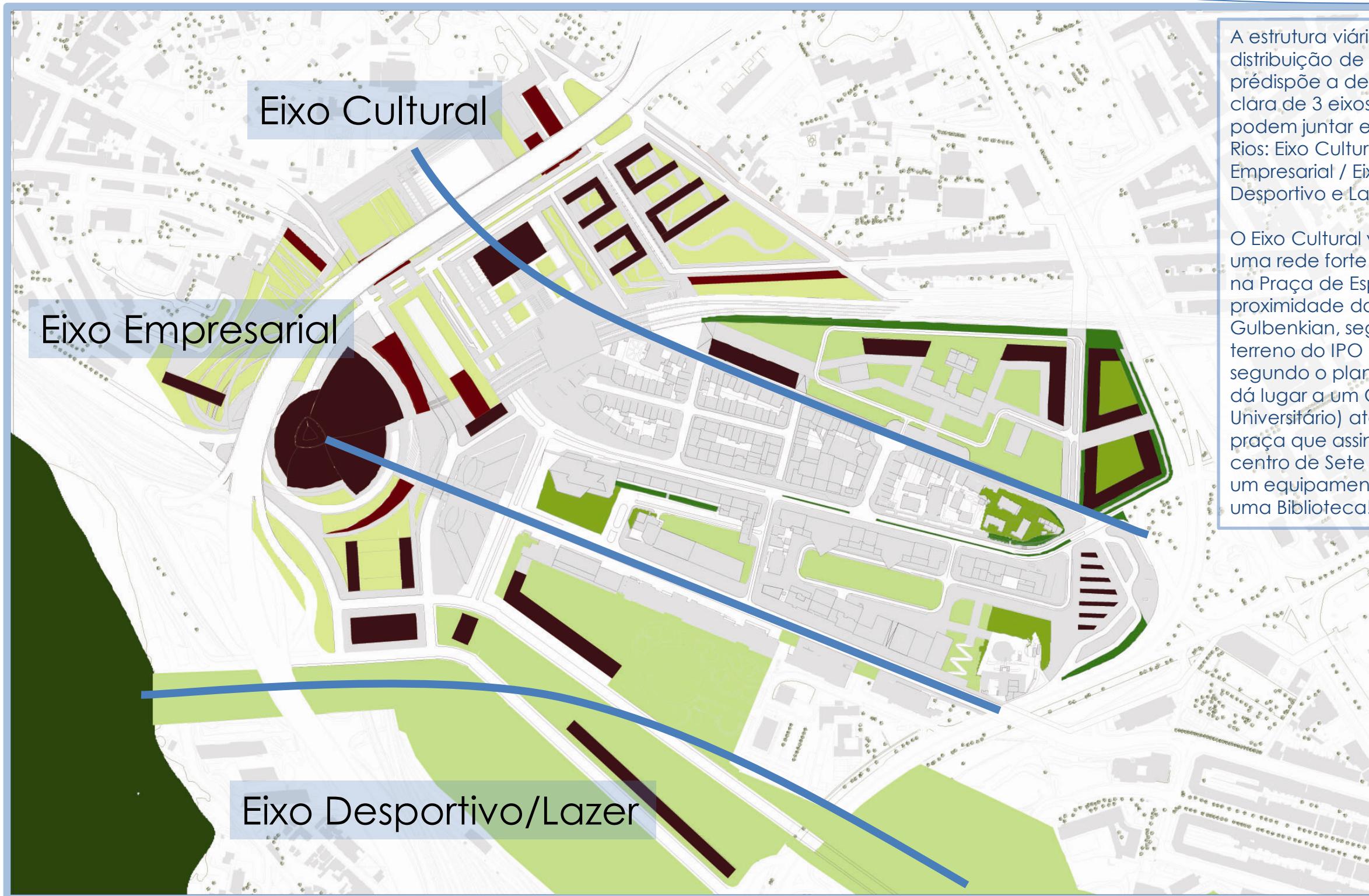
JAQUES SANTOS, Nº 48933

SETE RIOS

CONCEITO



A cidade de Lisboa tem vários centros importantes, mas um centro inegável na estrutura da cidade nos nossos dias é Sete Rios. Outrora foi arredores, já esteve fora da cidade, mas interessantemente sempre foi central, pelo menos daí o nome Sete Rios, local onde confluíam ao que parece sete ribeiras. Local de confluência de fluxos urbanos, Sete Rios é um enorme interface urbano, tornando-se num local de passagem, mas também de desassossego, agitação, poluição e barulho, completamente descaracterizado.



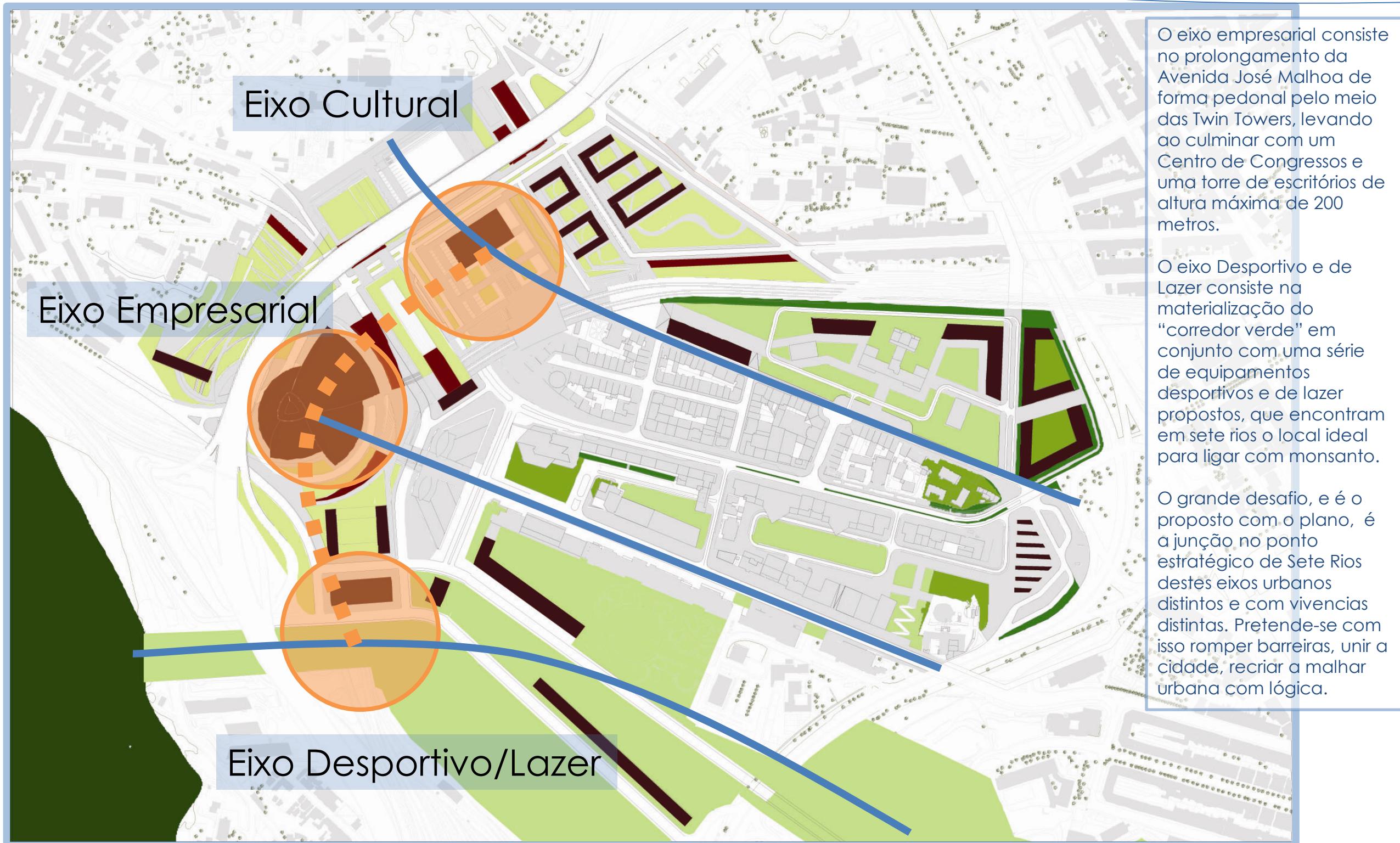
Eixo Cultural

Eixo Empresarial

Eixo Desportivo/Lazer

A estrutura viária e a distribuição de usos prédispõe a definição clara de 3 eixos que se podem juntar em Sete Rios: Eixo Cultural / Eixo Empresarial / Eixo Desportivo e Lazer.

O Eixo Cultural vem de uma rede forte de teatros na Praça de Espanha na proximidade da Gulbenkian, seguindo o terreno do IPO (que segundo o plano de grupo dá lugar a um Campus Universitário) até a uma praça que assinala o centro de Sete Rios com um equipamento cultural - uma Biblioteca!



Eixo Cultural

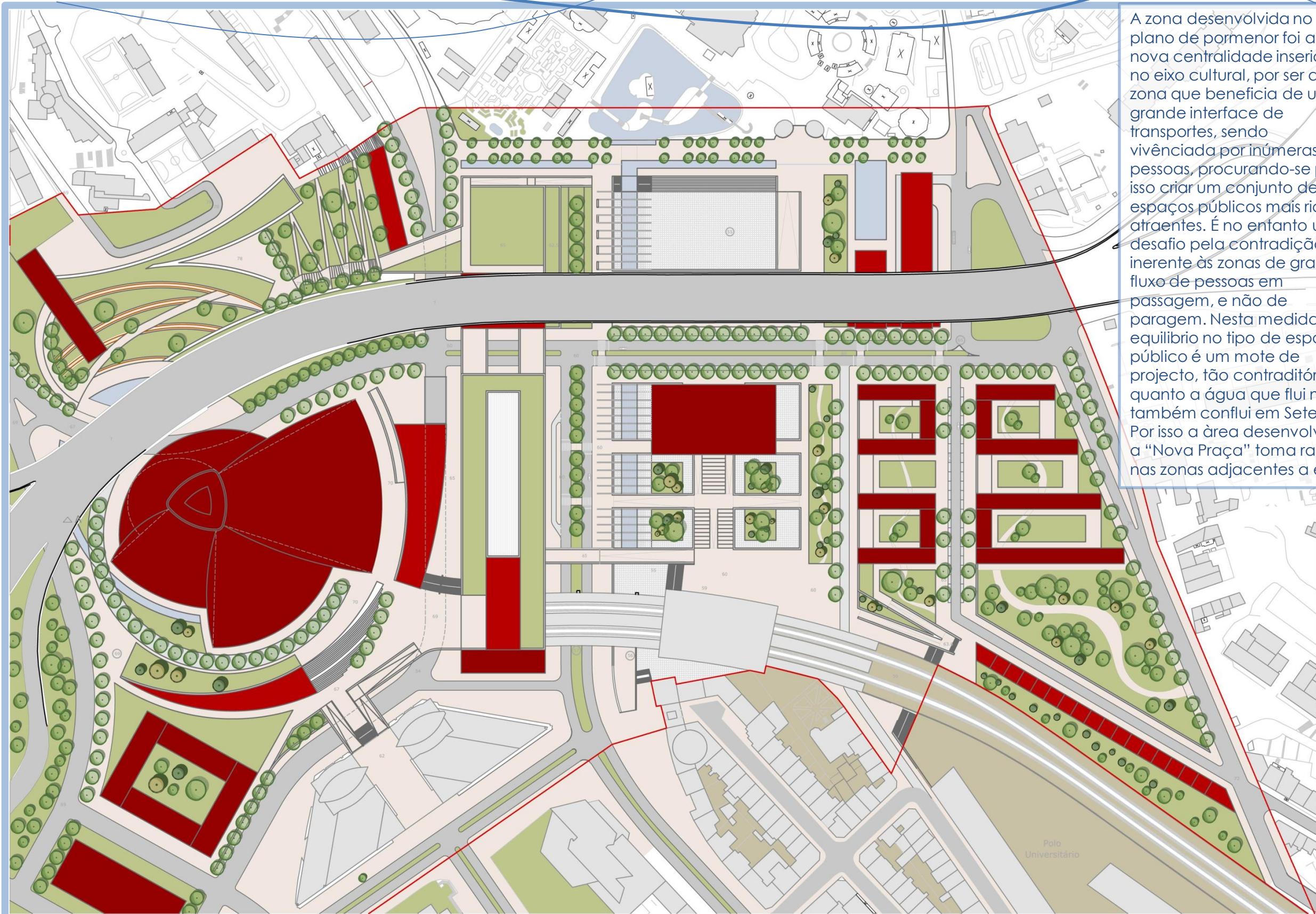
Eixo Empresarial

Eixo Desportivo/Lazer

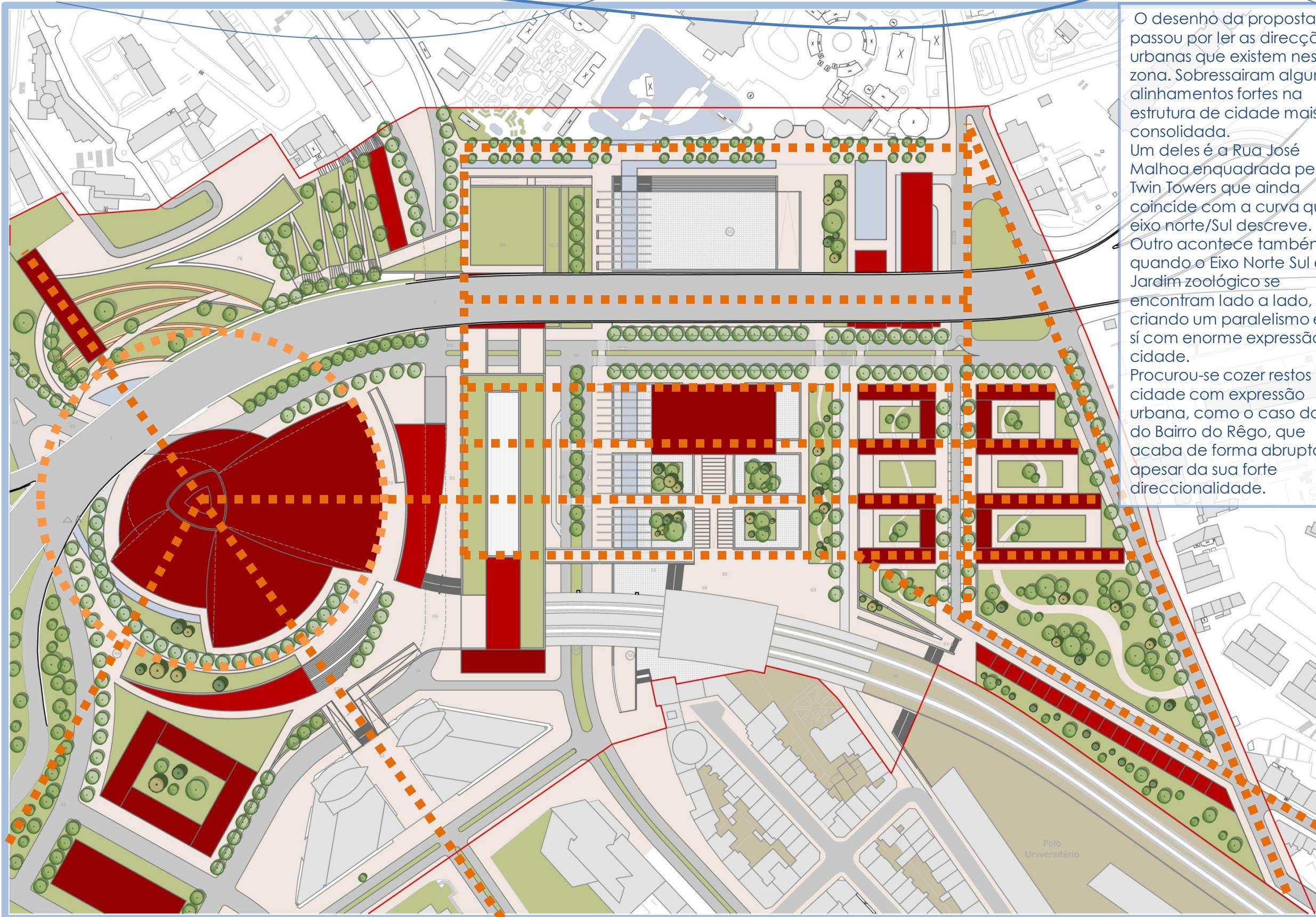
O eixo empresarial consiste no prolongamento da Avenida José Malhoa de forma pedonal pelo meio das Twin Towers, levando ao culminar com um Centro de Congressos e uma torre de escritórios de altura máxima de 200 metros.

O eixo Desportivo e de Lazer consiste na materialização do "corredor verde" em conjunto com uma série de equipamentos desportivos e de lazer propostos, que encontram em sete rios o local ideal para ligar com Monsanto.

O grande desafio, e é o proposto com o plano, é a junção no ponto estratégico de Sete Rios destes eixos urbanos distintos e com vivências distintas. Pretende-se com isso romper barreiras, unir a cidade, recriar a malha urbana com lógica.

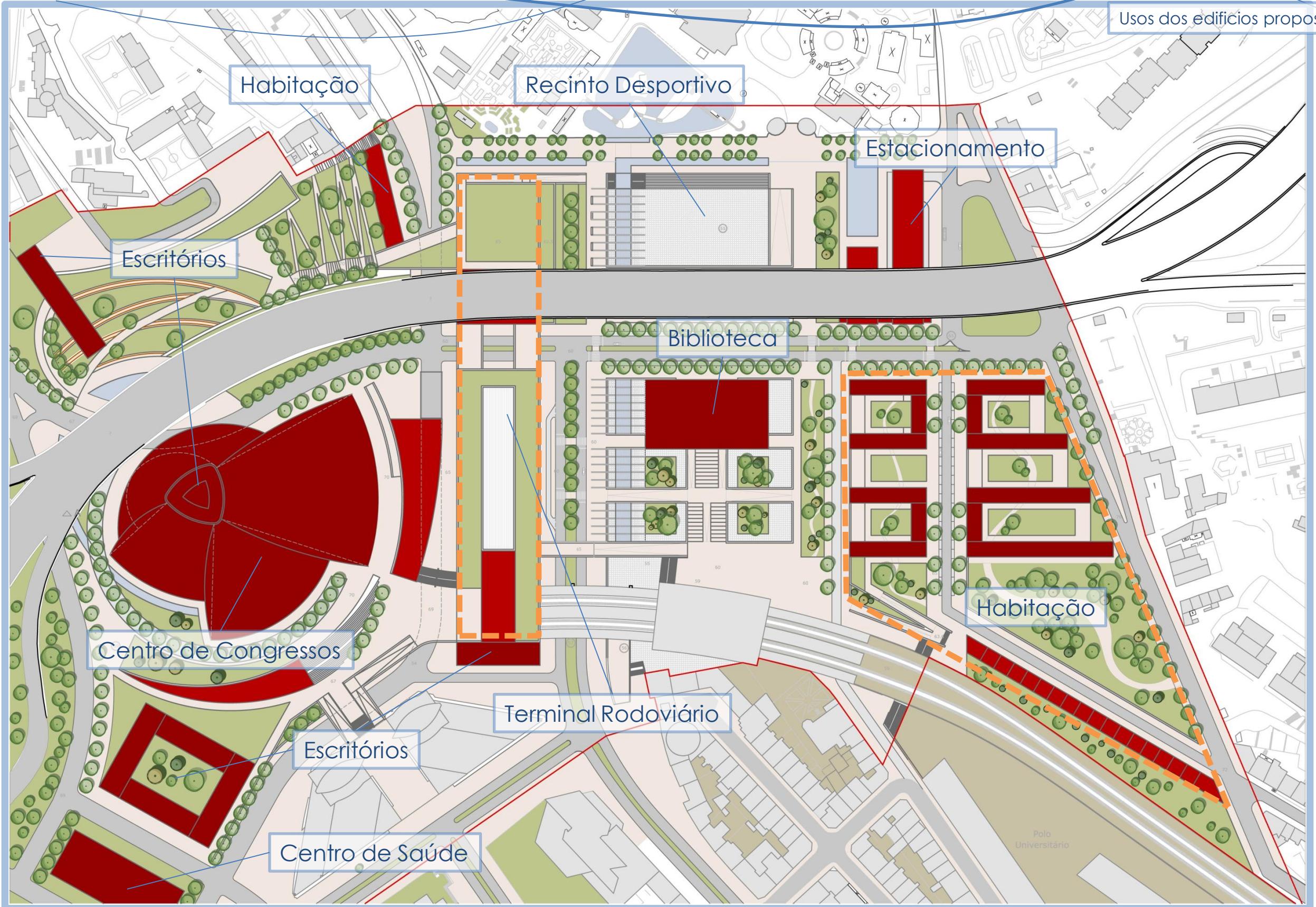


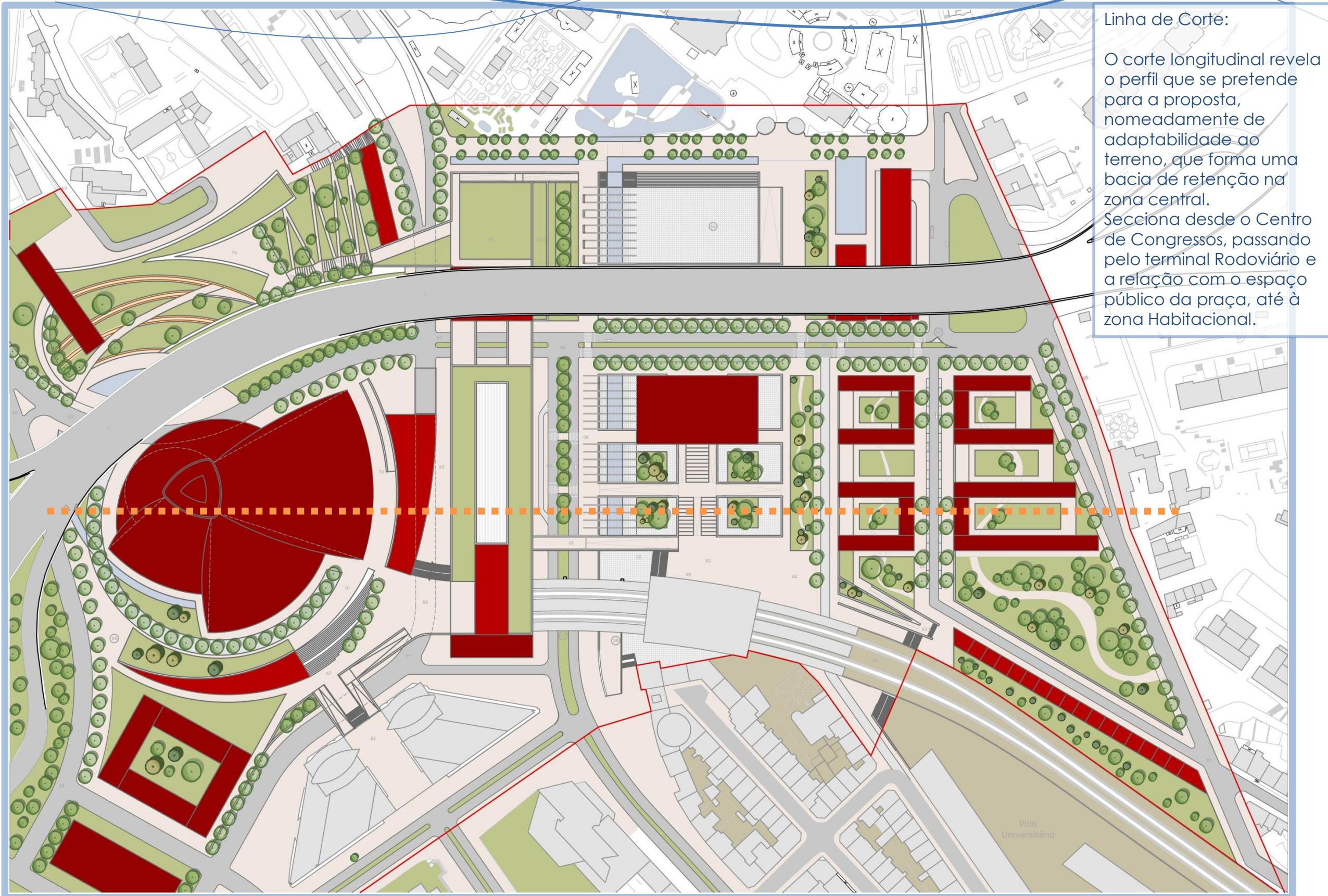
A zona desenvolvida no plano de pormenor foi a nova centralidade inserida no eixo cultural, por ser a zona que beneficia de um grande interface de transportes, sendo vivenciada por inúmeras pessoas, procurando-se por isso criar um conjunto de espaços públicos mais ricos e atraentes. É no entanto um desafio pela contradição inerente às zonas de grande fluxo de pessoas em passagem, e não de paragem. Nesta medida o equilíbrio no tipo de espaço público é um mote de projecto, tão contraditório quanto a água que flui mas também conflui em Sete Rios. Por isso a área desenvolvida, a "Nova Praça" toma raízes nas zonas adjacentes a ela.



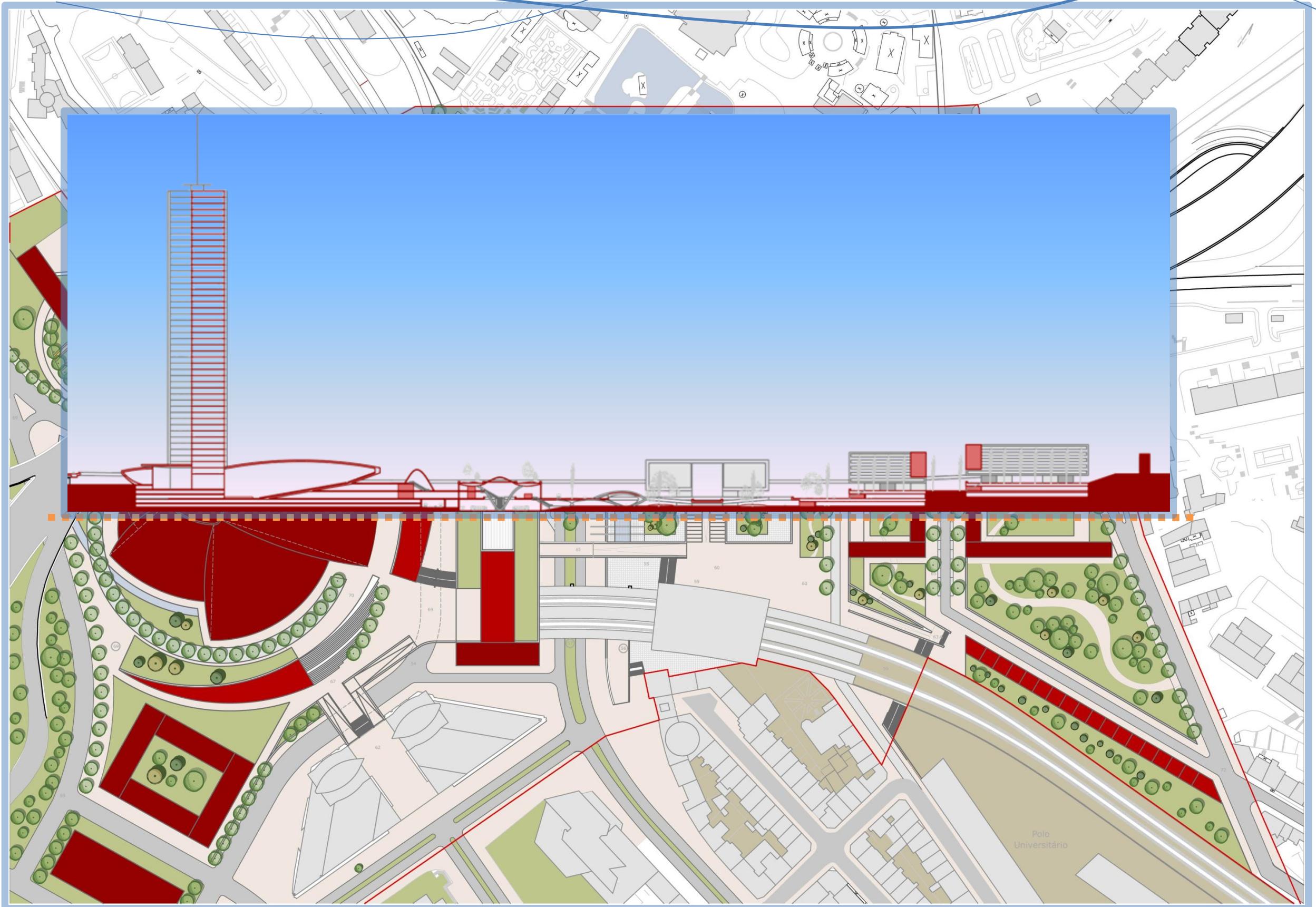
O desenho da proposta passou por ler as direcções urbanas que existem nesta zona. Sobressaíram alguns alinhamentos fortes na estrutura de cidade mais consolidada. Um deles é a Rua José Malhoa enquadrada pelas Twin Towers que ainda coincide com a curva que o eixo norte/Sul descreve. Outro acontece também quando o Eixo Norte Sul e o Jardim zoológico se encontram lado a lado, criando um paralelismo entre si com enorme expressão na cidade. Procurou-se cozer restos de cidade com expressão urbana, como o caso da Rua do Bairro do Rêgo, que acaba de forma abrupta, apesar da sua forte direccionalidade.

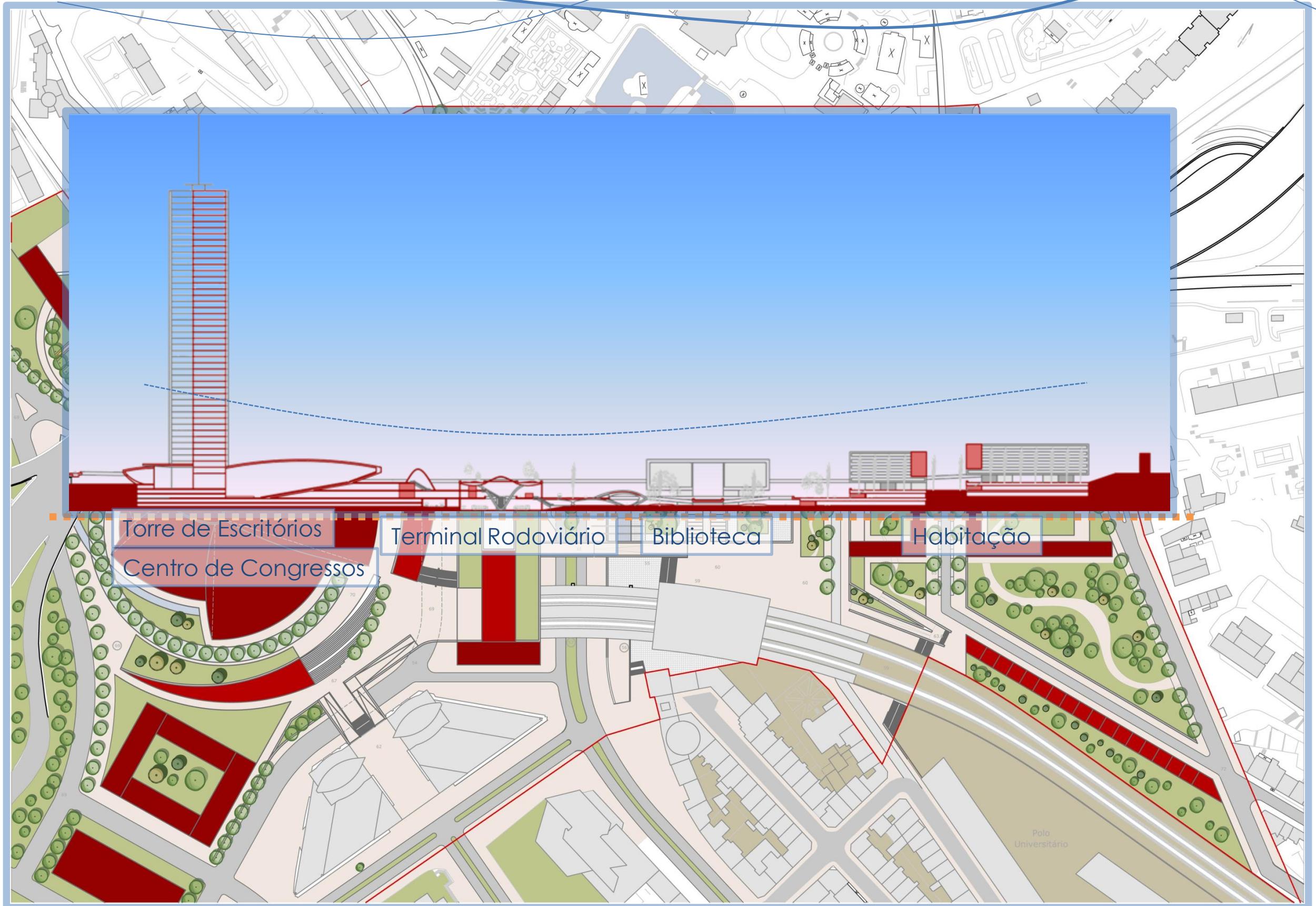
Usos dos edifícios propostos





Linha de Corte:
O corte longitudinal revela o perfil que se pretende para a proposta, nomeadamente de adaptabilidade ao terreno, que forma uma bacia de retenção na zona central. Secciona desde o Centro de Congressos, passando pelo terminal Rodoviário e a relação com o espaço público da praça, até à zona Habitacional.





Torre de Escritórios
Centro de Congressos

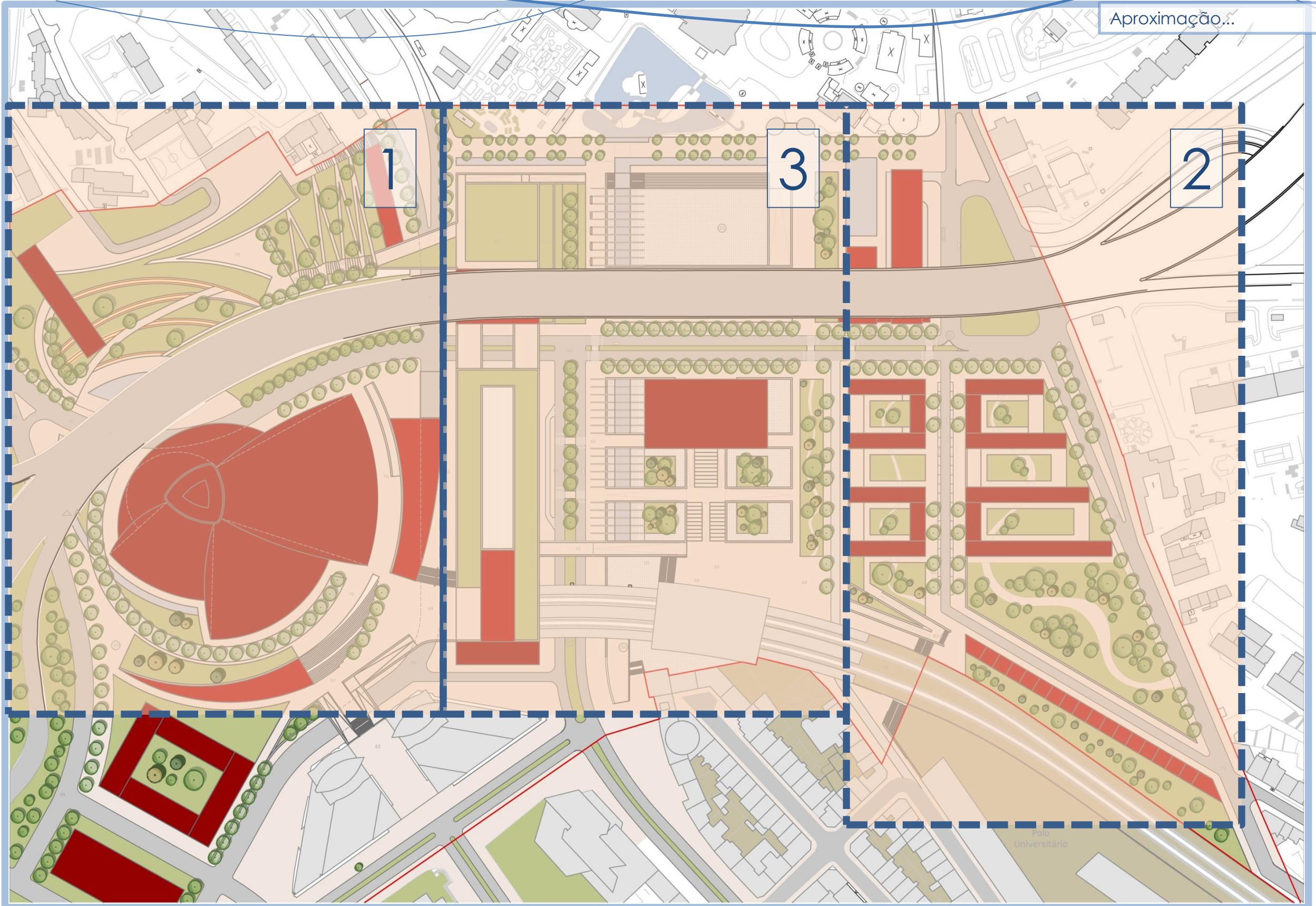
Terminal Rodoviário

Biblioteca

Habitação

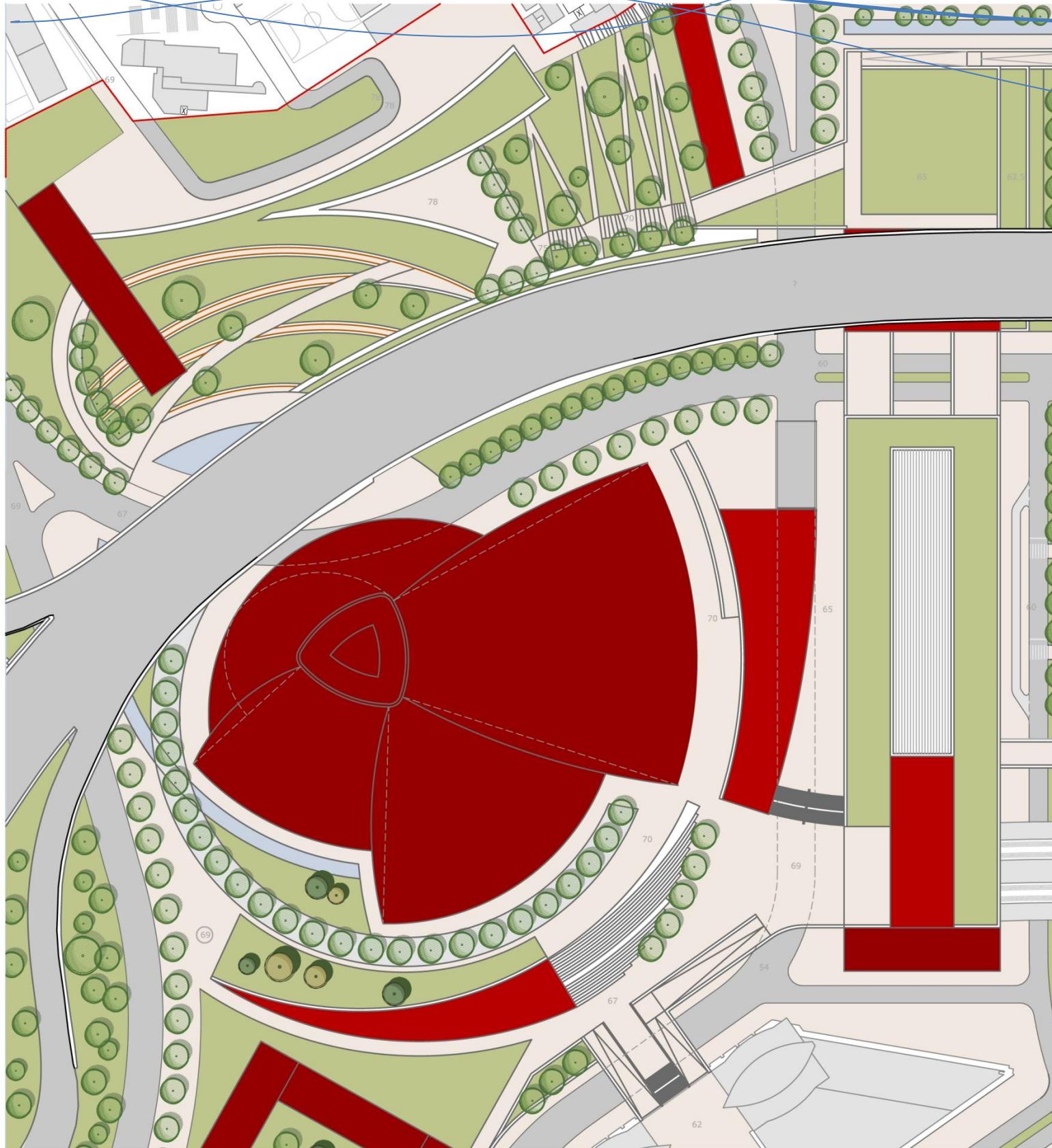
Polo
Universitário

Aproximação...



SETE RIOS

PLANO DE PORMENOR



1_ CENTRO DE CONGRESSOS

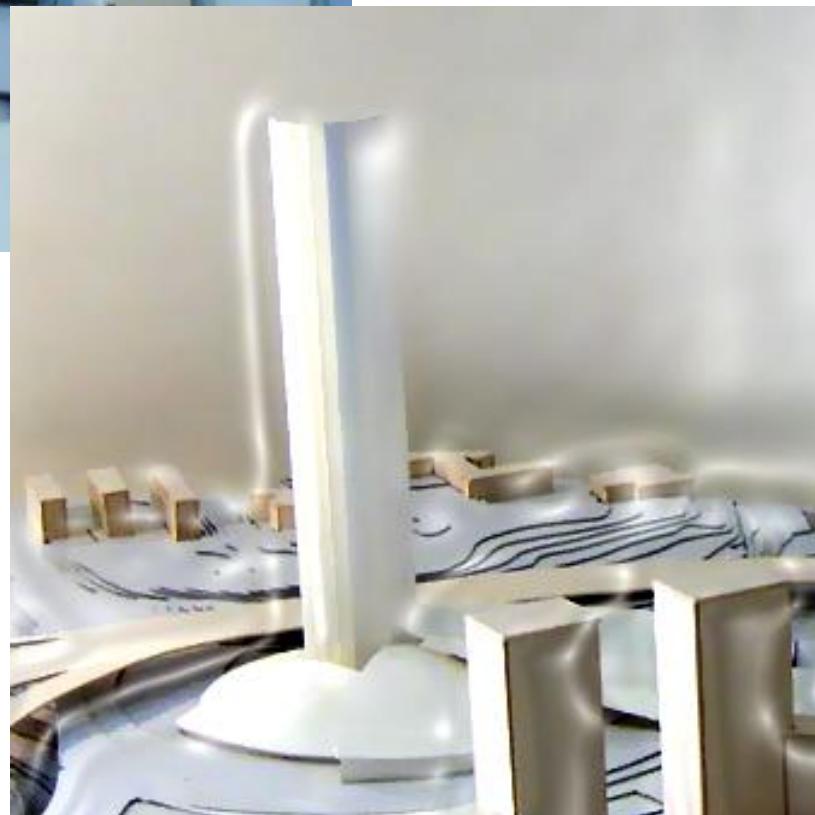
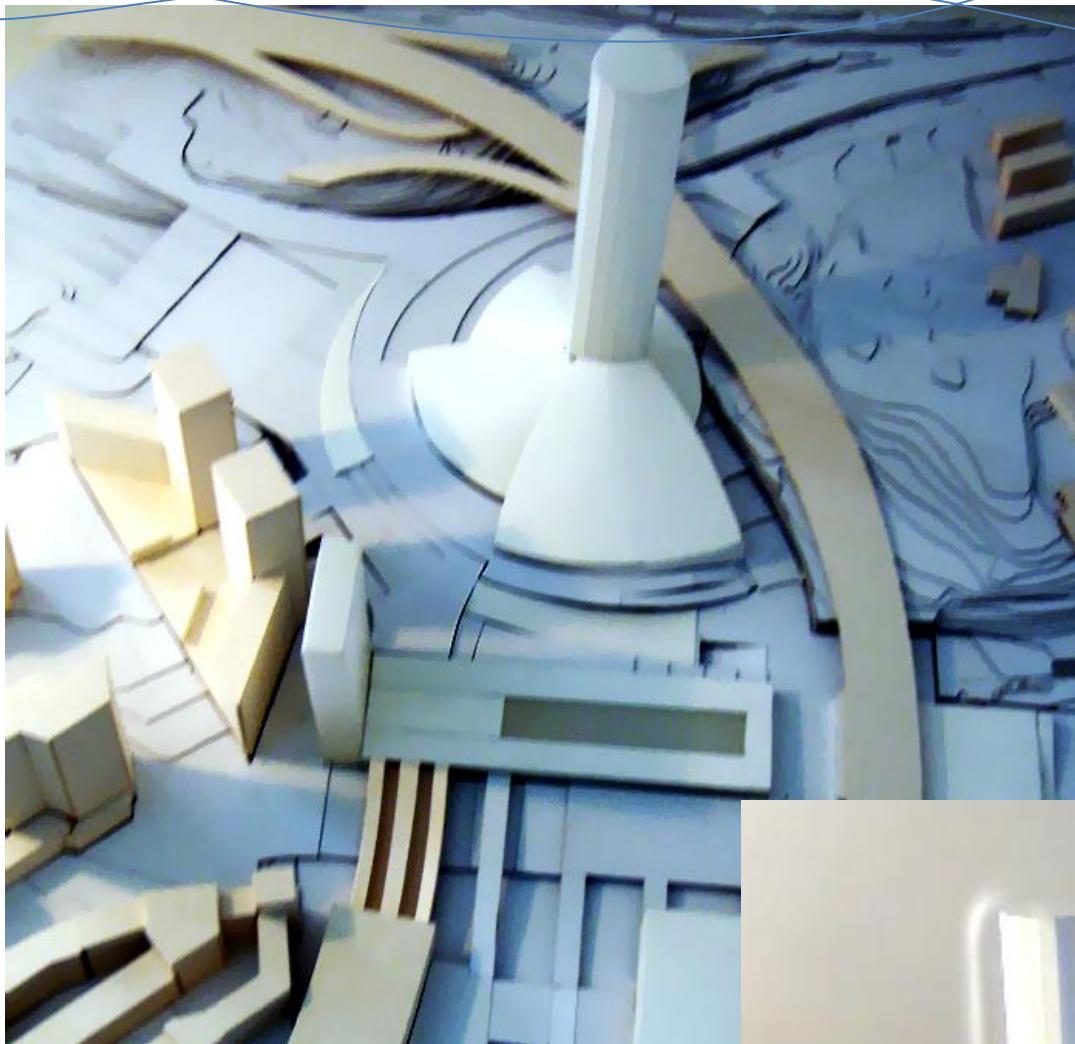


Nautilus – Crescimento proporcional em espiral



Parque della Trinitat – Barcelona
Parque junto a nó viário

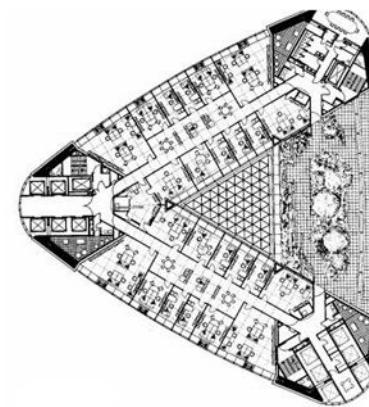
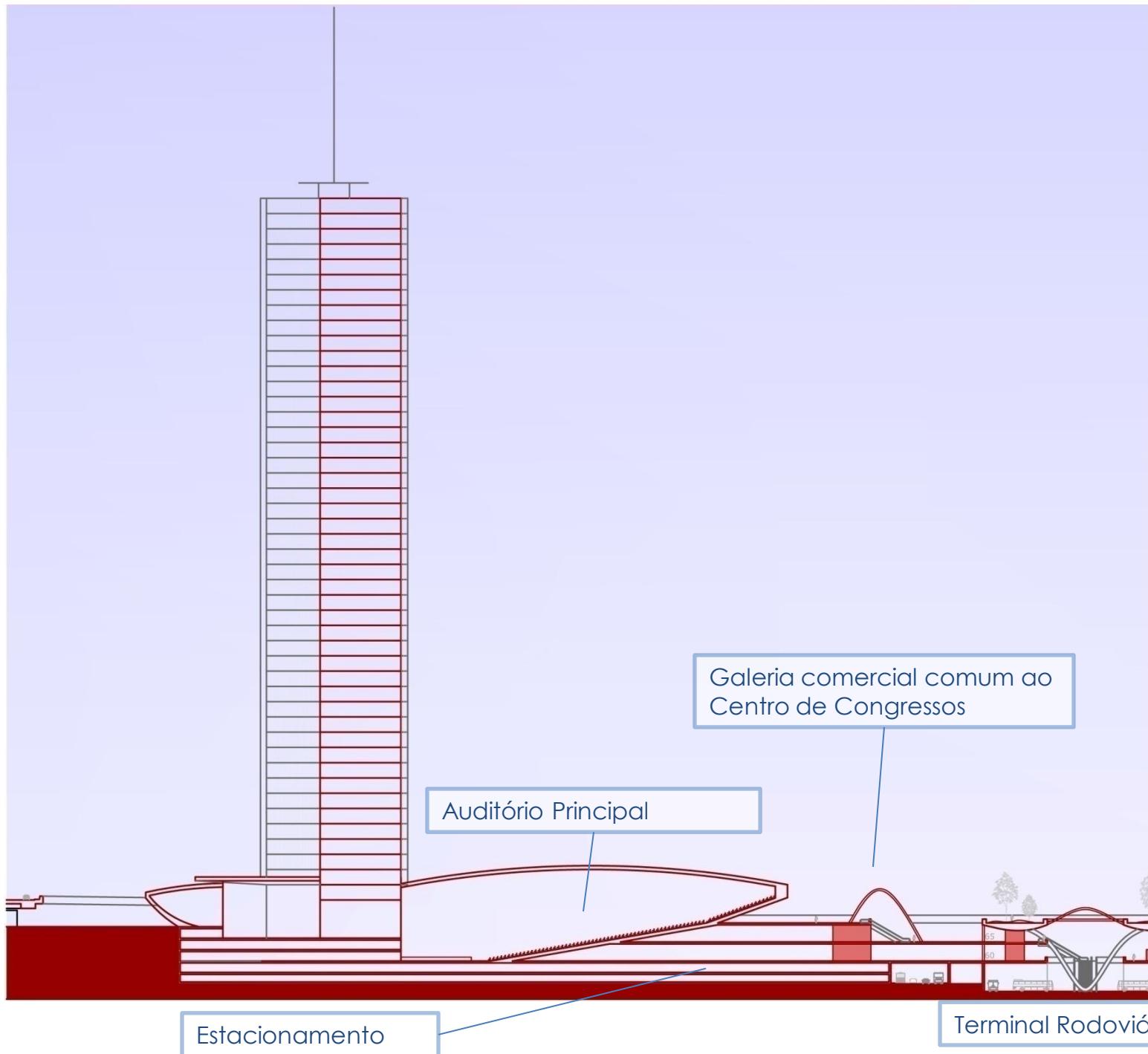
1_ CENTRO DE CONGRESSOS



O Centro de Congressos afirma-se como momento de conexão entre barreiras urbanas difíceis de transpôr, como são as linhas férreas. O programa de Centro de Congressos de grande capacidade, junto com a torre de escritórios com cerca de 200 metros e 50 pisos tornarão rentável uma proposta arrojada de ter uma plataforma sobre as barreiras que hoje são intransponíveis. Na realidade a proposta é nesse troço elas funcionarem em túnel enterrado, assegurando 5 metros de espaço livre. O formato do edifício, embora seja apenas ilustrativo, evoca o crescimento proporcional do Nautilus, desta feita pelo "crescimento" dos 3 auditórios que em rotação sobre um ponto, a torre, sugerem três alinhamentos urbanos. Como rótula e ponto de união entre 3 eixos da cidade a circunferência e as linhas curvas (inclusive em espiral) são sugestivas como potenciadoras de um espaço urbano dinâmico. O espaço público vive em torno do seu desenho urbano.

A ligação feita com o terminal Rodoviário é muito franca a vários níveis. Como o Centro de Congressos desenvolve-se por várias cotas, a ligação com o terminal é feita da mesma forma (cotas 69,65,60). No corte podemos ver a ligação directa que existe por exemplo através das galerias comerciais afectas ao Centro de Congressos.

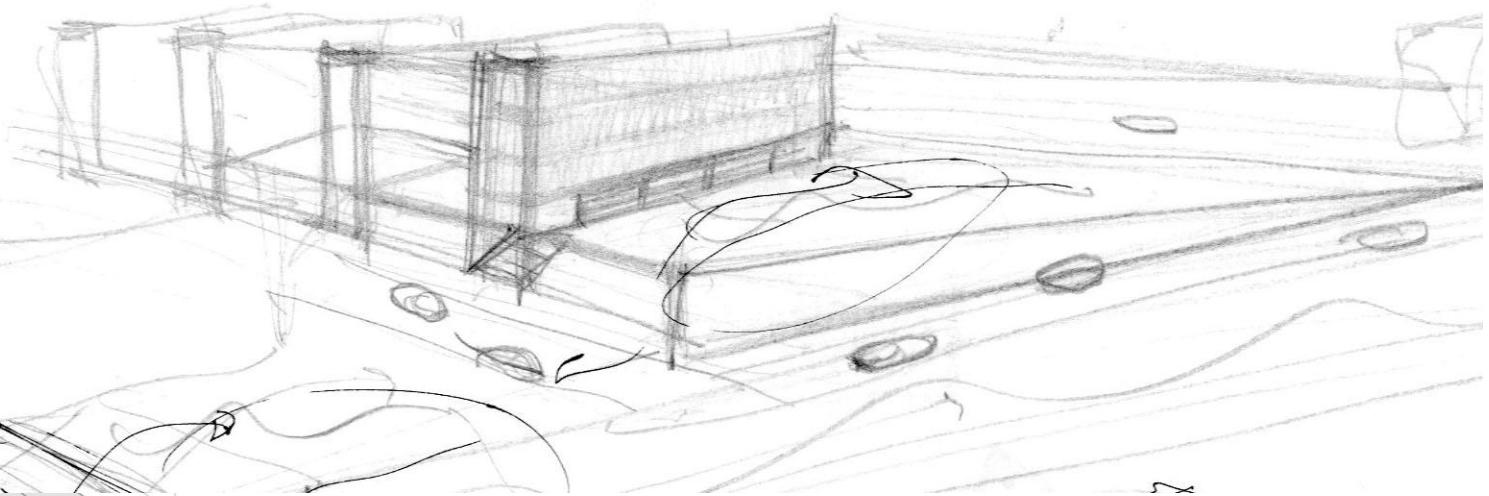
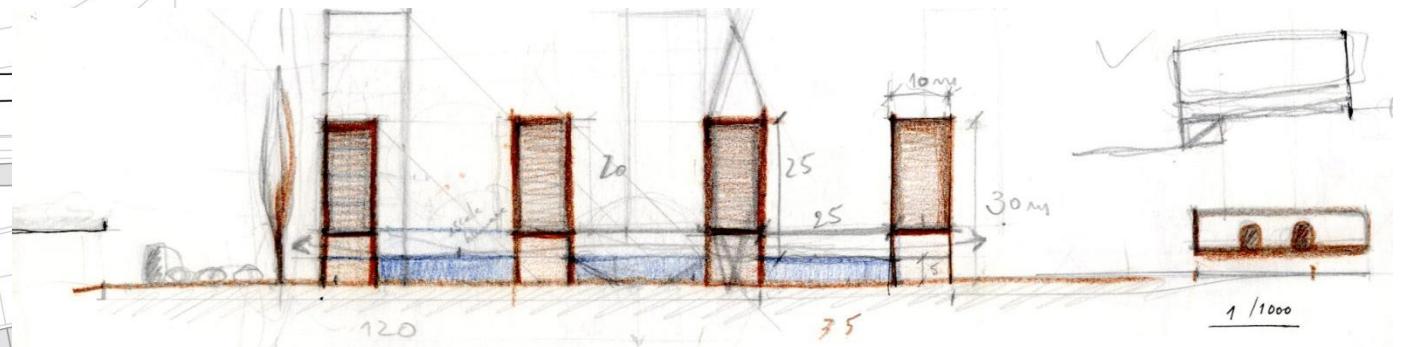
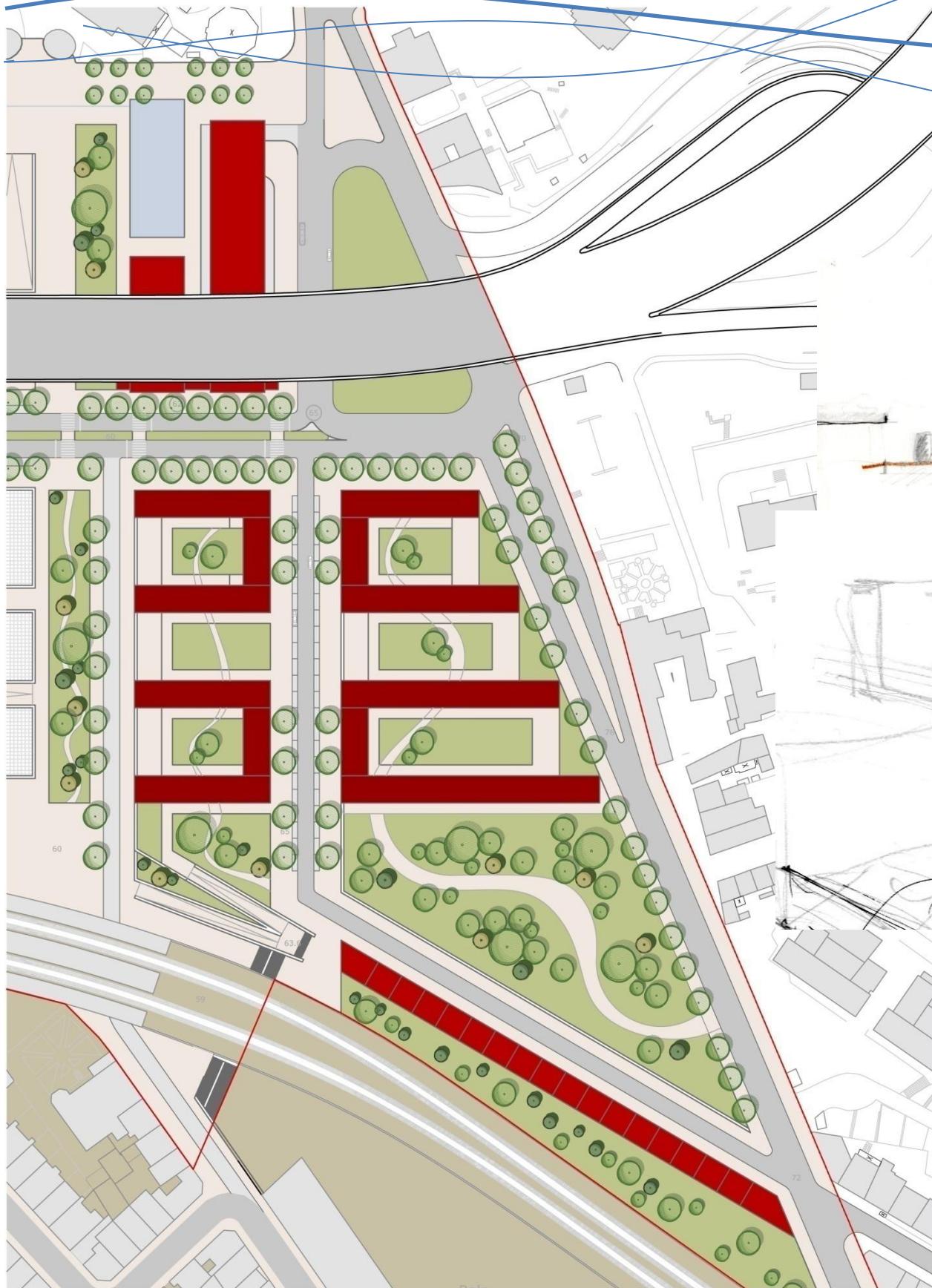
1_ CENTRO DE CONGRESSOS



Commerzbank em Frankfurt – Foster
Torre sustentável em planta triangular.



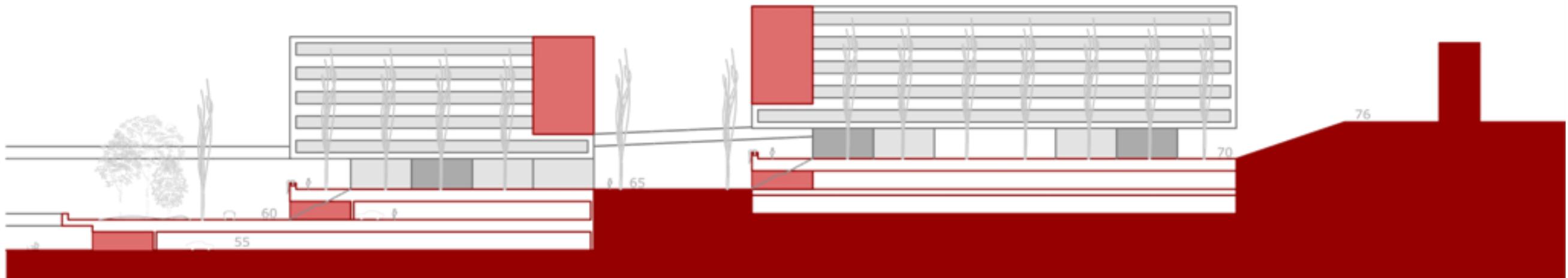
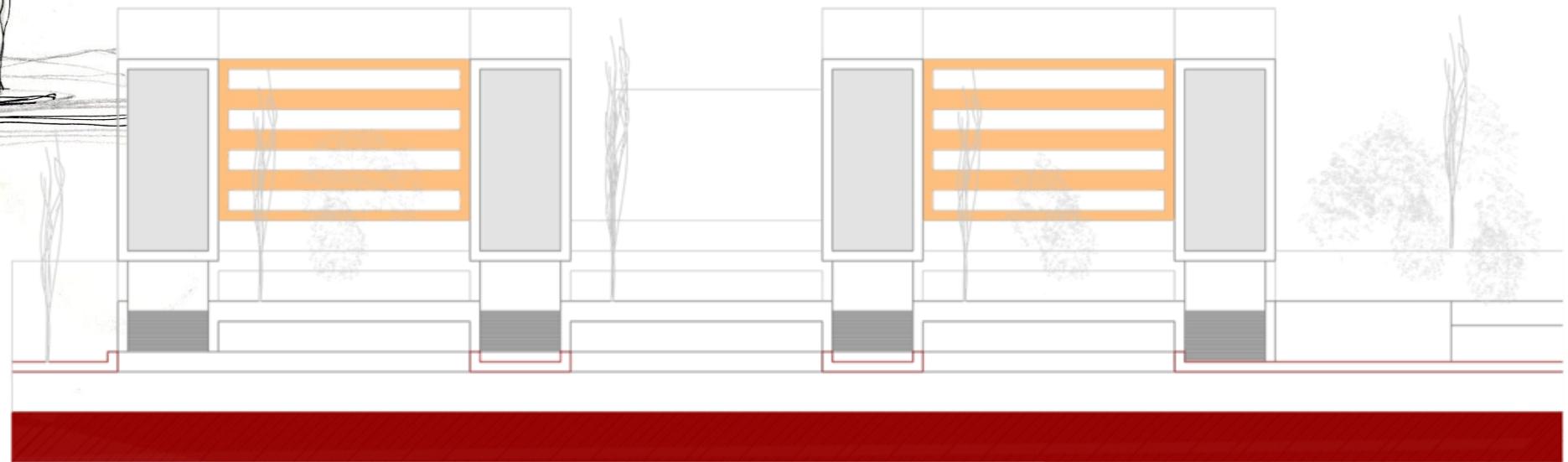
Torre Agbar – Barcelona
Afirmção vertical na cidade



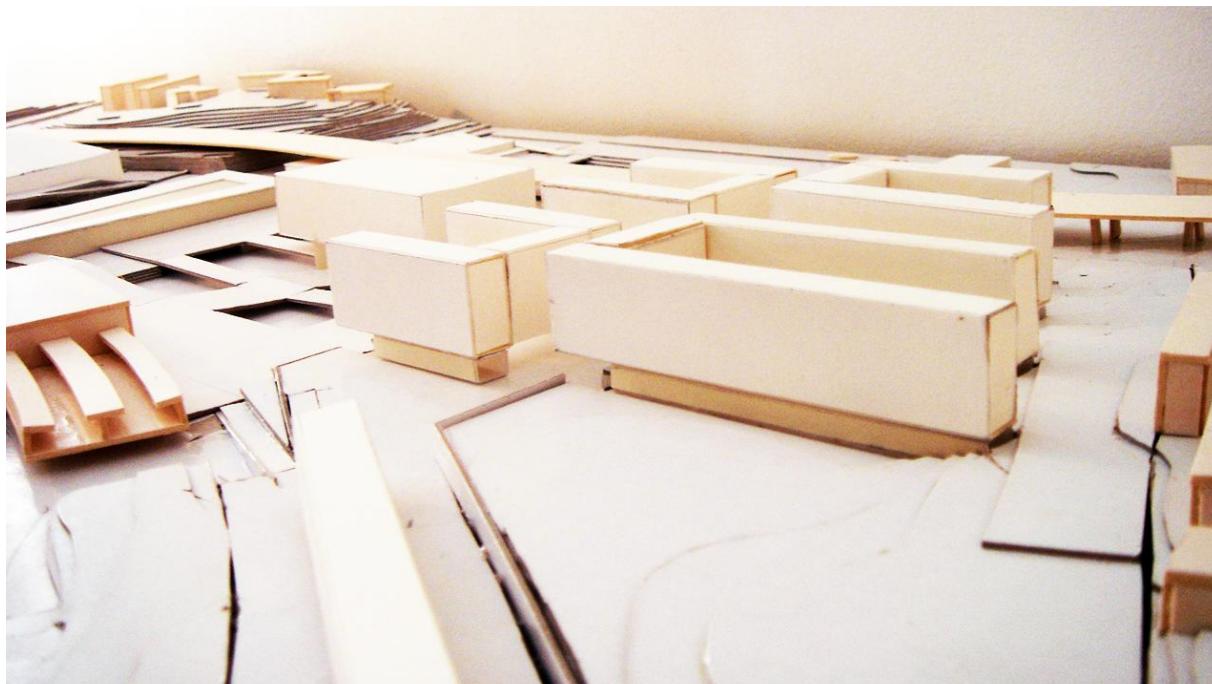
SETE RIOS

PLANO DE PORMENOR

2 _ ZONA HABITACIONAL



2 _ ZONA HABITACIONAL

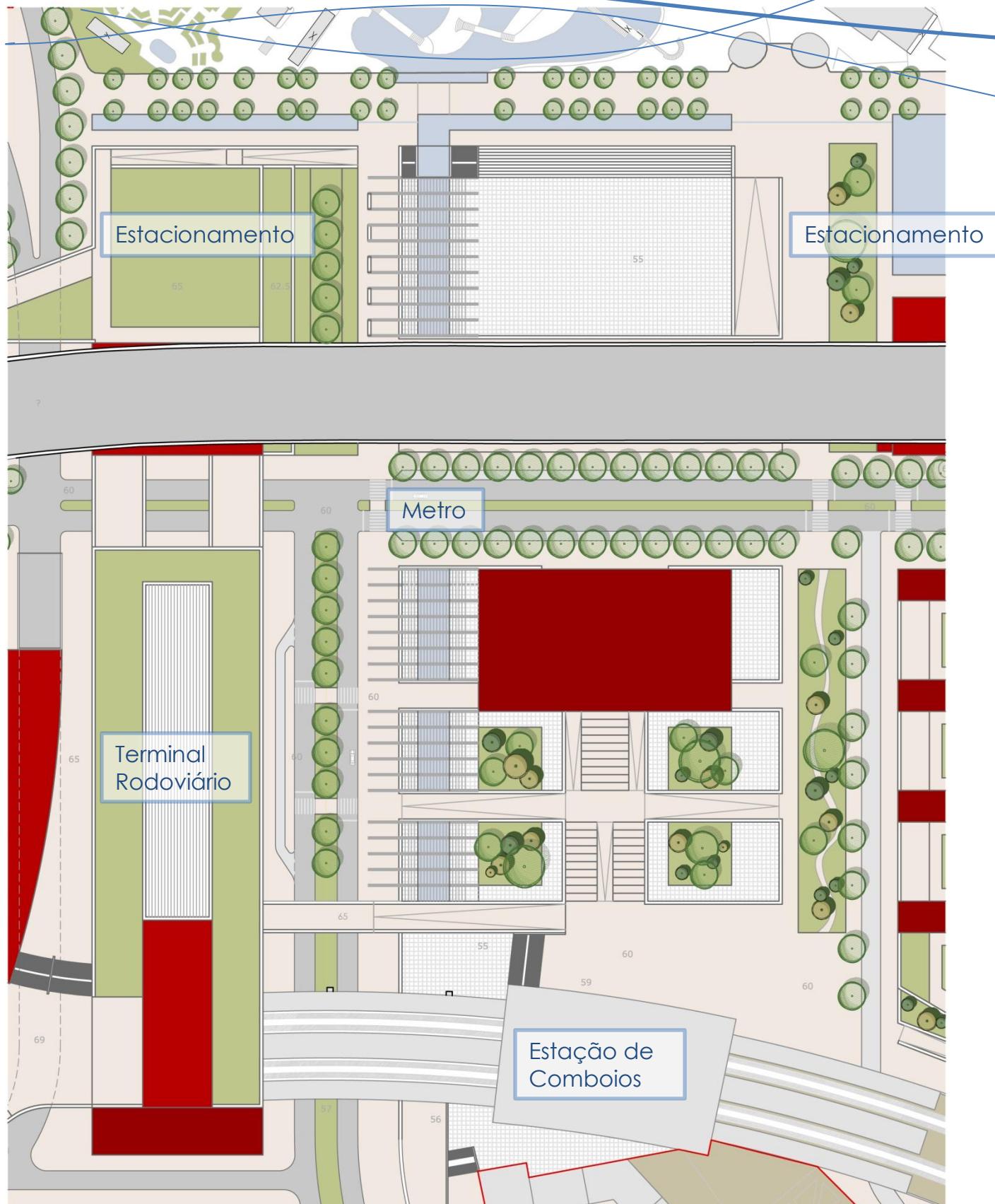


A Zona Habitacional possui uma métrica marcada e ortogonal porque vive sobretudo para a praça. A ideia é criar alinhamentos com o espaço público na praça através de edifícios perpendiculares que asseguram nesse alinhamento a transição de cota, e portanto a mobilidade. No intervalo desses blocos temos assim patamares que beneficiam desta mobilidade. Existe também a preocupação de serem patamares ajardinados, no entanto sem serem solo permeável uma vez que por debaixo terá parque de estacionamento, especialmente para moradores.

O piso térreo dos blocos de habitação é vocacionado a comércio e serviços por forma a assegurar a mobilidade e fruição do espaço nos patamares. O desenho urbano do conjunto quer assegurar também o constante contacto visual para a praça, local de cota baixa, onde a vida corre mais rápida e tudo acontece.

O remate com o alinhamento do Beiro do Rego é feito através de um jardim, que fica afecto à entrada do liceu D. Pedro V, servindo um pouco como miradouro e local de descontração.

3 _ PRAÇA E INTERFACE



A Praça é onde existe um interface entre o Metro, o Terminal Rodoviário e os Comboios. Por isso é um local de grande fluxo de pessoas, se tivermos em conta que está ladeada com estacionamento.

Como forma de estabelecer uma vivência de fruição do espaço, introduz-se o elemento água. Na realidade este elemento surge naturalmente como unificador de um percurso público, tanto pela história do local (Sete Rios) como pela comunicação com o Jardim Zoológico. Propõe-se assim que o lago do Jardim Zoológico possa estender-se pelo espaço público fora gradeamento, inclusive abrindo uma permeabilidade visual que outrora existia (originalmente o gradeamento não estava vedado com chapa metálica como hoje).

Outra razão da manipulação de água enquanto elemento potenciador de qualidade de espaço público prende-se mesmo com o equipamento que serve a praça, nomeadamente a Biblioteca.

Uma Biblioteca é um local essencialmente ligado à busca do conhecimento. Interessantemente a água não raro é comparada com o conhecimento, por exemplo na bíblia: "Antes tem o seu prazer na lei do Senhor, e na sua lei medita de dia e de noite. Pois será como a **árvore plantada junto a ribeiros de águas**, a qual dá o seu fruto no seu tempo; as suas folhas não cairão, e tudo quanto fizer prosperará." Salmos 1:1-3

A Biblioteca quer ser um local público, que nasce no meio do espaço público, e por isso tem o conhecimento para todos como ponto de partida. Inevitavelmente com uma grande incisão nas novas tecnologias, vai além da biblioteca normal, e procura expelir o conhecimento para fora. Fá-lo pelo espaço interior que tem, um género de átrio, que liga as zonas de consulta com os pisos de espaço público e mesmo de circulação. O objectivo é essa "caixa de luz" poder funcionar como um palco aberto do interior para o exterior. A própria escadaria que desce na praça para o piso inferior funciona como uma espécie de bancada.

SETE RIOS

PLANO DE PORMENOR

3 _ PRAÇA E INTERFACE

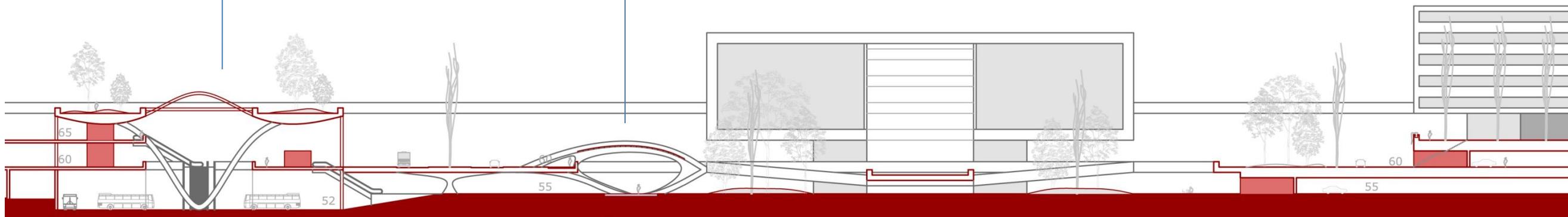
Pelli Transbay Design – San Francisco
Interface de transportes com cobertura ajardinada.



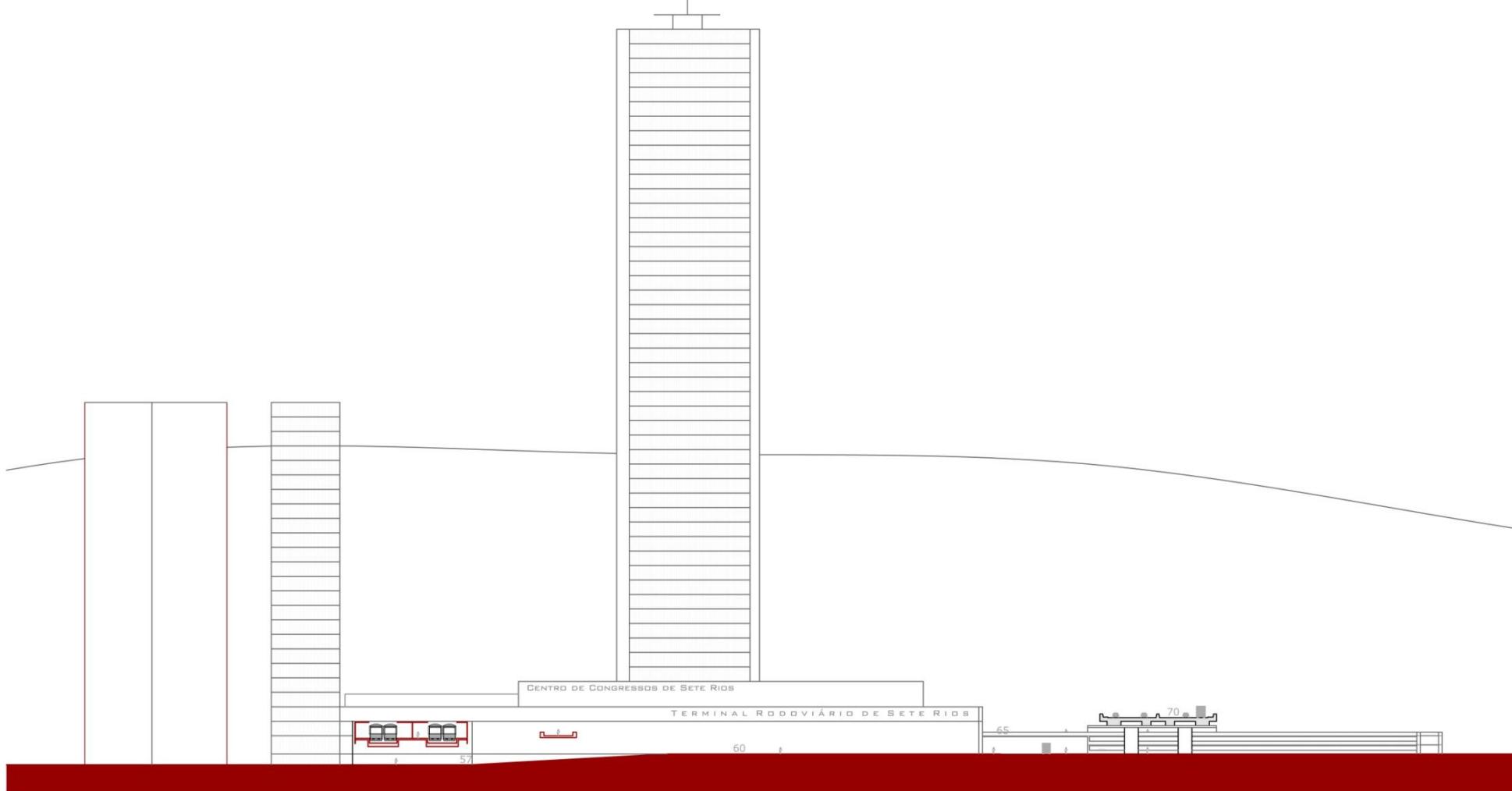
Telheiras – Elemento água ao longo do espaço público



Valência – Estrutura metálica marca o ritmo do percurso com presença da água

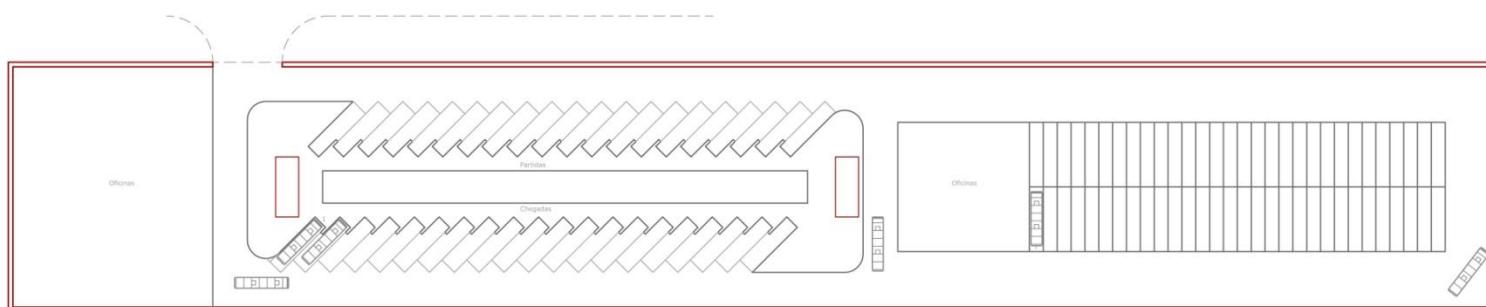


3 _ PRAÇA E INTERFACE



O Terminal Rodoviário funciona à cota 52, estando portanto enterrado, em relação à cota de entrada.
O Terminal funciona em torno de um tabuleiro central iluminado com luz zenital e donde acedem todos os passageiros por descer da plataforma à cota 60.

Alçado do Terminal Rodoviário

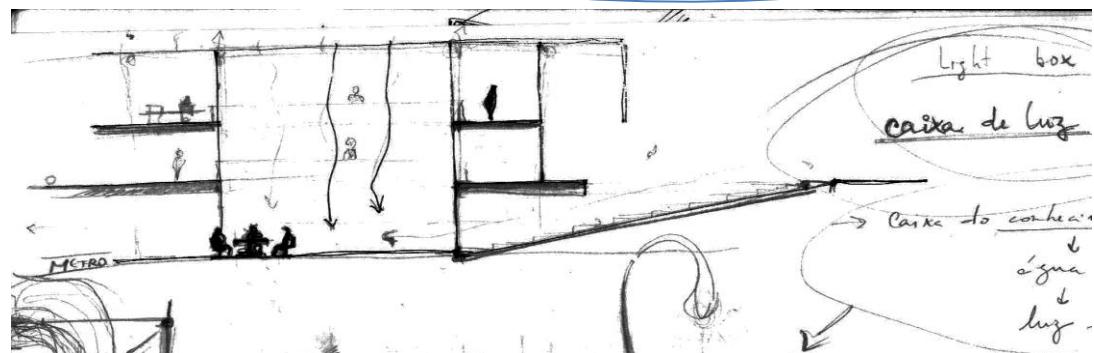


Planta à cota 52 do Terminal Rodoviário

SETE RIOS

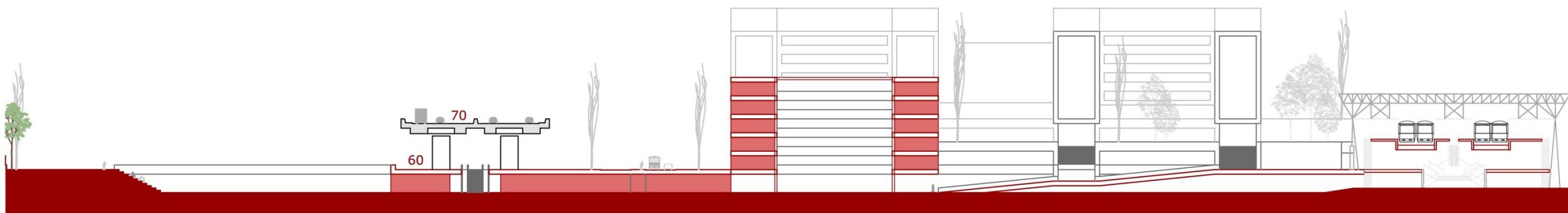
PLANO DE PORMENOR

3 _ PRAÇA E INTERFACE



“Quanto mais conhecemos, mais amamos”
Leonardo da Vinci

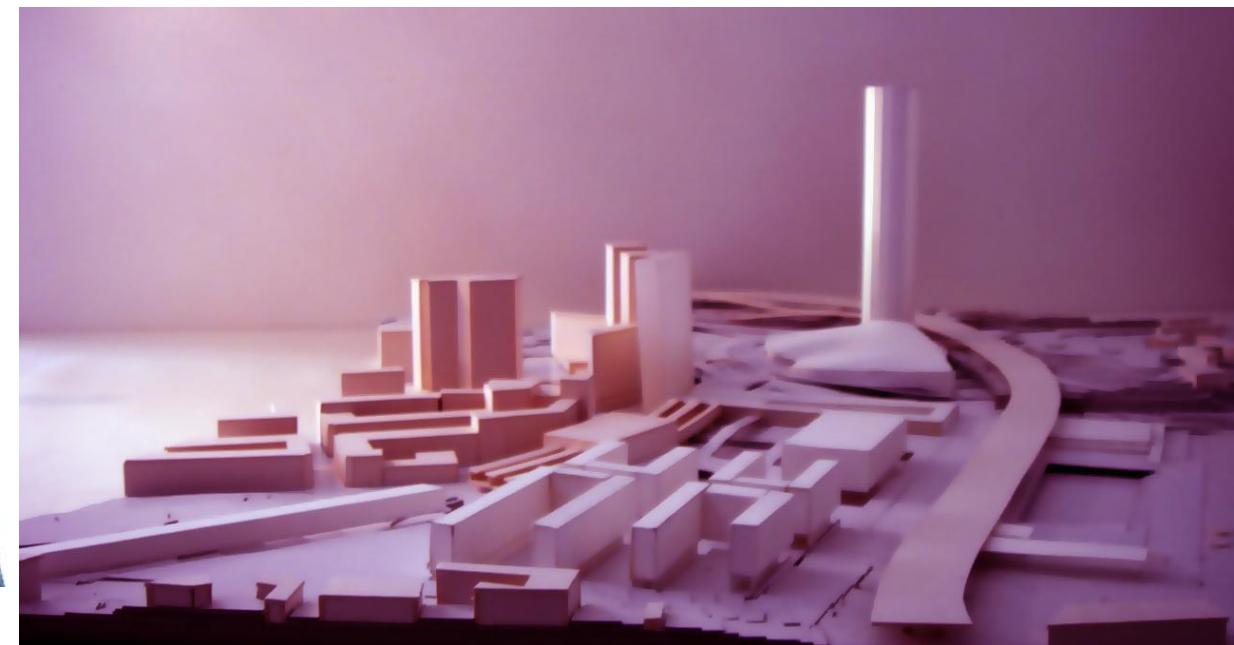
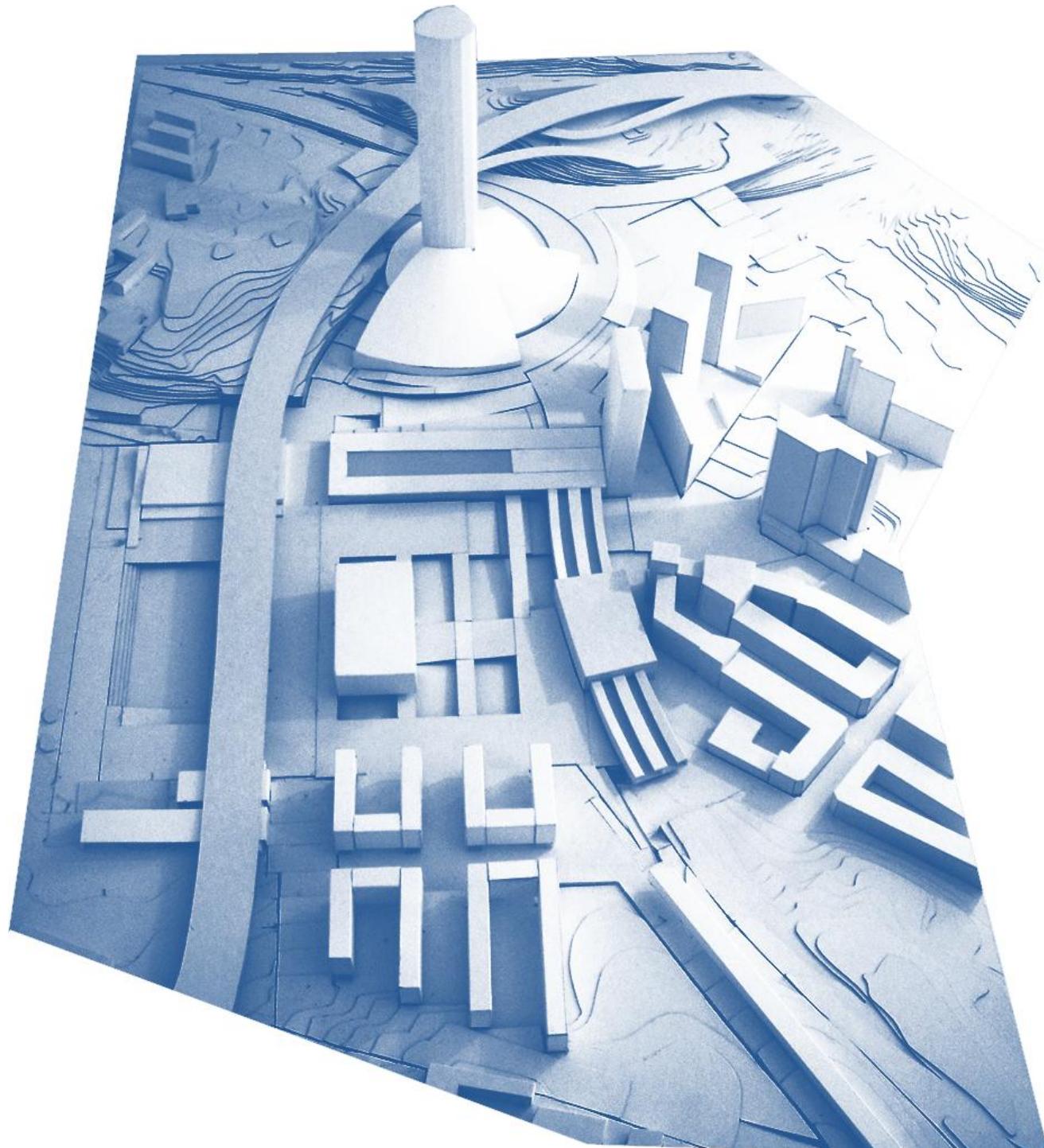
“A vida vai perder-se na morte, os rios no mar e o conhecido no desconhecido. **O conhecimento é a porta do desconhecido.**”
Georges Bataille



SETE RIOS

PLANO DE PORMENOR

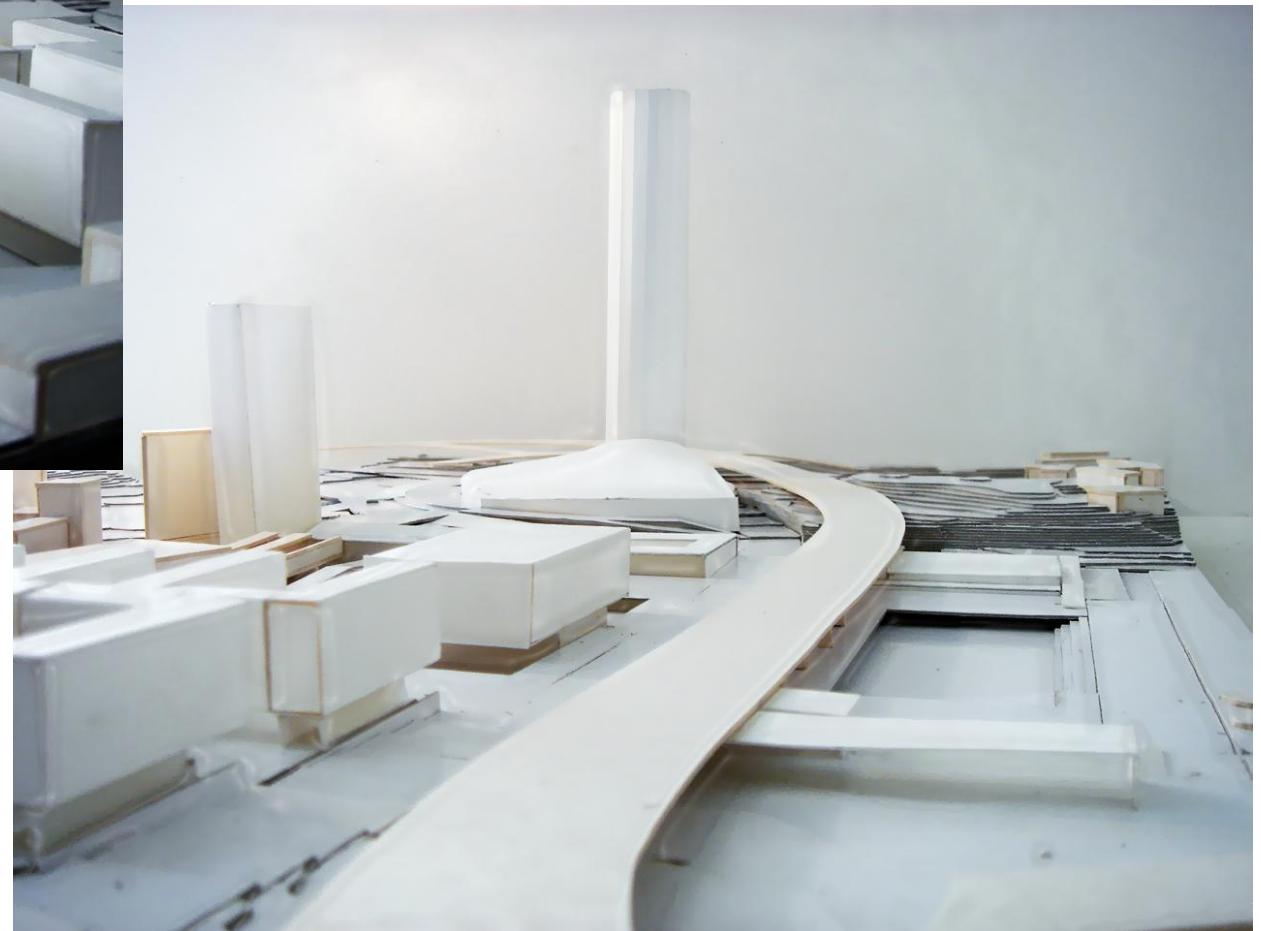
PERSPECTIVAS



SETE RIOS

PLANO DE PORMENOR

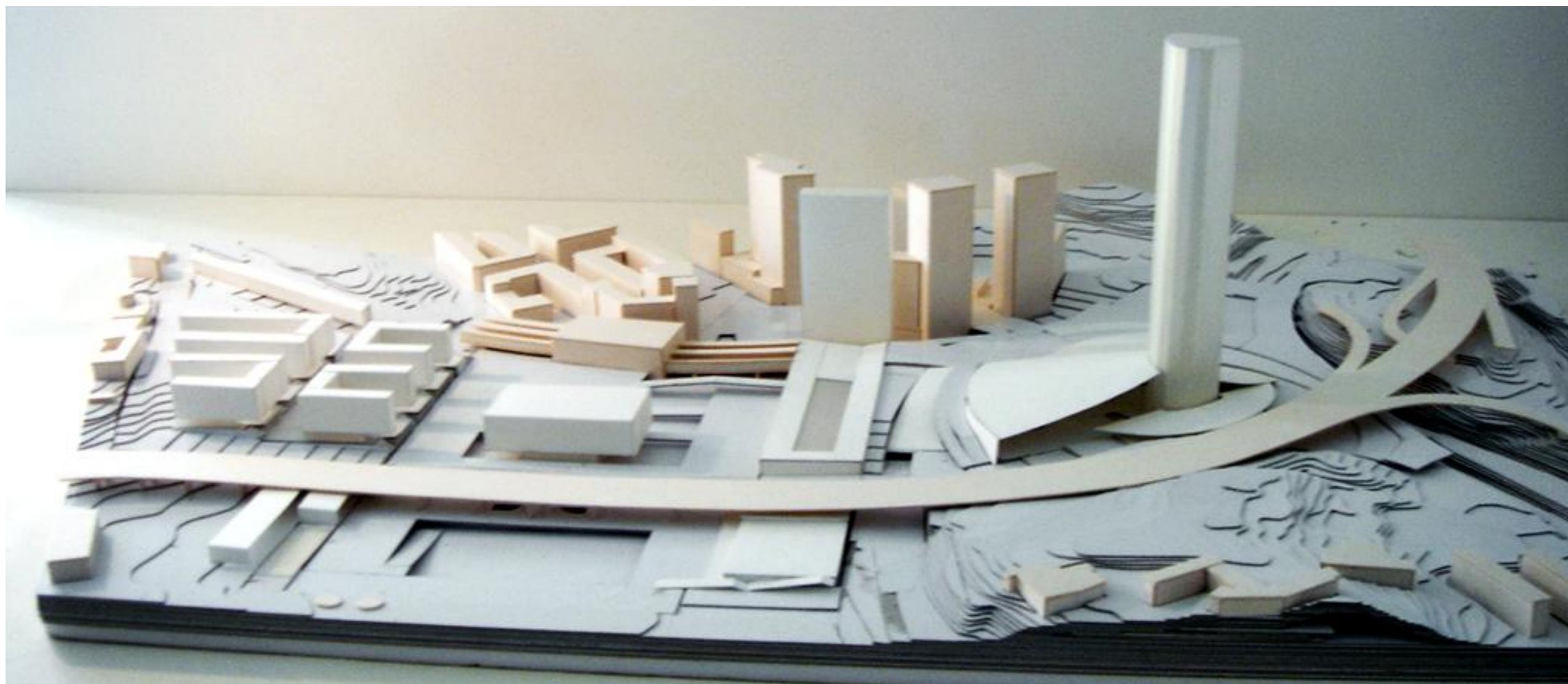
PERSPECTIVAS



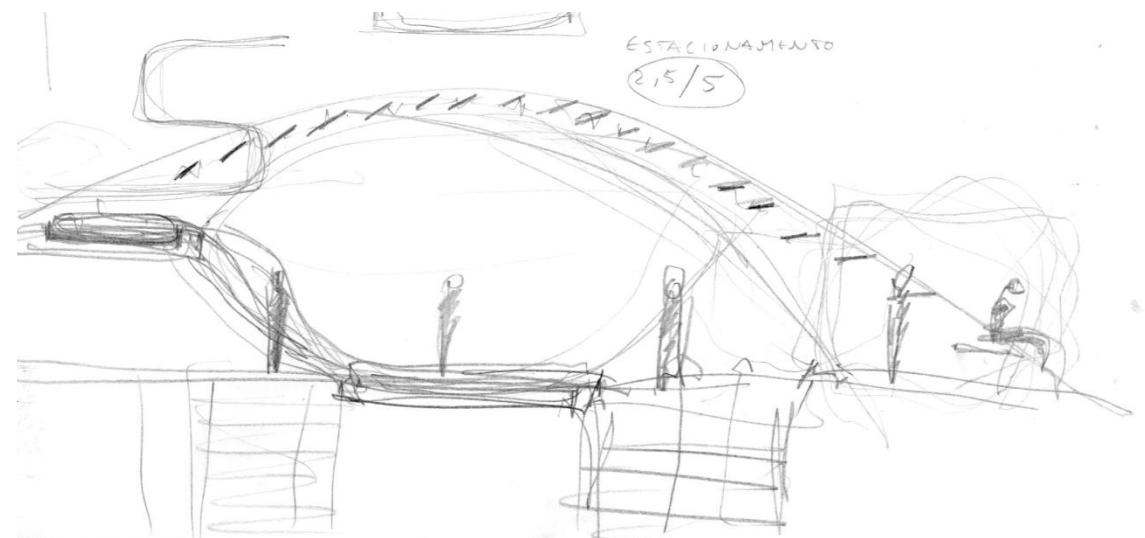
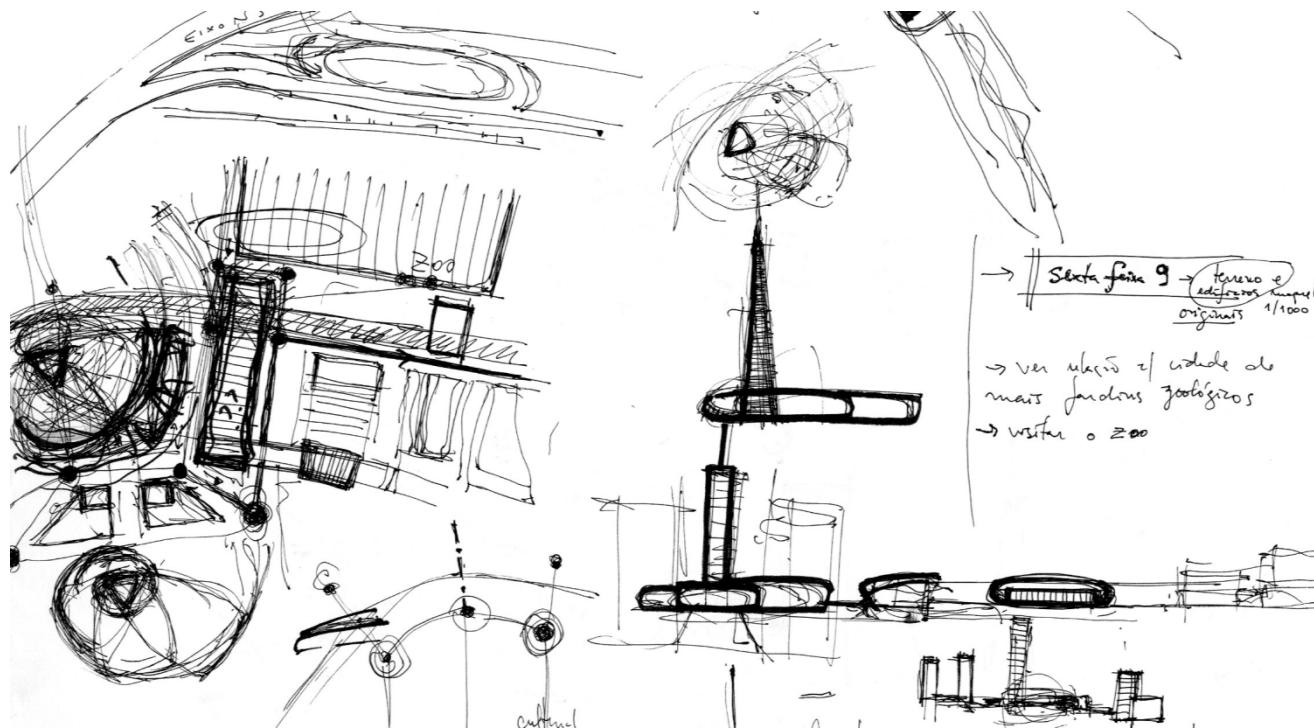
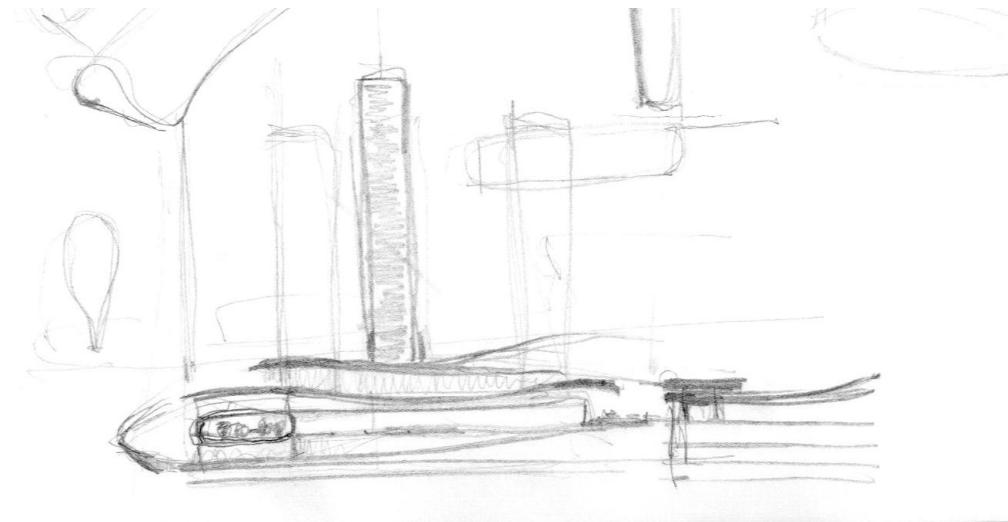
SETE RIOS

PLANO DE PORMENOR

PERSPECTIVAS



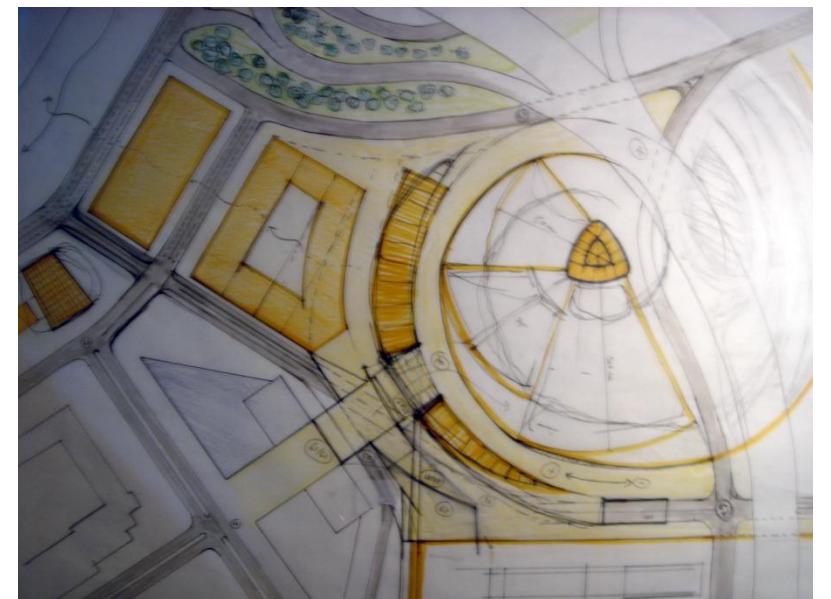
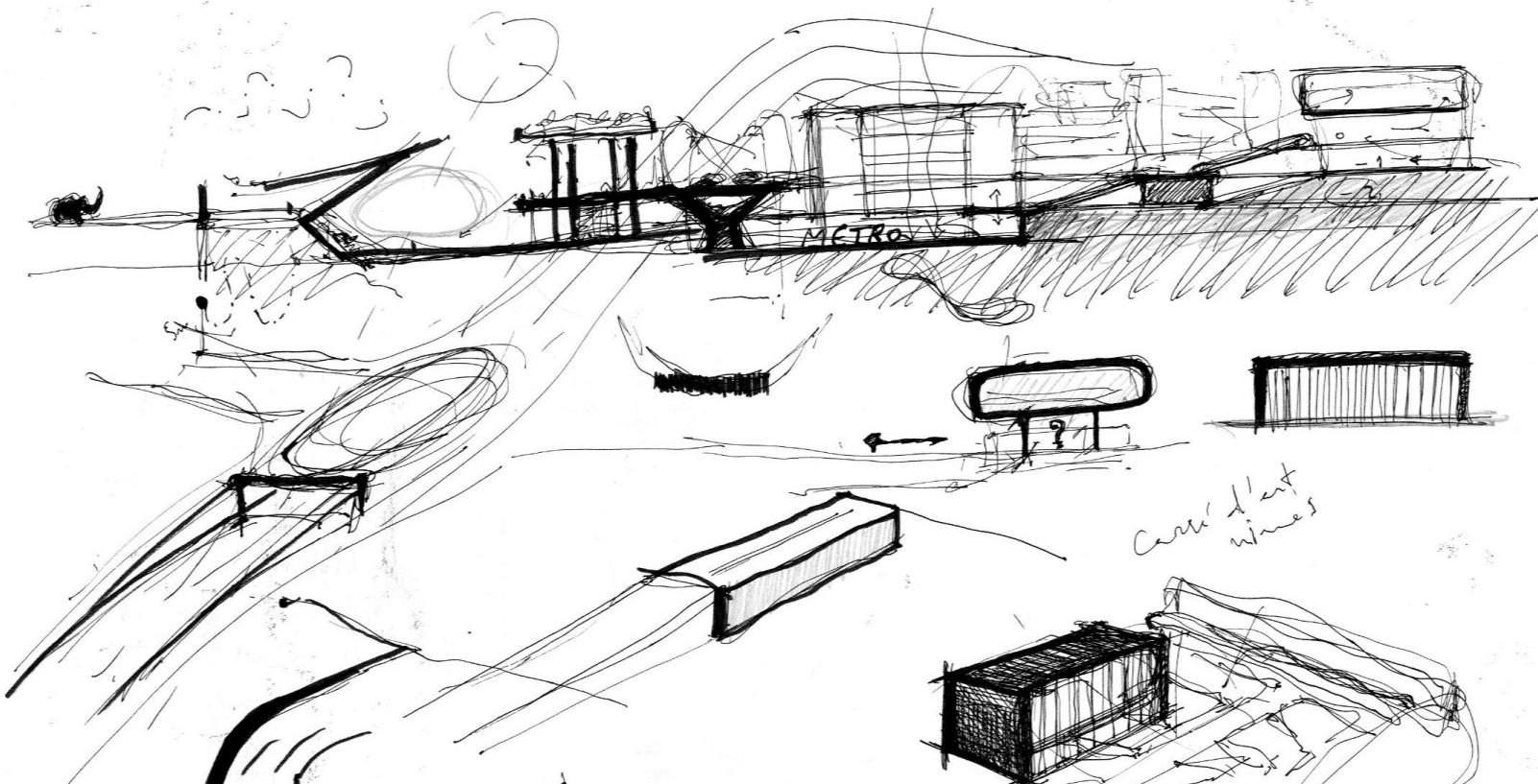
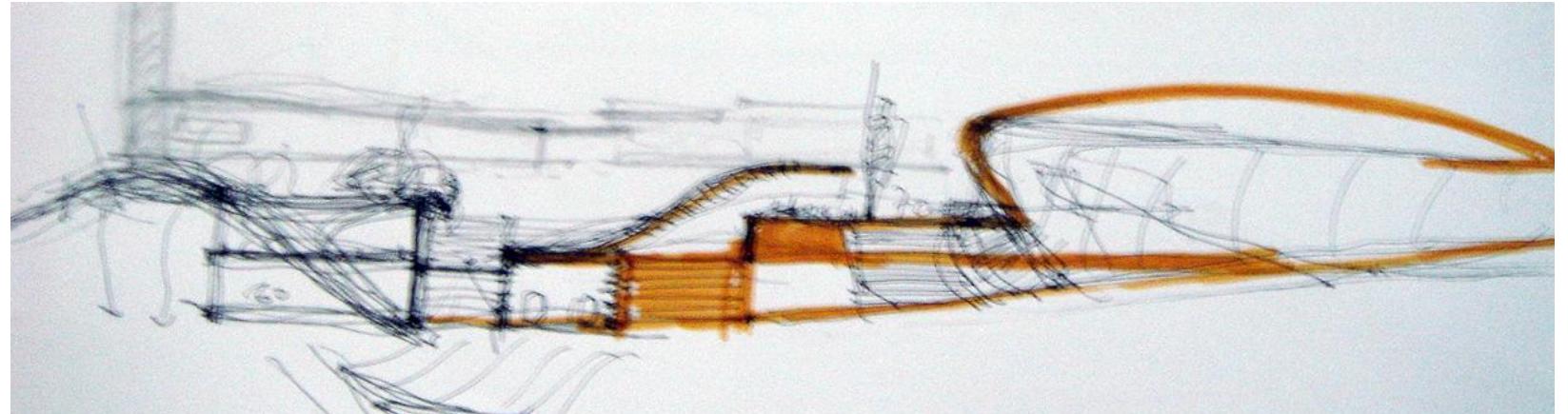
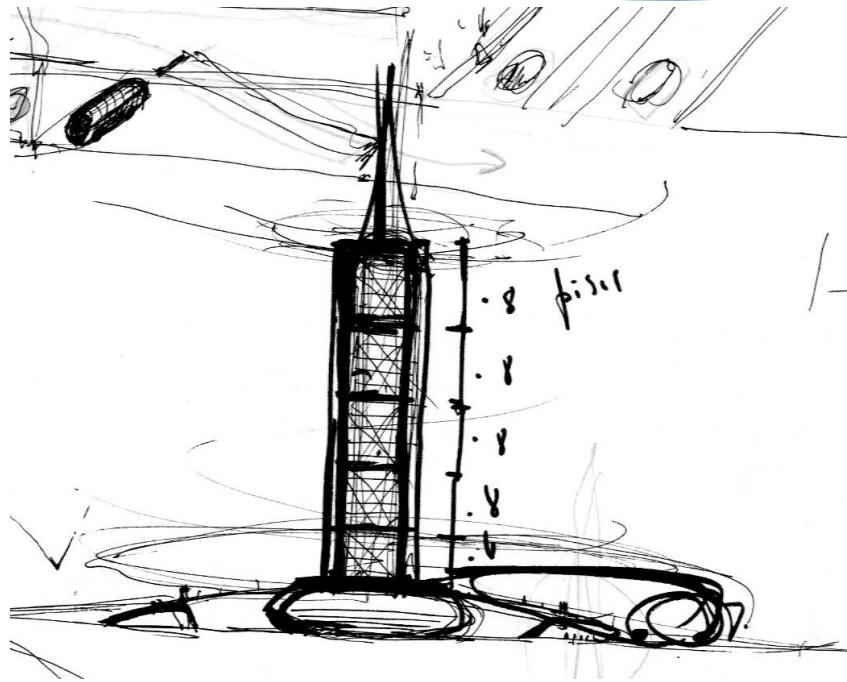
ESQUIÇOS



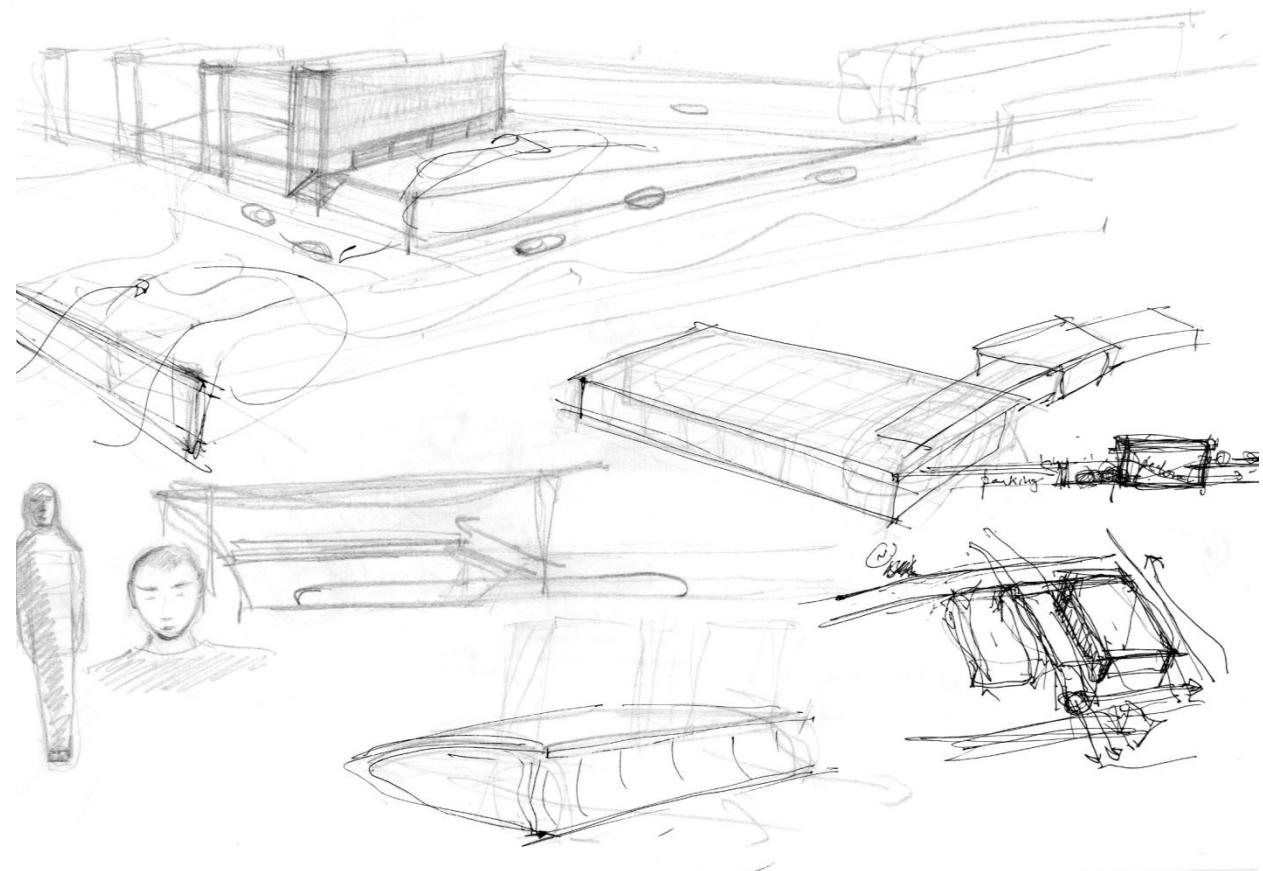
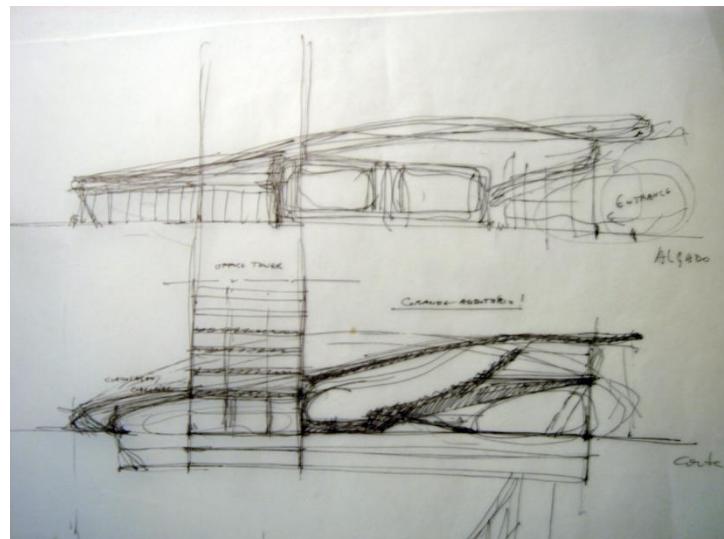
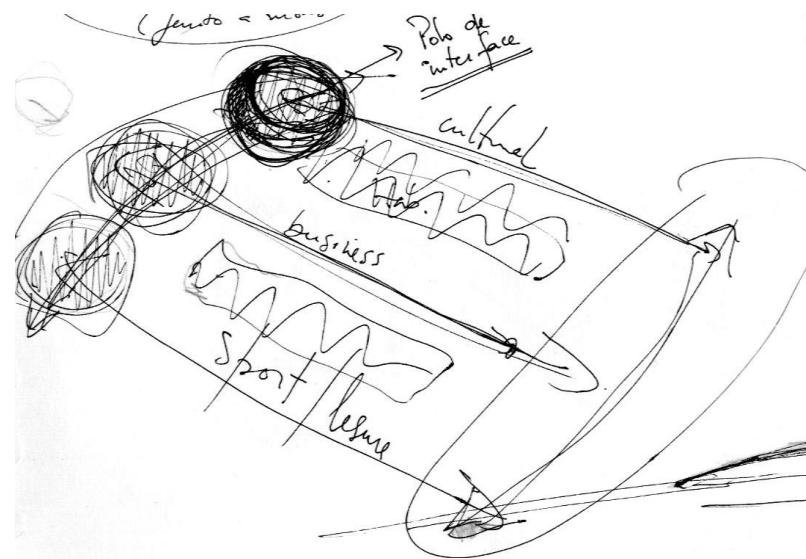
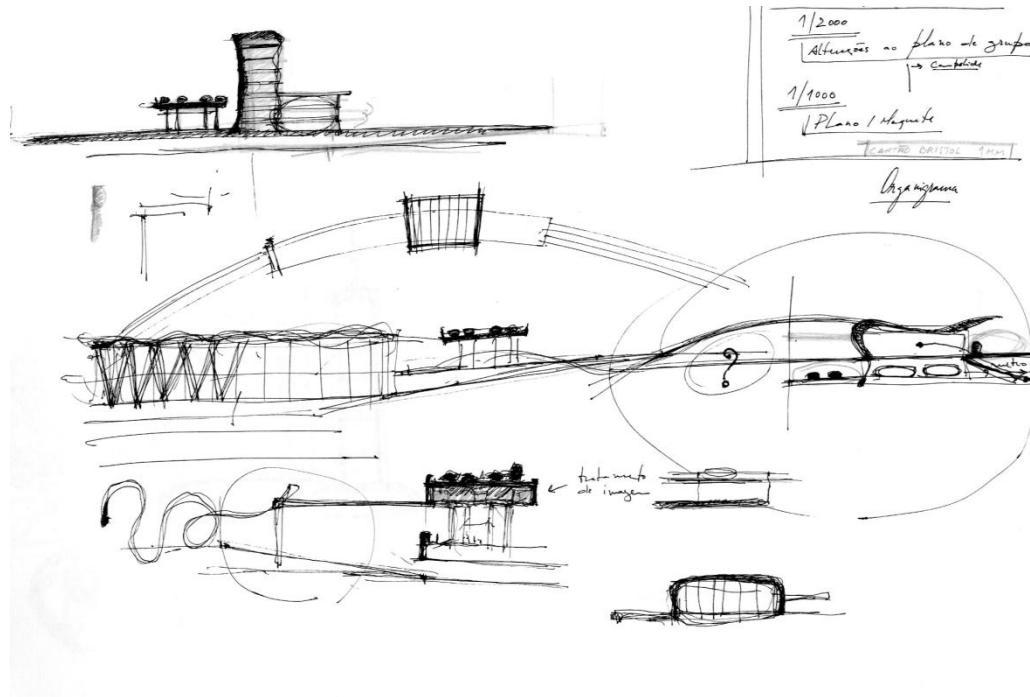
SETE RIOS

PLANO DE PORMENOR

ESQUIÇOS



ESQUIÇOS



SETE RIOS

PLANO DE PORMENOR

ESQUIÇOS

