

CIÊNCIA ACIDADE

M. PAULA SERRA DE OLIVEIRA
FRANCESCO MARCONI

(Página deixada propositadamente em branco)

M. PAULA SERRA DE OLIVEIRA
FRANCESCO MARCONI

CIÊNCIACIDADE



TÍTULO
CIÊNCIA E CIÊNCIA

AUTORES
M. Paula Serra de Oliveira
Francesco Marconi

CONCEPÇÃO GRÁFICA
António Barros

EDIÇÃO
Imprensa da Universidade de Coimbra
E-mail: imprensauc@ci.uc.pt
URL: http://www.uc.pt/imprensa_uc
Vendas online: <http://www.livrariadaimpresa.com>

REVISÃO
Vânia Pereira

PAGINAÇÃO
PMP, Lda

IMPRESSÃO
www.artipol.net

ISBN
978-989-26-0028-4

ISBN Digital
978-989-26-0179-3

DOI
<http://dx.doi.org/10.14195/978-989-26-0179-3>

DEPÓSITO LEGAL
319123/10

OBRA PUBLICADA COM O APOIO

FCT Fundação para a Ciência e a Tecnologia

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E ENSINO SUPERIOR Portugal



ramos catarino

© OUTUBRO 2010, M. PAULA SERRA DE OLIVEIRA FRANCESCO MARCONI / IMPRENSA DA UNIVERSIDADE DE COIMBRA

Prefácio	7
Capítulo I – Uma perspectiva interdisciplinar	10
Interdisciplinaridade: um novo conceito para um antigo modus faciendi.....	10
Interdisciplinaridade em Arquitectura	14
Intuições comuns: a segunda forma de actividade interdisciplinar.....	16
A integração de outros saberes: a primeira forma de actividade interdisciplinar.....	24
Capítulo II – Espaço, tempo e instrumentos	28
Espaço homogéneo e isotrópico	28
Espaço heterogéneo e anisotrópico	28
O Espaço de um tempo “irreversível”	29
Espaços, Tempos e Arquitecturas	33
Espaços e instrumentos.....	34
Capítulo III – Das máquinas às estruturas naturais e aos princípios de optimização	36
Máquinas.....	36
Estruturas artificiais e Princípios de optimização	40
Capítulo IV – A Biomimese revisitada: o corpo e a mente	52
Mimeses	52
Mimese morfológica	52
Mimese metabólica	59
A mimese cognitiva e a percepção da forma	65
Capítulo V – Geometria e geometrias	70
Geometrias não euclidianas.....	70
Geometria Fractal.....	74
Topologia.....	85
Geometrias e padrões	90
Capítulo VI – Arquitecturas digitais.....	92
Capítulo VII – Materiais e metabolismo.....	98
Materiais “desmaterializados”: os Ultramateriais.....	100
Materiais inteligentes.....	102
Imateriais	108

Capítulo VIII – Biofilia	110
Mimese formal e biofilia	110
Estruturas artificiais e Estruturas naturais	115
Plasticidade, Sociedade e Sustentabilidade	117
Capítulo IX – Diálogo interdisciplinar: adaptação, autonomia e complexidade	120
Bibliografia	126
Créditos fotográficos	128

Actual e necessário, CIÊNCIACIDADE convida a reconhecer na ciência não só um universo a frequentar assiduamente mas também um espaço do imaginário, um metafórico distrito da invenção cujo convívio pode oferecer à arquitectura recursos de saber capazes de dar ao projecto novos horizontes criativos.

Franco Purini

Franco Purini é arquitecto, professor da Faculdade de Arquitectura da Universidade La Sapienza de Roma, teórico e crítico de arquitectura. Foi comissário de Itália na Bienal de Veneza de 2006.

PREFÁCIO UM LIVRO ACTUAL E NECESSÁRIO

Embora com intensidade variável a relação com a ciência desde sempre atravessou o campo da arquitectura, fazendo da *arte de construir*, como a chamava Pier Luigi Nervi, o lugar teórico e operativo em que a intenção de plasmar os territórios naturais com a habitação humana, traçando estradas, lançando pontes, edificando cidades e habitações, se deve confrontar, para se tornar efectivo, com as contribuições de uma pluralidade de saberes. Saberes de diferentes etiologias, convocados para se reorganizarem a um outro nível, confluindo na unidade do fenómeno arquitectónico e fundindo-se numa totalidade tectónico-linguística. A óptica, a geometria e as suas diferentes articulações como a estereometria, a perspectiva, a hidráulica, a mecânica, a matemática e desde há alguns anos a informática, a biologia, a economia, a sociologia e a psicologia foram e são componentes fundamentais da arquitectura. Deve no entanto reconhecer-se que no século XIX, como reacção ao positivismo, as vanguardas intelectuais tentaram substituir a centralidade do pensamento científico por princípios formativos isto é, princípios essencialmente intuitivos, embora permeados por um certo esoterismo, através dos quais se foram definindo progressivamente soluções compositivas e aproximando a arquitectura à dimensão da arte. Por esta razão nasceu, sobretudo no interior da Bauhaus no âmbito da qual as vanguardas foram sintetizadas e portanto *racionalizadas*, algo como uma *ciência da composição* que unificou a teoria da cor, o pensamento “gestáltico”, as lógicas associativas e combinatórias e posteriormente a gramatologia, esta última contribuição tendo surgido sobretudo nos Estados Unidos. A arquitectura moderna sublinhou deste modo os seus aspectos figurativos, seguindo de forma determinante a autoreferenciação da escrita perspectivada exclusivamente no plano de uma pesquisa plástico-espacial.

Perante esta deriva *formalizante* a técnica, transformada em tecnologia, isto é uma *mais valia discursiva* da própria técnica que se assumiu como uma ideologia da eficiência e da exactidão, assistiu a uma progressiva utilização instrumental das ciências, perdendo-se assim aquela familiaridade *vitruviana* entre a arquitectura e os conhecimentos científicos que em outras épocas tinham penetrado todos os aspectos do construir. Deve reconhecer-se também que a grande pressão a que a arquitectura foi submetida no decorrer do século passado, causada pela necessidade de resolver de forma rápida os numerosos e dramáticos problemas colocados pela revolução industrial, com o rápido crescimento das cidades e a consequente multiplicação dos conflitos numa sociedade massificada, contribuiu de forma determinante para aumentar o fosso entre ciência e arquitectura. Tal pressão colocou em primeiro plano o problema habitacional, que foi perspectivado como um “investimento de conhecimento” que limitou a inovação aos aspectos sociais e à racionalização dos métodos construtivos. Se exceptuarmos a forma, esta emergência de problemáticas de carácter quantitativo remeteu para um cone de sombra os aspectos qualitativos do projecto de arquitectura, aspectos estes que deveriam resultar de um equilíbrio entre instâncias científico-inovativas e instâncias figurativas.

O livro de Maria Paula Serra de Oliveira e Francesco Marconi propõe uma recomposição da relação interrompida entre arquitectura e ciência. Em nove capítulos densos os dois autores, uma matemática e um arquitecto, exploram um contexto teórico extenso, múltiplo e articulado, recozendo os fios

de um discurso desde há muito abandonado. Evocando a obra profética de Richard Buckminster Fuller, colocam em evidência a presença de formas do passado no novo, o que constitui uma espécie de paradoxo temporal. O grande arquitecto americano é considerado como o portador de uma verdadeira revolução projectual pois com ele a arquitectura recupera, com uma dimensão cósmica, o conjunto dos campos do conhecimento que a sustentam.

Começando por reinterpretar o conceito de interdisciplinaridade, os autores interrogam-se em seguida sobre os conceitos de espaço e tempo, sobre as possíveis relações da arquitectura com os territórios da biologia e das geometrias não euclidianas e ainda sobre a eventual emergência de novos paradigmas baseados no universo do digital. Por fim sugerem uma tradução arquitectónica do conceito de metabolismo e exploram as potencialidades dos novos materiais, organizados segundo uma taxonomia interessante e rigorosa. O tratamento dos argumentos é claro e completo, sendo acompanhado por um conjunto iconográfico exaustivo e que acentua a intensidade do discurso. Está escrito numa prosa límpida e fluida que não ilude a complexidade das questões discutidas, expondo-as em sequências discursivas compactas e coerentes. O livro termina com a descrição de uma possível paisagem disciplinar na qual a sustentabilidade é protagonista de uma nova visão da arquitectura, reconciliada com as exigências ambientais e com a necessidade de experimentação de soluções avançadas.

CIÊNCIACIDADE coloca um problema importante. A relação entre as duas entidades, a arquitectura e a ciência, uma vez consolidada, não pode desenvolver-se só no sentido de uma maior interacção entre as razões subjectivas da forma, tecida de aleatoriedade, as motivações imprevisíveis, os elementos casuais e as razões dos saberes objectivos. Maria Paula Serra de Oliveira e Francesco Marconi sugerem que a ciência pode tornar a arquitectura mais consciente das suas finalidades, desde que seja perspectivada na sua plenitude, e que sejam ultrapassados os obstáculos cognitivos que suscita e que desafiam a compreensão do arquitecto, melhorando a sua capacidade de pensar e de agir perante as múltiplas direcções teóricas que ela propõe. Estas múltiplas direcções teóricas apontam para uma simultaneidade de linhas de investigação, que não devem ser consideradas como ulteriores condicionantes de um pensamento intrínseco ao âmbito disciplinar da arquitectura, mas como um importante estímulo a uma abordagem mais aberta e mais versátil dos problemas. Um livro actual e necessário, CIÊNCIACIDADE convida a reconhecer na ciência, não só um universo a frequentar assiduamente mas também um espaço do imaginário, um metafórico *distrito da invenção* cujo convívio pode oferecer à arquitectura recursos de saber capazes de dar ao projecto novos horizontes criativos.

Franco Purini

CAPÍTULO I

Uma perspectiva interdisciplinar

CAPÍTULO II

Espaço, tempo e instrumentos

CAPÍTULO III

Das máquinas às estruturas naturais e aos princípios de otimização

CAPÍTULO IV

A Biomimese revisitada: o corpo e a mente

CAPÍTULO V

Geometria e geometrias

CAPÍTULO VI

Arquitecturas digitais

CAPÍTULO VII

Materiais e metabolismo

CAPÍTULO VIII

Biofilia

CAPÍTULO IX

Diálogo interdisciplinar: adaptação, autonomia e complexidade

CAPÍTULO I UMA PERSPECTIVA INTERDISCIPLINAR

“Architecti est scientia pluribus disciplinis et variis eruditionis ornata, (cuius iudicio probantur omnia quae a ceteris artibus perficiunt opera). Ea nascitur e fabrica et ratiocinatione...”.

Vitruvio

¹ A teoria das partículas de Newton relegou-a para segundo plano até que Young e Frenel estabeleceram que a luz se podia comportar como uma onda. Mais tarde Bohr propôs a teoria da dupla natureza da luz: como partícula e como onda.

Interdisciplinaridade: um novo conceito para um antigo *modus faciendi*.

A primeira referência à teia de saberes em que se insere a arquitectura surge presumivelmente com Vitruvio no século I antes de Cristo. No seu livro *De architectura*, o autor define as qualidades essenciais da arquitectura como sendo a solidez, a utilidade e a beleza – Firmita, Utilitas, Venustas – e afirma que *“Architecti est scientia pluribus disciplinis et variis eruditionis ornata, (cuius iudicio probantur omnia quae a ceteris artibus perficiunt opera). Ea nascitur e fabrica et ratiocinatione...”* isto é «A ciência do arquitecto está ornada de muitas e várias ciências de erudição (por cujo julgamento se prova tudo o que é realizado pelas outras artes). Esta erudição nasce da construção e do raciocínio...”.

Vitruvio descreve com detalhe aquele amplo conjunto de relações de saber em que a arquitectura se insere, algo que poderíamos designar hoje como o seu carácter interdisciplinar, sublinhando as ligações que a disciplina deveria estabelecer com a filosofia, a matemática, a astronomia, a música e, curiosamente, a medicina.

Começemos por esclarecer o significado do conceito de interdisciplinaridade num contexto mais amplo que ultrapassa o domínio da arquitectura. Ocorre então perguntar se será este um conceito recente, definidor de uma nova forma de produção de conhecimento. A resposta a esta questão parece ser negativa. De facto, através dos tempos e de um modo geral, o progresso do conhecimento sempre foi feito por operações de atravessamento de fronteiras, operações estas que muitas vezes consistiram em tomar de empréstimo técnicas, métodos ou teorias, peculiares a uma certa disciplina, ou a uma

Figura 1A: Representação do frontispício de uma tradução francesa do livro *De architectura* de Vitruvio.



1A

certa área do conhecimento, e aplicá-los, por analogia, à resolução de problemas de outra área disciplinar. A analogia, termo que significa concordância ou correspondência entre coisas ou factos distintos, ajuda a construir novos conhecimentos com base em conhecimentos prévios. São inúmeros os exemplos de explicações por analogia que, ao longo da história, se produziram entre domínios do saber próximos: a explicação da propagação do som, a partir da propagação das ondas de água, explicação proposta primeiro pelo filósofo grego Chrysippus no século III AC e retomada dois séculos mais tarde por Vitruvio; a explicação da propagação da luz, com base na propagação do som, feita por Huyghens no século XVII¹; a proposta de Rutherford, no século XX, de um dos primeiros modelos de átomo construído à semelhança do modelo do sistema solar em que os electrões se movem em órbitas em torno do núcleo tal como os planetas se movem em torno do sol. Afastemos agora os domínios de saber entre os quais se produzem explicações por analogia. São inúmeros também neste caso os exemplos

Figura 1B: Ilustração desta mesma edição, evocando as relações da arquitectura com a astronomia.



1B



2

² De viribus electricitatis in motu musculari commentarius. Bologna: Ex typographia Instituti Scientiarum, 1791. Augustus C. Long Health Sciences Library, Archives & Special Collections.
³ Rene Descartes, Traité de l'Homme.

históricos do atravessamento de fronteiras disciplinares. Na área da biologia, a explicação da circulação sanguínea, foi feita por Harvey, no século XVII, em termos de conceitos de força e volume, conceitos estes que Harvey retirou então do corpo teórico da física; a explicação do funcionamento da visão foi esboçada, no início do século XVII por Kepler e mais tarde por Descartes, utilizando o conceito físico de raio luminoso e a óptica geométrica; a descrição dos mecanismos respiratórios foi feita por Lavoisier, no século XVIII, utilizando conceitos químicos relacionados com a combustão; a relação entre a contração muscular e a informação nervosa, proposta por Galvani, ainda no século XVIII, baseou-se em princípios de electricidade, tendo ele utilizado uma experiência relativa a descargas entre eléctrodos para fundamentar os seus argumentos; a explicação da evolução das espécies foi feita por Darwin usando evidências geológicas; na descoberta da dupla hélice do ADN houve de algum modo uma certa influência do desenvolvimento da mecânica quântica e da cristalografia.

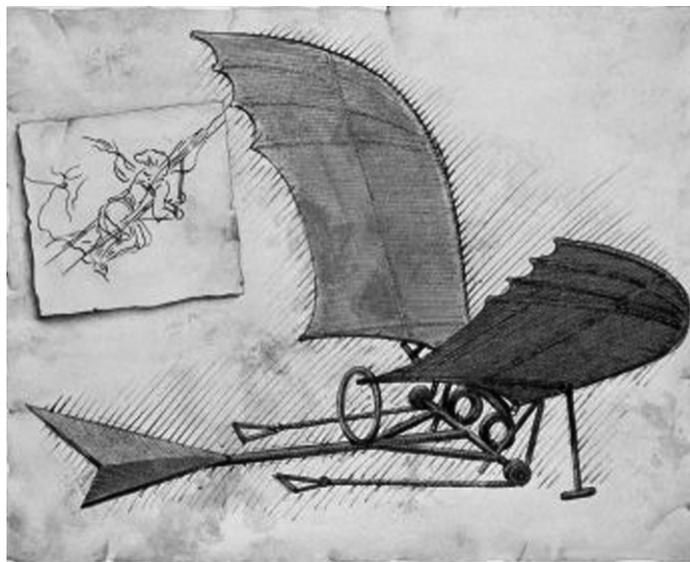


3

Figura 2: O laboratório de Galvani em Bolonha²
 Figura 3: Diagrama da visão e a paralaxe³



4A



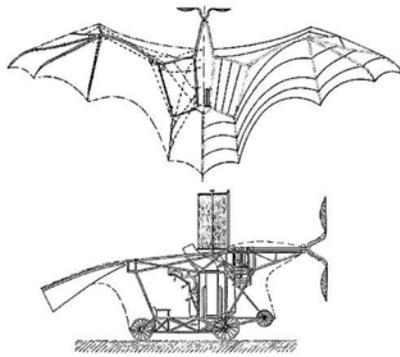
4B

Para os fenômenos biológicos que ocorrem nos sistemas circulatório, respiratório e nervoso, Harvey, Lavoisier, Galvani, Kepler e Descartes procuraram explicações baseadas em informações relativas a fenômenos físicos e químicos. A biologia, à data ciência menos estruturada, tomou de empréstimo um corpo teórico pertencente à física e à química, ciências então mais consolidadas. Uma explicação de mecanismos biológicos de natureza complexa foi, neste sentido, reduzida e produzida por analogia com mecanismos físicos e químicos conhecidos. Fluxos informativos em sentido contrário – isto é da biologia para a física e em particular para a mecânica – permitiram, a Leonardo da Vinci, projectar as suas máquinas voadoras, inspirando-se na anatomia de pássaros e morcegos. Curiosamente, séculos mais tarde, foi ainda o estudo das características anatómicas

dos morcegos que permitiu a Clément Ader⁴ a invenção de uma máquina voadora. A história da navegação está também ela ligada a fluxos informativos que migraram da biologia para a mecânica. A locomoção de animais aquáticos, como por exemplo os cefalópodes, sugeriu a ideia da utilização da propulsão por jacto, que é o movimento que se produz, em sentido contrário, quando se envia um fluido numa determinada direcção. De entre os animais aquáticos o que tem uma locomoção mais rápida, usando a propulsão, é a lula que possui uma cavidade cheia de água entre uma camada muscular exterior e uma outra que envolve os seus órgãos internos. A contracção desta camada muscular externa produz a saída da água e um movimento em sentido contrário, princípio este que pode ser aplicado não só ao movimento de um barco, ou de um submarino, mas também ao de um avião. O movimento dos

⁴ Engenheiro de nacionalidade francesa (1841-1926)

Figuras 4A e 4B: Estudos para uma máquina voadora de Leonardo da Vinci

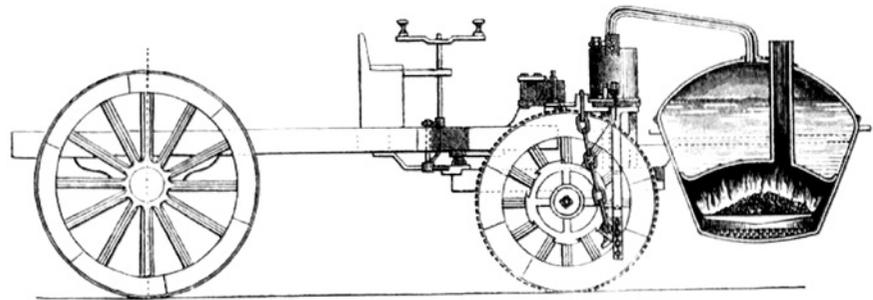


5

cefalópodes tem sido tão inspirador que ainda recentemente cientistas americanos, da Universidade de Colorado, baseando-se no princípio que está na base da sua propulsão, projectaram um novo tipo de gerador que vai permitir grande precisão nas manobras de submarinos.

Os primeiros veículos que usaram o motor de combustão foram concebidos à imagem de um carro de cavalos, assemelhando-se a um contentor com rodas. Tinham pouca autonomia e atingiam velocidades muito reduzidas. O primeiro carro, que exibiu uma certa autonomia, foi construído por Cugnot em 1769 e atingia a velocidade de seis quilómetros por hora. O veículo tinha que parar de quinze em quinze minutos para produzir o vapor que o fazia mover. Também no campo dos veículos automóveis ocorreu um interessante episódio de inovação por analogia. Os automóveis actuais têm formas

Figura 5: A máquina voadora de Clément Ader

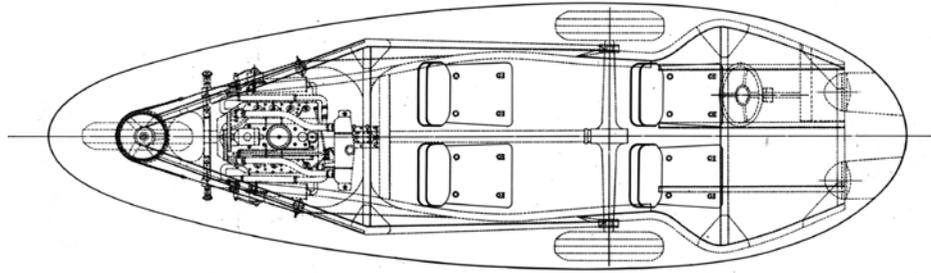


6

aerodinâmicas, muito maior autonomia, atingem grandes velocidades, possuem excelentes índices de segurança e conforto e, alguns deles, emitem pequenas quantidades de substâncias poluentes. Para perceber como surgiram estas profundas alterações, recordemos o primeiro automóvel, cuja forma constituiu uma ruptura com o que até então se produzia e que foi concebido pelo arquitecto americano Buckminster Fuller. Como é que Fuller inovou? Foi o conhecimento da Mecânica dos Fluidos que permitiu a Buckminster Fuller desenhar, em 1933, o automóvel que apelidou de Dymaxion⁵, nome resultante da composição das palavras 'dynamic', 'maximum' e 'tension'. Este automóvel podia atingir uma velocidade de cento e noventa quilómetros por hora, valor que triplicava a velocidade máxima que os carros, então fabricados, atingiam. Para construir o Dymaxion, Buckminster Fuller reflectiu sobre o

⁵ Dymaxion é o nome com que foram patenteados um conjunto de três protótipos: um automóvel, uma habitação e um mapa da terra obtido através da sua projecção sobre um icosaedro.

Figura 6: Representação do veículo de Cugnot



7A

facto que a forma de uma gota de chuva que cai na atmosfera é variável no tempo para otimizar a resposta à resistência atmosférica: primeiro é esférica, assumindo progressivamente a forma de uma lágrima. Estabeleceu então uma analogia com a resistência atmosférica a que está submetido um veículo em movimento, projectando a forma óptima representada na figura 7.

Os fluxos informativos continuam a atravessar continuamente as fronteiras disciplinares em todos os sentidos: a economia introduz modelos mecânicos e cibernéticos como instrumentos de apoio à decisão; a biomedicina usa o reconhecimento de padrões e conhecimentos da física das partículas, a ciência dos materiais fabrica novos produtos que simulam propriedades de materiais biológicos.

Parece então plausível afirmar que o diálogo entre campos disciplinares sempre esteve presente, de modo mais ou menos explícito, no desenvolvimento dos saberes e por consequência na formação das disciplinas. A explicação por analogia representa historicamente um dos primeiros sinais de interdisciplinaridade e

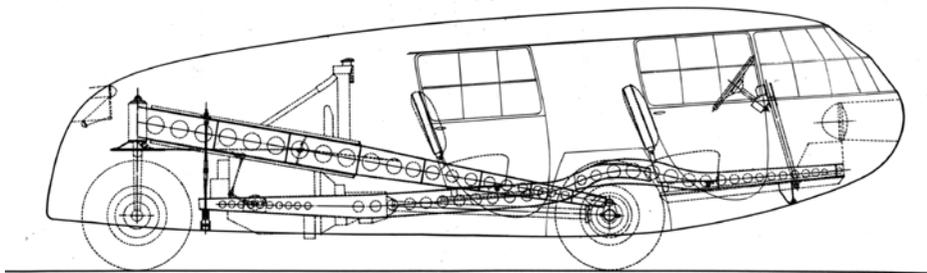
a formação das áreas disciplinares foi e continua a ser um processo dinâmico. O arquipélago disciplinar existente num certo momento histórico reflecte o grau de desenvolvimento que atingiu nesse momento o trabalho de análise nos diferentes domínios do saber. As disciplinas em presença interagem, muitas vezes, porque os problemas exigem abordagens de múltiplos pontos de vista, podendo esta interacção conduzir à criação de novos instrumentos, teorias ou métodos e vir a constituir o embrião de uma nova disciplina.

Os exemplos que referimos, e muitos outros que abundam em todas as áreas do saber, permitem-nos afirmar que a moderna caracterização da produção do conhecimento como um processo interdisciplinar consiste afinal na formalização de um antigo *modus faciendi*.

Interdisciplinaridade em Arquitectura

O diálogo interdisciplinar surge também entre áreas do conhecimento que do ponto de vista

Figuras 7A e 7B: Projecto do veículo Dymaxion de Buckminster Fuller
© cortesia The Estate of R. Buckminster Fuller



7B

epistemológico e fenomenológico se poderiam considerar distantes. Neste caso os atravessamentos de fronteira, as migrações de conceitos, métodos e teorias devem ser analisados de modo particularmente cuidadoso. De facto, a utilização de certos conceitos científicos da matemática, da física, da química ou da biologia em domínios como as ciências sociais, as humanidades, as artes ou a arquitectura, pode assumir um significado exclusivamente metafórico, não representando um avanço real do conhecimento em tais domínios, e podendo até configurar em alguns casos uma nova “Impostura Intelectual”⁶. Se é inegável que o avanço do conhecimento científico e da compreensão do universo tem uma importância capital na nossa concepção do mundo e portanto na formação de todos os saberes, como analisar as relações entre Ciência e Arquitectura sem simplismo, nem demagogia? O que significa de facto colocar a arquitectura num contexto interdisciplinar em que se valorizam as contribuições científicas? No decorrer do século XX muitos arquitectos especularam sobre as relações entre Ciência

e Arquitectura. Citamos algumas opiniões seminais. Frei Otto considera que são as descobertas de carácter científico que conduzem ao “novo” em arquitectura, atribuindo assim um papel fundamental à ciência e perspectivando a arquitectura de um ponto de vista essencialmente tecnológico. Num registo curiosamente análogo ao de Buckminster Fuller – que afirma que “o homem não inventa nada, apenas descobre princípios implícitos na natureza e descobre modos de os generalizar e reaplicar em direcções surpreendentes” – Álvaro Siza diz que “os arquitectos não inventam nada, limitam-se a transformar a realidade”⁷. Renzo Piano tem um ponto de vista de certo modo análogo ao de Frei Otto, no que toca ao papel da ciência em arquitectura, mas perspectiva a teia interdisciplinar do arquitecto de forma mais ampla, afirmando que “A actividade de um arquitecto tem muitos riscos pois ele trabalha com todo o tipo de matérias-primas. Não somente com o betão, a madeira e os metais mas também com a história, a geografia, a matemática e as ciências em geral, a antropologia, a ecologia,

⁶ Referência ao livro *Imposturas Intelectuais*, de Alan Sokal e Jean Bricmont.

⁷ Matos, M.C. Inquirição a um projecto – a Escola Superior de Educação de Setúbal.

a estética, a tecnologia, a climatologia e a sociedade”.

Neste sentido, para Frei Otto tratava-se de traduzir a ciência na linguagem arquitectónica; para Buckminster Fuller era a natureza que reincarnava nos objectos arquitectónicos, enquanto que para Álvaro Siza mais do que a natureza seria com a inteira realidade que se plasma a arquitectura. Finalmente, para Renzo Piano, é todo o conhecimento que faz sucessivas migrações. As relações com a ciência que estes arquitectos evocam constituem *uma primeira forma de actividade interdisciplinar* que consiste na integração, num determinado saber disciplinar, de conceitos e teorias de outros campos disciplinares.

Uma *segunda forma de actividade interdisciplinar*, que se situa para além desta ampla teia informativa, é caracterizada pela existência de intuições comuns a diferentes domínios do conhecimento. Entre os criadores de ciência e os outros criadores, pareceria então existir em comum a necessidade da descoberta de uma ordem estrutural, reflexo da procura de padrões que caracteriza a actividade do cérebro humano. Certos actos criadores, não só em Arte, não só nas disciplinas humanistas, mas também em Ciência, surgiriam sob a forma de intuições comuns, constituindo traduções de princípios reguladores de uma actividade humana para outra.

Intuições comuns: a segunda forma de actividade interdisciplinar

Para além da influência da abordagem científica sobre as abordagens artística e arquitectónica,



8A

existem outras formas de migração do conhecimento que pertencem à esfera da intuição. Elas surgem como resultado da procura de padrões escondidos, sendo esta procura guiada – desde a formulação das hipóteses, à construção do modelo, à experimentação e ao estabelecimento dos resultados finais – não só por argumentos de ordem racional mas também muitas vezes, e de modo surpreendente, por argumentos plásticos. Perante um fenómeno que pretende explicar, o cientista tem muitas vezes a intuição da presença de um padrão implícito no fenómeno. Algo de análogo se passaria numa abordagem artística em que o olhar pretende captar um padrão subjacente. A captação do padrão é



8B

então feita através de um olhar racional e de um olhar plástico que se complementam. O olhar plástico exprime-se através de uma representação que confere ao olhar racional um alto teor de valor acrescentado. Esta coexistência⁸ de um olhar racional e um olhar plástico, encontra-se, por exemplo, em muitos criadores do Renascimento. A representação em Leonardo da Vinci resulta de um olhar que compreende o padrão subjacente ao fenómeno observado, isto é um olhar racional, mas também de um olhar plástico que o recria de modo genial. Por exemplo, as suas representações de escoamentos de fluidos, ilustram que a turbulência é um fenómeno que ocorre a diferentes escalas no sentido em que

os vórtices – volumes de fluido animados com um movimento de rotação – possuem no seu interior outros vórtices.

Um outro exemplo histórico de coexistência no mesmo pensador de intuições comuns a campos disciplinares distintos, é o caso de Galileu. Pioneiro da revolução científica do século XVII, ele introduziu o método hipotético-dedutivo em que a interrogação metódica da natureza estava associada a uma hipótese – a uma lei ou a uma teoria – cujas previsões eram então comparadas com o resultado da experimentação. Galileu aplicou este método, não só aos fenómenos terrestres, mas também aos fenómenos celestes. Para tal apontou para o céu

⁸ O historiador Martin Kemp em *Visualizations of art and Science*, designa-as por intuições estruturais.

⁹ M.G. Wells, H.J.H. Clercx, & G.J.F. van Heijst. *Vortices in oscillating spin-up*. *J. Fluid Mech.* p. 573, 339 - 369

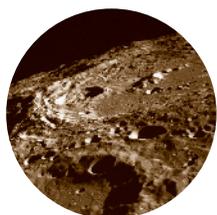
Figuras 8A e 8B: Representação de um escoamento turbulento por Leonardo da Vinci e imagem laboratorial de um escoamento turbulento⁹



9A



9B



9C

um telescópio – facto inédito pois, até então, o telescópio era só usado para observar corpos terrestres – e olhou para a Lua, tendo concluído que não era a esfera celestial perfeita de que falava Aristóteles, mas que era como uma outra Terra com vales e montanhas.

Ora o telescópio que Galileu usava tinha uma ampliação muito reduzida, cerca de vinte vezes, e portanto as imagens que observava não lhe poderiam ter permitido estabelecer conclusões sobre a existência de relevo num planeta – a Lua – que até então era considerado plano. Uma explicação possível para o facto de Galileu ter interpretado correctamente as suas observações é que ele terá completado tais observações e os argumentos científicos de que dispunha com uma intuição “plástica”, resultante das suas próprias representações dos padrões de luz e sombra que se formam em corpos sólidos.

Intuições estruturais análogas às de Galileu pressentem-se também em alguns artistas do Renascimento, como Brunelleschi e Leon Battista Alberti, que compreenderam que a matemática, a luz e a óptica eram instrumentos poderosos na representação da realidade tridimensional em superfícies bidimensionais.

Citamos ainda um caso actual que ocorreu com o astrónomo francês Jean Pierre Luminet, ao estabelecer o modelo, que apresentou em 2003, de um universo finito. O modelo Standard¹⁰ define o universo como infinito e plano. Os dados científicos de que dispunha Jean Pierre Luminet eram os valores da radiação de fundo, gerada pelo BigBang e captada pelo satélite WMAP¹¹. Estes dados sugeriram que o universo fosse finito pois as flutuações da radiação de fundo eram muito inferiores aos valores esperados para um universo infinito. Juntando a estes dados científicos

uma visão plástica, Jean Pierre Luminet propõe um modelo de um universo não infinito, cujo espaço físico é representado por um poliedro com alguma semelhança com um dodecaedro. O “espaço poliédrico” de Jean Pierre Luminet não tem fronteira, embora seja finito. Tudo se passaria como num jogo de vídeo: se um objecto abandona o espaço poliédrico pela esquerda do monitor aparece de imediato à direita e assim o universo de Jean Pierre Luminet, embora com um volume finito, daria a ilusão de ser infinito. Descrevemos alguns exemplos da coexistência de intuições científicas e plásticas no mesmo criador. Esta coexistência permitiu reencontrar a ordem subjacente a fenómenos aparentemente desordenados, isto é permitiu reconstituir padrões implícitos nos fenómenos.

Noutros casos são as mesmas intuições conceptuais que estão presentes em diferentes criadores do campo da ciência e da arte. Um exemplo de particular importância é a curiosa história da representação do espaço na pintura cubista de Picasso, e da representação do tempo na teoria da Relatividade de Einstein. De facto, Picasso, ao conceber o espaço, e Einstein, ao reflectir sobre o tempo, ambos consideraram que aquilo que se vê não é o que existe na realidade e que seria o pensamento, e não a visão, que conduziria a representações rigorosas do real. Neste sentido podemos afirmar que Picasso e Einstein trabalharam sobre o mesmo problema: como perspectivizar a relação entre representação e abstracção, procurando a realidade escondida atrás da aparência sensível dos conceitos de espaço e tempo. No início do século XX o debate sobre o espaço estava presente em todos os domínios da actividade intelectual. Do ponto de vista da abordagem artística havia uma grande

Figuras 9A e 9B: Representação da Lua por Galileu

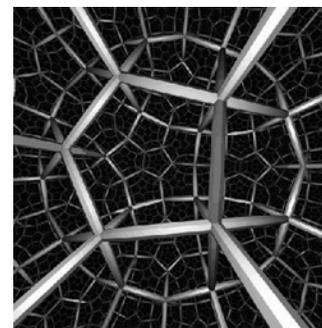
Figura 9C: fotografia da superfície da Lua tirada pela missão Apollo 10 em 1969.

contestação da figuração e da perspectiva que dominavam o cenário desde o Renascimento. De um ponto de vista mais abstracto, os matemáticos ocupavam-se então da problemática do espaço, estudando geometrias não euclidianas¹². Também as novas descobertas no domínio da ciência e da tecnologia punham em causa os conceitos tradicionais de espaço e de tempo. Em 1901 Guglielmo Marconi transmitiu o primeiro sinal de rádio sem fios que atravessou o Atlântico; em 1903 os irmãos Wright efectuaram o primeiro voo controlado num aparelho propulso. No mesmo ano Marie Curie, Pierre Curie e Henri Becquerel receberam o Prémio Nobel da Física pela sua descoberta da radioactividade, descoberta esta que sugeriu que “interior” e “exterior” podem ser conceitos ambíguos, que o opaco se pode tornar transparente, que o espaço não é um vazio mas um contentor de energia e que a clássica distinção entre duas e três dimensões podia ser ultrapassada.

Como representar então o tempo e o espaço na medida em que estas entidades não existem tal como as percebemos? O que existe em comum entre a representação espacial do maior pintor do século XX e a representação temporal do maior físico do século XX? Como defendido pelo historiador de ciência Arthur I. Miller no seu livro “Einstein, Picasso: Space, Time and the Beauty that causes Havoc”, a física relativista e a pintura cubista foram ambas influenciadas pelas discussões, muito generalizadas na época, sobre a relatividade dos conceitos de espaço e tempo. Albert Einstein nasceu na Alemanha em 1879. Licenciou-se na Escola Politécnica de Zurique e teve o seu primeiro emprego num escritório de patentes. Ora, no início do século XX, em muitos países da Europa estavam a ser montados

sistemas sincronizados de relógios eléctricos, fundamentais nas redes ferroviárias. Os projectos de muitos destes sistemas eram submetidos ao escritório de patentes e eram analisados por Einstein. Para além deste modesto emprego, Einstein mantinha uma grande actividade intelectual marcada por discussões no âmbito de um círculo de amigos, filósofos e físicos, e entre eles salientava-se Ernst Mach, que era muito crítico relativamente às concepções de espaço e tempo absolutos de Newton. É assim natural que Einstein se preocupasse com o problema da simultaneidade temporal, questionando-se quando é que dois acontecimentos podem ser considerados simultâneos. A resposta a que chegou é que a simultaneidade temporal depende do sistema de referência utilizado: o tempo é uma entidade relativa.

Para explicar de modo simples a relatividade do conceito de tempo, através da noção de acontecimentos simultâneos imaginemos um comboio e dois observadores, como representado na figura 11. Em A representa-se o ponto de vista do observador que viaja no comboio, e em B o do observador que está na plataforma de uma estação. Um sinal de luz é emitido, de um ponto situado no meio do comboio, no momento em que os dois observadores passam um pelo outro. A luz é emitida em todas as direcções. Para o observador que está no comboio a luz viaja a mesma distância, para a parte da frente e para a parte de trás do comboio, e portanto chega ao mesmo tempo às duas extremidades. Para o observador que está na plataforma a luz viaja uma maior distância para a parte da frente do comboio do que para a parte de trás. De facto ele vê a parte posterior do comboio mover-se para a posição original ocupada pela fonte de



10

¹⁰ O modelo Standard é geralmente conhecido por BigBang.

¹¹ WMAP são as iniciais de Wilkinson Microwave Anisotropy Probe.

¹² Ver capítulo V.

¹³ Jean Pierre Luminet, *A cosmic hall of mirrors*, LUTH,CNRS, 2005.

Figura 10: O Universo segundo Jean Pierre Luminet¹³

luz e, portanto, os raios de luz terão menos distância a percorrer até a atingir. A chegada dos raios de luz às extremidades do comboio não são acontecimentos simultâneos para o observador da plataforma. O tempo que a luz demora a chegar à parte da frente é maior para o observador que está na plataforma do que para o observador que está no comboio. O conceito de simultaneidade depende assim dos sistemas de referência usados: um sistema ligado ao comboio e um outro ligado à plataforma.

Por seu lado, Picasso reflecte sobre o espaço e conclui que não existem sistemas de referência privilegiados, e que cada observador tem uma visão de um certo fenómeno que depende do seu ponto de observação: o espaço é uma entidade relativa.

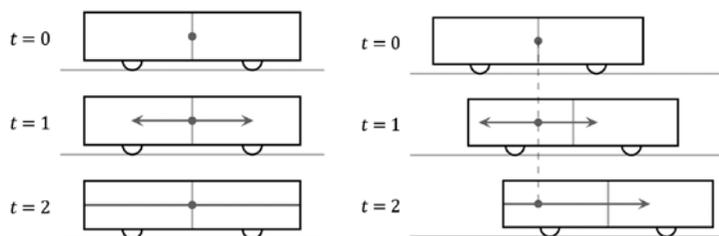
Podemos retomar aqui a tese das “intuições comuns”, afirmando que Picasso e Einstein tiveram intuições análogas, acerca da relatividade dos conceitos de espaço e tempo. Arthur I. Miller aponta mesmo o matemático francês Henri Poin-

caré como tendo tido um papel particularmente importante nesta história. Vejamos porquê.

Em 1901 Henri Poincaré tinha publicado o livro “Science et Hypothèse” em que expõe o “conventionalismo” – teoria que afirma que não existe uma geometria única para descrever o mundo, podendo ser escolhida a mais conveniente para o fim em vista. Afirma que as geometrias diferem na sua linguagem, mas referem-se à mesma realidade e que só existe um critério para escolher uma geometria em vez de uma outra, sendo esse um critério que se baseia na economia e na simplicidade. Introduce uma quarta dimensão, que era uma dimensão espacial, propondo que seja representada através de diferentes perspectivas. A este propósito escreve: “As imagens dos objectos exteriores são representadas na retina que é um plano bidimensional; são portanto perspectivas. Mas como os olhos e os objectos se movem vemos sequencialmente diferentes perspectivas do mesmo objecto tiradas de diferentes pontos de vista. Do mesmo modo que podemos desenhar uma perspectiva de uma figura tridimensional numa tela também podemos desenhar uma figura a quatro dimensões a partir de diferentes pontos de vista.”

Que Albert Einstein conhecesse naquela altura a obra de Poincaré é algo fácil de aceitar, mas caberá aqui perguntar como é que o jovem Pablo Ruiz Picasso, recém-chegado a Paris e movendo-se em círculos intelectuais distantes da actividade científica, poderá ter tido conhecimento dos escritos de Poincaré?

Na opinião de Miller a figura chave desta história parece ser Maurice Princet, um contabilista interessado no estudo da matemática e conhecedor da obra de Henri Poincaré. Princet fez parte do



11A

11B

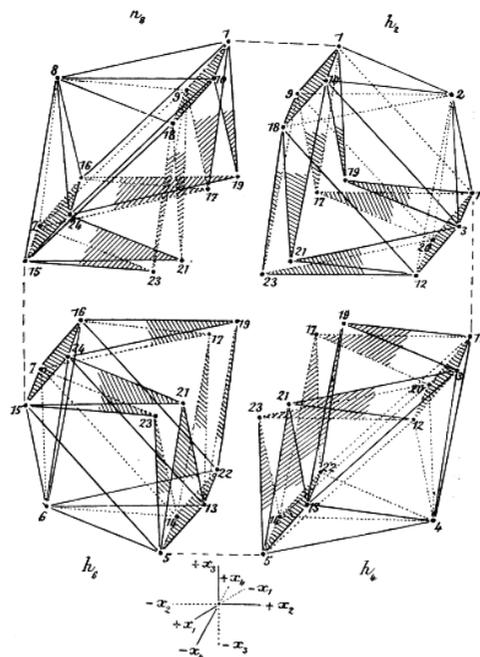
Figuras 11A e 11B: Para Einstein não existe um tempo absoluto e a simultaneidade é relativa.

grupo de Picasso, sendo chamado “o matemático do cubismo”, e frequentando o Bateau Lavoisier¹⁴ para onde foi trazido por Alice Géry, que ocasionalmente terá protagonizado uma relação amorosa com ambos. Maurice Princet possuía bons conhecimentos de geometria, tendo popularizado a obra de Henri Poincaré “Science et Hypothèse” junto dos cubistas, através do livro de Esprit Jouffré “Traité élémentaire de géométrie à quatre dimensions”.

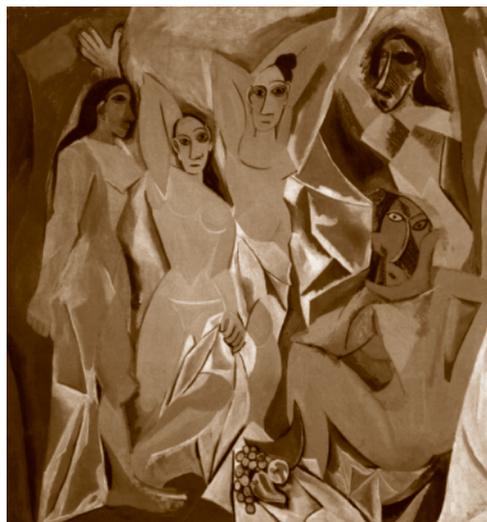
Neste livro, publicado em 1903, o autor exibia representações geométricas extremamente curiosas de projecções em plano, de poliedros em quatro dimensões.

Picasso incorporou pela primeira vez a quarta dimensão na sua representação pictórica, em 1907, no quadro “Les Femmes d’Alger (O Versão O)”, onde estão representadas cinco mulheres que não interagem entre si mas unicamente com o observador. A interpretação que Picasso faz da quarta dimensão não é, no entanto, exactamente a sugerida por Poincaré, considerando que as “diferentes” perspectivas de que falava Poincaré devem ser mostradas simultaneamente e que é o conjunto de pontos de vista inteiramente diferentes que representa o objecto na sua totalidade.

Também entre Henri Poincaré e Marcel Duchamp se podem estabelecer inúmeras ligações e citar alguns exemplos de intuições conceptuais comuns. Começemos por observar que Henri Poincaré considerava que a criação científica resultava de uma selecção, de entre várias possíveis combinações de informações, com o objectivo de eliminar as inúteis. Traduzindo de outro modo, podemos afirmar que Henri Poincaré considerava que a ciência resultava da descoberta de padrões e leis escondidas



12

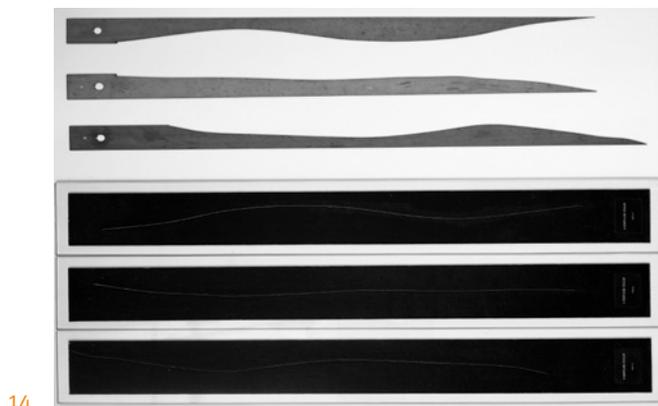


13

¹⁴ Nome dado então ao estúdio habitado por Picasso, centro de tertúlias intelectuais, no bairro parisiense de Montmartre.

Figura 12: Ilustração do livro de Esprit Jouffré

Figura 13: Les Femmes d’Avignon de Pablo Picasso



14

¹⁵ Ver Capítulo V.

¹⁶ Tomkins C, *Duchamp – A Biography*.

¹⁷ R.R.Shearer, S.Jay Gould, Of two minds and one nature.

¹⁸ Martin Kemp, Intuições estruturais e pensamento metamórfico na arte, arquitetura e ciência.

¹⁹ Harold Kroto foi galardoado com o Prêmio Nobel da Química em 1996.

²⁰ Harold Kroto, Ciência: um peão redondo num mundo quadrado.



15

nos fenômenos. De modo curiosamente análogo, Marcel Duchamp afirmava que a criação artística era resultado de uma determinada seleção de elementos. Mas a existência de intuições conceituais comuns, em Henri Poincaré e Marcel Duchamp, pode também ilustrar-se não só a partir das concepções teóricas sobre o significado da criação científica e da criação artística mas também a partir da própria obra de Duchamp. Citamos por exemplo a intuição que teve sobre as geometrias não euclidianas¹⁵, que são geometrias que não utilizam o quinto axioma de Euclides, axioma que afirma que retas paralelas nunca se encontram. Esta intuição está implícita na sua obra “3 Stoppages étalon”, representada na figura 14 e cuja realização Duchamp descreveu detalhadamente: «Foram cortados três cordões, cada um com um metro de comprimento, sendo esticados de modo a representarem linhas rectas e lançados de uma altura de um metro sobre telas pintadas de azul. Os cordões assumiram então uma configuração não rectilínea, devendo existir, para cada uma das telas, um universo no qual o cordão representasse uma linha recta.»

Marcel Duchamp desenvolveu também intuições estruturais no domínio da óptica¹⁶ que o levaram a criar os “Rotoreliefs”, discos que se colocados no prato de um giradiscos produzem uma sensação de profundidade quando o disco é observado em rotação a uma certa velocidade. Por exemplo, o disco representado na figura 15, quando posto em movimento, devolve uma imagem tridimensional, sendo a sensação mais intensa quando se observa com um só olho. A mesma intuição teve o psicólogo italiano Cesare Musatti que em 1924, desconhecendo¹⁷ o trabalho de Marcel Duchamp, referiu pela

Figura 14: Duchamp, Marcel (1887-1968): Three Standard Stoppages (3 stoppages etalon), 1913-14. New York, Museum of Modern Art (MoMA).

© (2010) The Museum of Modern Art/Scala, Florence

Figura 15: Duchamp, Marcel (1887-1968): Rotary Demisphere (Precision Optics), Paris, 1925. New York, Museum of Modern Art (MoMA)

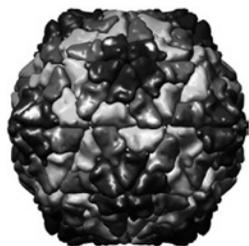
© (2010) The Museum of Modern Art/Scala, Florence.



17



18



19

Harry Kroto pensou que, tal como Fuller tinha construído uma cúpula arredondada encurvando uma rede geométrica plana e hexagonal, também ele poderia encurvar uma rede de grafite para formar uma esfera. Resolveu deste modo a questão da distribuição espacial dos 60 átomos de carbono, propondo uma estrutura constituída por hexágonos e pentágonos que designou por Buckminsterfullereno. Posteriormente, a cúpula de Buckminster Fuller foi citada pelos virólogos Donald Caspar e Aaron Klug, como possível modelo de referência no estudo do invólucro²¹ proteico de alguns vírus, como representado na figura 19.

Para analisarmos esta teia de relações não devemos limitar-nos a considerar que terá existido uma influência formal de Hooke em Buckminster e posteriormente de Buckminster em Harry Kroto, Caspar e Klug. Para além de uma possível influência formal, parece lógico admitir que existiu a intuição comum de que a forma poliédrica escolhida possuía a estabilidade que todos procuravam para as diferentes estruturas que estudavam.

Um outro caso interessante da existência de intuições comuns, entre a abordagem artística e a abordagem científica, é ilustrado pela introdução da ideia de processo dinâmico, em algumas manifestações artísticas surgidas no século XX, com claras afinidades com o conceito matemático de caos. Exemplos deste facto são as macroesculturas do suíço Jean Tinguely ou do japonês Susumu Shingu compostas por vários elementos que, quando sujeitos a uma acção exterior, desenham múltiplos percursos, que assumem um aspecto aleatório, constituindo assim uma curiosa intuição do caos determinístico dos sistemas não lineares²².

Figura 17: Pavilhão dos Estados Unidos na Exposição Universal de 1967 no Canadá

Ilustrámos a existência de intuições simultaneamente científicas e plásticas no trabalho de Leonardo da Vinci, Galileu e, mais recentemente, Jean Pierre Luminet. Referimos intuições comuns nos casos de Picasso e Einstein e também em Fuller, Kroto e Caspar, Duchamp e Musatti. Para além da procura de padrões estruturais e da ocorrência de intuições comuns as relações entre ciência e arquitectura regem-se por uma forma de diálogo interdisciplinar, que atrás designámos por primeira forma de diálogo interdisciplinar, e que consiste, como afirmámos, na migração de conceitos e teorias entre os dois campos disciplinares.

A integração de outros saberes: a primeira forma de actividade interdisciplinar

Parafraseando Renzo Piano, as matérias-primas com que a arquitectura trabalha são, para além das ciências exactas, as ciências sociais e as disciplinas do campo humanístico. De entre os domínios disciplinares desta imensa e complexa teia focaremos unicamente alguns aspectos particulares do diálogo da arquitectura com as ciências exactas nos domínios da biologia, da física, da matemática, das ciências da computação e da ciência dos materiais. No puro plano formal parece óbvio que a influência dos fluxos informativos oriundos da ciência poderá, em certos casos, desempenhar unicamente uma função simbólica, no sentido de constituir uma fonte de inspiração plástica tal como representaram, por exemplo, a cultura popular na arquitectura vernacular, a ideia de produção artesanal no Arts and Crafts, as representações botânicas na

Figura 18: A estrutura do Carbono 60
Figura 19: Modelo da cápside de um vírus

Arte Nova ou a própria história da arquitectura no pós-modernismo. De modo análogo, conceitos matemáticos, como fractal, complexidade, sistemas não lineares, caos, catástrofes, ou conceitos da biologia, como entropia, vida, metabolismo e auto-organização, podem ser também utilizados num plano simbólico. De facto, quando se fala da utilização de fractais na arquitectura de Eisenman, na influência dos sistemas não lineares em Frank Gehry, na importância do conceito de caos nas recentes arquitecturas de Zaha Hadid ou na simulação do metabolismo biológico nos trabalhos de Norman Foster, a primeira impressão que se colhe é a de uma colagem de epítetos científicos a distribuições espaciais elaboradas a partir de abordagens mais ou menos sensoriais. Mas, para além desta primeira impressão, será que poderemos falar da emergência de um novo paradigma em arquitectura como afirma Charles Jencks²³? Para podermos dar uma resposta a estas questões começamos por observar que a arquitectura é simultaneamente um processo de *produção intelectual* – na medida em que é um acto comunicacional com uma finalidade expressiva – mas também um processo de *produção física*, no sentido em que concretiza essa finalidade expressiva através da construção de um objecto arquitectónico. As relações entre arquitectura e ciência podem assim ser perspectivadas no âmbito de um processo de produção intelectual – pois a ciência fornece elementos que permitem adoptar uma certa *visão* do mundo e desenvolve ferramentas de que a arquitectura se pode apropriar no processo de *concepção* – mas também no âmbito da produção física, na medida em que a ciência disponibiliza instrumentos, materiais

e procedimentos que podem ser utilizados no processo de *construção*.

Visão, concepção e construção surgem assim como três planos em que se pode desenvolver o diálogo entre ciência e cidade. Sobre todos eles se tem discutido ao longo da história da arquitectura. E citamos, por exemplo, a influência dos sistemas filosóficos na visão da arquitectura, a importância das ferramentas científicas na concepção do projecto ou o impacto dos materiais, das tecnologias e dos sistemas energéticos na construção. *Visão, concepção e construção* não são obviamente compartimentos estanques, surgindo de modo sequencial mas também interligado. Organizámos o diálogo ciência-cidade conforme se descreve no Quadro I, incluindo temas que consideramos particularmente portadores de um potencial de inovação. Não se trata evidentemente de uma descrição exaustiva do diálogo interdisciplinar, não tendo sido abordados temas de grande relevo como por exemplo os que se referem à questão energética. Assim, descrevemos no Capítulo II visões científicas da entidade abstracta espaço: visões ligadas ao conceito de tempo e aos instrumentos de observação. No Capítulo III analisam-se dois aspectos que modelaram a visão do real no decorrer do século XX: as representações dominantes da sociedade industrial e as representações que se sucederam e que caracterizam a sociedade do conhecimento. De entre estas salientam-se as representações baseadas nos princípios de optimização que regulam o funcionamento dos sistemas naturais. A influência destes aspectos, que contribuem para enformar a *visão* em arquitectura, pode ultrapassar o plano formal, conduzindo a comportamentos adaptativos das estruturas arquitectónicas

²¹ O invólucro proteico de um vírus designa-se por cápside.

²² Ver Capítulo II.

²³ Arquitecto americano nascido em 1939.

que mimetizariam assim o comportamento das estruturas naturais. A influência de conceitos biológicos estimulou a substituição dos dogmas, que postulavam a existência de relações hierárquicas entre forma e função, mostrando que forma e função podem surgir independentes ou com graus de interdependência de diferente intensidade e natureza. A observação das estruturas naturais, no âmbito de um diálogo interdisciplinar com as ciências da vida, pode contribuir ainda para alterar o princípio que estabelece a necessidade de uma total separação e de uma perfeita reflexividade entre os espaços exterior e interior, sugerindo em seu lugar o advento de uma certa indiferenciação entre ambos. Estes temas são objecto de reflexão no Capítulo IV, onde se faz uma breve visita à biomimese em arquitectura.

O diálogo interdisciplinar com a matemática, no domínio das geometrias não euclidianas, e com as ciências da computação, permitindo conceber espaços fluidos em que está implícita uma ideia de movimento, contribuiu para a alteração de certos postulados relativos a um ponto de vista espacial antropocêntrico, ancorado num sentido de harmonia e equilíbrio. Seleccionámos pois as geometrias não euclidianas e os novos paradigmas computacionais como instrumentos decisivos no âmbito da *concepção*.

Enquanto disciplina científica, a geometria foi primeiramente axiomatizada por Euclides, na sua obra *Elementos*, partindo do ponto, da recta e do plano. A geometria de Euclides ocupou completamente a cena até ao século XVIII, momento em que outras geometrias, baseadas em outras “verdades”, começaram a surgir. Não significa este facto que a afirmação de Platão “Deus geometriza sempre”, que sublinha a importância

central da geometria na concepção espacial, tenha perdido a sua pertinência. A existência de novas geometrias permite talvez proceder a uma ligeira correcção de Platão, afirmando que “Deus geometriza sempre, mas talvez não sempre utilizando a geometria euclidiana.” O papel desempenhado pelas geometrias não euclidianas, pela geometria fractal e pela topologia é um assunto tratado no Capítulo V. A referência a estas outras geometrias encontrou um terreno particularmente fértil com a utilização intensiva da *concepção-desenho-construção assistidos por computador*. Esta utilização intensiva tem vindo a introduzir o debate sobre a existência de um novo paradigma digital em arquitectura, tema este que abordaremos no Capítulo VI.

A utilização de meios computacionais possibilitou também que, não só o desenho mas também a própria execução, fosse feita através de um processo de manufactura assistido por computador. Este aspecto da manufactura informatizada, permite produzir formas surpreendentes, não exequíveis no âmbito de uma construção tradicional, o que significa que a utilização de meios digitais desenvolve um diálogo com a arquitectura não só no plano da *concepção* mas também no plano da *construção*.

Os conhecimentos científicos, oriundos da ciência dos materiais e da biologia, têm uma influência real no desenvolvimento de novos materiais a utilizar em arquitectura. O diálogo com a ciência dos materiais pode alterar o postulado relativo à permanência e à imutabilidade da forma, na medida em que abre inúmeras possibilidades no domínio da utilização de materiais com propriedades adaptativas. A compreensão do comportamento térmico, acústico e luminoso dos materiais permite a sua utilização eficiente

como também a concepção e construção de materiais inteligentes que exibem respostas adaptadas às alterações ambientais. Estes novos materiais, com propriedades adaptativas, simulando alguns deles aspectos do metabolismo animal, são apresentados no capítulo VII. Finalmente nos Capítulos VIII e IX é feita uma leitura crítica do diálogo ciência-cidade.

outras, como por exemplo as ligadas a condições a longo prazo, dificilmente quantificáveis e ainda outras absolutamente não quantificáveis, por serem variáveis relativas ao comportamento humano. Neste sentido a questão fundamental parece ser compreender como apontar na direcção de uma representação arquitectural não subjugada pela dominação tecnológica mas

	Visão	Concepção	Construção
Temas	Espaço, Tempo e Instrumentos Sociedade do Conhecimento	Geometrias Arquitectura digital Padrões, Conexões	Materiais
Capítulos	II, III, IV, VIII	V, VI,	VII
Domínios Científicos	Física, Biologia	Matemática, Ciências da Computação	Ciência dos materiais

Quadro I- CIÊNCIACIDADE: Visão, Concepção e Construção

A imensa complexidade do desenho arquitectónico resulta do imperativo de integrar diferentes variáveis sendo algumas delas quantificáveis,

conhedora de conceitos, metodologias e instrumentos científicos, cuja utilização ultrapasse os aspectos metafóricos.

CAPÍTULO II ESPAÇO, TEMPO E INSTRUMENTOS

“A arquitectura não trata só de domesticar o espaço é também uma profunda defesa contra o terror do tempo...”
Karsten Harries

A interdependência dos conceitos de espaço e tempo não constitui só um tema abstracto, alvo de discussão científica, começando a ser uma realidade tangível. Um exemplo deste facto são os mapas isócronos, que se materializam através de uma deformação do território, em que duas cidades que disponham entre elas de um transporte público veloz, são representadas mais próximas do que outras que, embora a uma distância inferior, não possuam tal transporte. Estes mapas fornecem a percepção espacial do viajante.

O espaço é a matéria primeira com que se concebe a cidade. Historicamente o conceito de espaço não foi imutável, nem do ponto de vista científico nem do ponto de vista social, podendo identificar-se três sucessivos paradigmas tendo, cada um deles, implícito um distinto conceito de tempo.

Espaço homogéneo e isotrópico

O primeiro paradigma corresponde a uma visão do espaço em que a Terra ocupava o centro do Universo e o indivíduo o centro da Terra. Mais longe, naquilo a que hoje chamamos estratosfera, planavam misteriosas e onipotentes forças desconhecidas. As certezas eram muitas, talvez porque eram poucas as interrogações, e aquilo que era incerto, duvidoso e misterioso era relegado para ocupação divina. O tempo escorria lento, assumindo o valor de um tempo-memória. Num certo sentido era um tempo circular, um tempo que não fluía, porque cada ciclo apon-tava para a reprodução e para o testemunho do ciclo anterior.

Ligada a este tempo de marcha lenta prevalece uma certa ideia de espaço: sendo a velocidade de deslocação de qualquer indivíduo ou objecto praticamente constante, o espaço era uma entidade homogénea e isotrópica, pois exibia as mesmas propriedades em todas as direcções. A perspectiva, conferindo ao observador um ponto de vista fixo, foi o modo utilizado para representar este espaço, concebido como um vazio em que as formas tridimensionais da arquitectura representavam a fronteira de um volume. Construir significava delimitar espaços, criar sinais arquitectónicos que, sacralizados pelo olhar, davam ao indivíduo a consciência de figurar ou participar num mesmo drama histórico. O indivíduo-protagonista socializava-se através da produção de tótemes históricos que deveriam perdurar, marcando o território e a época. A arquitectura, como aliás a escultura, a pintura e a literatura representavam os referenciais únicos do momento histórico.

Espaço heterogéneo e anisotrópico

A partir da industrialização e, dois séculos mais tarde, da informatização, a visão do Universo, da Terra, do indivíduo e do tempo, foi sofrendo sucessivas alterações, surgindo um novo paradigma para o conceito de espaço. O tempo medido em minutos, primeiro pelo pêndulo e depois pelo relógio, passou a ser medido em nanossegundos pelo computador, uma escala que escapa às capacidades sensoriais do indivíduo. Do ponto de vista social o tempo começa a ser representado pela vida útil dos objectos, vida esta que termina logo que outros considerados mais inovadores os

substituam. As máquinas, que num primeiro tempo eram ferramentas que aderiam como próteses ao indivíduo que as manipulava e controlava de perto, foram substituídas por outras imensamente mais potentes, com um maior grau de autonomia, que não aderem ao corpo, e se podem controlar de modo remoto. Perdem o seu estatuto de próteses corporais e adquirem o valor de próteses mentais: falam, tomam decisões, servem de semáforos ou porteiros, são robots, contabilistas, ou fazedoras de diagnósticos.

A velocidade vertiginosa das descobertas técnico-científicas alterou o nosso modo de pensar, de agir e de sentir. O desenvolvimento dos circuitos eléctricos superou o problema da comunicação à distância e alterou os protocolos da visão: as distâncias apagam-se porque a velocidade aumenta. Alterou também os modos de comunicação, os modos de produção intelectual e os modos de produção material. E como consequência destas alterações surge um novo conceito de tempo em que os protagonistas produzem sinais históricos que poderão não perdurar, enquanto testemunhos físicos, pois a sua função é agora a de marcar o estádio do conhecimento civilizacional, caracterizado por uma contínua mudança.

A existência de múltiplas escalas para a velocidade dá assim lugar a um espaço heterogéneo e anisotrópico no sentido em que as distâncias são apagadas pelos transportes e pelas comunicações, de modo não uniforme. O ritmo é de tal modo rápido, a consciência do carácter efémero e marcadamente social de certos valores é tão aguda, o progresso do conhecimento tão avassalador, que os sinais arquitectónicos

deixam de assumir o papel quase exclusivo de imutáveis testemunhos históricos.

O progresso do conhecimento e o ritmo da inovação, ao alargar continuamente a nossa imagem de universo, conferiram à tecnologia um estatuto de transitoriedade – as descobertas tecnológicas sofrem sucessivos “aggiornamenti” – transformando assim o tempo em tempo-útil, que representa o tempo de vigência de um paradigma tecnológico dominante.

O Espaço de um tempo “irreversível”

A esta percepção de tempo, caracterizada por aspectos quantitativos que denotam uma profunda alteração de ritmo, seguiu-se, uma terceira percepção do tempo, qualitativamente diferente, que abandona um paradigma determinista e portanto um epíteto de segurança.

Foi com o estudo dos sistemas deterministas instáveis²⁴, caracterizados pelo facto de pequenas perturbações nos dados iniciais produzirem grandes alterações nas respostas, que parecem assim assumir aspectos aleatórios, que surge o conceito de um “tempo irreversível”, no sentido em que o conhecimento do estado actual de um sistema não permite recriar a sua história. Um exemplo bem conhecido e que ilustra o comportamento dos sistemas instáveis é o Efeito Borboleta, que se refere às possíveis tempestades que originará em Nova Iorque o bater das asas de uma borboleta que ocorreu um mês antes, em Pequim. Traduzindo de um outro modo o conceito de instabilidade, poder-se-á dizer que, quando um sistema é instável, um mesmo estado inicial pode dar origem a múltiplos estados finais. Num sistema deste tipo pequenas

²⁴ Iniciado pelo matemático francês Henri Poincaré

perturbações nos dados iniciais podem produzir soluções finais que exibem grandes variações, relativamente a esses dados, situação esta que se designa por caos, assumindo então o sistema um comportamento de certo modo imprevisível. Do ponto de vista das estruturas naturais, organismos com formas muito diferentes são “fabricados” com a ajuda das mesmas baterias de genes. Peixes, mamíferos, répteis ou aves têm aproximadamente os mesmos genes. A mais ligeira alteração do conjunto de genes pode produzir organismos muito diferentes, o que sugere, não só que os sistemas vivos são muito sensíveis às condições iniciais, como é característico de alguns sistemas não lineares, mas também que a complexidade do mundo vivo surge como resultante da combinação de um número finito de genes. Referimos por exemplo que o homem partilha cerca de 85% dos seus genes com o cão e com o rato, e cerca de 98% com o chimpanzé, o gorila e o orangotango. O conceito de sistema instável pode ser também ilustrado, com uma linguagem não científica, utilizando a mesma imagem que Pascal já invocou quatro séculos atrás ao afirmar que “Se o nariz de Cleópatra tivesse sido menos perfeito outra teria sido a marcha da História.” Num registo mais científico, para compreender o conceito de sistema instável, comecemos por ilustrar o tipo de dinâmica que caracteriza um sistema estável. Consideremos por exemplo o planeta Júpiter que gira à volta do Sol. Como a sua distância ao Sol é muito grande a interação entre ambos não é significativa e portanto o seu movimento pode ser descrito por um sistema estável, o que significa que se conhecermos a posição do planeta no momento presente, com um certo erro, então é possível prever qual a sua posição

daqui a milhares de anos, previsão esta que será afectada de um erro análogo ao cometido na determinação da posição inicial de Júpiter. O sistema que descreve o movimento de Júpiter diz-se estável pois não amplia os erros iniciais de localização. A mesma situação não ocorrerá se estudarmos por exemplo o planeta Mercúrio, cuja grande proximidade do Sol implica que o seu movimento seja descrito por um sistema não linear instável: um erro inicial na localização de Mercúrio será de tal modo ampliado que não é possível fazer uma previsão da sua localização daqui a alguns anos. Outros fenómenos deste tipo, originados por pequenas perturbações nas condições iniciais de um sistema, surgem por exemplo nos sistemas que modelam as alterações meteorológicas, os fluidos turbulentos ou a flutuação de mercados financeiros. No entanto a existência de sistemas instáveis com soluções caóticas permite unicamente estabelecer a imprevisibilidade gnoseológica dos sistemas físicos e não o seu indeterminismo ontológico. São os nossos limites que nos impedem de prever o estado futuro de tais sistemas: eles estarão sempre de facto num estado perfeitamente definido. É o modelo que usamos para o descrever que fornece respostas com carácter caótico. Neste sentido pode afirmar-se que o futuro deixa de ser perspectivado como uma extrapolação do presente, passando a ser uma entidade gnoseologicamente imprevisível. Este tipo de sistemas parece ter um comportamento aleatório mas, de facto, o seu comportamento é determinista. A solução caótica é portanto uma solução de um sistema que aparenta um comportamento aleatório, mas cujo comportamento é governado e descrito por um sistema determinista. Com base nas

observações anteriores, encontra-se na literatura científica, a referência a um “tempo irreversível”, por oposição ao “tempo reversível” da ciência clássica, no sentido em que esta considera que todos os fenómenos são perfeitamente determinados pelas suas condições iniciais, isto é, pelo seu passado. Sintetizando os argumentos científicos subjacentes aos conceitos referidos pode afirmar-se que:

– A maior parte dos sistemas naturais e muitos sistemas artificiais são não lineares.

– O comportamento dos sistemas não lineares é muitas vezes instável e por isso imprevisível.

– Diz-se que o tempo é “irreversível” no sentido que as mesmas condições iniciais podem produzir diferentes fenómenos e portanto perante um fenómeno não sabemos reconstituir a sua história ou dito de outro modo a “um mesmo presente podem corresponder vários passados”.

Analisemos agora qual a relação dos sistemas não lineares e do caos com certas sensibilidades arquitectónicas, e o modo como é interpretada a oposição, tempo reversível/tempo irreversível. As ideias subjacentes a esta interpretação podem sintetizar-se através de afirmações do tipo:

– As estruturas a edificar não têm relação com o seu contexto.

– As estruturas a edificar devem reflectir, do ponto de vista espacial, a imprevisibilidade e, portanto, exhibir um certo caos que é afinal uma imagem da desordem do mundo contemporâneo e da fragilidade de conhecimentos do homem.

– O espaço deixa de obedecer a uma lógica cartesiana, dobra-se²⁵, deixa de ser efectivo, racional e funcional.

– As estruturas a edificar são estruturas para um “tempo imprevisível”, perdendo significado

a transcendência temporal e o valor de testemunho de uma época, podendo assumir um carácter efémero e nesse sentido não monumental²⁶.

Desconhecendo o significado científico de conceitos como não linearidade, instabilidade ou caos, produzem-se assim traduções que se situam a um nível puramente simbólico, pretendendo-se com elas demonstrar a existência de uma certa desordem no cosmos e de insegurança no conhecimento. Do ponto de vista da arquitectura, mas também da arte e das ciências sociais, esta leitura simplista da imprevisibilidade do comportamento dos sistemas instáveis pode conduzir a teorias e práticas que pugnam pela arbitrariedade, por um antihumanismo – na medida em que o indivíduo deixa de ser considerado como o receptor da mensagem social, artística ou arquitectónica – e por um certo antihistoricismo, na medida em que a história é olhada como uma de entre várias ficções possíveis.

O espaço passa a ser qualificado como não homogéneo – condensando-se em certas zonas e diluindo-se noutras – como dinâmico, transformável e de fronteiras não definidas. Do ponto de vista espacial surge uma visão fragmentada, para cuja materialização contribuiu também, a utilização de software gráfico que se baseia no princípio dos “layers”. Esta visão espacial fragmentada transmite uma certa ideia de efemeridade e transitoriedade, muitas vezes acentuada pela utilização de novas tecnologias multimédia que permitem construir espaços transformáveis em que as texturas, as cores e a percepção das dimensões se podem continuamente alterar.

A referência ao conceito de caos no domínio da arquitectura foi feita, por exemplo, a pro-

²⁵ A obra do filósofo francês Gilles Deleuze, “A Dobra” – longo exercício sobre possíveis contorsões do espaço e do tempo – é frequentemente citada a propósito dos novos conceitos espaciais.

²⁶ A este propósito Toyo Ito afirma “a arquitectura temporal é a antítese da arquitectura monumental que deseja perpetuar-se por toda a modernidade.”

pósito de alguns trabalhos de sensibilidade desconstrutivista, como por exemplo os de Peter Eisenman, Zaha Hadid, Rem Koolhaas ou Bernard Tschumi. Utilizando características do software de arquitectura, estes autores (des) constroem o projecto através de “layers”. Consideram que a sua sobreposição seria feita de modo a satisfazer o duplo imperativo de respeitar simultaneamente a complexidade e o caos: o respeito pela complexidade surgiria como consequência da sobreposição das funções que originariam ambientes estimulantes e a referência ao caos estaria relacionada com o facto da sobreposição dos diferentes níveis – “layers” – poder ocorrer com grande margem de arbitrariedade, introduzindo o imprevisto. Se recordarmos as considerações anteriores relativas ao significado científico dos conceitos de complexidade e caos, parece claro que, no âmbito do projecto, de arquitectura, a referência a tais conceitos só ocorre num plano simbólico, ressaltando uma compreensão imprecisa do seu significado. De facto, no tocante à complexidade, enquanto conceito científico, ela não resulta da soma das partes – aqui representada pela sobreposição dos “layers” – significando mais do que tal soma: é uma propriedade emergente da estrutura enquanto um todo.

Relativamente ao conceito de solução caótica a interpretação dada situa-se num plano simbólico. A solução caótica não é consequência, como vimos, de um processo aleatório – a sobreposição de “layers” feita com grandes margens de arbitrariedade – mas sim de um comportamento determinista.

Na figura 20 mostra-se um edifício de Zaha Hadid, em que a autora pretende ilustrar os princípios projectuais referidos.

Um outro tipo de argumento, igualmente falacioso, e relativo à instabilidade, é avançado por Charles Jencks no seu livro, “A new paradigm in architecture”, onde afirma que o universo evolui por mudanças de fase e saltos repentinos de organização, o que implicaria a necessidade do artificial construído ser representado por arquitecturas instáveis. Mas cabe então perguntar, porque é que a existência de estados de desequilíbrio no universo deveria constituir o modo próprio da arquitectura? Um edifício assimétrico ou com forma pouco comum não está em desequilíbrio, mas sim em equilíbrio estático: o arquitecto pode mas não deve necessariamente romper a simetria e simular o desequilíbrio. De facto, para além de não ter sentido a transposição literal do conceito de instabilidade para o âmbito da arquitectura, as mudanças de fase no universo são pontos não usuais no espaço de estados possíveis, que é essencialmente ocupado por estados estáveis. As metáforas são úteis como instrumento narrativo e pedagógico pois podem criar um discurso apelativo, mas não tem sentido pretender que as propriedades peculiares de um sistema devam ser necessariamente transpostas e caracterizar outros sistemas distintos. Os argumentos precedentes levam-nos a questionar a razão da ocorrência frequente de uma utilização superficial da cultura científica que se faz sentir no contexto de algumas áreas do saber com cunho humanístico. A resposta, segundo o físico Alan Cromer²⁷, reside no facto de a ciência ser um modo de pensar radicalmente distinto do senso comum. Cromer traduz este facto, dizendo que a ciência é um “uncommon sense”, um “senso não comum”, na medida em que usa um raciocínio sobre entidades abstractas e constrói modelos teóricos baseados sobre o

²⁷ Alan Cromer, *Uncommon Sense, the Heretical Nature of Science*.

método hipotético-dedutivo, enquanto que a tendência natural do indivíduo é a associação e a subjectividade. Assim se vai construindo uma “ciência ingênua”, que fornece uma representação redutora do mundo, e se pretende que a qualidade e a inovação são simples consequências da colagem de epítetos científicos.

No domínio da arquitectura a referência aos conceitos de sistema não linear, caos e complexidade parece assim assumir essencialmente um significado simbólico. No entanto, a penetração de conceitos científicos pode traduzir, e traduz muitas vezes, mais do que uma simples peregrinação semântica. A cultura científica faz parte da cultura humana e a ciência e a tecnologia foram e continuam a ser as duas grandes áreas do conhecimento que informam e enformam o quotidiano, modelando a nossa visão do mundo, com base numa interacção crítica sistemática.

Espaços, Tempos e Arquitecturas

A variação da percepção dos ritmos temporais, provocada pelo aumento de velocidade da produção científica, da produção industrial, das comunicações e dos transportes, e a alteração dos padrões de tempo, sugerida pela consciência da imprevisibilidade de muitos fenómenos naturais, induziu sucessivas mudanças de paradigma no conceito de espaço. O espaço, inicialmente olhado como homogéneo, isotrópico e vazio, passa a ser qualificado como não homogéneo – condensando-se em certas zonas e diluindo-se noutras – dinâmico, transformável e de fronteiras não definidas.

A história da arquitectura poderá assim ser lida não só como uma história de ritmos e padrões espaciais, mas também como uma história de

²⁸ Luigi Pellegrin (1925-2001), arquitecto italiano.



ritmos e de padrões temporais. O conceito de tempo, outrora portador de permanência e potenciador de uma memória colectiva, para além das memórias individuais, tem hoje implícita a ideia de efemeridade e irreversibilidade. Esta ideia de efémero não tem necessariamente conotações negativas: o efémero não é o que desaparece sem imprimir marcas, mas sim o que passa por sucessivas morfozes, o que potencia a transformação do passado em presente e do presente em futuro, pois tal como escreveu Luigi Pellegrin²⁸ “o homem moderno é aquele para quem o passado conta como passado e por isso mesmo não é repetível ou, se repetível, só poderá ser superado e nunca recuperado”.

Figura 20: Projecto do Performing Arts Centre em Abu Dhabi de Zaha Hadid



21

Figura 21: Dancing House de Frank Gehry em Praga: a “instabilidade” do universo

Do ponto de vista espacial a efemeridade não é sinónimo de perda da memória individual ou colectiva, não implica o projectar ou o construir de modo descartável mas sim, tal como acontece com a memória biológica, deve basear-se numa contínua transformação. Esta contínua transformação é possível através da preocupação com uma inovação que responda às exigências biológicas, sociais e culturais do indivíduo. E, nesse sentido, embora à primeira vista paradoxal, este fluxo temporal conduzido pela inovação poderá significar a recuperação da lentidão, dando lugar a uma percepção marcada pela reflexão e pelo rigor, valores que caracterizam a produção do conhecimento científico: ideia esta de lentidão que foi sugerida por Italo Calvino como um dos grandes temas de reflexão para este milénio e que foi posteriormente recuperada por Juhani Pallasmaa²⁹ como um tema de reflexão no campo específico da arquitectura.

Espaços e instrumentos

O conceito de espaço não foi unicamente influenciado pelas representações temporais. Outras representações influenciaram profundamente a forma de olhar o espaço e entre elas as diferentes escalas a que novas visões do universo iam sendo construídas: o infinitamente grande, o infinitamente pequeno e o infinitamente complexo. Estas novas escalas do universo estiveram desde sempre ligadas a esses descobridores de mundos representados pelos instrumentos que progressivamente foram estendendo os territórios conhecidos:

– Os territórios do infinitamente grande descobertos pelo telescópio e pelo radiotelescópio;

– Os territórios do infinitamente pequeno desvendados pelo microscópio;

– E os territórios dos procedimentos infinitamente complexos conquistados pelo computador.

No âmbito da arquitectura a exploração do infinitamente grande, do infinitamente pequeno e do infinitamente complexo têm uma expressão num certo sentido metafórica. Com os territórios do infinitamente grande foi conquistado o espaço: primeiro a generalização do transporte aéreo, depois os satélites, a alunagem, as sondas para Marte e Titã e as imensas informações que a cosmologia nos vai desvendando sobre a origem do universo. A conquista do infinitamente grande foi simulada pela arquitectura, no decurso do século XX, pelos “sky-line” que representaram uma adição de células habitacionais aos clássicos conceitos de habitat.

Nos territórios do infinitamente pequeno foi descoberta a estrutura da matéria, os microprocessos biológicos, o genoma humano e como matriz de fundo uma visão progressivamente mais clara sobre a origem da vida. O espaço deixou de ser um cenário vazio e neutro para se tornar matéria-prima a organizar, para se tornar matéria orgânica com a qual seja possível simular comportamentos “parabiológicos”. Desenha-se então a possibilidade de explorar o segundo dos infinitos – o infinitamente pequeno – através da simulação de certos metabolismos característicos da matéria viva. Esta biomimese em arquitectura, descrita no Capítulo IV, baseia-se na utilização de procedimentos projectuais que simulam o comportamento da mente na percepção sensorial, em tecnologias ligeiras que “compreendem” os funcionamentos naturais e fabricam materiais com propriedades de tecidos humanos ou que produzem polímeros que

actuem como o sistema imunológico, enviando agentes que tratam tecidos danificados. Os procedimentos projectuais e construtivos que exibem uma matriz sensorial quando acoplados à utilização de energias e tecnologias ligeiras, controláveis e facilmente substituíveis permitem transformar o indivíduo em protagonista do próprio habitat.

Por fim os territórios do infinitamente complexo – que definimos como tudo o que se desconhece acerca do universo, da vida e da mente – são hoje explorados com tecnologia computacional, que compara quantidades gigantescas de informação e estabelece conexões e hierarquias que conduzem à descoberta de padrões. A exploração do infinitamente complexo irrompeu nas últimas duas décadas no âmbito da disciplina arquitectónica. A utilização de meios digitais libertou de modo surpreendente a forma de possíveis restrições construtivas, na medida em que, ao quantificá-la com rigor através de uma tradução analítica que recorre a funções de aproximação, permitiu a sua materialização usando tecnologias de manufactura auxiliada por computador.

Apontámos alguns conceitos para caracterizar o tempo e o espaço. Estes conceitos têm um carácter abstracto. A concepção do espaço, num certo tempo e para um certo tempo, é obviamente influenciada por representações intelectuais abstractas, que poderão ser enformadas por tais conceitos, mas tende para uma figuração que os transcende na medida em que representa um acto comunicacional e um acto de cultura com uma mensagem autónoma. Nos capítulos seguintes abordaremos este problema de diferentes pontos de vista.

²⁹ Juhani Pallasmaa, arquitecto finlandês nascido em 1936.

CAPÍTULO III DAS MÁQUINAS ÀS ESTRUTURAS NATURAIS E AOS PRINCÍPIOS DE OPTIMIZAÇÃO

“A forma tridimensional da Arquitectura não representa o exterior de um volume mas o invólucro côncavo ou convexo de um espaço; o espaço não é um vazio mas o lugar volumétrico de um conjunto de possíveis actividades”.

Giancarlo de Carlo

Máquinas

O desenvolvimento técnico e o desenvolvimento científico dos séculos XVIII e XIX criaram a convicção que os avanços que configuravam, conduziriam inexoravelmente ao progresso. A introdução da máquina a vapor, os progressos na física, na química, na matemática e na biologia, afastaram continuamente as fronteiras do desconhecido. A caminhada triunfante da ciência prosseguiu, a partir do século XIX, com o desenvolvimento dos transportes, das comunicações e a progressiva invasão das aplicações científicas na vida quotidiana.

O fascínio pela ciência e pela tecnologia sofreu no entanto um ligeiro declínio, durante o século XX embora as críticas permanecessem limitadas a alguns grupos políticos e sociais. Este declínio foi primeiramente causado pelo aparecimento de aplicações militares mortíferas na primeira guerra mundial, acentuando-se em seguida com o lançamento das bombas atómicas sobre Hiroxima e Nagasaki.

A velocidade vertiginosa com que se sucediam as descobertas técnico-científicas continuou a marcar o modo de pensar, sentir e agir dos indivíduos, tendo mudado os modos de comunicação, os modos de produção artística e industrial e com eles a organização social e o conceito de futuro.

É a era da produção em massa, da distribuição global e da uniformização. É a idade da velocidade e da standardização. Do ponto de vista da arquitectura pensava-se que a abstracção, a ausência de ornamentos e a utilização de materiais como o aço, o vidro e o betão, ultrapassariam as barreiras culturais e dariam lugar a uma sensibilidade plástica globalmente aceite:

o Estilo Internacional. O Movimento Moderno, que se desenvolveu nas primeiras décadas do século XX, incorporou na sua linguagem os avanços da tecnologia e da indústria. A arquitectura produzida pelo Estilo Internacional, dominada ela própria por uma forte ortodoxia, representou no entanto uma importante ruptura com um certo academismo vigente que privilegiava os estilos históricos e a decoração.

O paradigma mecanicista, que teve a sua origem com a invenção da máquina a vapor e foi reforçado, já no século XIX, pela revolução tecnológica, representada pela introdução do comboio, do telégrafo e do barco a vapor, e, no século XX, pela descoberta da energia nuclear, sugeriu uma



nova forma de figuração em que a “máquina” constituía uma referência dominante. Esta nova máquina já não se assemelhava a uma prótese, como tinha acontecido com os instrumentos do passado, mas um engenho muito mais potente e autónomo. A sua imagem é depurada e inserida no discurso arquitectónico. Inúmeros exemplos desta inserção poderão ser citados. De entre eles seleccionamos alguns que nos parecem emblemáticos e em que a transposição para a linguagem arquitectónica de imagens retiradas à tecnologia é de identificação simples: o motor de explosão, a destilatória e a instalação industrial. Datando do início dos anos 70, do século XX, é particularmente exaltante do conceito de

maquinismo a sede da indústria automóvel BMW, construída em Munique – com projecto da autoria de Karl Schwanzer – evocando os quatro cilindros de um motor de explosão; do final da mesma década de 70 o Centro Pompidou de Paris, de Renzo Piano, constitui também um caso exemplar de fascínio por uma certa cultura tecnológica, propondo uma imagem que poderia evocar uma destilatória de petróleo. Em meados da década de 80, do século XX, Norman Foster projecta o Banco de Hong Kong e Shanghai, com um exoesqueleto de aço revestido com painéis de alumínio, numa simulação em altura – cerca de 179 metros – de uma instalação industrial.



22B

Figura 22A: A sede da BMW em Munique de Karl Schwanzer (1972);
Figura 22B: Imagem do “biomórfico” BMW Welt, em Munique, da Coop Himmelblau (2007)

A crise energética dos anos 70, do século XX, e as que lhe sucederam, evidenciaram a insustentabilidade e a irracionalidade do modelo de desenvolvimento baseado na industrialização pesada e desenfreada. As economias dos países desenvolvidos começam a deslocar as suas actividades das indústrias pesadas para as indústrias da sociedade da informação, para a investigação e educação, para os serviços e para as finanças. Há uma mudança de objectivos no âmbito da produção: em lugar da produção em massa da sociedade industrial, surge uma produção limitada, mas de uma grande variedade de produtos e com um significativo valor acrescentado nas funções incorporadas ou nas formas exibidas.

Surge assim uma sociedade do conhecimento caracterizada pela intensa circulação de informação, pelas comunicações generalizadas e pela coabitação de múltiplas culturas e múltiplas sensibilidades. Tal como a biodiversidade, isto é a coexistência de muitas formas de vida, é sinónimo de uma existência mais rica, também a sociedade do conhecimento pugna por uma sociodiversidade caracterizada pela defesa da multiplicidade e da heterodoxia. Começa a despontar a necessidade de construir uma nova cultura onde o conhecimento protagonize um papel dominante: é a passagem de uma sociedade industrial, onde a produção em quantidade era a preocupação dominante, para uma sociedade não industrial onde a produção com qualidade é o objectivo central.

A arquitectura entrou ela também numa nova era, “a arquitectura do conhecimento”, através de uma prática interdisciplinar alargada que visa incorporar valor acrescentado nos seus produtos. A diversidade e a heterodoxia devem

surgir então como resultado de processos de simbiose entre a arte, a ciência e a tecnologia, o racional e o sensorial, a “natura” e a cultura. Viviam-se a última década do século XX, embora de facto, como afirma Jacques Attali, o século XXI já tivesse começado³⁰, com o fim do último Império, o desenvolvimento da biotecnologia, da engenharia genética e da Internet. A presença simbólica da ciência e da tecnologia no âmbito da arquitectura tinha até ali exibido um carácter subtil, utilizando como referências, teorias e conceitos da física e da matemática com elevado grau de abstracção, dos quais os projectistas compreenderiam porventura só as suas sugestivas designações, como por exemplo os conceitos de sistema não linear, caos ou complexidade já referidos anteriormente.

E é então que surge a biologia, com as suas múltiplas aplicações à biotecnologia, à medicina e à ciência dos materiais, como novo interlocutor no arquipélago interdisciplinar. A influência das formas biológicas em diferentes sectores da indústria torna-se visível desde o design dos automóveis e dos electrodomésticos, ao design dos próprios computadores. O fascínio pelas grandes instalações industriais e pelo consumo de grandes quantidades de energia dava lugar a uma reflexão sobre o mundo vivo.

³⁰ Jacques Attali, Dicionário do século XXI.



Figura 23: O Banco de HongKong e Shangai de Norman Foster

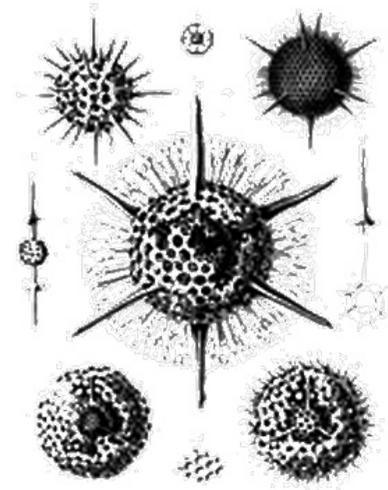
Estruturas artificiais e Princípios de otimização

Os extraordinários avanços da biologia tocaram a arquitectura de modo profundo. O clássico sistema do poste e lintel em que dois membros verticais – postes ou colunas – suportam um terceiro membro – lintel – colocado horizontalmente sobre os dois anteriores, começou a ser substituído por uma visão mais afastada da mecânica e mais próxima das formas naturais. Ao identificarmos esta visão da arquitectura “informada” pela biologia não é, no entanto, à luxúria das formas naturais que nos referimos. De facto, a observação das formas naturais em si mesmas, como possível fonte de informação para a criação de formas artificiais, não representa, do ponto de vista arquitectónico, uma atitude portadora de inovação, na medida em que a biomimese formal foi um discurso recorrente ao longo de toda a história da arquitectura³¹. No âmbito das relações interdisciplinares entre arquitectura e biologia são os mecanismos de adequação das estruturas naturais às suas funções que importa analisar. Para tal começemos por perceber por que razão o processo evolutivo produziu as formas e o tipo de estruturas que encontramos na natureza, como por exemplo as formas esféricas, as associações de certos polígonos regulares ou as estruturas porosas. Muitos dos argumentos científicos utilizados para explicar a existência destas formas e texturas baseiam-se em princípios de optimização, princípios que em linguagem não matemática poderíamos designar por princípios de economia de meios. Uma observação atenta das estruturas naturais permite-nos identificar alguns destes princípios, que podemos sistematizar seguindo

³¹ Ver Capítulo IV

uma classificação apresentada por Eugene Tsui³² em “Evolutionary Architecture, Nature as a Basis for Design”:

1. Minimização da quantidade de material utilizado;
2. Maximização do volume, entre todos os que são limitados por uma superfície com uma área determinada;
3. Minimização da área de uma superfície de entre todas as que definem sólidos com determinado volume;
4. Maximização da robustez estrutural;
5. Estabelecimento de uma relação entre textura, cor e função;
6. Selecção de materiais que permitam realizar os princípios anteriores de modo eficiente;
7. Criação de continuidade entre interior e exterior sem interrupções nem fracturas;
8. Relação simbiótica entre função e forma;
9. Selecção de formas eficientes do ponto de vista energético e que favoreçam a circulação do ar;

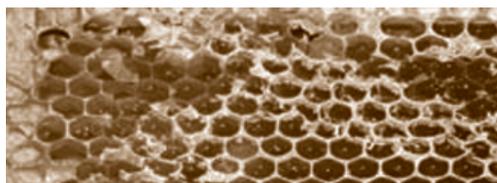


24A

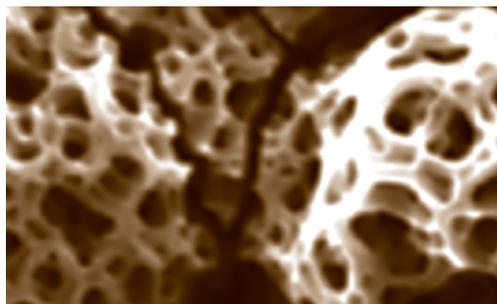
³² Eugene Tsui, *Evolutionary Architecture*.

10. Unidade e continuidade das estruturas;
11. Dimensionamento da estrutura de acordo com o material e com as forças internas e externas que sobre ela actuam.

O primeiro princípio de otimização enunciado pode ser invocado para explicar a estrutura constituída por prismas hexagonais que surge por exemplo nas colmeias: a abelha construiria as suas células de modo a minimizar a quantidade de cera usada na construção. Esta explicação foi avançada, já no século XVII, pelo físico francês Réamur e confirmada então pelo matemático Koenig. Curiosamente, já no século XX, o matemático húngaro Fejes Toth³³ provou que a célula característica das colmeias não satisfaz a propriedade 3), isto é, não exhibe superfície mínima de entre todas as que têm um mesmo volume, facto este que nos leva a concluir que, apesar de tudo, a natureza não é onisciente no sentido em que existem estruturas naturais que não satisfazem os princípios de optimização de modo rigoroso.



24B



24C

Figura 24A: Formas esféricas³⁵

Figura 24B e 24C: Polígonos regulares e porosidade na natureza.

Para ilustrar os princípios 2 e 3 comecemos por observar que a forma esférica – que encontramos à escala microscópica em seres unicelulares, à escala da visão humana em habitats animais ou bolas de sabão, e à escala do infinitamente grande nos planetas do sistema solar – tem a curiosa propriedade de exhibir um volume máximo de entre todos os sólidos com uma determinada superfície, ou de modo equivalente exhibir uma superfície mínima, de entre todos os sólidos de igual volume. Do ponto de vista da arquitectura, uma possível tradução destes princípios indicaria que a forma esférica permite conceber um volume habitável máximo com uma superfície exterior mínima.

Atribui-se a primeira constatação desta propriedade da esfera, a propriedade isoperimétrica, a Arquimedes, tendo sido matematicamente provada em 1884 pelo matemático Schwarz. A pesquisa sobre a formação de bolas de sabão numa solução aquosa desempenhou um papel fundamental no estudo desta propriedade. Tal pesquisa não constituiu um simples exercício de curiosidade para matemáticos ociosos, tendo sido a partir dela que nasceu a moderna teoria das superfícies mínimas, que são superfícies que apresentam área mínima e satisfazem uma certa propriedade como por exemplo exibirem volume constante³⁴.

É curioso notar, que foi ao estudar o significado de diferentes experiências com bolas de sabão, que Frei Otto concebeu a superfície mínima que cobre o Estádio Olímpico de Munique construído em 1972. Frei Otto observou a forma de bolas de sabão e reinterpretou as formas que observara, pois tal como ele próprio afirmou “a natureza não deve ser copiada mas sim tornada compreensível”.

³³ What the bees know and what they do not know, Comunicação apresentada ao congresso da Sociedade Americana de Matemática em 1964.

³⁴ A esfera é um exemplo de superfície mínima que se obtém como solução de um problema de minimização de superfície e obedecendo à restrição do seu volume ser constante.

³⁵ Esqueletos de radiolários.

O princípio de otimização 4, que aponta para a selecção da forma óptima como a que maximiza a robustez das estruturas, poder-se-ia também traduzir, de modo sensivelmente equivalente, pela afirmação que nas estruturas naturais a forma é uma resultante das forças exteriores aplicadas. A maximização da robustez estrutural estabelecida neste princípio pode ser ilustrada de modo simples pela análise da estrutura óssea de seres vivos. Para tal observem-se os radiolários e os vertebrados. Os radiolários são seres unicelulares, com cerca de 600 milhões de anos de história, que assumem formas muito diferentes, desde formas esféricas a formas com simetria radial ou bilateral, evidenciando esta variedade que a natureza, mesmo à escala microscópica, opta por formas ordenadas de grande variedade e luxúria³⁶. Na figura 26 estão representados esqueletos de radiolários constituídos por sílica sólida, que é um composto de estrutura cristalina muito resistente ao processo de dissolução na água do mar. Note-se que os radiolários não têm mobilidade pelo que não se coloca o problema do peso da estrutura de sílica compacta. Em certos grupos de radiolários a estrutura silicosa é constituída por elementos ocos com junções de material orgânico. Os exemplares deste último grupo são de difícil preservação, pois o facto do seu esqueleto ser oco torna-os menos resistentes ao processo de dissolução.

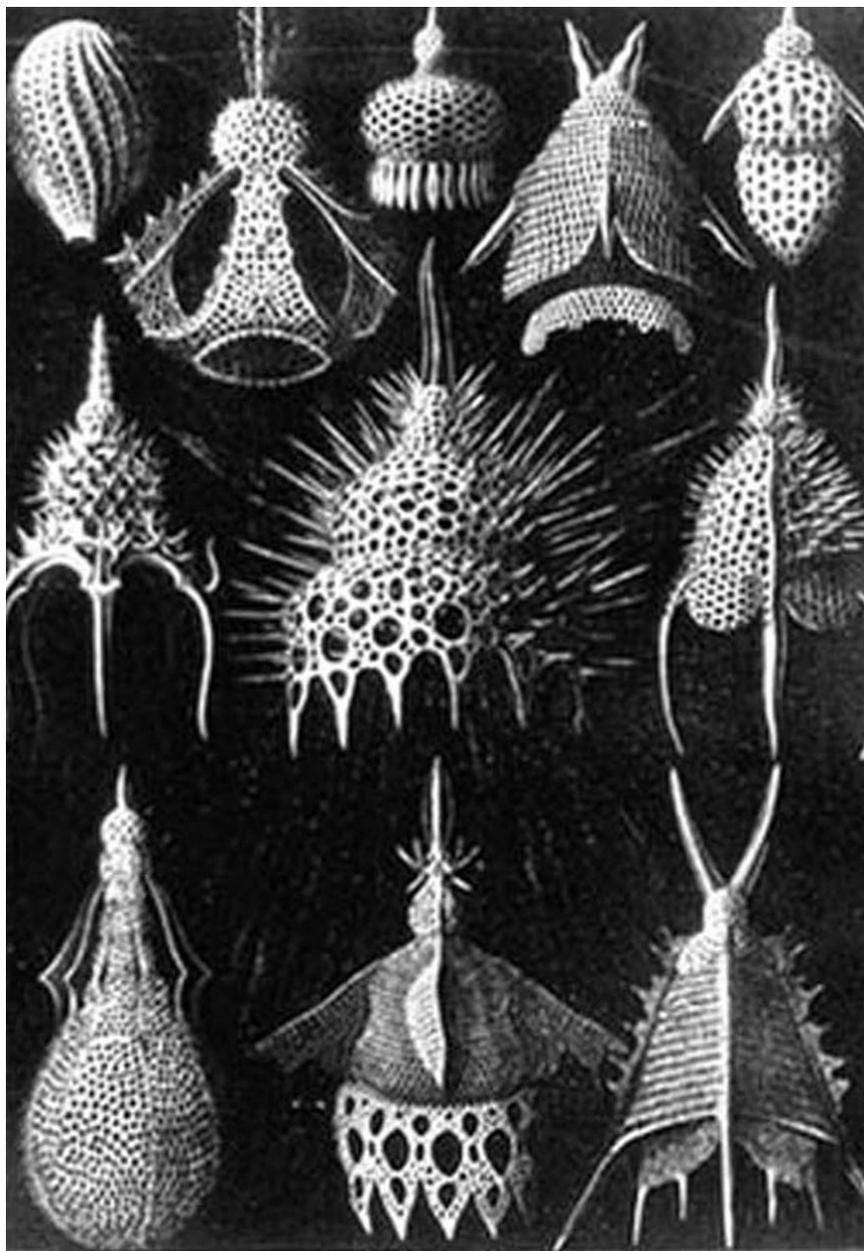
Analisemos agora a estrutura óssea dos vertebrados. Ao contrário do que se observa nos radiolários, o esqueleto dos vertebrados é constituído por tecido cortical, que é denso e compacto, e por tecido trabecular que é poroso e esponjoso. O tecido trabecular é formado por filamentos que se intersectam de modo a

³⁶ O biólogo Ernst Haeckel estudou e desenhou cerca de 4700 radiolários de diferentes tipos.



Figura 25: Cobertura do Estádio Olímpico de Munique de Frei Otto





formar uma estrutura esponjosa, o que confere à estrutura óssea uma leveza adequada ao movimento e permite aos ossos suportar tensões sem fracturar.

Na zona constituída por osso trabecular pode observar-se que as trabéculas assumem direcções particulares que, segundo a lei de natureza empírica do fisiologista alemão Julius Wolf, representam as direcções de maior tensão mecânica. Nos últimos anos tem vindo a ser estudado um grande número de modelos matemáticos para explicar a remodelação óssea. Em particular foi provado que as direcções assumidas pelas trabéculas correspondem à minimização do trabalho das forças aplicadas na estrutura. No caso das aves os ossos são ocos, enchendo-se de ar, o que torna o esqueleto muito mais ligeiro. A estrutura óssea tem assim características que revelam adaptação às suas funções: compacta no caso dos radiolários pois, por um lado, não se coloca a questão do peso e da mobilidade e, por outro, esta compacidade confere resistência à dissolução na água do mar; esponjosa no caso dos vertebrados, característica que lhe confere maleabilidade, e em que a orientação das trabéculas que definem o tecido esponjoso é a que minimiza o trabalho das forças aplicadas; ultraleve no caso das aves o que as torna as mais eficientes das máquinas voadoras.

A maximização da robustez estrutural referida no princípio 4 está também patente na capacidade que as estruturas naturais têm para suportar forças de compressão e de tensão. Foi avaliado experimentalmente³⁷ que o caracol suporta forças de compressão com um valor de cerca de duas mil e duzentas vezes superiores ao seu próprio peso, ficando este facto a dever-se não só ao material de que é feita a sua concha, mas

também à sua forma em espiral. Para clarificar o significado desta relação observamos que, de um modo geral, um edifício apenas suporta forças com uma ordem de valor análoga à do seu próprio peso. Quanto à robustez das estruturas naturais, no tocante a forças de tensão, podem também citar-se experiências laboratoriais realizadas com habitats de várias espécies de aves que revelaram a existência de uma relação, entre as forças de tensão aplicadas e o peso das estruturas que, em alguns casos, pode chegar a atingir o valor duzentos. Este valor poderá ser explicado pela natureza da textura do próprio habitat, que se pode considerar tecida com vários tipos de materiais de modo tal que não é fácil separá-los. A robustez do habitat das aves pode ser testada num “túnel de vento”, concluindo-se que o ar escoia em torno das formas aerodinâmicas sem provocar nenhuma turbulência no interior.

Um outro exemplo muito interessante para ilustrar a resistência às forças de tensão é a teia da aranha. A seda, ou mais exactamente as sedas³⁸, com que é construída a teia são materiais compósitos – de certo modo análogos a fibras de vidro embebidas em resina – e formados por cadeias desordenadas de aminoácidos e cristais, podendo ser estendidas até um comprimento de cerca de quatro vezes o inicial.

A robustez das estruturas naturais resulta, ao nível macroscópico, da sua forma e, ao nível microscópico, do arranjo celular dos materiais utilizados como referido no princípio 6. Quando considerado no âmbito das estruturas artificiais, este princípio sugere como possíveis soluções projectuais a inclusão de formas aerodinâmicas e a utilização de novos materiais compósitos, portanto de estrutura não homogénea, mais

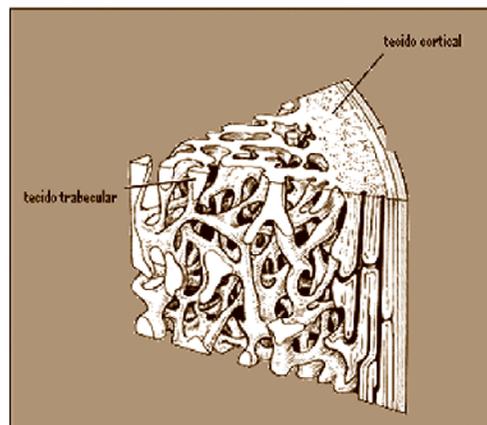
densos onde as forças exteriores forem superiores e menos densos onde as forças exteriores exibirem valores menores.

A continuidade entre interior e exterior, referida no princípio 7, é uma consequência da capacidade que as estruturas vivas têm de se dobrar indefinidamente. De facto, embora estas estruturas sejam tridimensionais, elas são construídas por “dobragem” de elementos bidimensionais. As células são compostas por superfícies que crescem, se dobram, e formam bolsas, criando continuidade entre interior e exterior. É este surpreendente método de construção que permite que a auto-reparação, a reprodução e a selecção natural sejam viáveis. Se os organismos vivos fossem construídos a partir de blocos tridimensionais as suas propriedades seriam muito diferentes. Partindo desta observação Evan Douglas³⁹, utilizando um software sofisticado, criou uma superfície de espuma rígida constituída por unidades entre as quais existem orifícios circulares e onde se podem encaixar braços metálicos que permitem

³⁷ Eugene Tsui, obra citada.

³⁸ Uma aranha produz diferentes tipos de seda destinados a diferentes funções.

³⁹ Arquitecto americano director do sector expositivo da Columbia University de Nova Iorque.



27

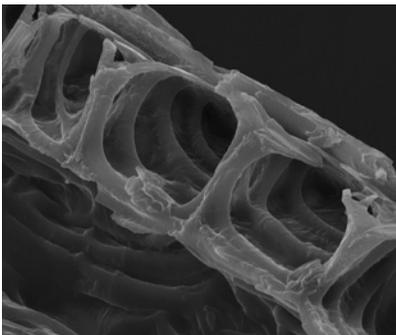
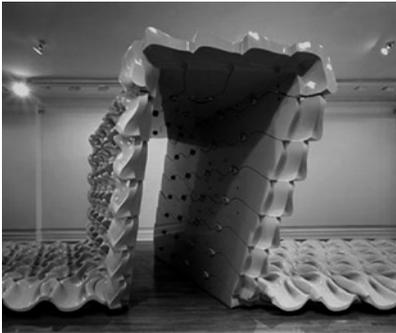
Figura 26: Imagens de radiolários desenhadas por Haeckel

Figura 27: Estrutura óssea dos vertebrados

suportar ou suspender diferentes objectos. Para além de múltiplas formas, a superfície, que representa de certo modo uma incarnação de uma imagem virtual, pode desempenhar diferentes funções em simultâneo: fundo, suporte, estrutura, superfície, diafragma. A superfície que designou por *Auto Braids /Auto Breeding*, é um protótipo que foi concebido para acolher uma exposição do arquitecto francês Jean Prouvé⁴⁰. Do ponto de vista da arquitectura podemos ilustrar a relação interior/exterior comparando a arquitectura ocidental com a arquitectura tradicional japonesa: a arquitectura ocidental simboliza a conquista da natureza, sendo nítida a separação interior/exterior, enquanto que o espaço da arquitectura japonesa pretende representar a harmonia entre arquitectura e natureza e portanto diluir a separação entre o interior e o exterior. As superfícies têm assim um significado diferente nas duas arquitecturas não só pelas razões culturais apontadas, mas também por razões materiais ligadas ao facto que a arquitectura ocidental é uma arquitectura de pedra e a arquitectura japonesa é essencialmente uma arquitectura de madeira.

Analise agora o princípio 8 que estabelece a simbiose entre função e forma, utilizando de novo o exemplo das estruturas ósseas. O funcionamento destas estruturas é hoje compreendido em termos dinâmicos no sentido em que há uma constante remodelação dos materiais ósseos de modo a serem fornecidas respostas adequadas aos estímulos exteriores. Isto significa que nos locais onde as tensões exteriores são mais elevadas há deposição de osso, efectuada pelos osteoblastos, que são células que produzem a nova estrutura óssea, enquanto que nos locais onde as tensões são mais baixas há absorção

de osso, pelos osteoclastos, células de grandes dimensões que dissolvem a estrutura óssea. A forma assumida pelas estruturas ósseas é resultante do tipo de forças que sobre elas actuam, sendo assim uma propriedade dinâmica que reflecte a criação e deposição do material nas zonas e nas quantidades em que as forças de tensão e compressão são mais elevadas. A forma de uma estrutura representa o resultado de um processo que optimiza a eficiência, processo este determinado por algo que se assemelha a um modelo matemático inscrito no código genético dessa estrutura. A explicação sobre o processo dinâmico, que conduz à formação da estrutura óssea e aos princípios de optimização que lhe estão subjacentes, pode estender-se a outras estruturas naturais, permitindo concluir que, em larga medida, a forma de uma estrutura é determinada pelas forças a que está sujeita. Forma e função são nesta perspectiva propriedades que dependem do contexto em que a estrutura está inserida, não representando portanto unicamente propriedades desta, mas também das suas relações com o exterior. O conceito de forma, como uma resultante das forças aplicadas à estrutura em causa, é também ilustrado de modo simples com o fenómeno físico da formação de bolas de sabão. Quando mergulhamos um fio de arame fechado, com uma forma arbitrária e definindo uma área “não excessivamente grande”, numa solução de sabão e depois o retiramos há sempre a formação de pelo menos uma superfície. Esta superfície tem uma área mínima e designa-se por superfície minimal. Pode provar-se rigorosamente, com instrumentos matemáticos, que esta superfície minimal é a que exhibe uma força de tensão –



28A

28B

Figura 28A: Uma imagem de *Auto Braids/Auto Breeding*

Figura 28B: Fotografia da estrutura celular da celulose

força que o fio de arame exerce sobre a película de sabão – com energia potencial mínima.

As arquiteturas animais não só são robustas como ultrapassam muitas vezes as estruturas humanas em tamanho relativo, isto é quando se compara o tamanho da construção com o tamanho do construtor. Por exemplo se considerarmos um habitat de térmitas, de tamanho médio, um simples cálculo mostra-nos que o seu tamanho à escala humana corresponderia a um edifício de seiscentos metros de altura.

No entanto, tal como se afirma no princípio 11, o dimensionamento da estrutura depende do material e das forças internas e externas que sobre ela actuam. O problema do dimensionamento pode ser ainda analisado sob o ponto de vista energético e sob o ponto de vista da robustez estrutural. Notemos que se um objecto tem uma dimensão linear típica de valor d , a dimensão típica da sua área será da ordem de d^2 e a dimensão típica do seu volume será da ordem de d^3 : se passarmos, por exemplo, de uma dimensão linear com valor 1 para uma dimensão linear com valor 16 o volume aumenta 4096 vezes. O calor produzido por uma estrutura é proporcional à massa do organismo – e portanto ao seu volume – e o calor que liberta é proporcional à área da sua superfície exterior. Nas estruturas naturais com grandes dimensões, para compensar o valor elevado do volume, ocorrem processos que aumentam a superfície exterior e que se podem traduzir pela adição de superfícies, de dimensões mais reduzidas, à superfície inicial, podendo então esta surgir esta com um aspecto ondulado, ramificado ou enrugado.

Para além da robustez e do tamanho das estruturas naturais, é curioso notar que existem



29

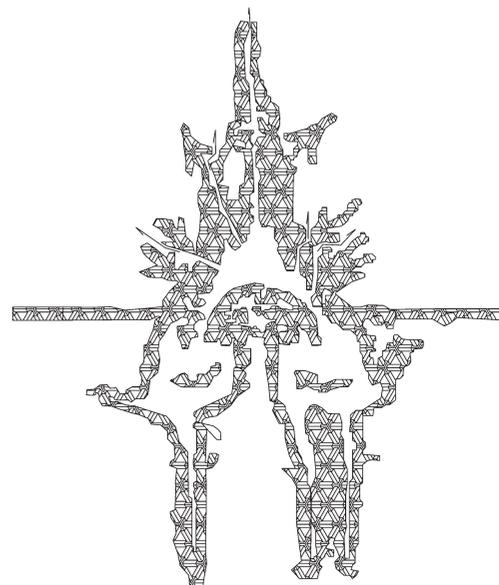
⁴⁰ Arquitecto e designer francês, desaparecido em 1984, cuja obra se caracterizou pela experimentação de novas tecnologias e materiais.

Figura 29: O habitat das térmitas

soluções técnicas muito sofisticadas nas arquiteturas animais que mais tarde o homem reinventou: as estradas cobertas e as rampas das térmitas, os sistemas de regulação da temperatura das abelhas, ou a reciclagem de determinada espécie de abelhas que se alimenta das próprias estruturas, para as reutilizar como material de construção. Neste último caso a teia de seda reentra directamente nas glândulas da seda, fazendo um “bypass” ao sistema digestivo, evitando assim a quebra das cadeias de proteínas.

A observação do funcionamento do habitat das térmitas inspirou Mick Pearce na concepção do complexo de escritórios Eastgate, em Harare no Zimbabwe, concluído em Abril de 1996 e constituído por dois edifícios ligados por uma

cobertura de vidro. Na fachada exterior do complexo existem elementos horizontais, que protegem as janelas de reduzidas dimensões, aumentando a área da superfície exterior para aumentar a perda de calor durante a noite e o ganho durante o dia. Estes elementos horizontais são atravessados por colunas constituídas por anéis de aço que suportam vegetação. Por baixo dos sete andares de escritórios existe um sistema de ventoinhas, que permite dez renovações de ar por hora durante a noite, e duas renovações durante o dia. Uma comparação entre o consumo anual de energia de outros edifícios em Harare, que utilizam sistemas de ar condicionado, e do complexo Eastgate mostra que este último consome menos de 35% do consumo daqueles.



30A

⁴¹ L. H. Morgan, *The American Beaver and His Works*.

Citamos ainda dois exemplos interessantes de arquitectura animal que ilustram alguns dos princípios anteriormente enunciados: os diques dos castores e as colmeias das abelhas. No caso dos castores a função dos diques parece ser o de criar “lagoas” artificiais em que o nível da água é regulado através do fluxo que passa pelos diques, funcionando o conjunto como uma rede sujeita a continua supervisão e reparação. Como foi observado por Lewis Morgan⁴¹, os troncos e a lama são utilizados pelos castores de modo um pouco casual, não obedecendo a um plano predefinido e não sendo os diques construídos por uma questão de sobrevivência, mas simplesmente “para melhorar o seu próprio bem-estar”. No caso das abelhas, e também das aranhas, a construção do seu habitat não

é casual, parecendo obedecer a princípios de optimização. Os diques dos castores e as colmeias das abelhas representariam assim, no âmbito da arquitectura animal, o equivalente de duas abordagens arquitectónicas distintas: uma abordagem empírica e uma abordagem racional. Um outro exemplo muito curioso, não de arquitectura animal mas de “arquitectura” de um animal, pode observar-se nas trilobites, que são seres que existiram há cerca de 300 milhões de anos e que possuíram um dos sistemas de visão mais avançados do mundo animal. Hoje para o construir de modo artificial seria preciso um grupo muito criativo de engenheiros. De facto, enquanto que as lentes dos vertebrados podem mudar de forma, o que se designa por adaptação, as lentes das trilobites são rígi-

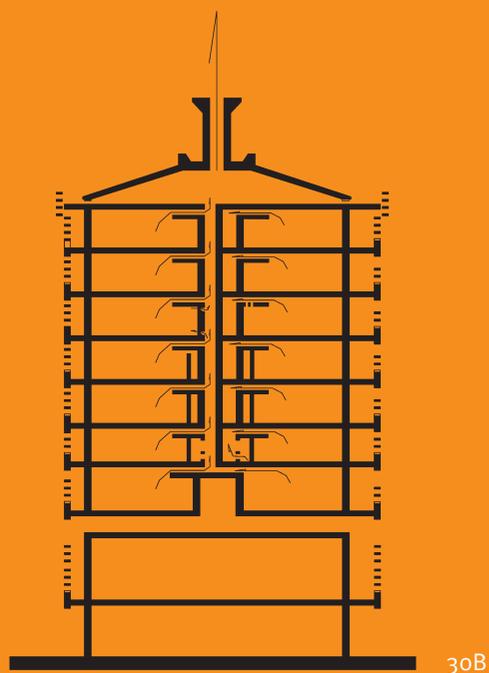
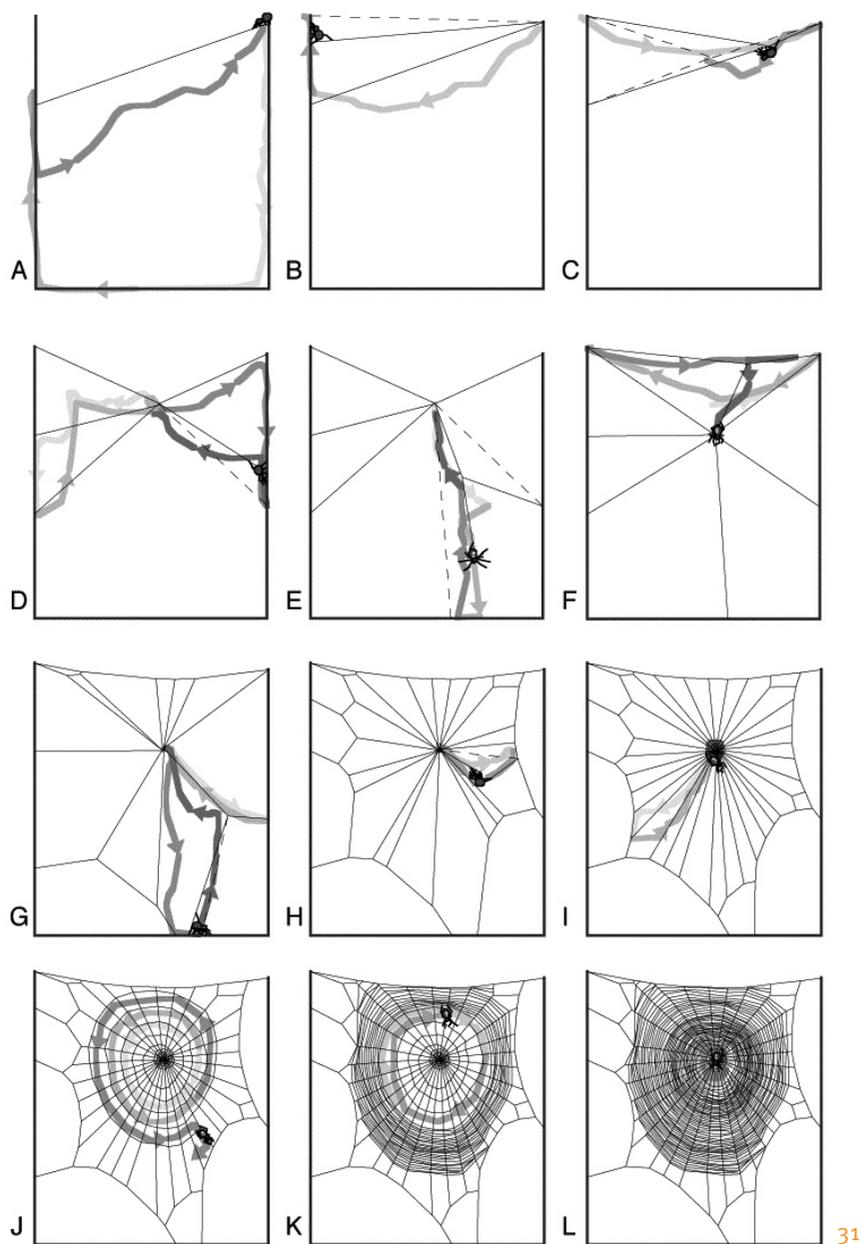


Figura 30A: O habitat das térmitas;
Figura 30B: Climatização passiva do Eastgate



31

Figura 31: Sequência de diagramas que representam a construção da teia da *Araneus diadematus* (S. Zschokke e K. Nakata, Spider orientation and hub position in orb webs, publicado em *Naturwissenschaften* 97). Os autores filmam em laboratório a construção de teias de diferentes espécies e reconstróem o “projecto” através de diagramas como os da figura.

das e portanto não fazem acomodação, sendo este aspecto compensado por uma estrutura constituída por duas camadas de lentes com diferentes índices de refração que maximizam a profundidade do campo (objectos a diferentes distâncias são igualmente focados) e que exibem uma aberração esférica mínima, isto é, não produzem distorção de imagem.

Os exemplos anteriores revelam o significado que se pode atribuir às estruturas naturais como possível fonte de informação na construção de estruturas artificiais: não porque evoquem o regresso a formas primitivas de construção ou porque simular estruturas naturais seja em si mesmo portador de valores éticos louváveis, mas na medida em que as estruturas naturais são sustentáveis, exibindo algumas delas grande sofisticação tecnológica.

As referências que acabámos de fazer, a certos aspectos da arquitectura animal e da arquitectura dos animais, exemplificam o modo como os princípios de optimização estão implícitos nessas estruturas naturais. No entanto, apesar da existência destes princípios subjacentes, não parece haver afinidades, do ponto de vista formal, entre as diferentes estruturas animais, como por exemplo o habitat das térmites, a colmeia, ou a teia de aranha. Para além desta heterodoxia formal a arquitectura animal aponta também para uma certa heterodoxia nos materiais que utiliza e nas técnicas de construção, como faz notar Juan Antonio Ramirez⁴². De facto os materiais utilizados são variados desde a lama, os ramos de árvores e arbustos, as penas,

os pedaços de rocha e até as secreções dos próprios animais. As técnicas de construção são também diversificadas, podendo basear-se em processos de escavação, tecelagem ou colagem entre outros. Sintetizando as considerações anteriores, e ainda nas palavras de Juan Antonio Ramirez “... se utilizássemos a terminologia dos historiadores de arte diríamos que não existe uma linguagem arquitectónica no âmbito das estruturas animais.”

Para além desta ausência de linguagem, se utilizarmos uma terminologia biológica diremos que apesar da forma surgir como resposta a certas restrições físicas – como aliás refere de modo seminal D’Arcy Thomson no seu livro “On Growth and Form” – não existe um determinismo no sentido que certas restrições impliquem necessariamente uma única forma, razão esta que impõe toda a cautela no estabelecimento de analogias entre estruturas naturais e estruturas artificiais.

A não existência de uma “linguagem” nas arquitecturas animais, não é o único argumento a favor da heterodoxia e da diversidade das soluções arquitectónicas. De facto o apelo à heterodoxia, para além de ter raízes sociais e culturais, vem também do interior da própria ciência que chama a atenção para o problema, quando afirma que “tendemos a viver num mundo de certezas, de percepções privas de dúvida em que as nossas concepções nos levam a crer que as coisas só são como as vemos e que aquilo em que acreditamos não pode ter uma explicação alternativa”⁴³.

⁴² Docente de História de Arte na Universidade Autónoma de Madrid

⁴³ Humberto Maturana, Francisco Varela, “L’albero della conoscenza”.

CAPÍTULO IV

A BIOMIMESE REVISITADA: O CORPO E A MENTE

“A forma não é mais do que a expressão de um desejo de vida eterna na Terra.”
Alvar Aalto

Mimeses

Durante a maior parte da história da humanidade a natureza foi perspectivada como uma fonte de recursos. Hoje o mundo natural começa a ser olhado não só como uma fonte de recursos, mas como um código que depois de decifrado poderá ser imitado. Esta nova perspectiva de estudo do mundo vivo, que se poderia designar por biologia intencional, pretende conhecer os mecanismos da vida para os simular.

Mas copiar a natureza não é novo. As formas naturais desde sempre influenciaram, de modo mais ou menos explícito, as construções arquitectónicas. Observemos três exemplos simples para ilustrar como evoluíram os sinais de simulação das formas naturais em arquitectura: uma habitação rural do século XVII, uma habitação urbana dos primeiros anos do século XX e uma casa tal como a poderemos imaginar no século XXI. A habitação rural é construída com pedra e madeira e é aquecida com carvão: a natureza desempenha o papel de fonte de matérias-primas. A habitação urbana, dos primeiros anos do século XX, exhibe as janelas, os portões e as paredes decoradas com formas naturais: a arquitectura mimetiza a natureza a uma escala macroscópica. As lâmpadas e as decorações em ferro recordam frutos e flores, emergindo uma perspectiva da natureza como fonte de inspiração plástica. A casa do futuro poderá não evocar formas naturais, mas ter um sistema de ventilação que elimina a necessidade de utilizar um sistema de ar condicionado, ser construída com materiais que se autolimpam, outros que se autoreparam, e outros ainda que destroem toxinas. A casa do século XXI, embora aparentemente não vá buscar à natureza nem materiais,

nem inspiração formal, mimetiza a uma escala microscópica o comportamento de sistemas e materiais biológicos.

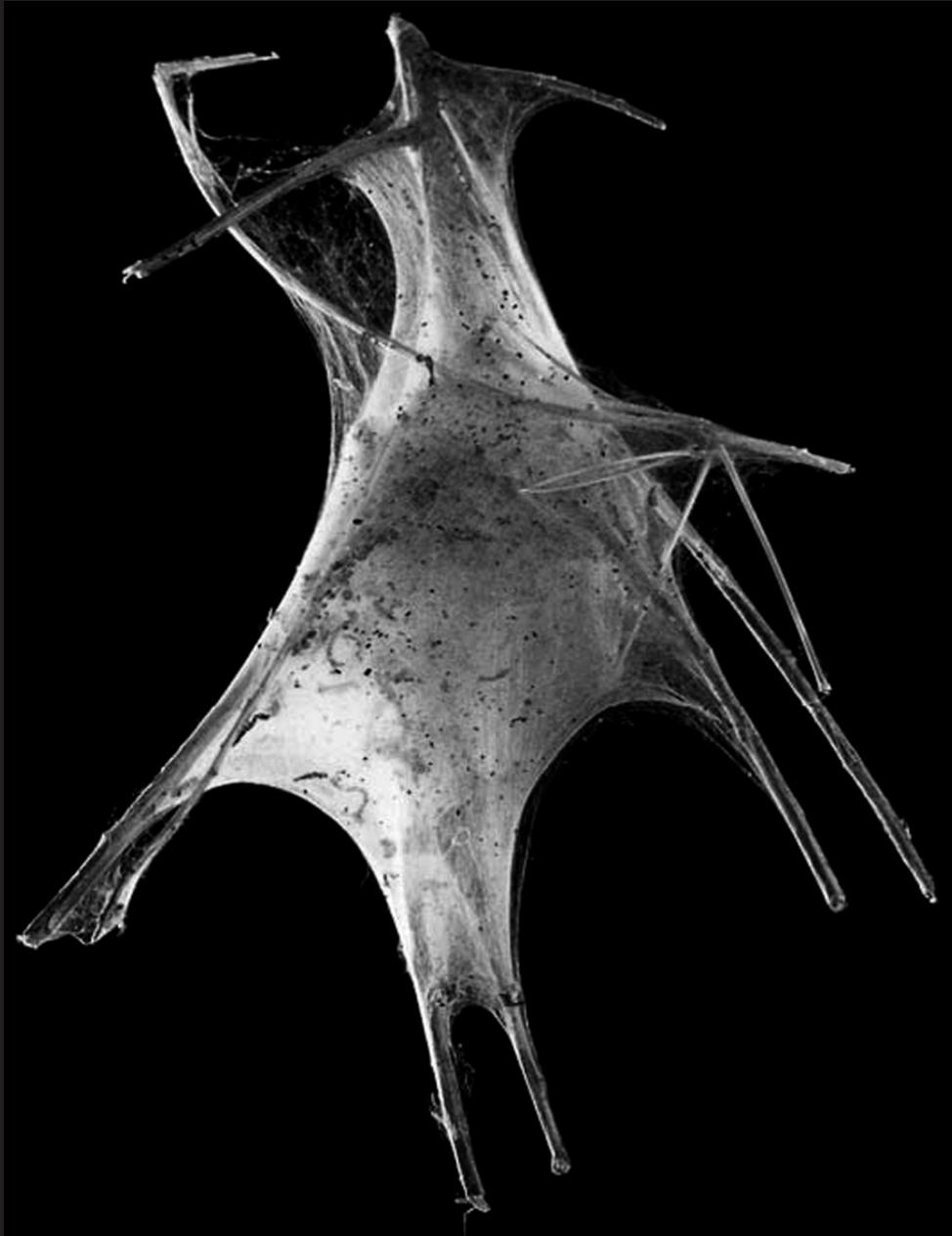
Mas que relação existe entre uma estrutura natural e uma estrutura artificial? Embora as escalas, as funções e os processos que estão envolvidos nas estruturas naturais e nas estruturas artificiais sejam diferentes, são visados objectivos análogos nos dois tipos de estruturas: a funcionalidade, a adaptação ao meio ambiente, a minimização do material e da energia. Por esta razão as estruturas naturais – muitas delas ligeiras, mas rígidas, e exibindo formas com capacidade para resistir a grandes forças de tensão internas e externas – podem constituir uma interessante fonte de informação o que não significa um código a seguir, pois os modos de expressão da arquitectura humana são ditados, para além da funcionalidade e da economia, por razões culturais e sociais.

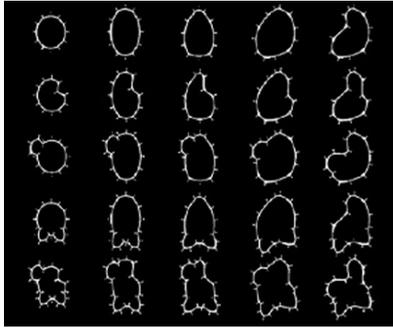
As formas de mimese entre a arquitectura e os processos biológicos situam-se em três planos distintos – o plano morfológico, o plano metabólico e o plano do processo cognitivo da percepção da forma – podendo ocasionalmente surgir associadas. Nas páginas seguintes referimos de modo sumário estes três tipos de mimese.

Mimese morfológica

A mimese morfológica é a mais facilmente identificável pois é caracterizada por uma imitação das formas naturais a uma escala macroscópica. A mais simples e também uma das mais antigas evidências de biomimese é a utilização da simetria em arquitectura. Na obra de Galileu,

Figura 32: As peles das novas arquitecturas e a teia da *Limnophilus sp*





33A

33B

Sidereus Nuncius, publicada a 12 de Março de 1610, duas das mensagens que ressaltam são a existência de simetria no universo e a universalidade das leis físicas. O matemático Herman Weyl⁴⁴ ao publicar, três séculos depois, *A Simetria* – obra considerada fundamental na definição das relações existentes entre ciência e simetria – observa que a partir de Galileu a simetria passara a ser entendida como uma simetria bilateral, isto é, como as relações de igualdade existentes entre partes opostas, enquanto que para os gregos o conceito de simetria se referia a relações de proporção, como por exemplo as relações que existem, numa estátua, entre o comprimento dos braços e o das pernas e de ambos em relação ao corpo.

Esta simetria bilateral, introduzida por Galileu, é característica de muitas formas biológicas adultas e foi talvez, como já referimos, um dos primeiros sinais de identificação entre estruturas naturais e artificiais. Ela pode também ser interpretada como um princípio de optimização implícito nas estruturas naturais, na medida em que a construção de uma estrutura com simetria bilateral requer metade da informação que é exigida para a construção de uma estrutura sem simetria.

Durante o processo de desenvolvimento de um ser observa-se uma perda progressiva das suas propriedades de simetria. De facto, no momento da fertilização o óvulo possui, em todas as espécies, uma simetria esférica, passando depois a ter uma simetria radial, para atingir na sua fase madura, e em grande parte das espécies animais, um estágio de simetria bilateral. Esta perda progressiva de simetria, durante o período de maturação, corresponde a uma diversificação de funções: o embrião

perde simetria, ganhando irregularidade, ao mesmo tempo que adquire diferentes funções. A perda de simetria corresponde portanto a um processo de especialização.

Esta percepção da perda de simetria do embrião é explicitamente representada no estudo de Greg Lynn⁴⁵, exibido na figura 33, que a utiliza como metáfora para o projecto de desenvolvimento de uma habitação, que designou por “casa embriológica”.

Mas para além da referência, talvez demasiado óbvia, à simetria e à sua violação como fonte de especialização, existem evidências históricas de muitos outros tipos de biomimese morfológica. As referências históricas à biomimese remontam às civilizações egípcia e grega, que estudaram as formas naturais, incluindo as formas biológicas, e depois as mergulharam num contexto abstracto através da utilização da Geometria. As formas da geometria euclidiana – círculos, elipses, triângulos, rectângulos – podem ser interpretadas como estilizações das formas naturais.

A arquitectura romana utilizou arcos, abóbadas e cúpulas de clara inspiração natural. Também a arquitectura islâmica, partindo da convicção de que as únicas formas perfeitas se construíam no âmbito da aritmética e da geometria, utilizou as formas geométricas puras como abstrações das formas naturais.

A invenção do arco em ogiva permitiu à arquitectura gótica atingir grandes alturas, criando espaços que acolhem uma espantosa ornamentação de inspiração natural e transmitem uma sensação de leveza.

Na arquitectura barroca, que atingiu grande exuberância em Itália, a planta central deixa de ser circular, como durante o Renascimento, introduz-se a elipse, e também ilusões ópticas

Figuras 33A e 33B: Estudos de Greg Lynn para uma casa embriológica

Figura 34: Fachada da igreja S. Carlo alle Quattro Fontane

Figura 35: O Chicago's Auditorium de Louis Sullivan

e elementos da cena teatral, elementos estes que imprimem movimento à obra. Mas para além destes elementos caracterizantes, também na arquitectura barroca se podem perceber formas de biomimese. Um dos seus maiores expoentes, Borromini, alterou os princípios estruturais clássicos e propôs uma interpretação orgânica das forças de tensão e compressão que actuam sobre a estrutura, o que originou uma associação simbiótica de critérios funcionais e formais. Simulando princípios biológicos, Borromini criou uma linguagem própria que se pode considerar caracterizada por uma fusão entre arquitectura e escultura e por uma interpretação abstracta das estruturas naturais. Estes elementos são bem visíveis por exemplo em S. Carlo alle Quattro Fontane⁴⁶, em que a fachada principal⁴⁷ parece ondular como afirma Pevsner “... criando com este balançar uma sensação de forma humana nua”. Esta presença de princípios biológicos na arquitectura, na época de Borromini⁴⁸, poderá estar relacionada com os grandes progressos científicos que então se viviam: a importância crescente das ciências naturais através do trabalho de Descartes, a afirmação do empirismo, o desenvolvimento das argumentações de carácter matemático, a construção do primeiro telescópio⁴⁹ e do primeiro microscópio. Sem pretender fazer uma descrição exaustiva pode ainda mencionar-se a presença de mimese morfológica na Arte Nova, com as suas simulações naturais exuberantes, e no movimento Arts and Crafts, que afirmava explicitamente que um edifício deveria ser como uma entidade orgânica. Foi no entanto nos Estados Unidos, com Louis Sullivan e uma geração mais tarde com Frank Lloyd Wright, que a simulação das formas naturais deu expressão a uma corrente de

⁴⁴ Matemático alemão que viveu entre 1885 e 1955.

⁴⁵ Arquitecto americano nascido em 1964

⁴⁶ Construída em Roma entre 1638 e 1641.

⁴⁷ Acrescentada mais tarde em 1667.

arquitectura orgânica. Wright⁵⁰ considerava que os seus edifícios se deviam mimetizar na natureza: se não era possível localizá-los nas vizinhanças de elementos naturais como florestas, aglomerados geológicos, ou quedas de água “voltava-os” para o seu próprio interior onde recriava um ambiente natural.

Durante o século XX manifestaram-se muitas outras sensibilidades arquitectónicas orgânicas, como por exemplo as representadas por Paolo Soleri, Bruce Goff, Santiago Calatrava, César Manrique, Emilio Ambasz, e o Grupo Archigram entre outros.

O grupo Archigram foi criado nos anos 60 em Londres. Peter Cook e Colin Fournier, dois dos fundadores, projectaram em 1964 a provocadora Walking City que exhibe uma curiosa semelhança morfológica com o fóssil *Hallucinogénea* encontrado em Burgess Shale. A Walking City, como o seu nome indica, era uma estrutura urbana com uma aparência de réptil gigante que se deslocava.

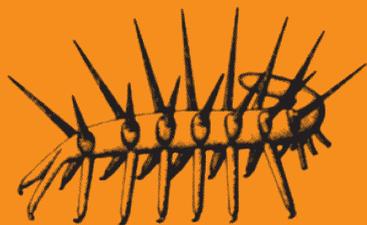
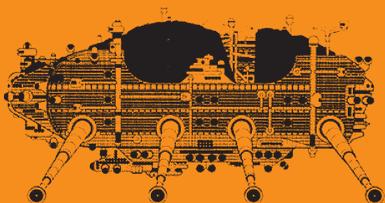
Nas últimas décadas assistiu-se ao ressurgir de uma nova arquitectura com uma certa aparência orgânica e a que o crítico Charles Jencks chama “Organi-Tech”. Mas a que se deve este ressurgir? Múltiplas razões estão na sua origem, desde razões de carácter cultural, ligadas à atracção exercida pelos extraordinários avanços da biologia e a uma melhor compreensão dos princípios de optimização subjacentes às estruturas naturais, até razões de carácter tecnológico relacionadas com a informatização do projecto de arquitectura, a informatização do processo construtivo e a utilização de novos materiais. De facto o uso do desenho assistido por computador permite a simulação de formas curvas, torcidas e dobradas que, em muitos casos, evo-



⁴⁸ *Federico Bellini*, Le cupole di Borromini.

⁴⁹ Inventado em 1608 na Holanda por Hans Lipperhey, introduzido no contexto científico por Galileu e posteriormente aperfeiçoado por Kepler.

⁵⁰ Thomas A. Heinz, *The Vision of Frank Lloyd Wright*.

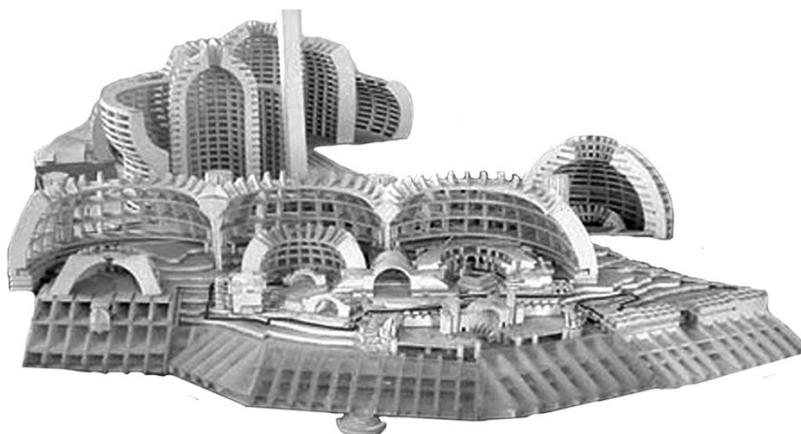


36A

36B

cam formas naturais cuja construção não teria sido possível sem a manufatura assistida por computador e a utilização de novos materiais. Recentemente Peter Cook e Colin Fournier, retomando de certo modo a ideia da Walking City, projectaram a Kunsthaus em Graz na Áustria. Um dos aspectos que foi objecto de pesquisa dos projectistas foi o tipo de material, a forma e a estrutura da “pele” envolvente, de modo que o edifício se adaptasse às alterações climáticas e também às funcionalidades requeridas por um museu. O material escolhido para a “pele” foi o Plexiglass pois é maleável a baixas temperaturas e é completamente transparente e brilhante. Observe-se que, no decorrer dos anos 90, a ideia de uma pele-superfície adquiriu um papel central. Também neste aspecto a influência da biologia foi determinante pois todas as estru-

turas naturais são compostas por superfícies, das células às estruturas ósseas, e o seu desenvolvimento resulta do facto de as superfícies crescerem e formarem invaginações. Esta centralidade da ideia de pele-superfície desenvolveu-se por oposição à ideia dominante na arquitectura e na cultura, durante a década de 80, e que assentava na premissa que o crescimento das estruturas se fazia a partir de fragmentos que somados adquiriam uma dinâmica própria. A fachada oriental da Kunsthaus representa uma fusão entre arquitectura, tecnologia e informação. Foi conseguida através de um sistema designado por BIX constituído por uma matriz luminosa formada por 930 lâmpadas fluorescentes. Sendo o brilho de cada lâmpada controlável, podem ser exibidas imagens e filmes, transformando-se assim a pele do edifício



37

Figura 36A: Imagem da Walking City de Archigram

Figura 36B: Representação da *Hallucinogénea*

Figura 37: Modelo de Arcosanti de Paolo Soleri

num écran de baixa resolução. A pele deste “bio-morfo” assume duas funções distintas. Durante o dia é receptor das imagens circundantes, devolvendo, aos olhos dos transeuntes, uma reflexão da cidade histórica. Durante a noite a “pele” torna-se um emissor de imagens artísticas, transmitindo mais do que a experiência que um potencial utente teria no espaço finito do contentor-museu, a experiência de um artista no espaço infinito da sua imaginação. Muitos outros exemplos de mimese morfológica poderiam ser citados. O Victoria & Albert Museum de Londres dedicou a este tema uma exposição nos finais de 2003, a que se seguiu a publicação do livro *Zoomorphic* de Aldersey-Williams⁵¹. De entre os inúmeros exemplos aí apresentados saliente-se o Milwaukee Art Museum, concluído em 2001, de Santiago Calatrava que poderá

evocar seja a imagem de um pássaro com as asas abertas, como também a imagem de uma baleia a mergulhar nas águas. Santiago Calatrava usa analogias biológicas explícitas não só à escala da imagem da totalidade do edifício como também a escalas estruturais mais finas: podem identificar-se nos seus edifícios tendões, músculos e pele.

Podemos ainda citar o Terminal Internacional da estação de Waterloo em Londres de Nicholas Grimshaw & Partners que recorda um pangolim; ou o Centro Cultural Uluru-Kata Tjuta de Gregory Burgess, concluído em 1995 na Austrália, que simula uma serpente ou a Retail Warehouse, não construída, que simula um urso marinho, da autoria de Wilkinson Eyre Architects. A simetria radial permite o uso de elementos estruturais repetidos.



38A

38B



38C

Figuras 38A, 38B e 38C: A KunstHaus em Graz de Peter Cook e Colin Fournier

⁵¹ Hugh Aldersey-Williams, *Zoomorphic*.

Referimos por último um interessante exemplo de mimese morfológica: a Biblioteca Central da Universidade de Berlim de Norman Foster e Partners concebida de modo a simular a estrutura do cérebro humano como se pode observar na figura 40.

No caso dos projectos que citámos, a relevância dos conceitos biológicos tem um carácter formal e metafórico, sendo adequada a observação, cheia de cepticismo, do urbanista Philip Steadman quando afirma que “Os edifícios são objectos inertes e não organismos.” Os edifícios que referimos assumem uma função de ícone. São edifícios construídos para criar ou reforçar uma imagem de prestígio de uma instituição e que deverão ser portadores

de um valor simbólico. Eles são criados para produzir um certo espanto, representando muitas vezes a sua mensagem, o equivalente ao “étonnez-moi” dos surrealistas. Por exemplo o arquitecto Rem Koolhaas afirma mesmo que o método crítico-paranóico, “um método espontâneo de conhecimento irracional baseado na concretização sistemática e crítica de associações delirantes e suas interpretações”, método seguido por Salvador Dalí, é um excelente instrumento de trabalho.

Um certo número de experiências recentes tem no entanto mostrado, que é possível ultrapassar o plano metafórico, incluindo mimese de aspectos metabólicos no projecto de edifícios.



39

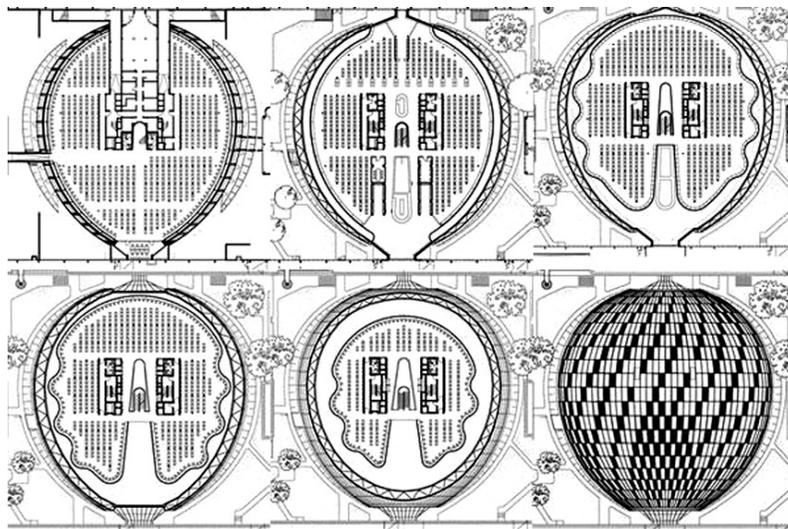
Figura 39: O Milwaukee Art Museum de Santiago Calatrava

Mimese metabólica

A primeira referência explícita a uma mimese metabólica foi possivelmente feita em 1958 por Kisho Kurokawa⁵² num artigo, sobre a necessidade da emergência de uma nova arquitectura, intitulado “Transição da idade da máquina para a idade da vida”. Neste artigo utilizou conceitos como vida, metabolismo, ecologia, sustentabilidade e simbiose e, para lhes dar uma expressão física, sugere a concepção do objecto arquitectónico como um conjunto de unidades em que as partes podem ser mudadas e recicladas. Kurokawa não faz a apologia da cópia formal da natureza, mas sim da simulação do metabolismo dos sistemas vivos. Um exemplo que o arquitecto considera ilustrar este conceito é a Nagakin Capsule Tower, construída em Tóquio em 1972, com catorze andares e cento e quarenta apartamentos, associados de modo que o conjunto se assemelha a uma árvore artificial. Cada um destes cento e quarenta apartamentos – as cápsulas – destinavam-se a ser habitados por uma só pessoa e eram originariamente contentores para transporte, com uma base de quatro metros por dois e meio. Os apartamentos estão ligados a um núcleo central de tal modo que seja possível, com um esforço mínimo, a sua troca e reciclagem, ideias estas que estão na base das concepções de Kurokawa.

Outros projectos, que invocavam de alguma forma a simulação do metabolismo, se seguiram. Um dos exemplos mais emblemáticos é o edifício da companhia de seguros suíça, Swiss Re, construído em Londres, da autoria de Norman Foster. As semelhanças com a esponja da família *Euplectella* são morfológicas, estruturais e funcionais. De facto, para além da forma do

⁵² Kisho Kurokawa, arquitecto japonês que foi um dos fundadores do Metabolist Movement em 1959. É autor de vários livros entre os quais se destaca *The Philosophy of Symbiosis*.



40A



40B

Figuras 40A e 40B: A Biblioteca da Universidade de Berlim de Foster e Partners



41

edifício ser análoga à da esponja marinha, também a estrutura apresenta algumas analogias. O edifício de Norman Foster está coberto por uma rede exterior de aço, leve mas resistente, que lembra o exoesqueleto da esponja constituído por sílica. Do ponto de vista funcional há também uma interessante analogia. A esponja vive fixa no fundo do mar, aspirando água na zona da base que é depois expelida pela parte superior. No edifício de Norman Foster o ar que entra pela parte inferior circula e depois de aquecido sobe; a parte superior do edifício abre e fecha para se adaptar às alterações de temperatura. Este edifício constitui assim um exemplo de mimese morfológica e metabólica. É curioso notar que Norman Foster não se inspirou directamente na *Euplectella*, que aliás afirmou não conhecer, para projectar a Swiss

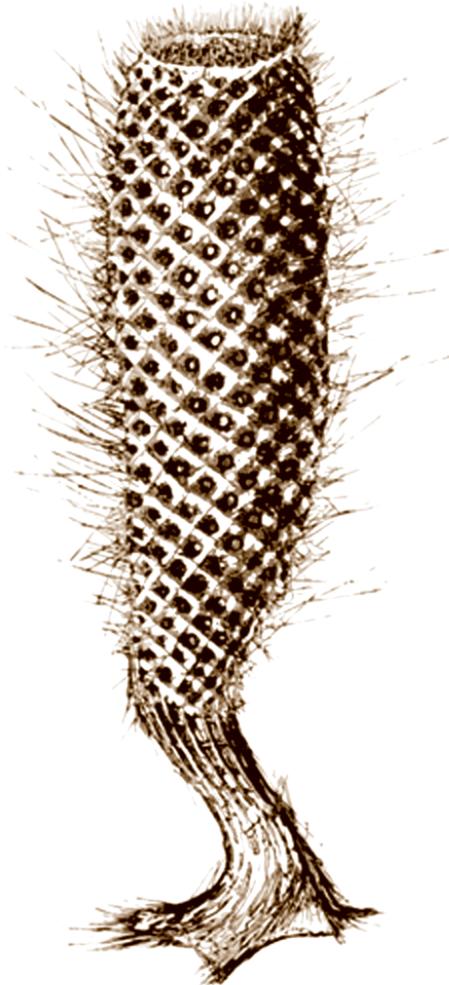
Re: a forma a que chegou e que maximiza a iluminação natural e a ventilação, reduzindo o consumo de energia em cerca de 50%, é, num certo sentido, a mesma a que os milhões de anos do processo de evolução natural conduziram. A forma ovóide utilizada verifica, embora de modo aproximado, a propriedade isoperimétrica da esfera, que consiste em exibir um volume máximo de entre todos os sólidos com uma área da superfície exterior constante. Norman Foster considera que o projecto da Swiss Re tem muitas influências do projecto Climatroffice de Buckminster Fuller, concebido no início dos anos 70 do século XX, projecto que aponta para uma nova relação entre natureza e ambiente de trabalho, sendo o ambiente exterior utilizado para criar um microclima saudável no interior dos edifícios.

Figura 41: A Nagakin Capsule Tower em Tóquio de Kisho Kurokawa

⁵³ Da responsabilidade do Gabinete de Engenharia Atelier One.

⁵⁴ Desenho da missão científica feita em 1872 pelo navio HMS Challenger.

Um outro exemplo de mimese, mas neste caso puramente metabólica, é o novo Centro de Artes de Singapura projectado pelo arquitecto Michael Wilford. O Centro tem um sistema de climatização⁵³ adequado a um clima equatorial, com temperaturas uniformes durante todo o ano. O desafio dos projectistas era construir um edifício com características de transparência mas simultaneamente protegido do sol e do calor. A solução consistiu em construir uma pele protegida por um sistema de painéis triangulares de alumínio que se movem. A ideia do movimento baseou-se, embora de modo algo remoto, no metabolismo do urso polar. A pele do urso polar é negra e o pêlo, aparentemente branco, é constituído por fibras tubulares transparentes. Quando as fibras estão em posição vertical há mais luz que atravessa a pele negra o que permite o aquecimento do urso. Em condições climáticas frias as fibras colam-se à pele, dando ao urso um aspecto branco. O ar que está dentro das fibras tubulares transparentes aquece constituindo uma eficiente camada protectora. Cada uma destas fibras é comandada por um músculo que é activado por um sinal nervoso. No Centro de Artes de Singapura o sinal nervoso não vem de um sensor térmico, mas sim de uma célula foto eléctrica. Na composição das estruturas triangulares os autores colheram inspiração em padrões que se encontram em estruturas naturais como girassóis, escamas de peixes e penas de pássaros. Se observarmos de cima o edifício os elementos surgem fechados para proteger do sol; se olharmos de lado exibem diferentes aberturas. A utilização de software computacional foi determinante na análise e optimização do comportamento térmico e acústico do edifício. O Centro de Singapura,



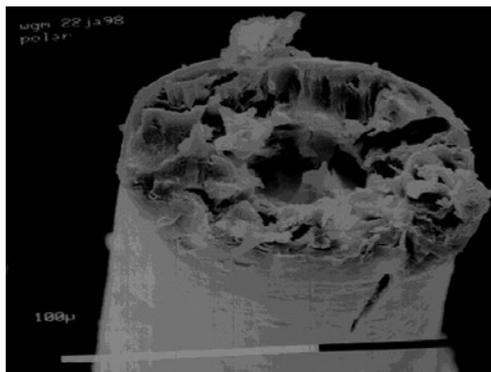
42B



42A

Figura 42A: Sede da Swiss Re, em Londres, de Norman Foster

Figura 42B: Representação de uma esponja marinha da família Euplectella⁵⁴



43A

43B

Figura 43A: Centro de Artes de Singapura de Michael Wilford
 Figura 43B: Imagem microscópica de uma fibra de um urso polar de Bill May

como se pode observar na figura 43, não tem obviamente nenhuma semelhança morfológica com um urso polar. A biomimese situou-se neste caso a um nível puramente metabólico: a inclusão de mimese biológica não implica que o objecto arquitectónico exiba nenhuma semelhança com uma estrutura natural.

Um projecto recente, que se pode também considerar um exemplo de mimese metabólica, mas também formal, é o Estádio Olímpico de Pequim, dos arquitectos Herzog e De Meuron, que criaram um edifício cuja estrutura exterior se inspira de certo modo na estrutura de um ninho de pássaro. Cada espaço interior constitui uma unidade independente que se encaixa na grelha aberta exterior, o que permite a circulação do ar. A “pele” do estádio é simultaneamente fachada e estrutura, integrando também as escadas, as paredes e o tecto.

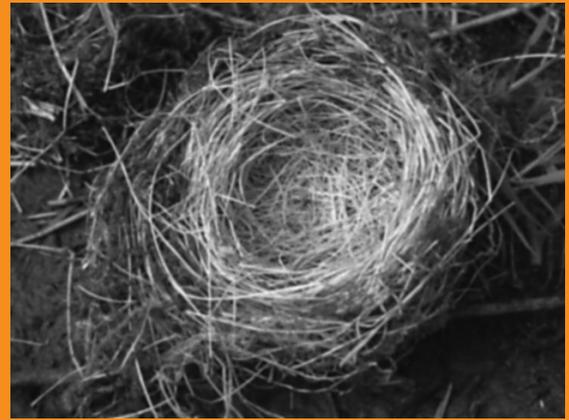
O estádio de Pequim exhibe características de uma arquitectura sustentável com um sistema de recolha de água da chuva, um tecto transparente que permite a passagem dos raios solares e um sistema de ventilação passivo. À semelhança do que se passa nos ninhos, em que os pássaros preenchem os espaços existentes na estrutura com materiais macios, os espaços da estrutura exterior do estádio são preenchidos com “almofadas insufladas”, fabricadas com um polímero designado por ETFE⁵⁵. No telhado as almofadas são montadas na parte exterior para permitir uma protecção total da água e na fachada as almofadas são montadas pela parte interior para permitir uma eficiente protecção do vento. Embora o Estádio Olímpico de Pequim seja um exemplo de biomimese formal sustentável, parece claro que a biomimese formal não implica necessariamente que o edifício seja sustentável.

⁵⁵ Tetrafluoretileno de etileno

Por outro lado, existem edifícios sustentáveis e portanto metabolicamente miméticos que não evocam nenhuma forma natural como por exemplo os edifícios em altura de Ken Yeang. São utilizados princípios bioclimáticos na sua concepção, criando um compromisso entre a massa inorgânica dos materiais de que é construído o edifício e a massa orgânica, constituída por vegetação, que distribui ao longo de toda a altura do edifício.

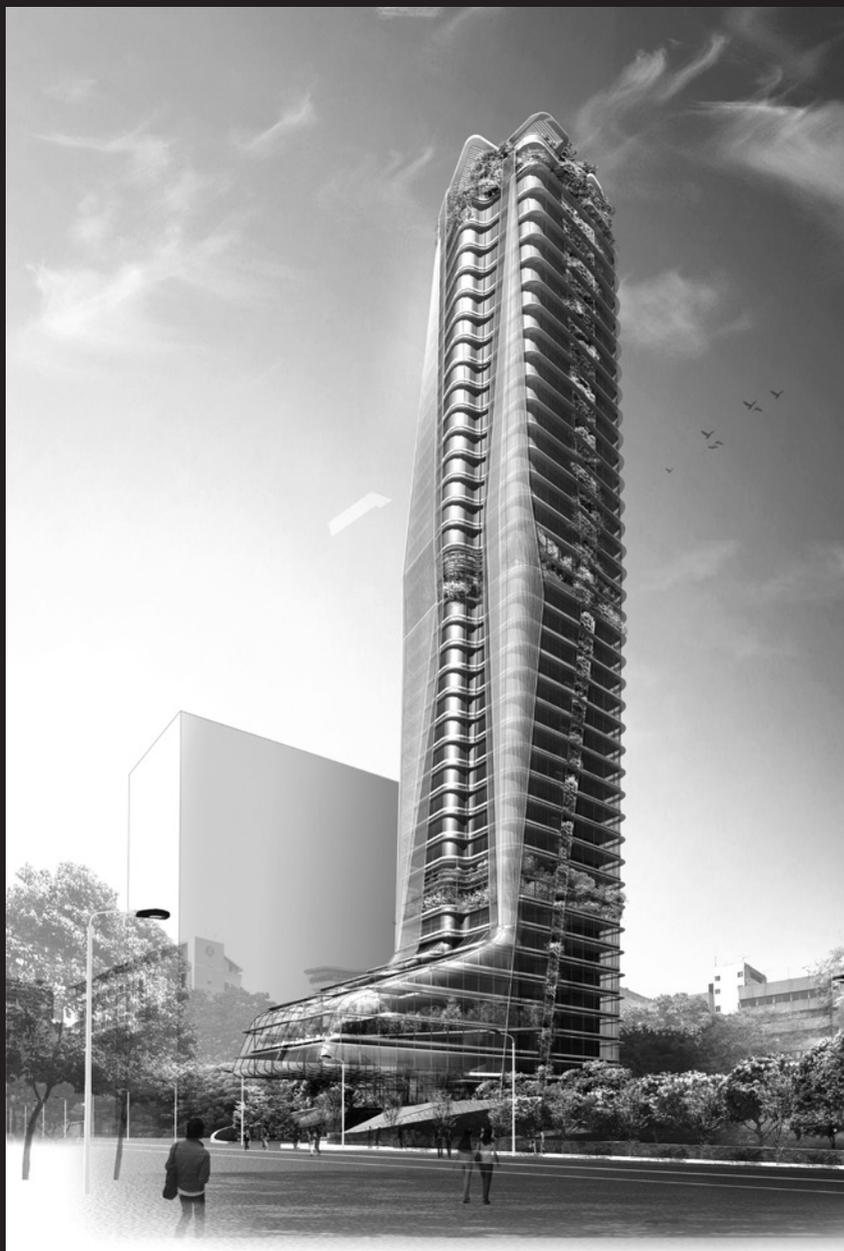


44A



44B

Figura 44A: Estádio Olímpico de Pequim dos arquitectos Herzog e De Meuron
Figura 44B: Um ninho de pássaro



45

Figura 45: Proyecto de Ken Yeang,
para o centro de Londres

A mimese cognitiva e a percepção da forma

Nas páginas anteriores referimos alguns aspectos dos processos biológicos que podiam constituir uma bolsa de informações a utilizar na construção da cidade.

Mas mais do que uma bolsa de informações, formais ou metabólicas, a ciência pode dizer-nos algo sobre a qualidade da vida num edifício pois o conhecimento dos mecanismos mentais de percepção da forma permite concretizar um conjunto de soluções projectuais que poderão incidir sobre a actividade cerebral e o comportamento. Em síntese trata-se afinal do que já, em 1941, Winston Churchill tinha expressado ao dizer “Damos forma aos nossos edifícios e depois eles dão forma à nossa vida.”⁵⁶

No âmbito da biologia são as neurociências que se dedicam ao estudo dos processos mentais e ao estudo do cérebro, órgão de suporte desses processos. O estudo processa-se a nível da biologia molecular, dos sistemas de percepção, das experiências e da consciência. Mas que tipo de diálogo se poderá estabelecer entre as neurociências, uma das mais recentes disciplinas do arquipélago disciplinar e a arquitectura,

uma das mais antigas disciplinas? É um dado empírico que diferentes ambientes afectam de modo diverso a actividade cerebral e que esta afecta por sua vez o comportamento: factores como a luz, a cor, o ruído, o tipo de aquecimento, os níveis de privacidade, a proximidade das janelas tem influência sobre o bem-estar, a saúde, a concentração, o estado emocional, a produtividade, a aprendizagem e o stress. Estes dados empíricos começam hoje a ter uma fundamentação científica o que nos sugere que o tipo de resposta do cérebro à organização espacial é uma realidade que deve ser considerada na concepção arquitectónica.

De facto durante muitos anos os neurocientistas consideraram que o desenvolvimento primário do cérebro terminava na primeira infância e que o cérebro de um adulto é um órgão estabilizado. Embora se soubesse que, por exemplo o fígado, o coração ou os pulmões têm capacidade para substituir as suas células danificadas, pensava-se que o sistema nervoso central não tinha esta capacidade. Estudos científicos recentes, ao analisar a relação existente entre o ambiente espacial em que se move um indivíduo e o seu desenvolvimento mental, concluíram que o cérebro continua a desenvolver-se ao longo

⁵⁶ “We shape our buildings and afterwards our buildings shape us...”.

da vida. Mais exactamente experiências em cobaias adultas e em macacos mostraram que ambientes estimulantes poderiam provocar a produção de três vezes mais células nervosas. Neste sentido a analogia que se estabelece frequentemente entre o cérebro, com os seus 100 biliões de neurónios e os seus 300 triliões de conexões, e um computador não é rigorosa. Ao contrário do que acontece com este, o cérebro é plástico podendo alterar-se, no sentido físico do termo, quando em interacção com o ambiente. A explicação para esta alteração física reside no facto de as células estaminais localizadas em determinadas regiões do cérebro como por exemplo o hipocampo – e cuja produção é afectada pelo ambiente – poderem gerar novos neurónios.

As descobertas científicas das neurociências poderão permitir compreender como é que o cérebro processa a informação espacial. Assim a organização espacial deixaria de certo modo de pertencer unicamente à “ordem da poesia” para passar a partilhar também da “ordem da prova”. Alterando factores como a luz, a cor, o som, ou o ruído, podem ser analisadas as respostas dos indivíduos ao realizarem diferentes tarefas. A análise destas respostas pode ser feita de modo rigoroso, recorrendo a medições de certos parâmetros biológicos. Citemos por exemplo o caso do stress: a avaliação pode ser efectuada em função de certas variáveis do batimento cardíaco que dão informação sobre a actividade cerebral, ou através da análise das hormonas presentes na exsudação e que definem o equilíbrio biológico. Para compreender quais as áreas do cérebro que estão a ser utilizadas sob a acção de certos estímulos podem ser também usadas técnicas de imagiologia.

⁵⁷ Esther Sternberg, *The Balance within, The Science Connecting Health and Emotions*

Foi a utilização destas técnicas que permitiu estabelecer as ligações que existem entre as áreas do cérebro que controlam a imunidade e as que geram sentimentos e emoções, como afirma por exemplo Esther Sternberg no seu livro “The balance within”⁵⁷.

Um dos temas que tem sido desenvolvido no âmbito da neuroarquitectura, neologismo que designa o campo das relações entre as neurociências e a arquitectura, é a perda de referências espaciais que surge no caso da doença de Alzheimer. Se compreendermos as desordens neurovegetativas que a doença provoca, e em particular as alterações que se produzem nas percepções espaciais, poderemos definir quais as características de uma distribuição espacial que minimizam tais desordens.

No contexto das relações da arquitectura com as neurociências múltiplos estudos têm sido efectuados no sentido de otimizar a aprendizagem. Até ao presente tais estudos conduziram unicamente ao estabelecimento de princípios gerais a que deveria obedecer uma divisão espacial “óptima” como por exemplo a utilização de ciclos de iluminação coincidentes com os ciclos circadianos⁵⁸, a criação de espaços com contrastes entre activo e passivo, luz e sombra, interior e exterior, privado e público.

É no âmbito dos mecanismos mentais de percepção da forma que, ao falar de diálogo interdisciplinar entre ciência e arquitectura, poderemos focar não só o fluxo de informação da ciência para a arquitectura mas procurar também indagar se existe transferência de informação e de metodologias da arquitectura para outros campos científicos.

No tocante aos fluxos informativos da arquitectura para a ciência – e embora a ciência

⁵⁸ O ciclo circadiano, é o padrão do ritmo biológico durante 24 horas, como por exemplo o batimento cardíaco ou a temperatura do corpo.

utilize cada vez mais a palavra arquitetura para designar as suas estruturas, como por exemplo a arquitetura da célula, a arquitetura das proteínas, a arquitetura da molécula, a arquitetura do cérebro, a arquitetura de um computador – só recentemente começaram a surgir algumas referências promissoras, no âmbito das ligações com as ciências cognitivas e a neurologia, cuja substância se traduziria por:

– Considerar a prática projectual como um protótipo dos mecanismos de qualquer processo de concepção, tema este que ocupa um lugar central nas ciências cognitivas;

– Estudar o processo cognitivo da percepção da forma, isto é as relações entre a organização do espaço, as manifestações de ordem psicológica e a produção intelectual.

Como observámos, o cérebro tem muito mais plasticidade do que se supunha e a experiência influencia esta plasticidade. A organização espacial afecta a estrutura do cérebro e o comportamento, embora não se conheçam ainda todos os mecanismos envolvidos no processo. As conclusões que forem estabelecidas, a partir do diálogo interdisciplinar arquitetura/neurociências, poderão ser utilizadas como dados experimentais para as neurociências e para introduzir uma maior precisão no desenho arquitectónico: a compreensão dos mecanismos que ligam a organização espacial e a aprendizagem ou a organização espacial e a orientação permitirá criar ambientes que, no primeiro caso, incentivem a aprendizagem e no segundo contrariem a perda de referências espaciais que caracterizam algumas doenças neurológicas como é o caso da doença de Alzheimer.

No tocante aos espaços arquitectónicos dedicados à ciência surgiu recentemente a questão de

saber se a concepção espacial poderá influenciar a produtividade científica. Partindo da ideia que a inovação em ciência resulta do diálogo interdisciplinar, muitos projectos de laboratórios científicos começaram a exibir uma organização caracterizada por permitir “colisões” acidentais entre os seus utilizadores e assim propiciar a colaboração, tornando-se a rede projectual uma metáfora do trabalho em rede.

O princípio que consiste em transformar o projecto num factor propiciador do trabalho em rede não é uma ideia recente. Foi uma preocupação já patente no Salk Institute de La Jolla, construído em 1965, da autoria de Louis Khan, e baseado no conceito de espaços dicotómicos, que combinavam espaços individuais com espaços para o trabalho em grupo.

O diálogo entre investigadores implica a criação de uma linguagem comum, condição prévia para a formação de novas disciplinas: espaços de trabalho flexíveis, espaços comuns que surgem como bolsas nas circulações e funcionem como atractores. Um exemplo recente de laboratório científico que segue estes princípios, é o Ray e Maria Stata Centre de Frank Gehry. O Stata Centre é um conjunto de módulos ligados por corredores e escadas interiores torcidas e entrelaçadas como se pode intuir a partir da figura 47.

Gehry é também autor do Vontz Center for Molecular Studies, cuja organização espacial espelha de novo a necessidade de propiciar múltiplos encontros entre os investigadores. Este edifício é, na opinião do crítico de arquitectura americano James Ackerman, “o laboratório científico melhor conseguido depois do Salk Institute”. Em oposição a esta opinião Nikos Salingaros⁵⁹, referindo-se a uma certa aleatoriedade, que



46

⁵⁹ Nikos Salingaros matemático conhecido também pelos seus trabalhos em arquitectura e urbanismo.

Figura 46: Salk Institute de La Jolla, de Louis Khan

não só o Stata Center mas também o Vontz Center incorporam, afirma que os dois edifícios representam a antítese “da complexidade organizada da natureza”, considerando que é uma “suprema ironia que constituam uma referência espacial para uma ordem tão complexa como a das actividades científicas”. Uma crítica severa, relativamente a estes edifícios surgiu também em⁶⁰, *Architecture of the Absurd: How «Genius» Disfigured a Practical Art*, de John Silber, ex-presidente da Universidade de Boston. Neste livro o autor aponta aquilo que designa por uma certa indiferença de alguns dos chamados “star architects”, indiferença que considera manifestar-se em relação aos seus clientes, aos orçamentos pré-estabelecidos, ao clima, à funcionalidade, aos materiais e por fim às próprias pessoas que vão utilizar os edifícios. John Silber afirma ainda que F. Gehry quis forçar os investigadores a interagirem, o que parece não corresponder à verdade pois a ideia teria resultado de discussões prévias, entre o autor do projecto e os próprios investigadores, que consideram o Stata Center um edifício conseguido do ponto de vista de constituir um catalizador das relações de trabalho interdisciplinares. No tocante a outros aspectos técnicos, o processo tem contornos pouco claros pois o Massachusetts Institute of Technology, instituição em que se integra o Stata Centre, invocou a existência de problemas que teriam causado rupturas nas paredes, má drenagem, humidade no edifício, e bolor nas superfícies exteriores.

A preocupação de criar um cenário que funcione de catalizador da actividade interdisciplinar esteve também presente na concepção de Charles Correa, no Brain and Cognitive Sciences Complex em Cambridge, Massachusetts. Este



Centro reúne três departamentos distintos, com entradas independentes, mas que estão ligados no interior através de um átrio que se desenvolve em cinco andares. O átrio tem uma escala humana e funciona como um pólo de atracção para os investigadores. Existe ainda neste centro uma grande variedade de

⁶⁰ John Silber, *Architecture of the Absurd: How «Genius» Disfigured a Practical Art*



47

ambientes de uso flexível, que se adaptam a espaços tranquilos de reflexão ou a ambientes de discussão conjunta.

Para além destes novos espaços pretenderem induzir efeitos positivos na própria produção científica e no *modus operandi* dos cientistas, criando-lhes um habitat propício ao desenvol-

vimento de relações interdisciplinares, parece claro que assumem também um significado simbólico, oferecendo uma imagem da ciência, que através da criação de consórcios ciência-indústria e do desenvolvimento de relações de mecenato, se aproxima progressivamente das imagens que caracterizam o mundo empresarial.

Figura 47: Ray e Maria Stata Center de F. Gehry

CAPÍTULO V GEOMETRIA E GEOMETRIAS

“A arquitectura não é mensagem, nem signo, mas um pano de fundo para a vida, um receptáculo sensível para acolher o ritmo dos passos no solo, para propiciar a concentração no trabalho e permitir a tranquilidade do sono.”

Peter Zumthor

Geometrias não euclidianas

A arquitectura e a matemática foram, no passado, disciplinas com fortes ligações e fronteiras tênues. Quando o imperador Justiniano quis mandar edificar, no século VI antes de Cristo, uma catedral que tivesse características únicas, a catedral de Hagia Sophia, encarregou Isidoros e Anthemios, ambos matemáticos, de a conceber. Ao longo da história da arquitectura o diálogo com a matemática manteve-se, com maior ou menor intensidade, podendo ser identificados de modo algo simplista, três grandes domínios da matemática que marcaram profundamente a história da arquitectura: a aritmética, a análise infinitesimal e a geometria.

A grande contribuição da aritmética foi o conceito de proporção do qual resultaram os princípios da simetria e, como escreveu Vitruvius nos Dez Livros de Arquitectura “...sem simetria e proporção não existem princípios para desenhar...”. O cálculo infinitesimal, que no século XVIII atingiu um pleno desenvolvimento, permitiu modelar fenómenos físicos com uma precisão até então nunca atingida. De facto, foi com base nele que se desenvolveu a teoria da resistência dos materiais e a teoria matemática da elasticidade. A geometria elabora conceitos abstractos para estudar a organização do espaço. As realizações arquitectónicas representam a concretização desses conceitos abstractos: as pirâmides egípcias são a concretização de conceitos da geometria euclidiana e da trigonometria; as ilusões ópticas do Parténon – conseguidas com a utilização de colunas não equidistantes, ligeiramente arqueadas na parte média, frontão arqueado e estilóbato convexo – testemunham o perfeito domínio da geometria por parte dos

arquitectos gregos; a arquitectura Renascentista representa uma materialização da perspectiva. Durante mais de 2000 anos a nossa visão do universo foi modelada por linhas, triângulos, círculos, polígonos regulares, poliedros e secções cônicas: foi o domínio da geometria euclidiana, que constituiu uma poderosa abstracção do mundo real e cujas bases científicas foram lançadas na grande obra de Euclides, *Os Elementos*. *Os Elementos* constituem não só uma magistral obra de Lógica, como também uma descrição física do espaço, representando a primeira tentativa de criar uma ligação entre uma lógica abstracta e uma experiência sensível. A geometria euclidiana permitiu descrever correctamente os fenómenos do mundo real, e o movimento dos planetas. Ela assenta em cinco axiomas fundamentais:

Axioma I

Dois pontos definem uma recta;

Axioma II

Pode prolongar-se uma linha finita continuamente numa linha recta;

Axioma III

Com um ponto e uma distância pode definir-se uma circunferência;

Axioma IV

Todos os ângulos rectos são iguais entre si;

Axioma V⁶¹

Por um ponto exterior a uma recta passa uma e uma só paralela a essa recta.

Até ao início do século XX a geometria euclidiana esteve sempre presente na concepção espacial. As formas em arquitectura eram concebidas seguindo duas direcções dominantes: a horizontal e a vertical. A influência da geometria euclidiana fez-se sentir em muitos outros domí-

⁶¹ Esta versão não é a versão original de Euclides, mas sim uma formulação equivalente do matemático inglês do século XIX John Playfair.

nios de actividade para além da arquitectura, tendo fundamentado a perspectiva na pintura e até porventura também o fluxo temporal linear na descrição literária.

Como surgiram então outras geometrias, ditas não euclidianas? Durante muitos séculos um problema que ocupou os matemáticos foi perceber se o quinto axioma de Euclides era uma consequência dos quatro primeiros axiomas. Só no século XIX, e de modo independente, os matemáticos Gauss, Lobachevsky e Bolyai descobriram que o quinto axioma era independente dos quatro axiomas iniciais, isto é, dependendo do universo em que nos situamos assim poderão ser estabelecidas diferentes versões de tal axioma. Como afirmou Poincaré “... os axiomas geométricos não constituem juízos à priori nem factos experimentais, são convenções. De entre todas as convenções possíveis a nossa escolha é livre embora seja guiada por factos experimentais. Assim, perguntar se a geometria euclidiana é verdadeira ou falsa não tem nenhum sentido, tal como não tem sentido perguntar se o sistema métrico é verdadeiro e outros sistemas de medida são falsos...”

Partindo dos quatro axiomas iniciais, podem ser geradas diferentes geometrias, correspondendo a versões distintas do quinto axioma. Para tal, é preciso estabelecer modelos intuitivos para os espaços subjacentes a essas geometrias e redefinir os conceitos de linha e plano.

No âmbito das chamadas geometrias não euclidianas distinguimos a geometria esférica e a geometria hiperbólica. A diferença essencial entre a geometria euclidiana e as geometrias não euclidianas reside, como referido, na alteração do quinto axioma, isto é na adopção de um outro conceito de paralelismo: por um ponto exterior

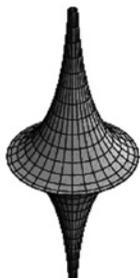
a uma recta pode passar uma única paralela a essa recta, situando-nos então no âmbito da geometria euclidiana, nenhuma paralela ou uma infinidade de paralelas, definindo estas duas versões geometrias não euclidianas. Analisemos, de modo simplificado o que significam estes outros conceitos de paralelismo.

Na geometria euclidiana o universo é representado por um plano. Na geometria esférica o universo é representado pela superfície de uma esfera. Como definir uma linha no âmbito desta geometria? Se pensarmos que uma linha, na geometria euclidiana, é a mais curta distância entre dois pontos, é então natural definir linha como sendo um círculo máximo, isto é um círculo desenhado na esfera e cujo diâmetro passa pelo centro da esfera. De facto, a distância mais curta entre dois pontos de uma superfície esférica é dada pelo comprimento do arco de círculo máximo que passa por esses dois pontos. Assim surge também, de modo natural, a definição de segmento de recta como um arco de círculo máximo. Estes novos conceitos introduzem algumas alterações nas propriedades da geometria euclidiana:

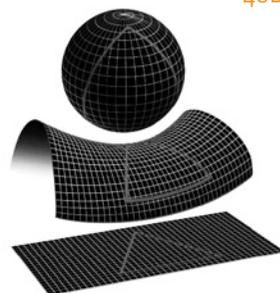
- Por um ponto exterior a uma linha, que é representada por um círculo máximo, não passa nenhuma paralela a essa linha.
- Quando um segmento de recta, arco de círculo máximo, é prolongado as suas extremidades podem encontrar-se.
- Uma linha, isto é um círculo máximo, não “acaba” mas tem um comprimento finito.
- A soma dos três ângulos de um triângulo, cuja fronteira são arcos de círculo máximo, é maior do que 180 graus. Em particular, há triângulos com três ângulos rectos.
- Um quadrado não tem todos os ângulos rectos.



48A



48B



49

Tal como a geometria esférica é a geometria da superfície da esfera, põe-se a questão de saber se a geometria hiperbólica, que se baseia na versão do quinto axioma que afirma que por um ponto exterior a uma recta passam uma infinidade de paralelas a essa recta, é a geometria de alguma superfície conhecida. Há diferentes modelos para a geometria hiperbólica. O mais simples é a superfície de um parabolóide hiperbólico como o mostrado na figura 48. Existem outros modelos para a geometria hiperbólica. Um deles é a pseudoesfera, superfície de revolução criada em 1868 pelo matemático Eugénio Beltrami. Tem uma forma de trompeta mas “estende-se” infinitamente segundo os dois sentidos. É portanto “infinita” mas como “tem mais espaço que um plano” pode ser vista como “mais intensamente infinita” do que ele. No âmbito da geometria hiperbólica surgem também alterações a propriedades euclidianas como por exemplo:

- Por um ponto exterior a uma linha passam uma infinidade de linhas paralelas a essa linha, entendendo-se por linhas paralelas as linhas que não se encontram.
- A soma dos ângulos internos de um triângulo é inferior a 180 graus.
- Um segmento de recta pode ser infinitamente prolongado nas duas direcções.
- Um quadrado não tem todos os ângulos rectos.

Na geometria hiperbólica a soma dos ângulos de um triângulo é inferior à soma dos ângulos de um triângulo da geometria euclidiana; o mesmo resultado vale para qualquer polígono hiperbólico pois tal polígono pode sempre decompor-se em triângulos. Um resultado matemático curioso, no âmbito das geometrias não euclidianas, e que

se designa por Teorema de Gauss-Bonnet, estabelece que a área de um polígono hiperbólico com n lados é proporcional a $180 \times (n-2) - S$, em que S representa a soma dos ângulos internos desse polígono. Se notarmos que a soma dos ângulos internos de um polígono de n lados, no âmbito da geometria euclidiana, é $180 \times (n-2)$ então o teorema de Gauss-Bonnet diz que a área de um polígono hiperbólico é proporcional à diferença entre a soma dos ângulos internos do polígono euclidiano com o mesmo número de lados e a soma dos ângulos internos do correspondente polígono hiperbólico.

É possível construir polígonos com um grande número de lados e com todos os ângulos rectos. Exemplifiquemos com um polígono hiperbólico regular com 17 lados e com todos os ângulos internos rectos. A sua área é proporcional a 1170, pois $15 \times 180 - 17 \times 90 = 1170$; se os ângulos forem de 120 graus a área é inferior, sendo proporcional a 660, $15 \times 180 - 17 \times 120 = 660$. Numa geometria hiperbólica a existência de polígonos, com grande número de lados e com ângulos internos de 90 graus, como o caso referido anteriormente do polígono hiperbólico com 17 lados, foram “qualidades espaciais” exploradas na curta metragem humorística⁶² “Venda de propriedades numa geometria hiperbólica”. No caso da geometria esférica o teorema de Gauss-Bonnet ainda é válido desde que multipliquemos a fórmula por -1 , isto é, a área de um polígono esférico é proporcional a $S - (n-2) \times 180$.

Qual das três geometrias descreve melhor o Universo? A resposta a esta questão depende da escala a que nos situarmos. A geometria euclidiana tem o rigor adequado para uma descrição à escala humana. Por essa razão, no seu início as geometrias não euclidianas

Figura 48A: Parabolóide hiperbólico

Figura 48B: Pseudoesfera

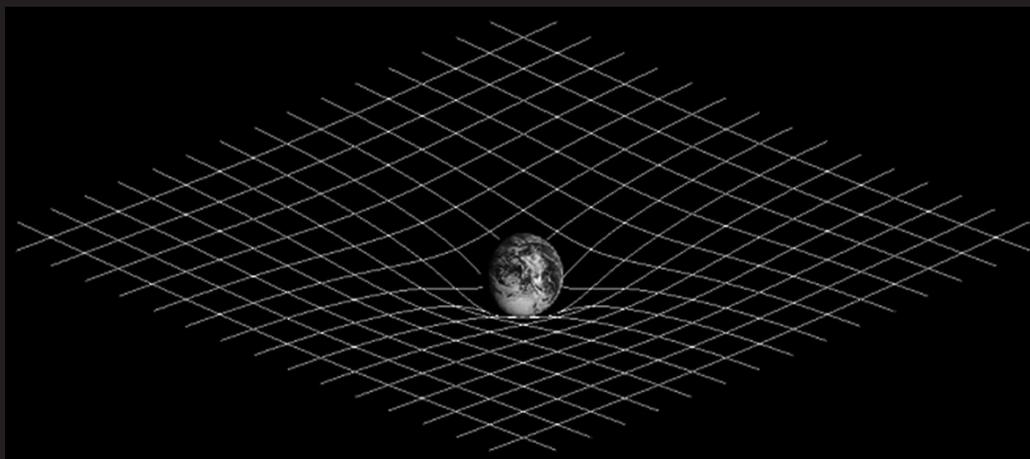
Figura 49: Triângulos e Geometrias

⁶² *Selling Real Estate in Hyperbolic Spaces*, de Colin Adams.

pareciam objectos exóticos da matemática sem aplicação imediata no real, na medida em que contrariavam de certo modo a intuição. Mas se considerarmos uma geometria à escala do planeta Terra então a representação geométrica mais rigorosa é a da geometria esférica. Se pretendermos uma descrição do Universo então a questão da geometria mais adequada para a sua descrição está em aberto. Em 1916 Einstein estabeleceu a Teoria da Relatividade Geral em que afirma que o espaço não era um

indefinidamente a melhor descrição será então a da geometria hiperbólica.

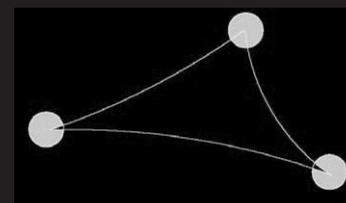
Uma previsão para o futuro do universo dependerá portanto da geometria que utilizarmos para o representar: se o representarmos no quadro de uma geometria hiperbólica ele expandir-se-à indefinidamente; se o representarmos no quadro de uma geometria esférica o Universo, a partir de um certo momento, começará a contrair-se. Mas a concepção espacial subjacente à Teoria da Relatividade de Einstein tem à escala humana,



50

cenário fixo onde todos os processos estão mergulhados e evoluem num tempo absoluto. Para Einstein o espaço evolui no tempo pois é o movimento dos corpos celestes que vai “curvando o Universo”. Se o Universo é curvo a geometria mais adequada para o descrever deverá ser uma geometria não euclidiana: se estiver num processo de contracção a geometria esférica será a mais adequada; se se expandir

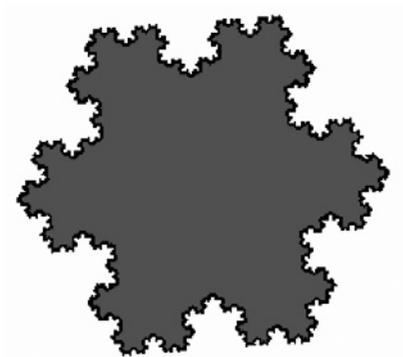
e mesmo à escala do sistema solar, um impacto muito limitado, pois à nossa escala e à escala do sistema solar o desvio da planaridade euclidiana é irrelevante. Quando se constrói um edifício seria, teoricamente, no âmbito de uma geometria esférica que se deveria operar, na medida em que o edifício é implantado sobre a superfície terrestre. No entanto, à escala reduzida a que se opera, a superfície terrestre não é esférica



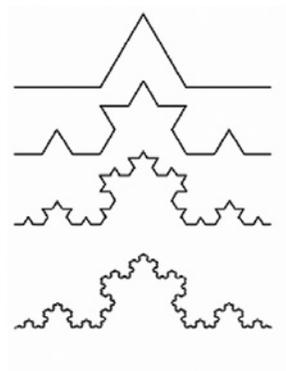
51

Figura 50: Um universo curvo

Figura 51: Os raios luminosos entre corpos distantes encurvam-se, desenhando triângulos hiperbólicos



52A



52B

Figuras 52A e 52B: A ilha de von Koch e a curva de von Koch

mas plana. Podem no entanto observar-se em arquitectura, sobretudo no âmbito de sensibilidades desconstrutivistas, inúmeras referências à utilização de geometrias não euclidianas, que deverão ser interpretadas essencialmente num sentido metafórico, considerando-se que o epíteto não euclidiano se refere unicamente à não utilização do paralelismo euclidiano, da linguagem dos sólidos platónicos, das proporções e da simetria.

Geometria Fractal

As geometrias euclidiana e não euclidiana, que referimos na secção anterior, não se adaptam, como instrumentos descritivos do mundo real, à representação de certos conceitos como por exemplo enrugado, granuloso, poroso, ramificado ou oscilatório. Surge então a geometria fractal que se adapta de modo perfeito à descrição de tais conceitos. Mas o que é um fractal? E porque é que se adapta à descrição de tais conceitos? E que tipo de utilização poderá ter em arquitectura?

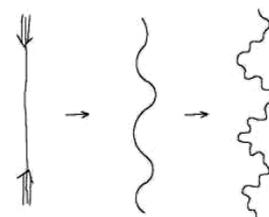
Antes de qualquer conceito teórico formal consideremos um dos objectos fractais frequentemente descritos na literatura: a “ilha de von Koch”. A ilha de von Koch é construída a partir de um triângulo equilátero de lado L . Cada lado do triângulo é dividido em três partes iguais e o terço médio é substituído por um triângulo equilátero com lados de comprimento $L/3$, repetindo-se indefinidamente o processo. Se iniciarmos o processo com um triângulo de lado três centímetros após setenta iterações obtém-se um perímetro de 50113 quilómetros.

É curioso notar que se pode fazer uma construção bidimensional da ilha de von Koch a partir de um hexágono regular ao qual se vão recortando sucessivamente triângulos.

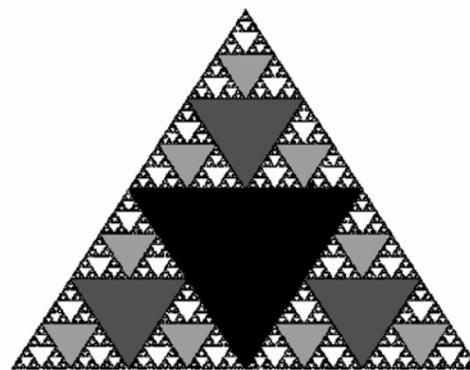
A curva de von Koch é um objecto de geometria irregular e que possui o mesmo grau de irregularidade em todas as escalas. Esta propriedade é designada por autosemelhança e, no dizer do matemático Césaró, “É esta semelhança entre o todo e as suas partes, ainda que infinitesimais, que nos leva a considerar a curva de von Koch⁶³ mais sedutora que qualquer outra. Se fosse dotada de vida não seria possível aniquilá-la sem a suprimir por completo, pois ela renasceria sempre das profundezas dos seus triângulos, tal como a vida no Universo”.

A curva de von Koch tem uma geometria adequada ao traçado de uma costa em escalas progressivamente maiores. Se o segmento de recta inicial representasse uma porção de costa numa certa escala então o novo pormenor visível na linha quebrada representaria a mesma costa numa escala maior; ampliando de novo a escala, outros pormenores surgiriam.

De um ponto de vista menos abstracto uma estrutura com propriedades análogas à curva de von Koch pode ser obtida por compressão de um fio metálico como se mostra na Figura 53. No contexto da geometria euclidiana a linha tem dimensão um, o rectângulo tem dimensão dois e o paralelepípedo tem dimensão três. Do ponto de vista matemático a dimensão de um fractal pode ser quantificada por um número fraccionário e representa um modo de medir a sua “riqueza” espacial. A curva de von Koch é uma linha e portanto um objecto unidimensional, mas que pode



53



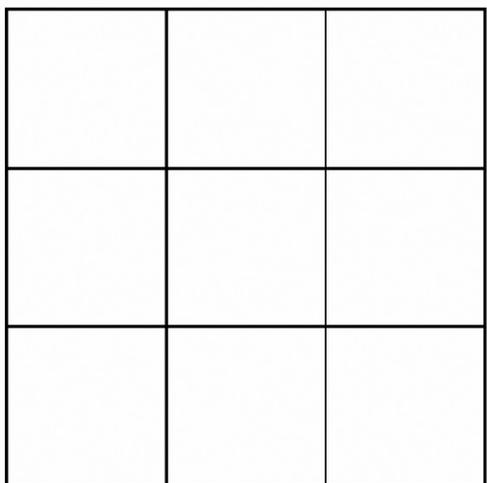
54

⁶³ A curva de von Koch é a fronteira da ilha de von Koch.

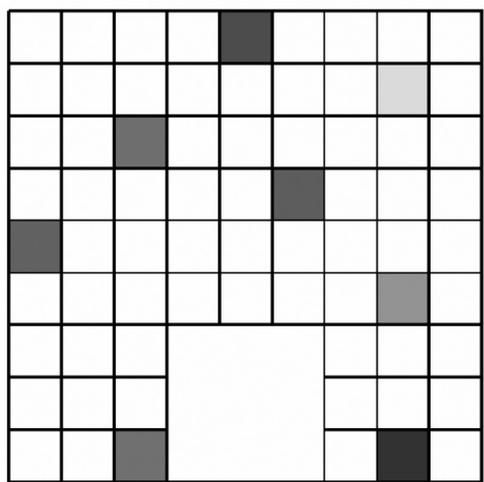
⁶⁴ Nikos Salingaros, *Fractals in the New Architecture*.

Figura 53: Um fio metálico comprimido é uma estrutura fractal⁶⁴

Figura 54: O triângulo de Sierpinski



55A



55B

Figuras 55A e 55B: Um fractal probabilístico

“preencher” uma porção de espaço bidimensional: a sua dimensão é um número situado entre um e dois.

Outro exemplo de objecto fractal está exibido na figura: o triângulo de Sierpinski é obtido a partir de um triângulo equilátero ao qual se retiram sucessivamente triângulos semelhantes com um quarto da área do(s) precedente(s).

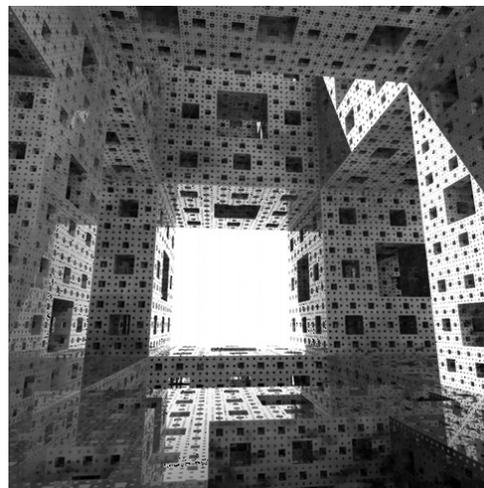
O que têm em comum as figuras anteriores? É uma propriedade designada por autosemelhança e que significa que a figura pode ser subdividida em partes tal que cada uma delas é uma cópia reduzida da totalidade.

Mas há fractais que exibem uma propriedade de autosemelhança distinta da descrita. Consideremos por exemplo um quadrado dividido em nove quadrados iguais e retiremos um deles de modo aleatório como representado na figura 55. Cada um dos restantes oito quadrados é então dividido em nove quadrados iguais e de novo se retira um destes quadrados aleatoriamente. O processo é repetido. Deste modo obtém-se uma estrutura fractal com subestruturas qualitativamente semelhantes em cada escala de redução. Esta estrutura fractal exhibe uma propriedade de autosemelhança aleatória.

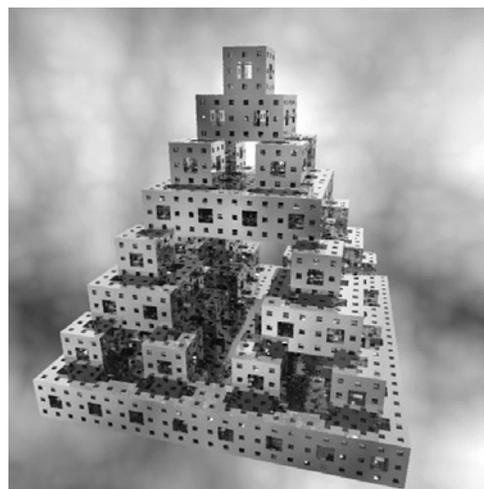
Nos fractais a parte reflecte o todo e na parte pode prever-se o todo. Em síntese um objecto fractal é caracterizado por uma mesma unidade estrutural, ou unidades estruturais análogas, no caso de um fractal probabilístico, que está – ou que estão – presentes em todas as escalas de ampliação, o que confere a estas escalas de ampliação o mesmo grau de complexidade. Um fractal apresenta portanto simetria através das escalas, exibindo “um padrão no interior do padrão”. Neste sentido se diz que uma superfície plana não é fractal pois não possui subestrutura.

Note-se que a simples repetição de um padrão não confere a um objecto propriedades fractais: é preciso a presença de várias escalas para se estar perante uma estrutura fractal.

Podem construir-se objectos fractais em três dimensões como o poliedro fractal, que se designa por esponja de Menger, representado na figura 56. Para o construir considera-se um cubo inicial C_1 e dividem-se as suas faces em nove quadrados. Esta divisão induz uma divisão do cubo inicial em vinte e sete cubos mais pequenos C_2 . Retira-se o cubo central e os cubos que contêm faces que são os quadrados centrais das faces de C_1 . Restam assim vinte cubos C_2 . O processo é repetido para cada um destes vinte cubos e em seguida para cada um dos quatrocentos cubos que se obtêm a partir destes, continuando o processo indefinidamente. Se observarmos que na natureza as formas orgânicas e inorgânicas são resultado de processos dinâmicos, e que nenhuma forma permanece igual a si própria durante o seu ciclo de vida surge a ideia de representarmos as formas artificiais também através de um processo. A geometria fractal, fornecendo uma descrição do processo de construção de objectos, de modo compacto, através de um iniciador, um gerador e uma regra, surge como uma geometria adequada para a construção ou desconstrução do real. É um instrumento particularmente útil na descrição de processos que originam padrões irregulares e fragmentados desde a escala humana (pulmões, vasos sanguíneos), à escala cósmica (nuvens, galáxias), passando pela escala urbana e pela escala natural (árvores, montanhas, zonas costeiras).



56A



56B

Figura 56A: A esponja de Menger vista do interior

Figura 56B: Composição com esponjas de Menger

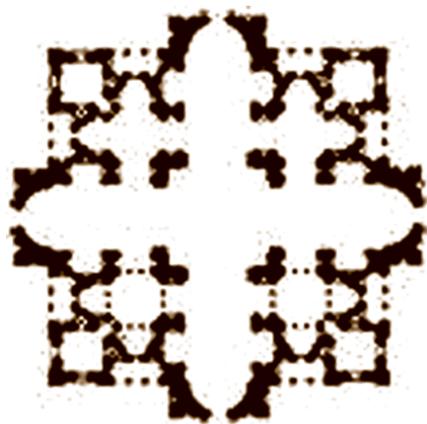


57

Existem na literatura inúmeras referências à utilização da geometria fractal em arquitectura. Embora o conceito só tenha sido formalizado nos anos 70, por Benoit Mandelbrot, alguns autores já identificam objectos fractais em arquitecturas medievais, catedrais góticas, renascentistas e barrocas.

Também na obra de F.L. Wright, concluída antes do aparecimento de um conceito formal de fractal, se observa por vezes algo que se assemelha a um certo carácter fractal⁶⁵. Citamos a título de exemplo a Palmer House – Ann Arbor, Michigan 1951 – cujo projecto está representado na figura 60. Mas o carácter fractal de um objecto não

Figura 57: Um templo fractal



58

resulta da repetição do iniciador – neste caso o triângulo – mas da forma como é repetido. Na Palmer House não se identifica o processo iterativo rigoroso de construção de um fractal. Mas partindo do mesmo iniciador da Palmer House, um triângulo, e utilizando o conceito de fractal de modo rigoroso, pode construir-se

Figura 58: A planta da catedral de S. Pedro de Bramante pode ser perspectivada como uma estrutura fractal



59

um projecto com características fractais e com uma certa analogia com a Palmer House⁶⁶. Mais exactamente, partimos de um elemento gerador A que se designa por “politriângulo” – triângulo equilátero a que estão associados três outros triângulos de menores dimensões – e que se mostra na figura 61. Sucessivas rotações de

Figura 59: A torre Eiffel tem uma estrutura fractal

⁶⁵ Leonard K. Eaton, *Fractal Geometry in the Late Work of Frank Lloyd Wright*.

⁶⁶ James Harris, *Integrated Function Systems and Organic Architecture from Wright to Mondrian*.

60 graus produzem os cinco “politriângulos” restantes que designamos por B, C, D, E e F. Utilizando os “politriângulos” A, B, C, D, E, F pode construir-se um fractal, como se mostra na figura 62, onde se podem ver as três primeiras

iterações do processo. Inicia-se o processo com o “politriângulo” A. Associa-se o “politriângulo” A com os “politriângulos” B e C como na figura. A partir dos três triângulos que fazem parte do “politriângulo” A constroem-se três “politri-

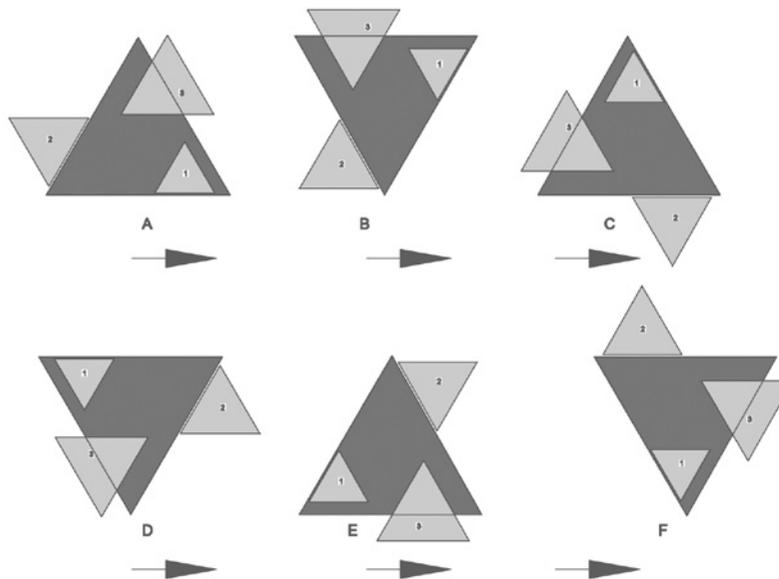
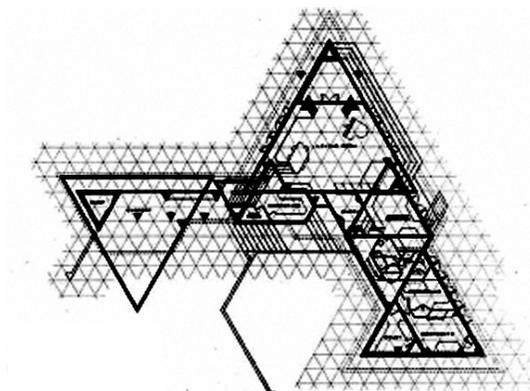
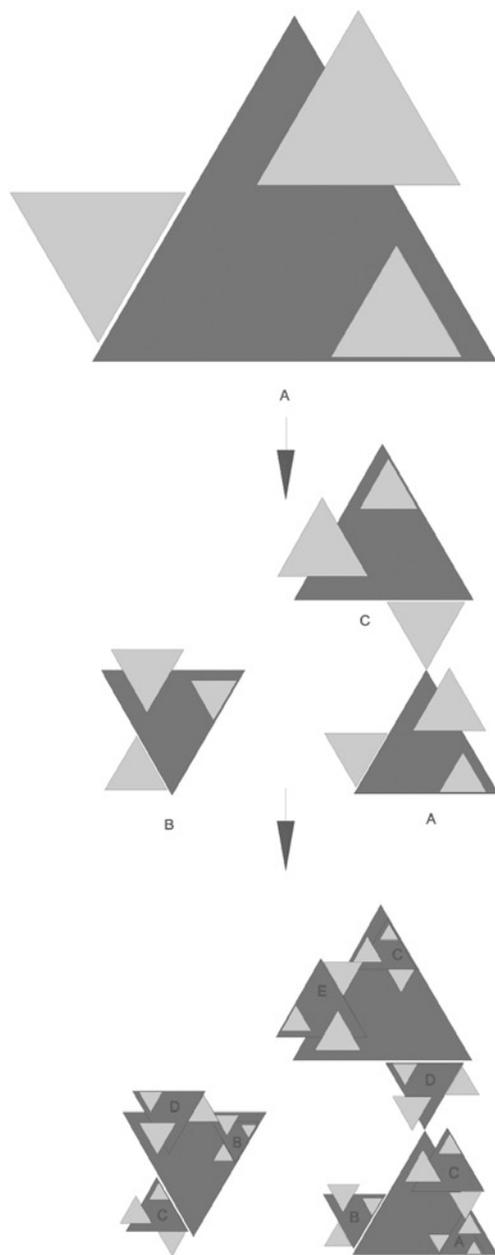


Figura 60: Planta da Palmer House de F.L.Wright

Figura 61: Um elemento gerador A e as suas sucessivas rotações de 60 graus.

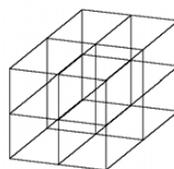


62

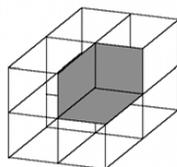
Figura 62: Construção de um “projecto fractal” com certa analogia com a Palmer House



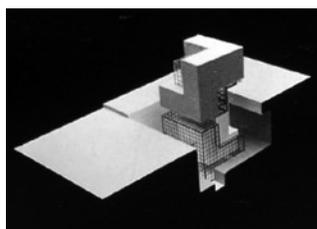
63A



63B



63C



63D

ângulos” A, B e C; a partir do “politriângulo” B constroem-se os “politriângulos” B,C,D e, a partir dos três triângulos que fazem parte do “politriângulo” C, constroem-se três “politriângulos” C, D e E. Em síntese:

Politriângulo A – A, B, C

Politriângulo B – B, C, D

Politriângulo C – C, D, E

A primeira referência explícita, feita no âmbito da arquitectura, ao conceito de Benoit Mandelbrot, surge em 1970 no projecto de Eisenman, House 11 a, construída no estado de Connecticut em 1971. No caso da House 11 a de Eisenman, representada na figura 63, a metodologia projectual segue a construção do fractal com uma autosemelhança de carácter aleatório como anteriormente descrito. De facto, Eisenman começa com uma planta quadrada que divide em quatro quadrados iguais, retirando então um deles. Cada um dos quadrados, que compõe este L restante, é então dividido em quatro quadrados, sendo retirado aleatoriamente um novo quadrado da planta. Eisenman faz referência ao conceito de fractal e à necessidade de combinar diferentes escalas afirmando que “... Durante cinco séculos as proporções do corpo humano constituíram uma fonte fundamental de informação para a arquitectura. O homem como medida de todas as coisas... não é uma ideia sustentável, embora persista na arquitectura contemporânea. Para dar uma resposta às mudanças culturais o projecto deve basear-se na utilização de diferentes escalas.”

Nas duas décadas que se seguiram ao estabelecimento do conceito por Mandelbrot, um grande número de projectos de arquitectura fizeram referência à geometria fractal⁶⁷. Citamos por

exemplo os trabalhos de Asymptote, Charles Correa, Coop Himmelblau, Arata Isozaki, Christoph Langhof, Daniel B. H. Liebermann, Fumihiko Maki, Morphosis, Eric Owen Moss, Jean Nouvel, entre outros. Durante os anos 90, o grupo Ushida Findlay produziu alguns projectos em que faz referência à geometria fractal, na medida em que é utilizado o conceito de autosemelhança. Citamos por exemplo o Projecto S, que é um centro intermodal em Tóquio, que possui semelhanças dinâmicas em muitas escalas e que se “destina a acolher o movimento browniano de pessoas, carros, combóios e informação.” O projecto representa um compromisso entre uma concepção que se baseia em considerações de carácter simbólico sobre o significado da organização espacial e uma pesquisa sobre a geometria fractal e os sistemas não lineares. Mais recentemente o Federation Square, em Melbourne, de Donald Bates and Peter Davidson do Lab Architecture Studio, construído em 2002, é apontado como um exemplo de geometria fractal. No entanto, a única possível sugestão a propriedades fractais é na concepção das fachadas. No desenho das fachadas, construídas em arenito, zinco e vidro, é utilizado um único tipo de triângulo como se pode observar na figura 64. Cada elemento base é formado por cinco destes triângulos sendo mantidas as proporções no triângulo resultante como se mostra na figura. Cada painel é formado por cinco elementos base e cada mega painel é por sua vez constituído por cinco painéis. A descrição da construção da fachada sugere assim a propriedade da autosemelhança pois existe semelhança em três escalas: à escala do elemento base, à do painel e à do mega painel.

Figuras 63A, 63B, 63C e 63D:
A geometria fractal na House 11 a
de Eisenman

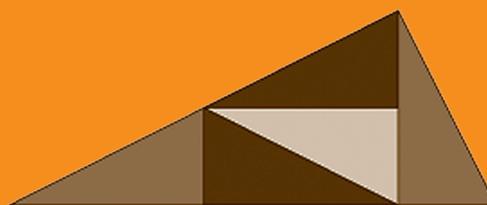
⁶⁷ Michael J. Ostwald, *Fractal Architecture: Late Twentieth Century Connections Between Architecture and Fractal Geometry*.

Diferentes tipos de sensibilidades arquitectónicas têm vindo a fazer referência à geometria fractal: desde as arquitecturas minimalistas às novas arquitecturas orgânicas e às sensibilidades desconstrutivistas. Estas referências situam-se num plano simbólico: para o minimalismo a “pureza e a simplicidade aparente” de que se deve revestir a obra de arquitectura evocam a simplicidade do pacote de informação necessário para construir os complexos objectos fractais; no contexto das arquitecturas orgânicas a referência aos fractais está relacionada com o carácter fractal da natureza; para os desconstrutivistas o aspecto que interessa sublinhar é a construção do todo por associação das partes. O arquitecto de origem austríaca Christopher Alexander afirma que todos os espaços têm “vida”, desde que sejam criados através de um processo que se baseie em transformações que actuem continuamente sobre a totalidade de um sistema e que mantenham a estrutura global. A “vida” é considerada por Alexander como o critério que permite definir a qualidade de um edifício. A totalidade é preservada em cada passo do desenvolvimento da estrutura inicial e a nova estrutura, que vai emergindo, desenvolve-se de modo a manter a estrutura existente. Ao conceito da arquitectura modernista que procura um elemento base – malha, volume – cuja repetição produz um padrão, ele contrapõe a ideia de um módulo inicial capaz de gerar padrões fractais evolutivos. A este propósito note-se que a concepção da fachada do Federation Square anteriormente referida, corresponde a um padrão obtido por repetição e não à geração de um padrão a partir de um módulo inicial. Exemplos de transformações que preservam a estrutura são a *autosemelhança*,

propriedade, que já referimos e que caracteriza as estruturas fractais, e as *simetrias locais* que são transformações caracterizadas por imprimirem simetria em centros de interesse emergentes.



64A



64B

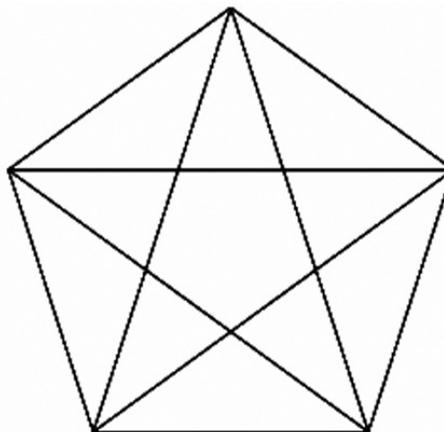
Figuras 64A e 64B: Fachada do Federation Square, em Melbourne, do Lab Architecture Studio e um elemento base das suas fachadas

No plano da substância, a referência aos fractais em arquitectura centra-se na propriedade da autosemelhança, ou de uma quase autosemelhança, o que implicaria que uma certa arquitectura é fractal por haver semelhança entre o todo e as partes, em pelo menos duas escalas distintas. A autosemelhança permite definir relações entre simples e complexo, no sentido corrente destes termos:

- A organização de elementos simples pode originar estruturas complexas;
- A organização de elementos complexos pode dar origem a estruturas simples;
- A estrutura tem propriedades emergentes que são propriedades da estrutura como um todo e não de cada um dos seus elementos.

A simplicidade da fórmula fractal gera complexidade, pois um fractal é um objecto complexo que é gerado por uma pequena quantidade de informação. De facto na construção de um fractal utiliza-se uma lei simples, sendo a complexidade

crecente produzida pelas sucessivas iterações. Regressando à curva de von Koch, observámos que ela pode ser construída a partir de poucos bits de informação: cada lado do triângulo de comprimento L é dividido em três partes iguais e o terço médio é substituído por um triângulo equilátero com lado de comprimento $L/3$. Um programa de computador curto e simples pode produzi-la, mas uma eternidade não chegaria para a visitar: pode olhar-se para um fractal como uma representação do infinito numa região espacial finita, ou de outro modo, como uma representação de uma complexidade produzida por elementos simples. A geometria fractal poderá ser um instrumento adequado na representação de uma estrutura artificial, no sentido que a complexidade de um fractal é resultado de sucessivas iterações sobre um pacote de informação reduzido. Mas a arquitectura deve utilizar de modo sensato a autosemelhança. Os princípios de composição e as experiências espaciais dependem da escala



65A

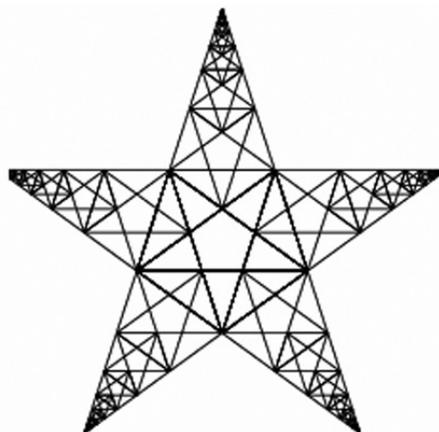
Figuras 65A e 65B: Uma transformação que preserva a estrutura

a que se está a operar: uma certa organização espacial pode ser adequada ao nível de um fragmento do habitat e desastrosa se aplicada à totalidade do habitat. O utilizador não vive a “fractalidade” de um edifício, na sua globalidade, porque simplesmente essa globalidade não é captada por ele do mesmo modo que é pelo arquitecto no âmbito do desenho de projecto. Poderá ser um interessante exercício experimentar as potencialidades projectuais da geometria fractal. Mas é preciso não esquecer que a escala do projecto e a escala das razões e das emoções produzidas por esse projecto são formalmente distintas das escalas do construído e das escalas das emoções do construído.

Topologia

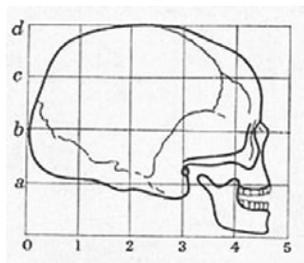
Historicamente a matemática começou por se ocupar do estudo das quantidades. Hoje a

matemática ocupa-se também do estudo de qualidades e a quantidade pode ser perspectivada como um tipo de qualidade. A distância entre quantidades e qualidades, que desde a Renascença tinha vindo a aumentar pode assim, de um certo ponto de vista, ser reduzida. Um exemplo paradigmático do estudo da qualidade é a topologia. A topologia, etimologicamente conhecimento do lugar, surgiu no século XIX, em 1895,⁶⁸ como domínio integrante da matemática. É designada também de modo sugestivo por “geometria da borracha”, pois estuda propriedades que não são alteradas por deformações contínuas como por exemplo a dobragem, a compressão ou a torção. Citando os matemáticos Courant e Robbins “... a topologia estuda as propriedades das figuras geométricas que são invariantes quando as figuras são submetidas a deformações profundas que as fazem perder as suas propriedades métricas e projectivas”. Por exemplo, os crâneos representados na figura 66,

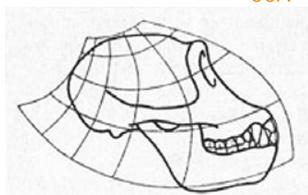


65B

⁶⁸ Henri Poincaré, *Analysis Situs*, J. École Polytechnique, Paris, 1895.



66A



66B

retirados do livro “Growth and Form”, escrito em 1917, por D’Arcy Thomson, representam figuras equivalentes do ponto de vista topológico. Outro exemplo que permite clarificar o conceito de formas topologicamente equivalentes é a representação da figura 67, em que se exhibe uma transformação contínua de um padrão, isto é uma transformação que não provoca rupturas durante o processo.

As propriedades topológicas não são propriedades relacionadas com proporções, medidas ou distâncias, mas sim com conceitos que estão para além da forma como por exemplo os de aberto e fechado, interior e exterior, conexo e não conexo. A topologia deverá, neste sentido, ser considerada não uma geometria mas uma “geo-ametria”, podendo os seus conceitos representar uma certa fractura de pensamento, pois, desde a antiguidade até à modernidade, a arquitectura sempre se apoiou em conceitos métricos, sendo a composição essencialmente a aplicação de relações de proporção isto é relações mensuráveis. Do ponto de vista da topologia uma determinada estrutura pode ter uma infinidade de “encarnações euclidianas”. A estrutura tem as suas propriedades topológicas independentemente do tipo de materialização euclidiana que assumir, e também das medidas ou das curvaturas envolvidas.

Na Figura 68 exibimos uma fita de Mobius que é uma superfície muito estudada em Topologia. Uma fita de Mobius é uma superfície caracterizada por ter só “um lado”, o que significa que se a percorrermos com um dedo podemos ocupar todas as posições sem atravessar nenhuma fronteira. Como afirma, de modo algo poético, o arquitecto Max Bill a fita de Mobius “representa a distância ou a proximidade do

infinito, a surpresa de um espaço que começa de um lado e acaba do outro, que afinal é o mesmo, a limitação sem limites exactos, as paralelas que se intersectam e o infinito que regressa a si próprio”⁶⁹. Para construir uma fita de Mobius parte-se de um rectângulo e colam-se os dois lados opostos identificando A com A e B com B, como representado na figura 68. Na mesma figura pode ver-se uma possível interpretação arquitectónica da fita de Mobius de modo a ser possível construí-la e percorrê-la efectivamente. Para tal, consideram-se duas “fitas” entrelaçadas: uma plana e uma outra de Mobius de tal forma que em certas zonas do percurso “se caminha sobre um pavimento de Mobius que sobe para se tornar uma parede de Mobius e depois um tecto de Mobius”.

Consideremos um outro objecto muito estudado em topologia, a garrafa de Klein, que está representada na figura 69, e cujas propriedades nos servirão para analisar a experiência espacial que proporciona. Para construir a garrafa de Klein considera-se um rectângulo e fazem-se coincidir dois lados opostos. Em seguida uma das bases do cilindro, que assim se obtém, atravessa o próprio cilindro e vai “colar-se” à circunferência que delimita a outra base de modo a colar as duas circunferências que delimitam as suas bases. Note-se que esta superfície só pode ser realizada em quatro dimensões para poder passar através de si mesma sem romper a fronteira. Observemos que ao “entrar” numa garrafa de Klein acedemos a um espaço interior mas “exterior” ao seu corpo; procedemos depois para um espaço exterior, mas que pelas suas dimensões reduzidas nos comunica uma vivência de espaço interior; por último acedemos a um

Figuras 66A e 66B: Imagens topologicamente equivalentes retiradas de *Growth and Form* de D’Arcy Thomson

⁶⁹ Max Bill, *A Mathematical Approach to Art*, The Buffalo Fine Arts Academy and the Albright-Knox Art Gallery, 1974.

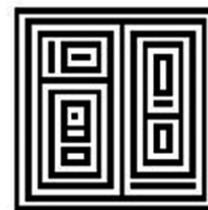
espaço interior e que é experienciado de facto como espaço interior.

É curioso notar que embora o edifício do Centro Pompidou em Paris, de Renzo Piano, representado na figura 70, proporcione uma experiência espacial⁷⁰ de certo modo análoga à de uma garrafa de Klein, a referência à utilização da topologia é puramente simbólica. De facto ao passar a entrada principal não se acede directamente ao interior do edifício mas a um espaço, o grande átrio, com características que lhe imprimem a vivência de um espaço exterior, pelas suas dimensões, pela visibilidade do exterior através das grandes vidraças e pela multidão desordenada que continuamente aí circula. Entrando depois nas escadas rolantes, situadas num “tubo” transparente colocado na diagonal da fachada principal do edifício, surge a experiência de um espaço exterior mas mais íntimo e mais interiorizado, do que o primeiro, pelas suas reduzidas dimensões e também pelo facto de na utilização das escadas rolantes os visitantes estarem muito próximos. A experiência de um espaço interior só é sentida quando se entra nos espaços do museu e da biblioteca. Como afirma Bernard Cache “quem vem do exterior entra num espaço interior de tipo exterior e depois segue para um espaço exterior de tipo interior para entrar por fim num espaço interior.” Para a topologia, como afirmámos, um círculo e um quadrado, uma esfera e um cubo, ou um toro e uma chávina representam figuras equivalentes. Assim, uma forma é sempre o resultado da transformação contínua de formas anteriores e ela própria representa o estado inicial de formas a surgir posteriormente. A topologia fornece uma matriz de pensamento que se baseia numa geometria flexível. É

⁷⁰ Bernard Cache, *Plea for Euclide*, Any Review, 1999.

neste sentido uma “geo-ametria” não estática, não métrica, que estuda classes de objectos ditos homeomorfos o que significa que se convertem uns nos outros através de transformações contínuas. O uso desta geometria das transformações contínuas produz objectos que, embora obviamente estáticos, induzem um sentido de movimento, isto é, evocam a possibilidade de se transformarem noutros objectos. A partir dos conceitos introduzidos pela topologia, a imagem do espaço surge alterada como algo de elástico e em contínua mutação. Os conceitos topológicos sugerem, no âmbito da arquitectura, novos modelos tridimensionais, introduzem a ideia de plasticidade, de processo e de evolução: partindo por exemplo de um cubo e efectuando transformações contínuas, isto é que não o “rompam”, é possível produzir modelos caracterizados por superfícies curvas, dobradas, onduladas ou enrugadas. Estes novos modelos são, do ponto de vista topológico, equivalentes ao inicial. A contínua transformação das formas põe assim em causa o mito de uma forma ideal preexistente, à maneira de Platão, e coloca a possibilidade teórica e prática, de trabalhar sobre “classes” de formas fluidas e maleáveis. A geometria euclidiana foi durante séculos a única passível de ser invocada para fins construtivos. A utilização de tecnologias informáticas, o recurso ao projecto assistido por computador e à própria manufactura assistida por computador, libertou as formas, permitindo conceber e executar objectos que obedecem a protocolos organizativos a que são estranhas as noções de métrica e proporção: o objecto surge como evolutivo e como resultante de um processo de deformação no tempo.

Figuras 67A, 67B, 67C e 67D:
A equivalência topológica



67A



67B



67C



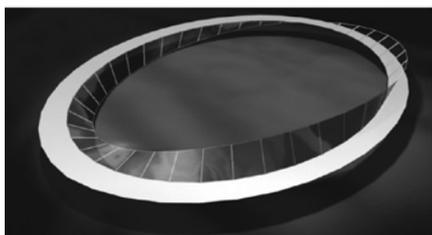
67D



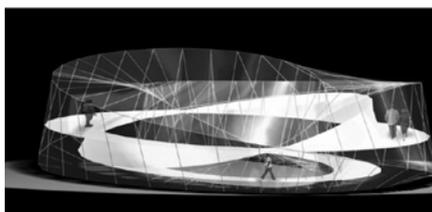
68A



68B



68C



68D

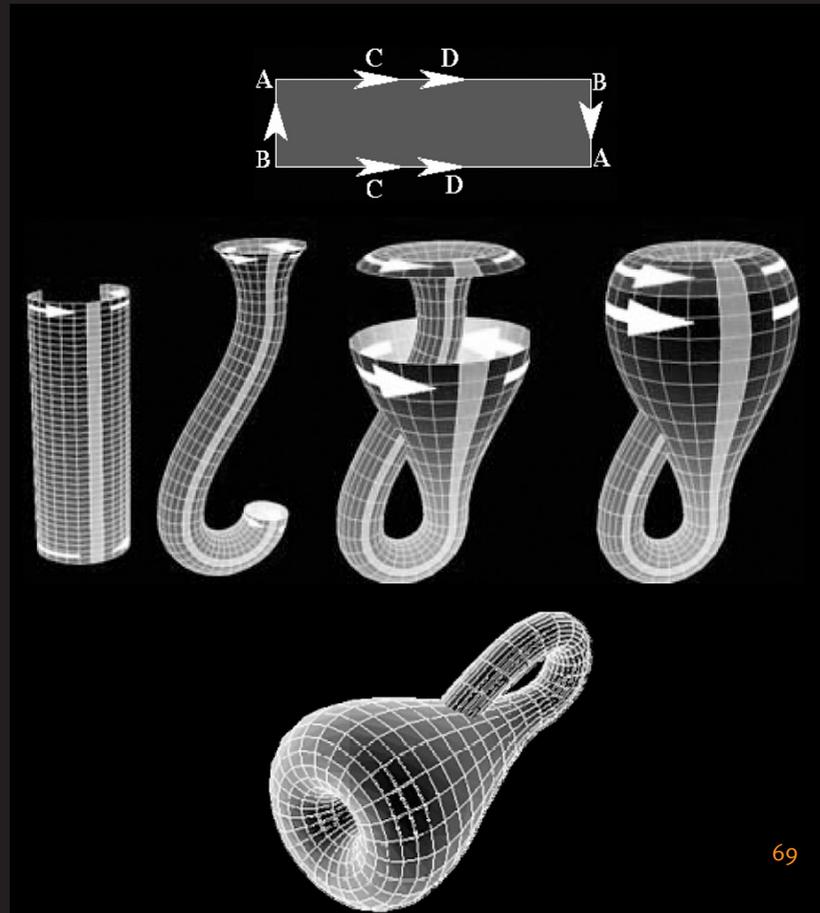
⁷¹ Giuseppa di Cristina ed, *Architecture and Science* Wiley Academy, Chichester, 2001

⁷² Figuras retiradas de J.Thulaseedas, R.Krawczyk, *Möbius concepts in architecture*, Jolly Thulaseedas, ISAMA/ Bridges 2003 Conference, *Mathematical Connections in Art, Music, and Science*, Granada University, Spain, July, 2003

Existem hoje, no âmbito da arquitectura, inúmeras referências à topologia. Giuseppa Di Cristina⁷¹ num estudo sobre as relações entre arquitectura e topologia escreve que “... embora não exista uma teoria da arquitectura topológica pode falar-se de uma tendência topológica em arquitectura, no domínio teórico e no domínio operativo”. Mas a “tendência topológica” parece ser essencialmente identificada com a utilização de formas curvas e dobradas. Ora do ponto de vista da topologia não é a forma, nem as propriedades métricas que permitem distinguir uma estrutura espacial, mas sim as propriedades locais dessa estrutura. A utilização de modelos obtidos a partir de transformações contínuas, que transmitem a ideia de plasticidade e de movimento, coloca o enfoque numa arquitectura do processo e não numa arquitectura do objecto e nas propriedades locais dessa arquitectura. Se observarmos que a arquitectura é também forma e medida concluímos que se devem abandonar as transcrições simples da mensagem topológica – a arquitectura do processo – e reinterpretá-la no sentido da possibilidade de utilizar diferentes metamorfoses de uma forma que mantêm as mesmas propriedades estruturais.

Foram apresentados neste capítulo alguns conceitos das geometrias não euclidianas, da geometria fractal e da topologia, tendo emergido que a sua utilização em arquitectura é prevalentemente simbólica. Esta incursão por outras geometrias representa também um modo de superar uma certa ambiguidade existente no diálogo entre arquitectura e geometria. De facto, por um lado a arquitectura está ligada a atributos como sensibilidade, sensualidade, alegria, liberdade, segurança e desejo, mas por outro, a arquitectura construída está relacio-

Figuras 68A, 68B, 68C e 68D: Em cima um retângulo a partir do qual se pode construir a fita de Möbius “colando” os dois lados AB e identificando A com A e B com B; em 68C uma possível interpretação em arquitectura; em baixo o projecto de uma galeria de arte usando a fita de Möbius⁷²



⁷³ Konrad Polthier, *Imaging maths*
- *Inside the Klein bottle*.

Figura 69: Construção de uma garrafa de Klein (Konrad Polthier, Freie Universität Berlin)⁷³



70

nada com atributos geométricos como ordem, precisão, controle, cálculo e medida. É o diálogo entre o mundo sensível e o mundo da ordem que deverá produzir uma nova abordagem do real, em que as qualidades estéticas dependem do compromisso entre diversidade e ordem no padrão espacial mas também na textura, nas qualidades e na cor dos materiais.

Geometrias e padrões

Embora do ponto de vista dos procedimentos exista uma profunda diferença entre a matemática e a arquitectura, no sentido em

que a primeira tende para uma generalização progressiva enquanto que a segunda visa a concretização, as duas disciplinas caracterizam-se pela procura de padrões. A matemática estuda padrões no sentido das inter-relações entre conceitos e objectos; a arquitectura ao racionalizar, construir, desconstruir ou recriar o espaço ocupa-se do estudo de padrões espaciais em sentido lato.

A criação de padrões espaciais e temporais é também específica da actividade cerebral do ser humano na medida em que aprender é justamente reconhecer padrões, discernir aspectos comuns em objectos ou fenómenos aparentemente desligados: o ser humano é essencialmente uma “máquina de analisar padrões” que opera através de sucessivas operações de análise e de síntese. Ou dito de outro modo, as nossas mentes são máquinas de produzir metáforas que podem estabelecer conexões invisíveis para a lógica.

A procura de padrões é assim uma actividade neurológica de base que a nível disciplinar percorre toda uma escala, desde a abstracção realizada pelas operações matemáticas, até a uma expressão eminentemente concreta traduzida pela prática arquitectónica. Mas o que é um padrão espacial? Um padrão pode definir-se como a existência de uma certa regularidade estrutural. No caso mais simples e de leitura mais explícita, no contexto clássico da geometria euclidiana, há regularidade quando surgem unidades que se repetem por transformações lineares como a translação, a rotação ou a composição de ambas as operações, entre outras. O pensamento matemático está implícito de modo tão subtil na construção de padrões arquitectónicos que, por vezes, a sua presença não é

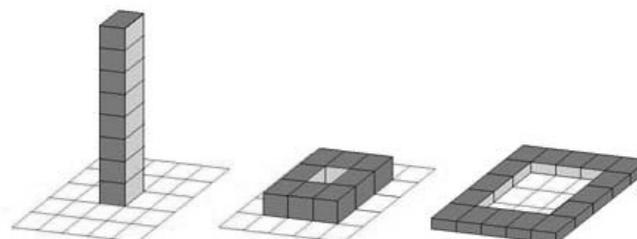
Figura 70: O Centro Pompidou, em Paris, de Renzo Piano

reconhecida. Para ilustrar esta presença, citamos um simples exercício (retirado de L. March⁷⁴) que consiste em distribuir espacialmente um volume de oito unidades que se pode obter compondo oito cubos, de aresta um, num território de área igual a vinte e cinco unidades. Se colocarmos os oito cubos sobrepostos no centro do território obtemos uma torre de altura oito unidades; se os colocarmos no segundo anel obtemos uma construção, com um espaço central vazio, de altura uma unidade; finalmente se cada cubo for decomposto em dois paralelepípedos de base 1×1 e altura $\frac{1}{2}$ e se forem colocados no último anel, será obtida uma construção com volume oito, tal como as duas anteriores, mas com uma altura igual a $\frac{1}{16}$ da altura da torre e $\frac{1}{2}$ da altura da construção que ocupa o segundo anel. Na definição dos padrões anteriores foi usada uma aritmética elementar que permite construir distribuições espaciais com volume total constante. Usando ainda uma aritmética elementar, é possível estabelecer critérios – que envolvem o comprimento das circulações, o número de intersecções dessas circulações, o tempo médio das deslocações – que permitem quantificar e qualificar as diferentes distribuições espaciais. Mas pode surgir também regularidade estrutural em diferentes escalas, de leitura menos evidente, isto é, uma regularidade definida por formas repetidas em diferentes graus de ampliação. Este é um conceito de padrão no âmbito da geometria fractal. Se perspectivarmos o problema no âmbito das geometrias não euclidianas ou da topologia, a repetição de unidades por transformações não lineares, origina padrões difíceis de captar numa observação superficial. É assim importante sublinhar que o conceito de padrão, que em linguagem corrente se associa

⁷⁴ Lionel March, *Mathematics and Architecture since 1960*.

a uma repetição explícita e de leitura imediata, se perspectivado no âmbito de outras geometrias – geometrias não euclidianas, geometria fractal ou topologia – assume configurações muito variadas, baseando-se em associações de elementos obtidos a partir de diferentes tipos de transformações.

Numa perspectiva lata um padrão pressupõe a existência de um elemento inicial e uma transformação que, a partir dele, gera outros. Neste sentido enquanto que o padrão subjacente a um exemplar de arquitectura islâmica, de arquitectura gótica ou de arquitectura racionalista é bem perceptível desde os aspectos estruturais até a eventuais aspectos ornamentais, já os padrões subjacentes a uma arquitectura deconstructivista, orgânica ou “organi-tech” poderão ser mais dificilmente perceptíveis. As razões deste facto são várias: o padrão pode não ser directamente experienciável do ponto de vista sensorial, por existir só numa escala projectual, ou o padrão pode não ser experienciável de modo imediato e só após transformações com alguma complexidade.



71

Figura 71: Distribuições espaciais possíveis de um volume de oito unidades

CAPÍTULO VI ARQUITECTURAS DIGITAIS

“A afirmação do desenho digital coincidiu com a emergência de um novo imaginário arquitectónico. O repertório icónico, constituído por referências retiradas do mundo da arquitectura, foi substituído por um conjunto de elementos que vão das constelações à estrutura dos cristais, dos fractais ao caos, da biologia artificial dos tecidos urbanos às configurações de um tecido vivo.”

Franco Purini

A possibilidade de representar o espaço sobre uma superfície bidimensional teve no passado uma grande influência sobre a prática da arquitectura. A invenção da perspectiva central de Brunelleschi, impondo centralidade ao sujeito que observa, correspondeu a uma época em que uma visão teocêntrica foi substituída por uma visão antropocêntrica. Esta visão monocular foi transgredida por Piranesi ao introduzir múltiplos pontos de fuga.

Hoje, a esta óptica do Renascimento italiano, podemos contrapor a óptica das novas tecnologias digitais que permitem desdobrar os pontos de vista e obter imagens dinâmicas através da utilização de programas que deformam volumes, no âmbito de uma topologia em que são admitidas todas as transformações desde que “não fracturem” as superfícies envolventes.

O grande potencial oferecido pelos meios digitais, com o desenvolvimento do desenho assistido por computador (CAD) e da manufatura assistida por computador (CAM), suscitou o aparecimento de correntes de opinião com diferentes pontos de vista sobre o real impacto das tecnologias informáticas no âmbito da concepção e da representação em arquitectura. Parece consensual aceitar que o advento das tecnologias digitais teria provocado uma verdadeira revolução epistémica. O desenho de um projecto deixa de estar ligado à representação para passar a estar ligado ao cálculo e à computação. Será que este facto afectou a produção em arquitectura? Para responder a esta pergunta a questão essencial reside em compreender se a utilização dos meios computacionais levou ao aparecimento de novas formas de pensar e representar o espaço e portanto de novos paradigmas conceptuais. Como ocorre, cada

vez que uma nova tecnologia é introduzida num âmbito disciplinar, também no caso das tecnologias computacionais, as opiniões dividem-se entre a convicção que tais tecnologias tendem a reduzir as capacidades multisensoriais, pois tornam o processo uma manipulação passiva, e a convicção oposta de que novas sensibilidades terão surgido estimuladas pela intervenção do digital. Desde a ideia de uma distância criada entre o fazedor e o seu objecto, à indiferença protagonizada por alguns e ao entusiasmo exibido por outros, qual será de facto a influência dos meios digitais no desenvolvimento de um novo paradigma em arquitectura?

Começemos por observar que a questão do aparecimento de novos paradigmas ligados à utilização de meios informáticos se coloca não só para a arquitectura, como também para as próprias disciplinas científicas. Qual seria o estado de desenvolvimento da Física, da Química, da Matemática ou da Biologia sem a utilização de meios computacionais? O que teriam descoberto Galileu, Newton, e Leibnitz se

72

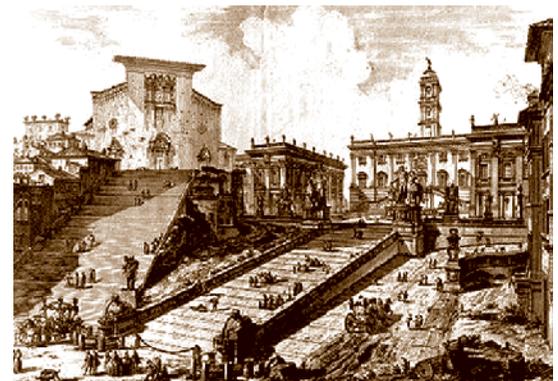


Figura 72: Representação da Praça do Campidoglio, em Roma, da autoria de Piranesi

tivessem à sua disposição tecnologias computacionais? A resposta à primeira questão é que certos domínios específicos destas disciplinas não teriam atingido o seu desenvolvimento actual. A este propósito note-se a criação de disciplinas com novo âmbito e novo fôlego como por exemplo a Biologia Computacional, Matemática Computacional, a Mecânica Computacional ou a Química Computacional. Uma possível resposta à segunda é que a genialidade de Galileu, Newton ou Leibnitz, aliada às poderosas intuições que podem resultar da análise de simulações computacionais, lhes teria permitido chegar mais longe no estabelecimento de verdades científicas. Se nos questionássemos, no entanto, sobre o impacto dos meios computacionais no desenvolvimento da literatura ou da pintura a resposta seria muito diferente, podendo tal impacto ser considerado mais modesto ou mesmo inexistente: Cervantes não teria escrito um mais poderoso D. Quixote e Picasso não teria pintado uma mais impressionante Guernica. Poderíamos continuar este exercício com outras disciplinas o que nos conduziria a concluir que o impacto das tecnologias digitais no desenvolvimento do conhecimento assume pesos variáveis, podendo situar-se em três planos distintos:

- A execução de determinadas tarefas com grande velocidade e a conseqüente libertação de energia criativa;
- O armazenamento e disponibilização de grandes quantidades de informação em tempos extraordinariamente breves;
- O tratamento (comparação, cálculo) de informação, a descoberta de novos padrões e o desenvolvimento de intuições.

No âmbito da arquitectura estas relações podem ser definidas com mais precisão. De facto, a utilização do computador assume uma função de tripla prótese: o computador prótese corpórea, enquanto instrumento de execução que complementa o clássico processo de concepção, o computador prótese sensorial, na medida em que o modelo digital representa algo de intermediário entre um desenho e um objecto, e por fim o computador prótese intelectual enquanto instrumento de concepção por excelência. Do ponto de vista da utilização do computador como prótese corpórea parece óbvio que a sua utilização não implica alterações de paradigma. Há cerca de três décadas que muitos arquitectos elaboram os seus projectos utilizando tecnologia computacional, sem que esse facto represente, por si só, um sinal de qualidade ou uma ruptura nas suas representações espaciais.

Prótese corpórea	Prótese sensorial	Prótese intelectual
Instrumento de execução do projecto	Instrumento de participação	Instrumento de concepção

Neste sentido, os instrumentos de CAD desempenham a função de um processador de texto arquitectónico com todas as características de eficiência que são seu apanágio. Dentro da perspectiva de uma prótese corpórea é verdade que, com a utilização do computador, nada se projecta que não fosse possível resultar de uma abordagem não digital. Na perspectiva de utilização do computador como prótese sensorial é possível conceber um espaço e mover-se dentro dele antes da sua construção, o que cria uma nova forma de participação. Esta participação global, esta possibilidade de imersão do autor na obra permite também, curiosamente, uma exploração sensorial da tecnologia computacional, deixando a visão de ser o único guia da mente e passando a estar outros sentidos envolvidos, medindo, sugerindo ou ditando formas. Assim poderíamos interrogar-nos sobre se “o facto de frequentar a realidade virtual contribui para o enriquecimento da nossa relação cognitiva com o mundo real... isto é se a produção computacional de imagens de altíssima fidelidade contribui para ampliar a nossa experiência”⁷⁵. Não é fácil estabelecer respostas cabais mas parece plausível admitir que a experiência sensorial facultada ao conceptor pela representação digital não configura uma mais-valia relativamente à experiência directa obtida através da representação não digital. Uma resposta distinta seria dada se perspectivarmos o problema do ponto de vista de um futuro utilizador com uma limitada experiência de abstracção espacial. Consideremos por fim a perspectiva do computador como prótese intelectual. Na representação digital há o emergir de uma narração, que permite subverter o clássico procedimento de elaboração do projecto: passa a proceder-se

do todo para as partes, a trabalhar o espaço do exterior para o interior e do interior para o exterior e não por quadros bidimensionais sucessivos, podendo o projectista colocar-se dentro mas também fora do espaço. Na verdade, a utilização dos meios digitais permite gerar o projecto como resultado de dois procedimentos simultâneos e complementares: o que parte da estrutura para a superfície externa, procedimento que caracteriza o pensamento moderno, e o que parte da pele para a estrutura. O desenvolvimento de imagens dinâmicas que fornecem soluções para os tradicionais conflitos entre a rigidez estrutural e uma certa libertinagem da forma introduz a variável tempo como protagonista do projecto. O computador elabora e acelera o pensamento, propiciando a interacção com informações oriundas de outros campos disciplinares que sugerem “elaborados” que o projectista não tinha preconcebido. Poder-se-ia definir este facto, utilizando uma metáfora biológica – o aparecimento de propriedades emergentes – o que leva a afirmar que o computador, considerado como prótese intelectual, é um criador de complexidade.

Para melhor compreender a intervenção da tecnologia digital nas diferentes fases da concepção de um projecto, é elucidativo analisar duas metodologias de trabalho distintas e de certo modo opostas: a de Peter Eisenman⁷⁶, oriundo da intelectual costa oriental dos Estados Unidos, e a de Frank Gehry⁷⁷ representante da mais pragmática costa ocidental.

Enquanto que Peter Eisenman, na primeira abordagem ao projecto, assume uma atitude racional e utiliza as facilidades computacionais, a primeira abordagem de Gehry é sensorial, não utilizando instrumentos computacionais.

⁷⁵ Tomas Maldonado, *Reale e Virtuale*.

⁷⁶ Luca Galofaro, Eisenman digitale, *Uno studio dell'era elettronica*.

⁷⁷ Bruce Lindsey, Gehry digitale, *Resistenza materiale/Construzione digitale*.

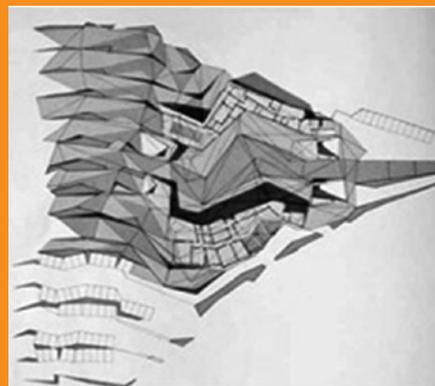
⁷⁸ Morphing é um processo que permite converter uma imagem noutra através de transformações contínuas.

Quando Eisenman participou, em 1996, no concurso de uma Igreja para o ano 2000, em Roma, partiu do conceito de cristal líquido – uma suspensão entre o estado cristalino e o estado líquido – que para ele constituía uma excelente metáfora de uma condição de “simultaneidade da proximidade e da distância” que deveria, na sua opinião, caracterizar os locais de culto. Diagramas sobre o comportamento de cristais líquidos foram então transformados, dando origem a diagramas tipológicos.

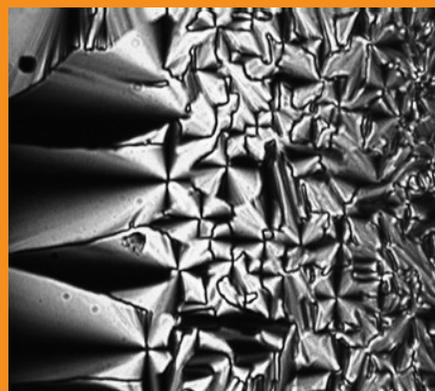
No caso da Biblioteca de Genève, na Suíça, Peter Eisenman partiu do conceito de memória. Mas não partiu de uma memória em sentido poético ou literário, mas sim de dados científicos de que dispunha: perfis que representavam a actividade sináptica, pré-sináptica e os traços de memória de um estado emocional.

Deformou estes perfis, usando as chamadas técnicas de “morphing”⁷⁸. Partiu desse complexo de gráficos, sobrepô-los a plantas do lugar e procedeu a algo como um levantamento topográfico: eram as primeiras imagens da Biblioteca. Em 1995, no concurso para o Klingelhoefer Triangle, em Berlim, Eisenman escolheu a mensagem de uma nova era que substituíra a era mecânica. A primeira abordagem foi de novo metafórica: justapôs o mecanismo de um relógio e um chip de computador. Deformou-os, usando meios digitais, e procedeu a um levantamento simbólico que lhe sugeriu uma primeira estratégia de intervenção.

Eisenman completa a abordagem metafórica inicial com o estudo do sítio e com textos escritos que descrevem o futuro projecto. Na fase de representação visual é seguido um procedimento em que plantas e prospectos são substituídos por uma sequência de soluções tridimensionais

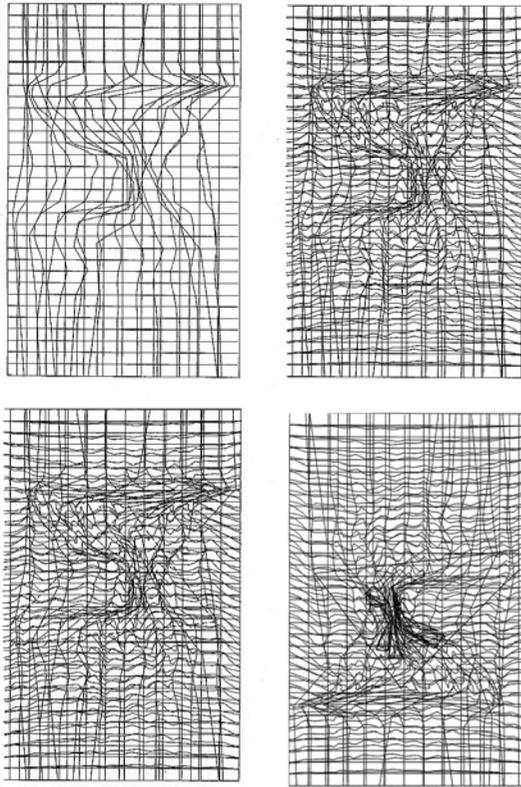


73A

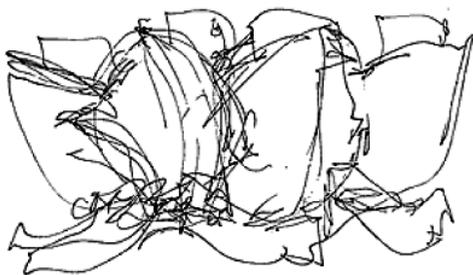


73B

Figura 73A: Projecto para uma Igreja do ano 2000, de Peter Eisenman;
Figura 73B: Imagem de um cristal líquido



74



Walt Disney Centre
Los Angeles, CA
1989

75

Figura 74: Diagramas de estudo da Biblioteca de Genève de Peter Eisenman

que criam a impressão de dinamismo, ao mostrar as sucessivas metamorfoses do desenho. Em síntese, para Peter Eisenman o computador representa de certo modo uma entidade autônoma e um produtor de imagens inesperadas. A metodologia de Gehry é muito distinta. Inicia-se com esboços⁷⁹ e com a produção de modelos que lhe permitem desenvolver uma certa sensibilidade e constituem também um elemento fundamental no diálogo com o cliente. Os esboços representam para Gehry, o gesto inicial e contêm a mensagem central do projecto. Os esboços não são objectivos e possibilitam leituras fracturantes de modo a suscitar a intervenção dos colaboradores no âmbito do trabalho em equipa. Os modelos – de madeira, malha metálica ou cartão – são assim construídos e reconstruídos a partir do diálogo que se estabelece entre os projectistas.

Esta primeira abordagem de Frank Gehry, simultaneamente material e sensorial, é acompanhada por uma abordagem digital que permite a visualização de formas complexas tridimensionais, o que constitui um outro elemento essencial no diálogo com o cliente.

A passagem do modelo físico ao modelo digital é feita usando um conversor analógico. Uma vez identificadas as coordenadas de certos pontos de referência a partir do modelo, estes são ligados por superfícies, utilizando a aplicação computacional CATIA⁸⁰. Definida a rede de pontos no espaço, podem obter-se superfícies diferentes das anteriores impondo, não que a superfície a construir passe nesses pontos, mas considerando outros critérios como por exemplo que uma certa medida seja minimizada. A aplicação CATIA pode produzir três tipos de modelos digitais: modelo da superfície exterior,

Figura 75: Esboço do Walt Disney Centre em Los Angeles de F. Gehry

um modelo da malha estrutural e um modelo da organização interior. Para além destes modelos estruturais a aplicação faz também simulações acústicas e luminosas do futuro edifício.

Para F. Gehry o computador não é um gerador de formas inesperadas, mas uma possibilidade de tornar exequíveis os seus complexos desenhos. O recurso ao software de arquitectura

	Peter Eisenman	Frank Gehry
1ª Fase do projecto	Trabalho computacional sobre um conceito ligado com o projecto. Utilização de metáforas interdisciplinares. Redacção de textos, estudos do sítio.	A importância do esboço, a relação com o cliente, o sítio. Ausência de trabalho digital.
2ª Fase do projecto	Desenhos tridimensionais.	Modelos físicos/modelos virtuais/Modelo final.
3ª Fase do projecto	Sequência de soluções evidenciando as transformações.	Plantas, secções, perspectivas, fotografias.
4ª Fase do projecto	Projecto final	Modelo digital para cálculo de estruturas, testes acústicos, luz solar.

Quadro II: As metodologias de Eisenman e Gehry

A construção de formas complexas é possível através da manufactura assistida por computador, que envolve numerosas técnicas de corte. Pode, por exemplo, cortar-se a pedra com uma forma curva sem que haja desperdícios, pois o procedimento computacional localiza onde recolocar os eventuais desperdícios. É assim possível construir curvas e superfícies facetadas compostas por outras superfícies de forma variável, de modo eficiente, rápido e económico, tão eficiente, rápido e económico como se se tratasse de formas iguais. Esta informatização do processo produtivo permitiu construir o Museu de Bilbao, composto exclusivamente por superfícies curvas, por um preço superior em 10% ao de um edifício com o mesmo volume mas construído com superfícies planas.

permite-lhe também conhecer antecipadamente as características energéticas, acústicas e luminosas de um edifício.

Muito se tem especulado sobre a chamada arquitectura digital. Ela representa um sinal da diluição de fronteiras, que com a ciência dos materiais, a biologia, e tantas outras contribuições de cunho artístico e humanístico, tem vindo a redefinir a posição da arquitectura no arquipélago disciplinar. Esta reorganização de fronteiras confere à arquitectura uma dimensão experimental no plano da visão do real, no plano da concepção do projecto, como também no plano da construção, na medida em que permite a execução de formas complexas, restituindo ao arquitecto o papel de protagonista do processo construtivo.

⁷⁹ Ilustrativo a este propósito é o livro “Gehry Draws”, editado por Mark Rappolt e Robert Violette.

⁸⁰ Originariamente desenvolvida pela empresa aeroespacial francesa Dassault Systems.

CAPÍTULO VII

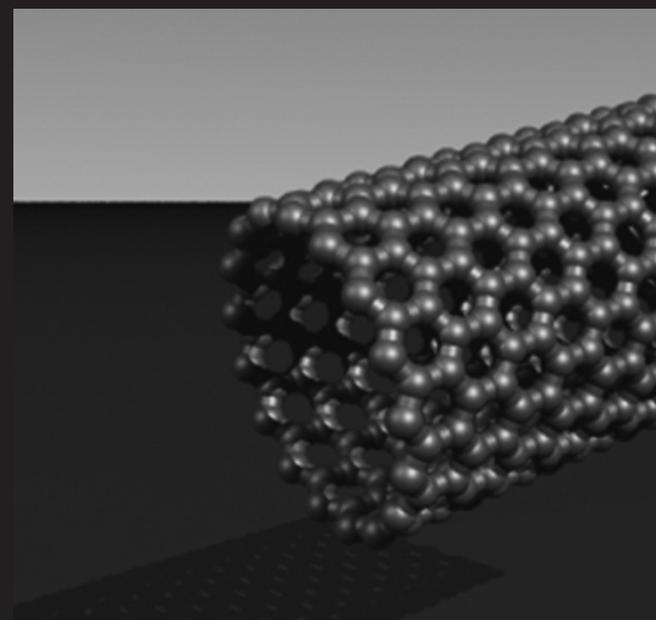
MATERIAIS E METABOLISMO

“É fundamental trabalhar com os elementos imateriais do espaço e eu sinto-me fascinado pela investigação nesse domínio. A luz, a transparência, a vibração, a textura e a cor são elementos imateriais que interagem com a forma do espaço.”
Renzo Piano

A história da produção, e em particular da produção arquitectónica, está profundamente ligada à história da invenção dos materiais e à exploração dos seus limites.

As limitações tecnológicas que caracterizaram os períodos históricos anteriores à Revolução Industrial deram lugar a uma arquitectura que utilizava os materiais disponíveis no local como o vime, a madeira, a argila ou a pedra. À medida que se foi produzindo uma industrialização crescente, surgiram novos materiais que passaram a estar disponíveis em grandes quantidades, como o ferro, o aço, ou o vidro. O desenvolvimento da tecnologia permitiu não só produzir estes novos materiais como também alterar de modo profundo as propriedades originais de muitos deles: os metais começaram a assumir formas exuberantes, os vidros a ser utilizados em compressão e a pedra a ser usada em tensão. Mas o tradicional conceito de material, com propriedades físicas e químicas imutáveis e bem definidas a priori, começa a ser perspectivado de modo algo diferente. As progressivas exigências de certas indústrias, os recentes desenvolvimentos da ciência dos materiais, das tecnologias digitais avançadas e das nanotecnologias⁸¹ abriram uma nova perspectiva, na forma de utilizar os materiais, que podem ser agora produzidos a partir da especificação prévia de propriedades adaptadas aos objectivos em vista. O estudo das escalas mais finas da matéria permite-nos conhecer as unidades básicas de informação indispensáveis à compreensão do funcionamento dos mecanismos vivos. Do ponto de vista da arquitectura a importância reside no facto de esta compreensão fornecer as informações essenciais necessárias ao exercício da biomimese, e também à utilização de

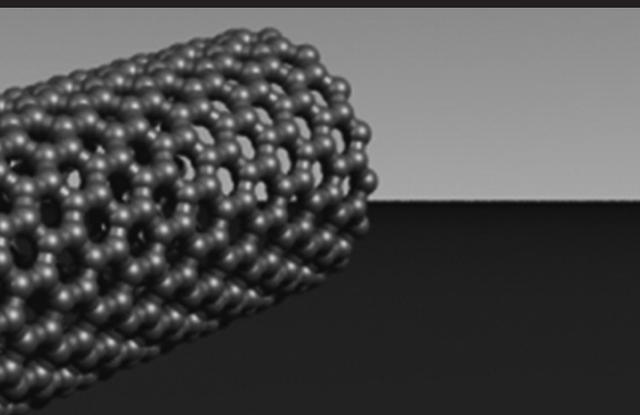
biomoléculas para construir novos materiais. É curioso notar que entre os materiais naturais e os materiais artificiais existe uma diferença de base: enquanto que os primeiros foram construídos a partir de um número reduzido de macromoléculas⁸², ao fim de um longo processo que durou bilhões de anos, os materiais artificiais, construídos desde há algumas décadas



em laboratório, são formados a partir de um número muito mais elevado de elementos base. Para conhecer o comportamento de um material é preciso estudá-lo a uma nanoescala, isto é, conhecer o seu código “geogenómico”. A nanotecnologia deverá transformar o modo como construímos, pois permite melhorar as carac-

Figura 76: Um nanotubo de carbono

terísticas de materiais já existentes, como por exemplo versões desmaterializadas do cimento, e produzir novas classes de materiais como os materiais que se autoreparam, que se autolimpam, que absorvem substâncias poluentes ou que identificam toxinas. Também a produção de compósitos fabricados com nanotubos de carbono poderá vir a transformar o modo



76

como construímos. Os nanotubos de carbono são cilindros construídos a partir de folhas de grafite com a espessura de um átomo. Eles são cinquenta vezes mais fortes que o aço e dez vezes mais leves do que ele. Os nanotubos de carbono e outros nanomateriais poderão vir a ser utilizados para construir painéis da espessura

de uma folha de papel, mas tão resistentes que podem suportar um edifício, alterando assim o modo como se perspectiva a relação entre a estrutura e o seu invólucro.

A nanotecnologia poderá também permitir formas de produção menos poluentes. Consideremos por exemplo o cimento, que é um dos materiais de construção mais antigo. Cada ano são fabricados muitos bilhões de toneladas de cimento, que produzem elevadas emissões de CO₂ – cerca de 7% das emissões totais – pois tal fabrico exige a queima de resíduos fósseis a uma temperatura de mil e quinhentos graus centígrados. Como produzir um material alternativo, um “cimento verde”, com as mesmas propriedades físicas mas cuja produção não seja poluente? Uma equipa de engenheiros do MIT⁸³ provou que a resistência e a duração do cimento dependem da organização das nanopartículas que o constituem e não da sua composição. Observou ainda que a nanoestrutura do cimento é de certo modo análoga à do tecido ósseo. A ideia reside portanto em produzir materiais com a mesma nanoestrutura do cimento, mas com diferentes constituintes que não exijam temperaturas tão elevadas no fabrico.

Afirmámos que os novos materiais podem induzir transformações na concepção e na execução, como por exemplo no caso de edifícios construídos com materiais centenas de vezes mais resistentes que o aço, da utilização de nanosensores embebidos nas estruturas para medir a temperatura, a humidade, as vibrações e as toxinas do ambiente ou da inserção de painéis fotocromáticos. Referimos ainda que um certo tipo de poluição, como a associada à queima de resíduos fósseis a altas temperaturas, tenderá a diminuir com o desenvolvimento de

⁸¹ A nanotecnologia é uma área que actua ao nível molecular, em dimensões que variam entre 1 e 100 nanómetros. Um nanómetro representa 1 bilionésimo de um metro: por exemplo a espessura de uma folha de papel é de cerca de 100000 nanómetros.

⁸² As quatro macromoléculas mais importantes são os ácidos nucleicos, as proteínas, os lípidos e os polisacarídeos.

⁸³ Massachusetts Institute of Technology

novos materiais. Embora a concentração destes agentes poluentes possa diminuir é oportuno reflectir sobre a existência de outros possíveis riscos para a saúde, para o ambiente e para a sociedade que poderão surgir, associados à utilização intensiva das nanotecnologias. Trata-se de um problema cuja resposta é complexa e não é ainda completamente conhecida. No entanto, no tocante aos riscos para a saúde, a inalação e acumulação das nanopartículas na cavidade nasal e nos pulmões poderá vir a produzir efeitos nefastos desde simples inflamações a danos mais graves no sistema nervoso. Do ponto de vista dos riscos sociais, eles estão essencialmente ligados com a privacidade e poderão resultar de uma utilização intensiva de nanosensores e do modo como a informação captada é usada.

Materiais “desmaterializados”: os Ultramateriais

Os ultramateriais⁸⁴ são novos materiais caracterizados por uma maior leveza, em sentido literal, associada a uma maior robustez e a uma maior flexibilidade. Uma das características mais curiosas destes novos materiais é o facto de exibirem uma certa desmaterialização no sentido em que são materiais menos densos, mais porosos, e menos opacos: numa palavra materiais com menos matéria mas mais informação. Um exemplo paradigmático é a recente produção de um betão translúcido, que ao transmitir a luz subverte a tradicional imagem do betão associada a um material pesado e opaco. Estes novos ultramateriais são de um modo geral materiais compósitos, isto é pos-

suem uma estrutura molecular não homogénea e portanto uma densidade não homogénea, podendo ser fabricados segundo certos princípios de optimização, isto é de modo a serem mais densos onde as forças de tensão ou compressão serão maiores e menos densos onde tais forças forem menores. Esta característica dos materiais compósitos é um exemplo de biomimese, no âmbito da engenharia dos materiais, pois simula a textura de tecidos vivos como por exemplo do tecido ósseo que, como referimos é mais denso segundo as direcções em que as forças aplicadas são maiores, sendo rarefeito nas zonas que não estão submetidas a forças de valor significativo. Aliás a ideia subjacente à criação de materiais compósitos é também hoje utilizada ao nível das macroestruturas, como a construção de estruturas em forma de tenda, de geodésicas ou de tensoestruturas que, tal como as estruturas naturais, se desenvolvem nas direcções de maiores tensão e compressão, apresentando “vazios” nas zonas em que estas forças têm resultante nula.

Com os ultramateriais alterou-se o quadro de referência clássico, em que material é sinónimo de estaticidade, força e peso. É curioso notar que muitos ultramateriais são o resultado de novos olhares sobre materiais clássicos como por exemplo as “versões desmaterializadas” do betão – o betão translúcido, o betão poroso, o betão flutuante – cujas designações anunciam uma certa subversão das propriedades que lhe estão tradicionalmente associadas.

A ciência dos materiais produziu nos últimos anos estas e outras “versões desmaterializadas” do betão, recorrendo a diferentes elementos constituintes e a diferentes tecnologias de produção. O betão que transmite a luz combina o

⁸⁴ Esta designação foi introduzida por Toshiko Mori no livro *Immateriale, Ultramateriale, Architettura, Progetto e Materiali*.

⁸⁵ Quando uma partícula embate numa superfície de aerogel mergulha nessa superfície, deixando um rasto de cerca de 200 vezes o seu comprimento. Como o aerogel é praticamente transparente é possível recuperar as partículas.

betão tradicional com uma densa rede de fibras ópticas, o que torna possível vislumbrar silhuetas e cores através dele, criando assim uma nova imagem de superfície que surge aparentemente sem espessura e sem peso; a transmissão da luz pode ser também conseguida sem recurso a fibras ópticas e utilizando betão translúcido fabricado a partir de vidro esmagado, plástico e gravilha.

Outras formas de desmaterialização recorrem a estruturas porosas. Foi em 1914, na Suécia, que se descobriu que uma fabulosa mistura de pó de alumínio, cimento e água se expandia de modo inesperado como uma espuma. A partir desta espuma é hoje fabricado um betão altamente poroso com uma densidade cinco vezes menor que a do betão tradicional, sendo um excelente isolante térmico e acústico, embora apresente uma menor resistência à compressão. Mas o mais extraordinário dos novos betões parece ser o betão flutuante, em que a areia e a gravilha foram substituídas por microesferas constituídas por polímeros.

O conceito de desmaterialização, implícito nos novos betões, encontra-se também em outros materiais como por exemplo a espuma de alumínio. Dez vezes mais leve que o alumínio tradicional, e paradoxalmente cerca de dez vezes mais robusta do que ele, a espuma de alumínio pode ser utilizada em arquitectura mas também na indústria automóvel, na indústria aeronáutica ou em electrónica.

De entre os materiais sólidos conhecidos também o aerogel exhibe propriedades surpreendentes: tem a aparência de vidro, apresentando uma estrutura porosa e esponjiforme em que 90% do volume é ocupado por ar, e o restante por partículas de sílica, alumínio e carbono



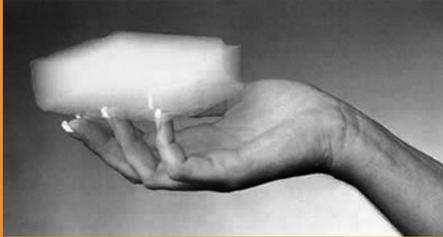
77

com elevada densidade o que explica a sua estrutura leve mas muito robusta. O aerogel tem sensivelmente a densidade do ar, sendo cerca de mil vezes menos denso que o vidro. O aerogel foi criado nos anos 30 do século passado por Steven Kistler. Actualmente é muito utilizado pela Nasa como isolante térmico, em veículos espaciais ou como colector de poeiras cósmicas⁸⁵. De facto, só a cerca de 750 graus centígrados se transforma em sílica ordinária. As suas aplicações à arquitectura estão ainda no início, tendo sido utilizado como isolante térmico e acústico ou como material hidrofóbico, sendo altamente eficiente. Na verdade uma superfície de aerogel com 2,5 cm de espessura tem as mesmas propriedades isolantes que 20 superfícies de vidro corrente sobrepostas. A explicação é simples e reside no facto de a energia não poder ser transmitida por condu-

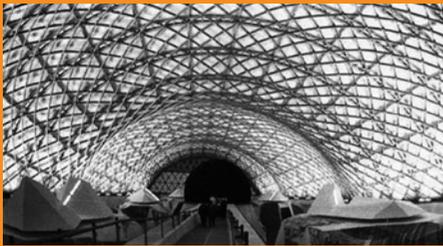
Figura 77: O betão flutuante



78A



78B



79A



79B

ção pois, para além de haver pouca matéria no aerogel, os elementos de que é composto são condutores pobres. O aerogel foi, num primeiro tempo, produzido a um preço muito elevado, mas tornou-se nos últimos anos competitivo relativamente à fibra de vidro.

Outros materiais usuais, como o papel ou a madeira, quando submetidos a tratamentos especiais, podem adquirir comportamentos surpreendentes. Por exemplo o Homasote é um material formado por fibras produzidas a partir de papel reciclado, não contendo formaldeídos ou asbestos, que são ligadas por uma cola e que após tratamentos de superfície exibem características interessantes que podem ser exploradas na construção: o material, quando saturado com água, é facilmente moldável, tornando-se rígido depois de seco. Um material deste tipo, produzido a partir de tubos de papel económicos e recicláveis, tem sido extensivamente utilizado na obra do arquitecto japonês Shigeru Ban, como por exemplo no Pavilhão do Japão, na Feira Internacional de Hannover, e no Centro Pompidou de Metz.

Materiais inteligentes

Os ultramateriais, tal como os materiais tradicionais, apresentam respostas fixas, isto é, as suas propriedades não se alteram por acção de estímulos exteriores.

Nas últimas décadas começaram a surgir materiais, designados por inteligentes, que apresentam propriedades que se adaptam ao ambiente, isto é propriedades que mudam no tempo, como resposta a estímulos exteriores. Na medida em que podem exibir alterações de

Figura 78A: Uma folha de aerogel, com duas gramas, suporta um peso de 2,5 quilogramas;

Figura 78B: Uma imagem de um paralelepípedo de aerogel

textura, de cor, de percepção das dimensões, da percepção de sensações olfactivas e acústicas estes novos materiais inteligentes constituem um instrumento privilegiado para dar corpo à ideia de transitório e precário implícita no conceito de efémero. Há um conjunto de características que definem os materiais inteligentes como:

- a resposta em tempo real;
- a adaptação, que é a capacidade de responder às mudanças ambientais, por alterações dos níveis energéticos ou das propriedades dos próprios materiais;
- a autonomia, pois os mecanismos de resposta são interiores ao próprio material;
- a previsibilidade, que representa o facto de a resposta ser previsível, isto é os mesmos estímulos produzem as mesmas respostas;
- a reversibilidade, na medida em que ao desaparecer o estímulo energético exterior o material readquire as suas características iniciais;
- a resposta localizada⁸⁶, isto é, o facto de as respostas assumirem um carácter local.

Os estímulos exteriores são representados por formas de energia como a luz ou o calor. Os *mecanismos de adaptação* podem ser de dois tipos: a energia incidente *altera a estrutura molecular do material* ou a sua microestrutura, provocando então uma mudança das suas propriedades, ou a energia incidente *não altera as propriedades do material mas altera as formas de energia que possui disponíveis*.

Relativamente ao primeiro tipo de materiais, isto é, aquele em que as *propriedades se alteram por acção de um estímulo exterior*, assumem particular interesse os materiais que sofrem uma mudança das suas propriedades ópticas – que percebemos como uma mudança de cor – como

resposta a um estímulo energético que pode ser luminoso, térmico, mecânico ou eléctrico⁸⁷. Os materiais fotocromáticos mudam de cor, de modo reversível, quando são expostos à luz: eles absorvem a energia electromagnética na região do ultravioleta e esta energia produz uma alteração da sua estrutura molecular que induz uma mudança de cor. Têm um vasto campo de aplicações e em arquitectura têm sido usados no fabrico de tintas, em fachadas ou no fabrico de janelas. O auditório de San Sebastian, Kursaal Palace, da autoria de Rafael Moneo, utiliza um vidro fotocromático, cujo aspecto e brilho se alteram com as condições climáticas.

Também os materiais termocrómicos, que mudam de cor por acção da energia térmica, podem ser usados de modo análogo. Nestes materiais é introduzido um polímero entre dois filmes plásticos. As propriedades do polímero alteram-se com a temperatura o que provoca uma mudança na opacidade do material. Este tipo de materiais não exhibe ainda um comportamento eficiente, devido a uma certa lentidão da resposta e também ao facto de a exposição à luz solar poder provocar a degradação dos materiais e a consequente perda progressiva da propriedade de mudança de cor.

Os materiais electrocrómicos são compostos por diferentes camadas: uma camada onde os iões são armazenados, uma camada condutora e uma camada electrocrómica. Este tipo de materiais é usado no fabrico de janelas, que podem ser escurecidas ou tornadas transparentes por aplicação de uma corrente eléctrica. Quando se aplica uma corrente eléctrica os iões passam da camada de armazenamento, através da camada condutora, para a camada electrocrómica, induzindo nesta uma absorção

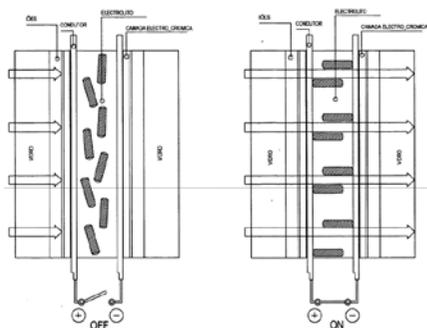
⁸⁶ Esta propriedade implica que o projectista passará a raciocinar à escala das necessidades do indivíduo e não à escala das necessidades do edifício. Hoje os edifícios não fornecem respostas localizadas. Por exemplo, para alterar de alguns graus a temperatura, com os sistemas ventilação e ar condicionado, é preciso proceder a um conjunto de operações que afecta todo o edifício.

⁸⁷ Estes materiais designam-se respectivamente por fotocromáticos, termocrómicos, mecanocrómicos e electrocrómicos.

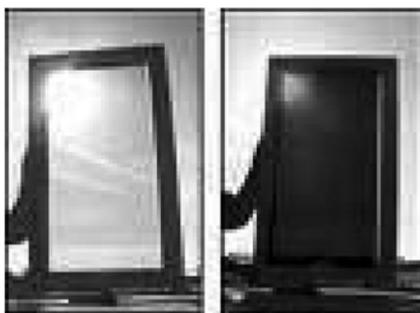


Figura 80: Rafael Moneo: Kursaal Palace

Figura 79A: Pavilhão do Japão na Feira Internacional de Hannover
Figura 79B: Centro Pompidou de Metz de Shigeru Ban



81A



81B

Figuras 81A e 81B: Janela electrocrômica

de comprimentos de onda do espectro visível e portanto escurecendo-a. A corrente de iões em sentido contrário torna a camada electrocrômica transparente.

A utilização dos materiais electrocrômicos em arquitectura implica a possibilidade de os mecanismos descritos serem utilizados de modo intensivo sem perda das suas propriedades, aspecto este que constitui actualmente um domínio de intensa pesquisa no âmbito da ciência dos materiais.

De entre os três tipos de materiais referidos – fotocrômicos, termocrômicos e electrocrômicos – estes últimos são os que têm actualmente um funcionamento mais robusto.

As moléculas dos cristais líquidos, se não forem activadas electricamente, estão orientadas ao acaso e a luz incidente é reflectida; quando activadas as moléculas tomam a direcção do campo eléctrico e a luz incidente é refractada e o material assume um aspecto transparente. Este tipo de materiais é adequado à utilização interna, podendo criar separações que aparecem ou desaparecem consoante haja ou não activação eléctrica. Sublinhe-se que os custos de produção destes materiais são no presente muito elevados, tendo sido até agora utilizados pontualmente para projectos de alto conteúdo inovativo. Outro problema que se levanta na sua utilização extensiva é o facto de todos eles apresentarem uma perda gradual de reversibilidade o que implica uma duração relativamente limitada.

De entre os materiais que alteram as suas propriedades, por acção de um estímulo energético, podemos ainda incluir os materiais que mudam de fase (gasosa, líquida ou sólida). Algumas classes de materiais que mudam de fase absorvem

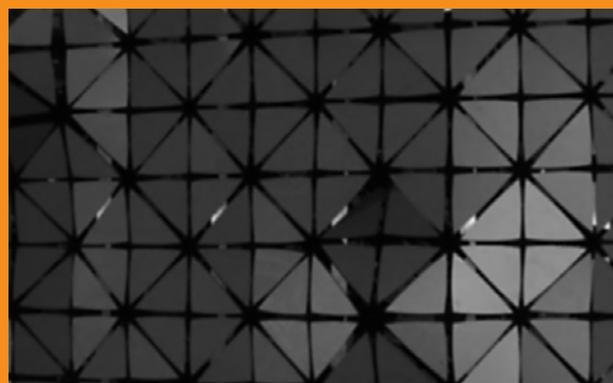
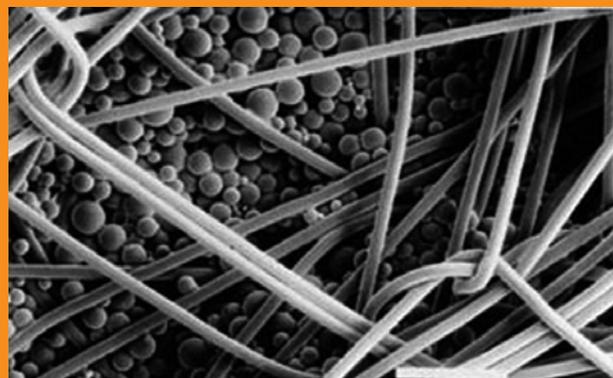
ou libertam quantidades significativas de energia térmica. Se o material passar do estado sólido para o estado líquido e do estado líquido ao estado gasoso absorve grandes quantidades de energia; se passar do estado gasoso ao líquido e deste ao estado sólido libertará energia. Estas mudanças de fase são reversíveis e não implicam degradação dos materiais. Existem actualmente várias patentes que utilizam este tipo de materiais na indústria têxtil. Os materiais que mudam de fase são introduzidos em cápsulas microscópicas e concebidos de modo a estarem, à temperatura da pele, numa fase semi-sólida/semi-líquida. Se a temperatura do corpo aumentar o material muda de fase absorvendo energia; se o corpo arrefecer o material muda de fase e liberta energia térmica.

O facto de estes materiais absorverem ou libertarem energia permite utilizá-los na climatização de edifícios, através da construção de paredes constituídas por hidratos de sais, parafinas e ácidos gordos. Algumas tecnologias recentes, baseadas na inserção da parafina e de ácidos gordos em microesferas, têm sido utilizadas em pavimentos radiantes.

Uma última observação, no âmbito dos materiais que mudam de propriedades por acção de um estímulo energético, refere-se às propriedades reológicas, isto é, às propriedades dos fluidos e dos materiais viscosos. Se uma corrente eléctrica actuar num fluido electroreológico⁸⁸ a sua viscosidade aumenta, regressando ao seu estado inicial quando a corrente deixa de actuar. A utilização dos fluidos reológicos em arquitectura está ainda numa fase de estudo académico.

Uma mudança de uma propriedade num material – consequência de um estímulo energético

⁸⁸ Existem também fluidos magnetoreológicos em que a alteração da viscosidade é provocada por um campo magnético.

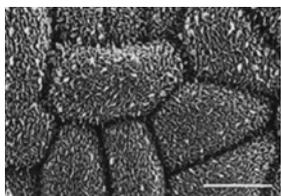


82

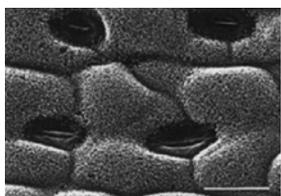
83

Figura 82: Os materiais que mudam de fase são inseridos em microcápsulas.

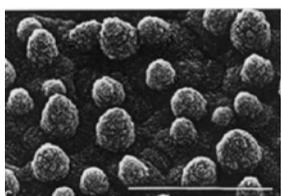
Figura 83: A superfície Aegis da Decoi architects



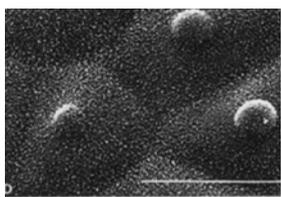
84A



84B



84C



84D

– pode ser obviamente usada como sensor desse mesmo estímulo. Um exemplo interessante da utilização do conceito de sensor em arquitectura é a superfície Aegis, produzida por uma equipe interdisciplinar, que colabora com Marc Goulthorpe no âmbito da DeCOL architects. A superfície Aegis, construída para o teatro Hippodrome em Birmingham, é uma triangulação metálica cuja forma se pode alterar como resposta a estímulos exteriores de índole mecânica, luminosa ou acústica sendo os estímulos traduzidos em movimento através de um sistema computacional que controla um conjunto de êmbolos⁸⁹. A superfície Aegis evoca a possibilidade do advento de uma arquitectura dinâmica.

À possibilidade de simular e construir formas naturais complexas, com auxílio do desenho e manufactura assistidos por computador, juntou-se recentemente a investigação sobre novos materiais biomiméticos, isto é, que se comportam como tecidos vivos. Estes materiais inteligentes foram desenvolvidos durante a última década e apresentam propriedades que mudam no tempo, permitindo a simulação das respostas dos sistemas vivos aos estímulos ambientais o que contribui para desenvolver uma arquitectura inteligente, sustentável e integrada no meio ambiente;

É neste sentido que podemos afirmar que os materiais inteligentes “sentem” os estímulos exteriores e respondem de modo adaptado. Relativamente aos novos materiais, que simulam propriedades biológicas, são particularmente interessantes os materiais auto-regenerativos: materiais que se auto-limpam e materiais que se auto-reparam.

Uma das primeiras aplicações da nanotecnologia foi a produção de tintas e vidros que se auto-limpam. Esta produção resultou do trabalho interdisciplinar de dois botânicos da Universidade de Bona, Wilhem Barthlott e Christoph Neinhuis, e de engenheiros que trabalhavam em empresas de tintas e de vidros. A descoberta de Barthlott e Neinhuis surgiu casualmente. Ao fazerem observações microscópicas das folhas de um elevado número de espécies constataram que, independentemente do tipo de poluição da zona de origem das espécies, as plantas com folhas de superfície lisa deviam ser sempre lavadas antes da observação microscópica enquanto que as que tinham superfícies mais rugosas se apresentavam limpas, podendo ser observadas sem lavagem prévia.

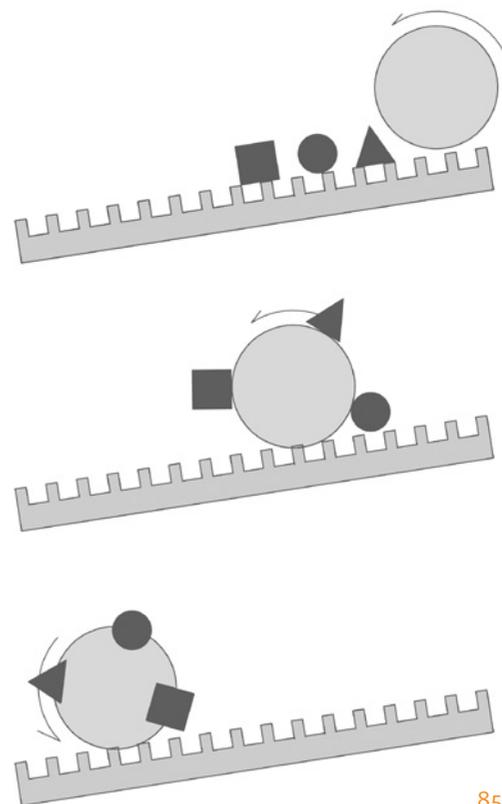
Esta constatação levou-os a iniciar um estudo sobre o efeito de auto-limpeza de algumas superfícies naturais, que designaram por efeito Lótus, tendo concluído que as partículas aderem à superfície das gotas sendo removidas quando estas rolam pelas folhas. O efeito Lótus é um exemplo claro de que certos macrofenómenos podem ser controlados à escala microscópica. A utilização de um revestimento hidrofóbico para o vidro reduz os custos associados à limpeza e manutenção das fachadas. A eliminação de partículas de origem orgânica em vidros pode ser também feita de modo autónomo se estes forem tratados com substâncias químicas que reagem aos raios ultravioletas, produzindo a decomposição de tais partículas orgânicas. A superfície deste tipo de vidros é hidrófila pelo que, no contacto com a chuva, a água não forma gotas, espalhando-se uniformemente e arrastando consigo as partículas.

Figuras 84A, 84B, 84C, e 84D: Imagens microscópicas (retiradas de W. Barthlott, C. Neinhuis, *Purity of the sacred lotus, or escape from contamination in biological surfaces*) da superfície da folha do *Nelumbo nucifera* (Lotus)

Alguns dos materiais que descrevemos neste capítulo permitem a mudança e a adaptação, tal como os ecossistemas naturais, fazendo um uso eficiente da energia. Para além da mudança e da adaptação, os ecossistemas naturais também reciclam os seus materiais. Será possível construir materiais inteligentes que sejam capazes de se reciclar no sentido de se autoregenerarem? A resposta a esta questão é afirmativa. Investiga-se hoje em materiais que se autoreciclam, no âmbito dos polímeros e dos metais. No caso dos polímeros a reciclagem é conseguida através da introdução de um agente regenerador em microcápsulas que são depois embebidas numa matriz compósita com um catalizador capaz de polimerizar tal agente. Ao formar-se uma ruptura na matriz as microcápsulas rompem-se e o agente regenerador difunde-se por capilaridade e, ao contactar com o catalizador, polimeriza-se e preenche a falha. Seguindo este princípio foi desenvolvido muito recentemente um tipo de plástico que se regenera tal como a pele. O processo de regeneração desencadeia-se desde que surja uma fractura de pelo menos 100 microns. O plástico, uma vez regenerado, recupera até 75% da sua robustez original. Prevê-se que a utilização deste tipo de plástico se generalize através do vestuário desportivo, da indústria automóvel e da aeronáutica entre outros.

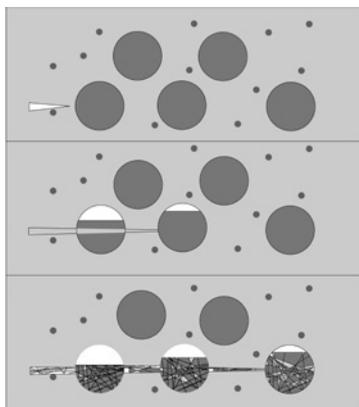
Um outro exemplo de material que simula propriedades biológicas é um tipo de cimento revestido por um agente activo – nanopartículas de dióxido de titânio – que em presença da luz, natural ou artificial, quebra as ligações de substâncias poluentes orgânicas, como o monóxido de carbono, ou o benzeno, através de um processo que se designa por fotocatalise.

⁸⁹ Três mil êmbolos capazes de produzir deslocamentos de cerca de 60 cm com uma periodicidade de duas ou três vezes por segundo.



85

Figura 85: Acção de uma gota de água numa superfície hidrofóbica



86

Os poluentes são transformados em compostos como os nitratos ou o dióxido de carbono, que são substâncias mais toleráveis do ponto de vista ambiental.

Este material já foi utilizado por exemplo na pavimentação de algumas estradas das cidades de Segrate e Bérgamo, situadas perto de Milão, tendo-se observado uma diminuição⁹⁰ substancial da presença de óxidos nítricos. Observe-se que a redução de poluentes se faz sentir sobretudo até a uma distância de cerca de dois metros e meio da superfície tratada, o que significa que é sentida por um péão que circule em tal superfície. Na Igreja da Misericórdia em Roma, da autoria de Richard Meier, é também usado este tipo de cimento, sendo eliminados poluentes orgânicos e inorgânicos. A Igreja foi construída em 2000 e mantém uma cor branca e brilhante. A utilização de materiais que eliminam toxinas é um procedimento que permite melhorar a preservação dos edifícios, no entanto, mais do que fabricar materiais que eliminam toxinas é importante minimizar a produção dessas toxinas.

Imateriais

Para além dos desmaterializados ultramateriais – como o betão flutuante, o aerogel ou a madeira dobrável – e dos materiais inteligentes, a arquitectura utiliza também como matérias-primas os imateriais como a luz, os odores, o tacto e o som que, evocando sensações, apontam para o advento de uma arquitectura táctil e multisensorial

A luz é matéria-prima que cria um sistema de referência no habitat, permitindo definir com

rigor a relação com o exterior, influenciando a percepção do clima e da passagem do tempo. Ela revela também aspectos formais da relação com o construído, definindo fronteiras exterior-interior e interior-interior. Por último, a luz permite ainda vivenciar múltiplas experiências emocionais, na medida em que as modelações luminosas podem criar espaços contemplativos, espaços energéticos ou espaços simbólicos. Um outro imaterial que pode ser usado em arquitectura é o odor. Inspiramos cerca de trinta mil vezes por dia o que representa um número de estímulos muito elevado. O odor pode ser utilizado para conferir maior profundidade à percepção, desencadeando memórias que trazem presenças de outros cenários e outros tempos, anulando distâncias e aumentando a profundidade dos espaços.

Outros imateriais como o som e a textura determinam o modo como percebemos a forma. Eles podem alterar as fronteiras físicas definidas pelos materiais e pelas formas, criando novas fronteiras fenomenológicas e, desenhando para além da arquitectura material, uma arquitectura do imaterial.

A arquitectura moderna adoptou sobretudo a visão e excluiu os outros sentidos, adoptou o intelecto mas excluiu o corpo, a memória, a imaginação e os sonhos como diz Juahani Pallasmaa⁹¹. Este papel central da visão foi reforçada pelo desenvolvimento da tecnologia que nos permite ver o infinitamente pequeno, isto é ver a micro-estrutura da matéria, mas também o infinitamente distante. A hegemonia da visão faz-nos espectadores do construído enquanto que uma arquitectura que integre outros sentidos poder-nos-à dar também um papel de protagonistas. Se numa primeira

Figura 86: Materiais que se autoregeneram

⁹⁰ Cerca de 60% no primeiro caso e de 45% no segundo caso.

⁹¹ Juahani Pallasmaa, *The eyes of the skin: Architecture and the senses*.

análise a história da arquitectura se identifica de certo modo com a história dos materiais, ela resulta em última análise, enquanto manifestação cultural, do diálogo entre o material e o imaterial, procurando-se o momento em que a materialidade se transcende na imaterialidade ou melhor o momento da fusão entre material e imaterial.



87

Figura 87: A Igreja da Misericórdia em Roma de Richard Meier

CAPÍTULO VIII

BIOFILIA

“Uns dizem que a metáfora é o melhor modo para chegar a conclusões falsas a partir de premissas correctas. Para outros a metáfora é um instrumento fabuloso que constitui a essência da poesia, mas que não passa de uma ilusão.”
Pietro Greco

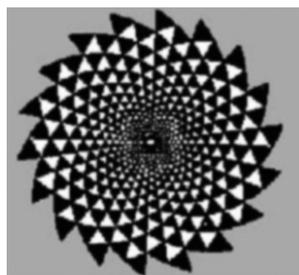
Mimese formal e biofilia

Referimos quatro áreas científicas que interagem de modo directo com a arquitectura – a biologia, a matemática através da geometria, as ciências da computação e a ciência dos materiais – tendo perspectivado as relações interdisciplinares de modo a identificar não só as suas expressões metafóricas, que se traduzem por narrativas criadas a partir de factos científicos, mas também o diálogo efectivo potencialmente portador de uma maior qualidade do construído.

Quando se fala das relações da arquitectura com a biologia uma questão que surge é a de saber se a natureza constituirá um bom modelo para a arquitectura e, em caso afirmativo, de que modo se deveria simular a natureza. E ao falar-se de modelo deverá ser claro se se trata de um modelo que conduza a construir estruturas artificiais, com uma certa semelhança formal

com estruturas naturais, ou um modelo que permita simular os processos metabólicos que as caracterizam. Ao longo de toda a história da arquitectura a influência das formas orgânicas foi uma constante, como descrito nos Capítulos III e IV. Durante as últimas décadas do século XX e já neste século, um conjunto de “edifícios-ícones”, construídos um pouco por toda a parte, deu origem a uma sensibilidade arquitectónica que o crítico Charles Jencks designa por “organitech” como já referido.

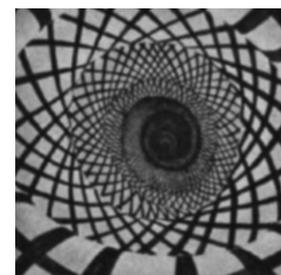
Analisemos então se existem argumentos científicos que sugiram a necessidade de uma simulação formal dos sistemas naturais. Não está cientificamente provado se o nosso sistema cognitivo adere de modo inato aos padrões naturais, algo que E O Wilson⁹² designa por biofilia⁹³ isto é “adesão ao orgânico, afinidade inata com a natureza”. De facto não parece haver certezas que permitam afirmar inequivocamente



88A



88B



88C

⁹² Entomologista americano

⁹³ “Love of living things- our innate affinity with nature”.

Figura 88: (A) - Padrão visual resultante da compressão das pálpebras; (B) - Padrão visual produzido por substância alucinógena (LSD); (C) - Padrão visual produzido por substância alucinógena (marijuana)

que esta biofilia é natural e não cultural, sendo possível apresentar argumentos de carácter científico que apontam em sentidos contrários. Citemos alguns destes argumentos no tocante à propriedade da simetria.

Poder-se-á dizer que a adesão à simetria é inata, tendo uma base fisiológica que reside na estrutura simétrica das conexões neuronais do córtex visual primário, sendo um argumento a favor deste facto os padrões visuais dos fosfenos – sensação visual resultante da compressão das pálpebras – ou os padrões visuais que ocorrem quando há utilização de substâncias alucinogêneas, como se refere no artigo *Geometric visual hallucinations, Euclidean symmetry and the functional architecture of striate cortex*⁹⁴. Na figura 88, retirada deste artigo, pode observar-se a simetria euclidiana de padrões de fosfenos(A) e de padrões visuais, provocados, pela utilização de substâncias alucinogêneas como o LSD(B)

e a marijuana(C). Regressando ao problema da biofilia, é curioso notar a semelhança dos padrões A, C e do padrão do pavimento da Praça do Campidoglio em Roma, representado na figura 89.

Um segundo argumento científico a favor de uma certa sensibilidade inata aos padrões simétricos é desenvolvido no artigo *Symmetry activates extrastriate visual cortex in human and nonhuman primates*⁹⁵, onde os autores descrevem um aumento da activação no córtex visual observado na ressonância magnética funcional em caso de estímulos simétricos. Na figura 90, retirada deste artigo, estão representados dois tipos de estímulos: à esquerda um estímulo representado por um padrão simétrico (A), e à direita um estímulo representado por um padrão aleatório (B). As imagens do cérebro, que são obtidas por ressonância magnética funcional, mostram que as áreas que são activadas pelos

⁹⁴ Paul C. Bressloff e outros, *Geometric visual hallucinations, Euclidean Geometry and the functional architecture of striate cortex*.

⁹⁵Yuka Sasaki e outros, *Symmetry activates extrastriate visual cortex in human and nonhuman primates*.



Figura 89: Padrão do pavimento da Praça do Campidoglio em Roma

⁹⁶ Considera-se a activação cerebral relativa, produzida por estímulos simétricos quando comparados com estímulos representados por padrões aleatórios.

estímulos simétricos⁹⁶ (representadas pelas manchas mais claras) são as áreas do córtex visual. O facto de a activação provocada pela simetria se localizar essencialmente no córtex visual, em áreas relacionadas com a visão e a percepção, denotando-se pouca activação nas áreas responsáveis por processos cognitivos superiores como a atenção e a memória, signifi-

caria que se trata de uma resposta causada pelo processamento intrínseco da actividade cerebral. A imagem C representa o estímulo cerebral de um dos participantes na experiência. A imagem D representa uma transformação da imagem C: o cérebro representado em C é “alisado”. A imagem E corresponde a um cérebro “planificado”, e a imagem F representa também um

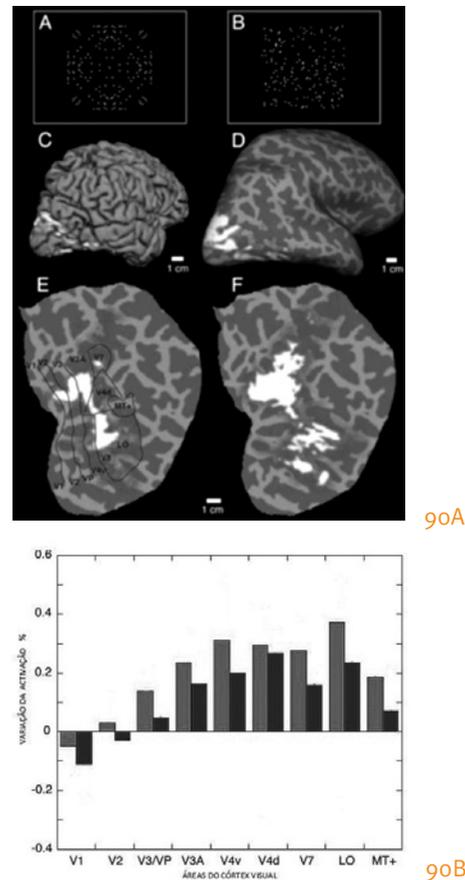
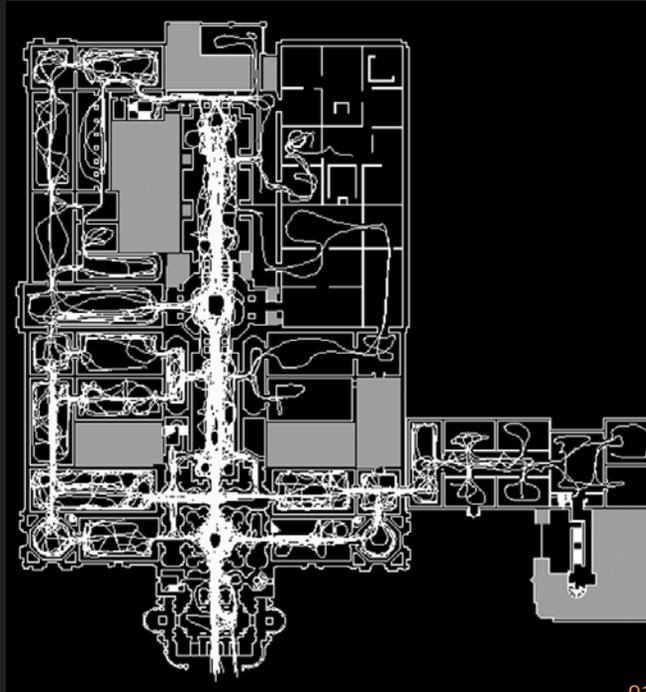


Fig 90A: Activação do córtex visual

Figura 90B: Variação da activação relativa em diferentes áreas do córtex visual (padrão simétrico vs padrão aleatório).



91

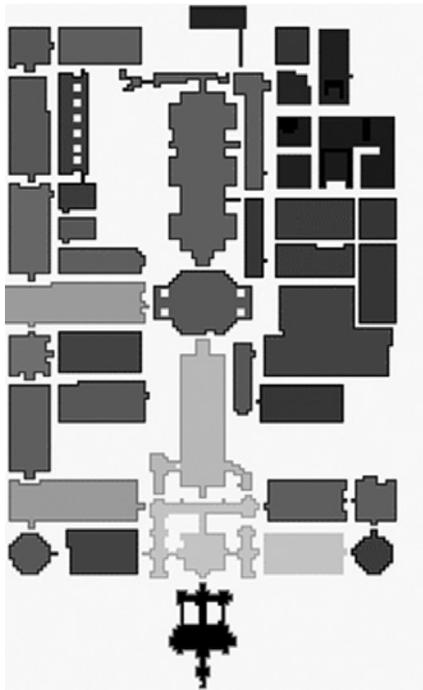
cérebro “planificado” mas as áreas do córtex visual aí representadas correspondem a uma média dos resultados obtidos para o conjunto dos participantes na experiência. Na figura 90B para cada área do córtex visual, a coluna da esquerda representa a variação relativa de activação (padrão simétrico vs padrão aleatório) e a coluna da direita representa a mesma variação

mas tendo sido os participantes sujeitos a um controlo de atenção.

A afirmação de uma biofilia inata é, no entanto, uma conjectura que está longe de ser estabelecida. A este propósito referimos o artigo⁹⁷ “Virtual Tate”, de Michael Batty e co-autores, em que é analisada a adesão inata à simetria através da preferência, expressa pelos visitan-

⁹⁷ Michael Batty, Ruth Conroy, Bill Hillier, Jake Desyllas, Chiron Mottram, Alan Penn, Andrew Hudson-Smith, Alasdair Turner, *The Virtual Tate*.

Figura 91: Percursos dos visitantes durante os primeiros dez minutos de visita



92

tes da Tate Gallery, relativamente aos espaços expositivos independentemente da sua atracção pelas obras expostas.

Da observação das figuras, retiradas do artigo referido, a simetria da distribuição espacial da galeria não constitui um critério que justifique as preferências dos visitantes, notando-se uma clara inclinação pela ala esquerda da Tate Gallery. Os autores do estudo explicam este facto por certas propriedades espaciais e não pela preferência relativamente ao conteúdo expositivo: para tal analisam os percursos dos visitantes nos primeiros dez minutos de visita à galeria, que estão representados na figura 91, podendo constatar-se de imediato uma preferência pela ala esquerda, partindo os autores do pressuposto que, nos primeiros minutos, não sendo conhecidas as obras expostas, a escolha é determinada pelas características espaciais do edifício. Mas quais características espaciais? A explicação avançada para esta preferência é que ela corresponde às zonas da galeria das quais se vislumbra uma maior área isto é às zonas com isovistas⁹⁸ caracterizadas por uma maior área. Na figura 92, retirada também do artigo citado, está representada a densidade dos visitantes nas diferentes zonas da galeria, correspondendo as regiões mais escuras a uma menor densidade de visitantes.

Na figura 93, retirada ainda do mesmo estudo, estão representadas as isovistas, estando as áreas mais escuras associadas a isovistas com uma maior área.

A discussão sobre o facto da adesão às formas naturais, à simetria, a certos tipos de proporção, ser inata ou cultural é um problema muito complexo que não cabe aqui estudar. O nosso objectivo, ao referir os artigos anteriores, foi

sublinhar a existência de argumentos de carácter científico que apontam em sentidos algo diferentes: os artigos *Geometric Visual Hallucinations*, *Euclidean Symmetry and the Functional Architecture of Striate Cortex* e *Symmetry Activates Extrastriate Visual Cortex in Human and Nonhuman Primates*, que sugerem uma maior sensibilidade do córtex visual aos padrões com simetria, enquanto que o artigo “*Virtual Tate*” afirma que na experiência concreta, levada a cabo na Tate Gallery, a adesão dos visitantes aos espaços não tem relação directa com a simetria espacial. Seja de modo inato, como resultado de um processo cultural, ou como consequência de ambos, parece óbvio que as nossas escolhas estéticas são de algum modo influenciadas pelo que vemos na natureza. No entanto se a complexidade, como a que se encontra nas formas naturais, pode ser estimulante, é possível também aprender a apreciar qualidades como a simplicidade, a assimetria, a ausência de ornamento e o minimalismo.

O que concluir então sobre a nossa relação com as formas naturais? Notemos que um certo grau de imprevisibilidade é uma condição essencial de sobrevivência física das espécies na medida em que, se o comportamento biológico for demasiado previsível, parasitas e predadores tem tempo para desenvolver estratégias vencedoras. Por outro lado, a imprevisibilidade é também uma estratégia essencial de sobrevivência intelectual pois a mente humana não é estimulada pela repetição. Assim sendo, e não existindo argumentos científicos conclusivos acerca da nossa biofilia, o imperativo de manter uma certa imprevisibilidade na forma arquitectónica apontaria para uma perspectiva não ortodoxa na utilização de formas orgânicas.

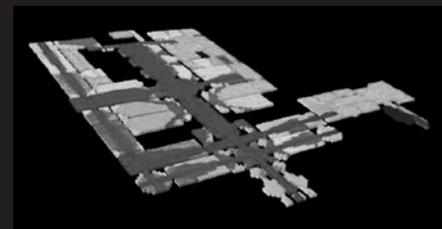
Figura 92: Densidade de visitantes na Tate Gallery calculada durante uma hora. O tom mais escuro corresponde às zonas de menor densidade de visitantes.

Estruturas artificiais e Estruturas naturais

Para além do argumento de uma biofilia inata os defensores de uma utilização sistemática da natureza como modelo para a arquitectura afirmam que um edifício com formas orgânicas tem mais “vida”. Começemos por analisar algumas das propriedades que caracterizam os sistemas vivos – a auto-organização, a complexidade, a replicação, a adaptação e a integração – e o modo como se podem traduzir as propriedades anteriores no âmbito das estruturas artificiais. Os sistemas vivos são sistemas *auto-organizados* pois evoluem para formas mais organizadas, sem influência de factores exteriores. Embora estejamos rodeados por sistemas auto-organizados, a auto-organização não é uma propriedade intuitiva pois é mais natural esperar que um sistema deixado a si próprio, sem intervenção exterior, se torne cada vez mais desorganizado. Num sistema vivo a auto-organização implica um aumento de complexidade no tempo, emergindo então um comportamento complexo como resultado da interacção de elementos simples. Podemos ainda citar outros tipos de sistemas naturais auto-organizados, mas não vivos, como por exemplo uma solução química de moléculas com movimento aleatório onde se desenvolva um processo de formação de cristais, que consiste afinal na formação de um determinado padrão. O fenómeno da auto-organização dos sistemas vivos está de certo modo em oposição a uma visão mecanicista do mundo que tende a atribuir a organização a uma mente exterior, entendendo-se como organização o arranjo das partes de modo a convergirem na realização de uma certa função. Se a auto-organização das estruturas naturais não precisa de um arquitecto

⁹⁸ Isovista de um ponto é a área do conjunto de superfícies que se podem ver a partir desse ponto.

em sentido lato, pelo contrário as estruturas artificiais partem da concepção de um arquitecto. De facto uma estrutura artificial não se organiza espontaneamente: um vidro partido não se cola sem intervenção exterior; uma casa sem manutenção deteriora-se; uma empresa sem gestão não funciona; um computador sem novo software não desenvolve as suas capacidades. Não existindo organização espontânea nas estruturas artificiais, uma possível interpretação consiste em definir a auto-organização como o processo pelo qual unidades individuais alcançam, através da sua *cooperação*, estados que se caracterizam por propriedades que transcendem as propriedades de cada uma das partes. Do ponto de vista químico, físico ou biológico a cooperação nos sistemas naturais realiza-se através de conexões que ocorrem em todas as escalas, da pequena escala à grande escala, sendo progressivamente menos intensas. Observe-se, por exemplo, o que ocorre com uma solução de um sal como o cloreto de sódio. Existem ligações em três escalas: à escala atómica entre os electrões, neutrões e protões, do cloro e do sódio; à escala molecular entre os átomos do cloro e do sódio, conexão esta estabelecida através das camadas exteriores de electrões e finalmente as ligações de menor intensidade existentes entre as moléculas de cloreto de sódio e o solvente. São estas ligações que conferem às moléculas de cloreto de sódio propriedades emergentes que não caracterizam nem o cloro nem o sódio: de facto o cloro e o sódio isoladamente são substâncias tóxicas e o cloreto de sódio é, como se sabe, a substância vulgarmente conhecida por sal das cozinhas. Partindo então de uma tradução da auto-organização como uma forma de cooperação, que



93

Figura 93: Representação das isovistas da Tate Gallery

se pode desenvolver através da criação de ligações entre todas as escalas, poder-se-á criar um sistema mais robusto, flexível e com capacidade para funcionar autonomamente com um mínimo de supervisão. No contexto do projecto arquitectónico as conexões podem representar conexões físicas, isto é percursos, mas também conexões virtuais de tipo visual ou funcional. O número e o tipo de conexões deverão representar um compromisso entre complexidade e ordem pois um espaço em que as conexões entre os diferentes elementos sejam apreendidas de imediato não é estimulante mas um espaço em que as conexões sejam demasiadamente complexas pode ser perturbador.

A *complexidade* resulta da presença de informação e da necessidade de uma ordem para essa informação. Utilizando um argumento algo ingénuo, Nikos Salingaros afirma que uma estrutura minimalista, priva de exuberância de forma, contendo uma base informacional muito reduzida, não possui complexidade ao contrário do que acontece com uma estrutura artificial de inspiração orgânica em que a profusão de detalhes lhe emprestaria características de complexidade. Este tipo de argumento confunde complexidade com profusão de elementos decorativos, esquecendo que o tipo de complexidade dos sistemas naturais que é interessante simular é a sua complexidade funcional e essa é independente da forma.

A *integração* implica o pleno conhecimento do exterior, adquirido através de sensores que ditam o comportamento: reconhecimento e reacção a um estímulo exterior. O contrário desta propriedade significa exibir um comportamento em função de situações abstractas predefinidas. Esta propriedade é de tradução simples, estabele-

lecendo que uma estrutura artificial integrada tem que entrar em diálogo com o sítio.

A tradução das propriedades que caracterizam uma estrutura natural, para o âmbito das estruturas artificiais assume, como observámos, um valor puramente simbólico. Do mesmo modo os argumentos que atribuem, à priori, qualidade a uma arquitectura orgânica, por possuir mais “vida”, são insustentáveis, por se basearem em argumentos algo ingénuos. A caracterização do conceito de “vida” numa estrutura artificial de forma orgânica é associada, pelos seus defensores, à existência de uma ordem e de um padrão. Mas ordem e padrão podem também existir num sistema não vivo, não sendo portanto distintas das estruturas vivas. Como afirma Philip Ball, no seu livro “The Self-Made Tapestry, Pattern Formation in Nature”, padrões como os sulcos de um deserto de areia, as riscas de uma zebra e as incisões das conchas de certos animais marinhos, são análogos. Não existindo um projecto comum predefinido para estas estruturas, seria de esperar que forças de origem distinta, actuando sobre grãos de areia, células ou moléculas originassem estruturas distintas e possivelmente sem uma ordem visível, e não um mesmo padrão. Há padrões nos processos não vivos e surgem padrões idênticos em estruturas vivas! Parece assim poder concluir-se que afirmar que se experiencia mais vida em certos edifícios, por possuírem mais ordem ou por obedecerem a um padrão, é uma construção psicológica e não uma propriedade efectiva do espaço.

As propriedades de adaptação dos padrões parecem ter tido no entanto uma função fundamental na emergência da vida. Se a qualidade de um edifício não parece poder medir-se pela propriedade “vida”, uma eventual emergência de

“vida” numa estrutura artificial, considerada em sentido metafórico, sugere que o seu projecto siga um processo adaptativo sendo definido a priori de modo não rígido, e progressivamente alterado à medida que o processo de construção se desenvolve e os protagonistas experienciam as qualidades das estruturas. Este *modus faciendi*, que aliás caracteriza as ciências aplicadas pois comporta observação, experiência e descoberta, contem um elemento de caos e imprevisibilidade. A sucessiva integração de informação no desenvolvimento do projecto pode resultar da participação dos protagonistas finais, não significando este procedimento a homogeneização pela sensibilidade da média, e devendo tomar em consideração as posições “extremas” que são potencialmente criativas: em síntese o projecto de arquitectura deve ser conduzido por uma liderança que deixa conviver caos e ordem até que soluções originais possam emergir.

Plasticidade, Sociedade e Sustentabilidade

Nas considerações anteriores descrevemos argumentos que são invocados para considerar a natureza como um modelo formal a seguir em arquitectura: uma forma inata de “biofilia” e a qualidade “vida”. Estes argumentos foram produzidos, num plano simbólico, de um ponto de vista exterior ao campo disciplinar da arquitectura. Para analisar o problema, a partir do interior das suas próprias fronteiras disciplinares, começemos por delimitar essas fronteiras, invocando uma definição genérica da disciplina arquitectónica como sendo “a arte e a técnica de

integrar e organizar espaços e de criar ambientes para abrigar os diversos tipos de actividades humanas, visando também uma determinada intenção plástica”⁹⁹. Identificam-se nesta definição clássica três vectores fundamentais que correspondem a ordens de valores distintos: os valores plásticos, os valores ambientais e os valores psicossociais.

Como surgem estes três sistemas de valores? Os valores plásticos são transmitidos pelo operador arquitectónico e exprimem-se através de uma determinada abordagem sensorial e intelectual. Os valores ambientais são exigidos pelo ecossistema natural e traduzem-se pela integração e organização dos espaços, pela selecção dos materiais e pelas escolhas energéticas. A integração ambiental resulta da necessidade de construir de modo sustentável, num cenário em que os recursos energéticos e materiais são limitados, e em que os processos construtivos habitualmente utilizados são de algum modo destrutivos. Os valores psicossociais resultam do facto de o produto arquitectónico se destinar a abrigar o desenrolar de actividades humanas. Estes valores sublinham a importância da arquitectura no âmbito das relações sociais, como definidora de um espaço que é uma componente intrínseca da actividade humana ou, como escreve Peter Zumthor¹⁰⁰, numa versão mais intimista, “A Arquitectura não é mensagem, nem signo, mas sim pano de fundo para a vida, um receptáculo sensível para acolher o ritmo dos passos no solo, para propiciar a concentração no trabalho e permitir a tranquilidade do sono.” Todos estes valores – plásticos, ambientais e psicossociais – desenvolvendo-se com abordagens e metodologias próprias, estabelecem entre si uma rede de ligações mais ou menos explícitas.

⁹⁹ Dicionário Houaiss da Língua Portuguesa.

¹⁰⁰ Peter Zumthor, *Pensar a Arquitectura*.



94



95

Figura 94: Integrar, mimetizando no território: O Worldbridge Trade and Investment Center de Emilio Ambasz

Será que a integração ambiental e o carácter psicossocial da arquitectura implicam determinadas escolhas plásticas, ou mais concretamente implicam a adesão a modelos orgânicos?

A integração ambiental, pode ser perspectivada do ponto de vista da integração formal e da integração funcional. A integração formal não condiciona necessariamente as sensibilidades estéticas pois integrar pode significar mimetizar no território, o que, num certo sentido, poderia implicar a adesão a formas orgânicas, mas também pode significar marcar o território, revalorizando-o, ponto de vista este que liberta a forma de qualquer vínculo de natureza orgânica. Se as formas naturais são uma referência que levam o arquitecto em muitas situações a optar por não distinguir entre o objecto arquitectónico e o lugar, e portanto a mimetizar, este procedimento não tem que ser seguido de modo ortodoxo. Marcar o território, implantar objectos arquitectónicos que se destacam do lugar é também uma forma de integração desde que o construído seja portador de energia capaz de dinamizar o meio envolvente.

São inúmeros os exemplos de integração seguindo um formalismo orgânico como são também muitos os casos de integração de sensibilidade não orgânica. Também a integração funcional que implica uma inclusão do organismo arquitectónico no ecossistema e que se baseia na utilização racional das características

Figura 95: Integrar, marcando o território: Casa unifamiliar de Francesco Marconi

ambientais – podendo recorrer à utilização de novos materiais, de novas tecnologias de climatização e à aplicação de novas energias – conduz a soluções não necessariamente vinculativas do ponto de vista da sensibilidade plástica. É curioso notar que muitas destas soluções não só não são vinculativas, como podem potenciar novas valências estéticas, como acontece com a utilização de superfícies transparentes com propriedades transientes, isto é, propriedades que respondem às alterações ambientais. Por outro lado a consideração do carácter social da arquitectura também não determina a priori uma determinada escolha plástica. Este carácter social significa que o cenário arquitectónico e urbanístico deveria ser tendencialmente um catalizador das ligações interpessoais e um propiciador da circulação dos fluxos informativos. Utilizando uma imagem da biologia, diremos que o que caracteriza as relações vitais é a multiplicidade e a complexidade das ligações entre as unidades básicas dos sistemas. Neste sentido, um dos requisitos que deverá estar na base dos projectos arquitectónicos e urbanísticos é o tipo de ligações inter-espaciais a estabelecer entre as células habitacionais ou as células urbanas. Mas este axioma projectual, pode ser executado no âmbito de diferentes escolhas formais, não implicando uma predeterminação das sensibilidades arquitectónicas.

A utilização de novos materiais, a utilização de novas energias e os exercícios de biomimese funcional podem confluir no processo de produção de objectos arquitectónicos de índole formal muito distinta. A integração ambiental, seja ela formal ou funcional, não condiciona assim a abordagem plástica, o que nos leva a afirmar que toda a sensibilidade plástica pode sustentar uma arquitectura sustentável.

Para além dos aspectos formais do mundo natural poderem constituir uma fonte de inspiração, tal como o são a literatura, a história ou a ciência, o aspecto da natureza que deveria informar a arquitectura é o modo ecológico e sustentável como ela funciona e portanto as suas propriedades adaptativas. As razões que explicam que os mecanismos naturais têm boas propriedades de adaptabilidade estão relacionadas não tanto com a sua “essência visível” como com a “sua essência invisível”, o que significa que a ênfase na simulação da natureza deveria ser colocada não no mimetismo formal mas no mimetismo funcional. O mimetismo funcional pode ser construído à escala macroscópica, simulando por exemplo a climatização natural, ou à escala microscópica, colhendo então informação na microestrutura de alguns materiais. Esta simulação dos processos naturais permitirá perceber os mecanismos que promovem a coexistência de forma e transformação através de contínuas operações de reciclagem.

CAPÍTULO IX

DIÁLOGO INTERDISCIPLINAR: ADAPTAÇÃO, AUTONOMIA E COMPLEXIDADE

“A procura de formas contemporâneas de expressão não pode estar divorciada da inovação técnica e científica que é talvez o traço mais característico da nossa civilização e aquele que tem mais influência no desenvolvimento de uma cultura do design.”

Renzo Piano

Nos capítulos anteriores observámos que desde sempre existiu um diálogo entre a arquitectura e outras áreas do saber. A arquitectura configura-se assim como um campo de conhecimento atento ao diálogo científico, desenvolvendo-o já de modo efectivo com algumas áreas do saber, e abordando-o, com outras, num registo metafórico.

Apesar deste cenário é comum ver-se expressa a ideia de um certo imobilismo disciplinar, ideia esta traduzida pela afirmação que teriam existido até hoje apenas duas grandes sensibilidades na história da arquitectura: a sensibilidade românica, de características escultóricas e com uma preocupação compositiva dominante e a sensibilidade gótica, mais tecnológica, dedicando particular atenção aos materiais e aos detalhes. Os arquitectos

modernos seriam eles também caracterizáveis, partindo desta classificação. Por exemplo Álvaro Siza seria um românico e Frank Gehry seria um gótico. Embora esta perspectiva seja extremamente simplista e algo provocadora ela sugere, no entanto, um certo tipo de reflexão. Se por um lado é verdade, como afirmou Mies van der Rohe, que “não podemos esperar criar uma nova arquitectura todas as segundas feiras de manhã” é também natural questionar, se a evolução da arquitectura terá sido ilusória, limitando-se a propor variantes estilísticas na pele dos edifícios que oscilariam entre o “romanizante” e o “gotizante”.

Para além da analogia formal se compararmos, sob o estrito ponto de vista da complexidade construtiva e do engenho tecnológico, uma construção românica com uma construção de



96A



96B

Figuras 96A e 96B: A igreja românica de Santa Maria Arabona na região de Abruzzi em Itália e Igreja de Marco de Canavezes da autoria de Álvaro Siza Vieira: o mesmo culto e uma certa analogia formal.

Álvaro Siza, ou uma catedral gótica com um edifício de Gehry é verdade que, numa primeira abordagem, as diferenças não causam surpresa e que o sentimento de experienciar algo de novo poderá ser ténue. Observe-se por exemplo a analogia formal entre a igreja românica de Santa Maria Arabona na região de Abruzzi, em Itália, e a Igreja de Marco de Canavezes da autoria de Álvaro Siza; ou a analogia formal existente entre o Duomo de Milão e o Walt Disney Concert Hall de Frank Gehry.

Afirmamos que é ténue o sentimento de experienciar algo de inovador se tomarmos como referência as grandes construções científicas e tecnológicas do último século: Albert Einstein estabeleceu a Teoria da Relatividade o que permitiu, entre outras coisas, especular sobre a origem do cosmos e elaborar a Teoria do Big

Bang; entretanto o homem construiu automóveis, aviões, veículos espaciais, visitou a Lua, preparou expedições a Marte, observou os longínquos Neptuno e Plutão, lançou a nave New Horizons que fará a primeira viagem a Plutão onde chegará em 2015, descobriu novos planetas no sistema solar e fez incursões para além dele. Criou a Internet. Participou na recriação e na co-criação da vida através de espantosas descobertas no domínio da genética, da bioquímica e da ciência dos materiais. No decorrer de um século as transformações que ocorreram no domínio da ciência e da tecnologia causam um imenso espanto e um avassalador sentimento de novo.

Mas evitemos mal entendidos. O objectivo último no domínio da arquitectura não é a inovação contínua. A reinvenção permanente da forma, a



97A



97B

Figuras 97A e 97B: O Duomo de Milão e o Walt Disney Concert Hall de Frank Gehry: diferentes cultos mas uma certa analogia formal.

provação e o espectáculo – embora sejam os aspectos que, no campo arquitectónico, fazem notícia nos meios de comunicação e atraem a atenção do grande público – não podem representar, por si só, um fim.

A arquitectura não existe exclusivamente para surpreender. Ela tem que ser entendida, utilizando as palavras de Kisho Kurokawa, como “uma imagem e uma filosofia, sendo importante não tanto a realização dessa imagem mas sim o saber se o mundo poderá ser transformado por essa filosofia.” O que significa que a forma particular de uma abertura ou o modo como se desenvolve um volume não são em si mesmos o objecto essencial da arquitectura. É o olhar através de tais aberturas ou o modo como se percebe o espaço criado por esses volumes que constituem actos de arquitectura: o fazedor de espaços filtra através da sua mundividência a nossa percepção e dirige a nossa consciência para o mundo. Se juntarmos ao conceito de Kurokawa um conceito mais pragmático de arquitectura como o “cenário da vida” de Peter Zumthor, a inovação pode surgir em três planos distintos: o plano icónico, o plano do discurso filosófico, e o plano da produção material de uma solução construtiva. Embora a comparação de construções, arquitectónicas e científico/tecnológicas, possa conduzir a conclusões falaciosas, uma relação entre inovação em arquitectura e inovação em ciência e tecnologia poder-se-á procurar naquele último plano. Observemos então o que significa a inovação, no caso de uma construção tecnológica que, possua algum tipo de relação com uma construção arquitectónica, entendendo-se por construção tecnológica qualquer objecto resultante do desenvolvimento científico e tec-

nológico. Le Corbusier, em “L’Esprit Nouveau” e “Vers une Architecture”, revela um enorme fascínio pelas máquinas entendidas em sentido amplo, fascínio que invocou, afirmando que “uma casa é como uma máquina para habitar”. Fascínio análogo revelou também, mais recentemente, Greg Lynn¹⁰¹ ao afirmar que o automóvel é o produto tecnológico cuja complexidade exhibe mais semelhanças com a complexidade de uma casa. Seguindo esta sugestão, analisemos então alguns aspectos da inovação automóvel.

De um modo geral a inovação no caso dos veículos é bem visível a um nível formal e funcional: a qualidade estética, a eficiência, a robustez, a segurança e a baixa emissão de gases poluentes são os sinais mais evidentes. No caso do Dymaxion, o veículo criado por Fuller em 1933 e referido no Capítulo I, a inovação situou-se num plano formal – a forma aerodinâmica – mas com claras implicações no plano funcional, que se traduziram por uma velocidade triplicada, uma maior autonomia e uma maior economia energética. A inovação funcional surgiu, no caso do Dymaxion, como consequência da inovação formal, facto este que ilustra, que a função pode seguir a forma.

Mas se compararmos, por exemplo, a imagem de um dos primeiros automóveis Ford e da nave Spirit, da Nasa, que actualmente explora Marte, há curiosamente uma certa analogia formal, situando-se o sentimento de experienciar o novo, no que diz respeito à Spirit, essencialmente no plano funcional isto é ao nível das realizações técnicas, como por exemplo a autonomia energética, a capacidade para executar operações comandadas à distância e, sobretudo, a polifuncionalidade, que engloba, entre outras, a aptidão

¹⁰¹ Greg Lynn, *Modernism*.

¹⁰² Giancarlo de Carlo, em *Parametro* nº 43, 1976

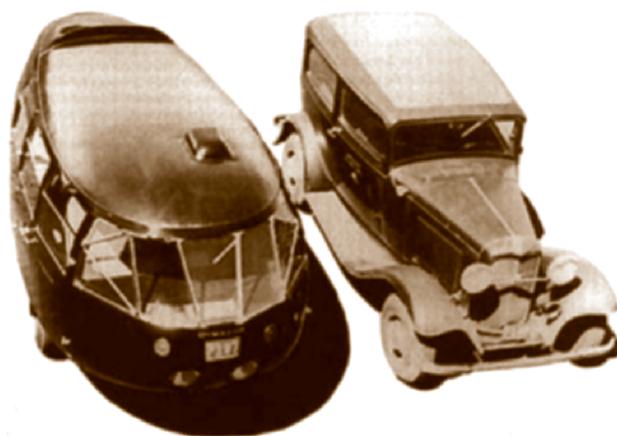
¹⁰³ *The Dymaxion World of Buckminster Fuller*, R. Marks, Reinhold Publishing Corporation, USA 1960

para executar fotografia e vídeo, a recolha de amostras minerais, a prospecção de água ou a execução de análises laboratoriais. No caso da nave Spirit a evolução foi consequência da informação científica e tecnológica incorporada no veículo, constituindo assim, ao contrário do Dymaxion, um exemplo de “inovação” em que a forma segue a função. É a nova informação funcional que cria neste caso o sentimento de experienciar o novo.

Entre estes dois exemplos extremos – o Dymaxion em que há preponderância da forma sobre a função e a Spirit em que a primazia é da função sobre a forma – a relação entre forma e função, no âmbito dos produtos tecnológicos, pode assumir aspectos muito distintos dos tradicionais, podendo forma e função surgir com diferentes graus de interdependência, ou mesmo surgir de modo independente. É curioso notar que, no âmbito da arquitectura, já Giancarlo de Carlo observara que a aparente oposição entre as afirmações “a forma segue a função” ou “a função segue a forma” é superada quando se considera que “a forma tridimensional da Arquitectura não representa o exterior de um volume mas o invólucro côncavo ou convexo de um espaço e que o espaço não é um vazio mas o lugar volumétrico de um conjunto de possíveis actividades.”¹⁰²

Relativamente ao veículo Dymaxion e à nave Spirit poderíamos concluir que, nos dois casos, a inovação resultou da utilização de nova informação multidisciplinar. No primeiro caso essa informação surge através de uma nova forma, que origina novas funções, enquanto que, no segundo caso, a informação está implícita em novas funções que não produziram uma nova forma.

Regressemos agora ao problema da inovação nos casos de Santa Maria Arabona e da Igreja de Marco de Canavezes, ou do Duomo de Milão e do Walt Disney Concert Hall. Observamos, entre estas construções, o mesmo tipo de analogia formal que existe entre o Ford de 1908 e a nave Spirit mas, ao contrário do que se passa com estes últimos, não parecem existir diferenças significativas em termos de aptidões funcionais. Se definíssemos inovação, no caso da arquitectura, exclusivamente como a incorporação de nova informação veiculada por nova forma ou nova função, concluiríamos então que Álvaro Siza e Frank Gehry não inovaram e se limitaram a emular algo “já visto”. Mas a inovação, para além do ícone e da sua tradução material, surge



98

Figura 98: O veículo Dymaxion de Fuller e o Ford de 1933: uma inovação formal e funcional¹⁰³

também ligada a uma certa mundividência. É a centralidade desta mundividência que impede transposições mecânicas entre o conceito de inovação no âmbito da ciência e da tecnologia e o conceito de inovação em arquitectura ou em arte. Assim a referência à inovação em arquitectura deve ser cuidadosa pois, se por um lado, a arquitectura representa o “zeitgeist” – o espírito do tempo no sentido amplo do termo – ela protagoniza em última análise um acto de comunicação e cultura cujo sentido não pode ser subjugado pela dominação tecnológica. Para além deste argumento, o uso de uma imensa prudência nas transposições mecânicas do conceito de inovação justifica-se também por duas outras razões. A primeira reside na intencionalidade com que o novo é proposto. No âmbito da ciência e da tecnologia pretende-se um controle absoluto sobre a mensagem, na medida em que esta deve ser objectiva e ter uma interpretação

inequívoca; numa abordagem arquitectónica não há um controle absoluto sobre a mensagem, que poderá ter múltiplas interpretações, dando assim espaço à subjectividade. Uma segunda razão que cria limites à comparação e à quantificação da inovação é o facto de a arquitectura projectar formas estáticas, vinculadas à força gravitacional, destinadas a perdurar no tempo, muito para além do seu conceptor, assumindo assim a inovação, implicitamente, características de alguma inércia.

Acrescente-se ainda que a função da arquitectura não se esgota no jogo formal, na realização da obra construída, na sua comunicação e no seu consumo, sob pena de se tornar exclusivamente espectáculo. A arquitectura, manipulando formas cujo desenho e execução são realizáveis através do recurso a instrumentos digitais, pode tender a tornar-se expressão de uma globalização cultural que, como tal, ignora as especificidades,



99A



99B

Figuras 99A e 99B: O Ford T de 1908 e a nave Spirit em Marte: uma certa analogia formal, um abismo funcional

necessidades e narrativas locais. É a inclusão destas narrativas no discurso arquitectónico que sublinha o carácter social e político da disciplina, enquanto responsável por dar forma ao espaço em que se desenrola a existência humana. Sendo uma representação de um espaço para habitar, o projecto de arquitectura tem implícito um projecto de cidade e daí um projecto sociopolítico, em que mundividência, sensibilidade plástica, ciência, tecnologia e inovação convergem na criação de uma certa exemplaridade.

Não sendo comparáveis, como afirmámos, existem no entanto alguns aspectos comuns entre os conceitos de inovação, em arquitectura e em ciência. Tal como a inovação nos produtos tecnológicos resulta da incorporação de nova informação, através de novas formas, como por exemplo no caso do Dymaxion, e/ou através de novas funções como no caso da Spirit, também a inovação em arquitectura, no plano da tradução material de soluções construtivas, deverá incorporar nova informação de carácter interdisciplinar, relativa a conceitos, metodologias e instrumentos, integrando-a de um modo efectivo, que se situe para além de um plano simbólico. Mas o facto de a arquitectura seguir uma prática interdisciplinar, apropriando-se de informações oriundas de outros universos do saber, por si só não é condição suficiente para lhe ser atribuído um epíteto de qualidade, nem permite sequer atribuir-lhe um estatuto de modernidade.

Nos casos do automóvel Dymaxion e da nave Spirit a inovação pode caracterizar-se por propriedades de adaptabilidade, complexidade e autonomia. No contexto da arquitectura a inovação pode caracterizar-se, não só por propriedades de adaptabilidade, complexidade e

autonomia, mas também por uma mundividência de algum modo fracturante. Uma resposta adaptativa, complexa e autónoma poderá ser definida como um comportamento que varia no tempo de modo autónomo, respondendo às condições físicas em que se insere e aos fluxos informativos recebidos. Essa resposta poderia ser realizada pela utilização de princípios de optimização sugeridos pelas estruturas naturais, por um design adaptado à forma como o cérebro processa a percepção espacial, por um sistema informativo que se liberta dos monitores e se integra na própria estrutura do construído, pela articulação entre estruturas com distintas características de efemeridade ou pela utilização de novos materiais. Estes últimos podem proporcionar uma cor, uma luminosidade e uma transparência que se alteram segundo a radiação solar, oferecendo uma percepção variável do espaço.

É comum e é natural que, entre os não cientistas, a linguagem da ciência seja usada de modo menos rigoroso o que corresponde muitas vezes a uma instrumentalização de tipo metafórico. Emerge assim a presença de conceitos científicos a um nível puramente expressivo, a que poderá corresponder a criação de imagens espaciais exuberantes, que por vezes constituem uma marca no território, e que poderão injectar nova qualidade e energia no tecido urbano. Para além daquilo a que hoje se convencionou chamar o Efeito Bilbao, e para além do espanto provocado pela exuberância das imagens, acreditamos que se o discurso científico e tecnológico for usado de um ponto de vista funcional, para construir de modo mais inteligente, então o diálogo ciência-cidade para além da “ordem da poesia” será também da “ordem da prova”.

BIBLIOGRAFIA

- ADDINGTON, Michelle; SCHODEK, Daniel (2005) - **Smart materials and technologies for the architecture and design professions**. Oxford: Elsevier.
- ALDERSEY-WILLIAMS, Hugh (2003) - **Zoomorphic: new animal architecture**. London: Laurence King.
- ALEXANDER, Christopher (2003) - **The nature of order**. [Califórnia]: Center for Environmental Structure.
- ATTALI, Jacques (2006) - **Dicionário do século XXI**. Lisboa: Círculo de Leitores.
- BALL, Philip (2001) - **The self-made tapestry**. Oxford: University Press.
- BARTHLOTT, W.; NEINHUIS, C. (1997) - Purity of the sacred lotus, or escape from contamination in biological surfaces, **Planta**, Springer Berlin/Heidelberg, 202: 1, 1-8.
- BATTY, Michael [et al.] (1998) - **The virtual tate**. CASA Working Paper 5. London: Centre for Advanced Spatial Analysis, University College London.
- BELLINI, Federico (2004) - **Le cupole di Borromini: la «scientia» costruttiva in età barocca**. Milano: Electa.
- BILL, Max (1974) - **A mathematical approach to art, The Buffalo Fine Arts Academy & The Albright-Knox ArtGallery**. Disponível em: <http://hebert.kitp.ucsb.edu/hv/mbill.html>
- BRESSLOFF, Paul C. [et al.] (2001) - Geometric visual hallucinations, Euclidean symmetry and the functional architecture of striate cortex . **Phil. Trans. R. Soc. Lond. B**. March 29: 356, 299-330.
- CACHE, Bernard (1999) - Plea for Euclide. **ANY Review**. Disponível em: http://architettura.supereva.com/extended/19990501/ep07en_02.htm
- CARAÇA, João (2001) - **Ciência**. Lisboa : Quimera.
- CROMER, Alan (1993) - **Uncommon sense, the heretical nature of science**. Oxford: Oxford University Press.
- DE CARLO, Giancarlo (1976) - **Parametro** 43.
- DELEUZE, Gilles (2007) - **La piega**. Torino: Einaudi
- DESCARTES, René - **Traité de l'homme**. Disponível em: http://classiques.uqac.ca/classiques/Descartes/extraits/traite_de_l_homme/traite_de_l_homme.html
- EATON, Leonard K. (1998) - Fractal Geometry in the Late Work of Frank Lloyd Wright. In WILLIAMS, K. ed.- **Nexus II: architecture and mathematics**. Fucecchio (Florence): Edizioni dell'Erba, 23-38.
- FALZETTI, Antonella (2003) - **La chiesa Dio Padre Misericordoso**. Roma: Clear.
- FLECK, Brigitte (1999) - **Álvaro Siza**. Lisboa : Relógio d' Água.
- GALOFARO, Luca (1999) - **Eisenman digitale, uno studio dell'era elettronica**. Roma: Testo & Immagine.
- GRECO, Pietro (2004) - **Einstein ed il ciabattino**. Roma: Editori Riuniti.
- HARRIS, James (2007) - Integrated Function Systems and Organic Architecture from Wright to Mondrian. **Nexus Network Journal**, 9: 1 March, 93-102.
- HEINZ, Thomas A. (2002) - **The vision of Frank Lloyd Wright**. Isle of Anglesey, UK: S. Webb & Sons Distributors Ltd, p. 81-85.
- HILDEBRANDT, Stephen.; TROMBA, Anthony (1995) - **The parsimonious Universe: shape and form in the natural world**. New York: Springer-Verlag.
- ITO, Toyo (2003) - **Antologia di testi su l'architettura evanescente**. Roma: Kappa.
- JENCKS, Charles (2002) - **A new paradigm in architecture**. Yale: Yale University Press.
- JOUFFRET, Esprit (2003) - **Traité élémentaire de géométrie à quatre dimensions**. Paris: Jacques Gabay.
- KELLERT, S. R.; WILSON, Edward, eds (1993) - **The biophilia hypothesis**. Washington, D.C.: Island Press.
- KEMP, Martin (2004) - **Intuizioni strutturali e pensiero metamórfico nell'arte, architettura e scienza, in Metamorph**. Venezia: Marsilio editores.
- KEMP, Martin (2000) - **Visualizations of art and science**. Oxford: Oxford University Press.
- KISHO KUROKAWA (2001) - **The philosophy of symbiosis from the ages of the machine to the age of life**. New York, NY : Edizioni Press
- KLEIN, Julie Thomson (1990) - **Interdisciplinarity, history, theory and practice**. Detroit: Wayne State University Press.
- KROTO, Harold (2003) - Ciência: um peão redondo num mundo quadrado. **Fronteiras da ciência**. Lisboa, Coimbra: Gradiva; Imprensa da Universidade de Coimbra. 11-38.
- LINDSEY, Bruce (2002) - **Gehry digitale, resistenza material costruzione digitale**. Torino: Testo & Immagine.
- LUMINET, Jean Pierre (2005) - **A cosmic hall of mirrors**. LUTH, CNRS. Doc. não publicado.
- LUMINET, Jean Pierre (2003) - Is this the shape of the universe? **Nature**, 9 october 425, 583-588.

- LYNN, Greg (2005) - **Architecture for an embryologic housing**. Base I. Berlin: Birkhäuser.
- LYNN, Greg (2003) - Modernism. In TSCHUMI, B.; BERMAN, M. - **Index Architecture: a Columbia architecture book**. Cambridge: MIT Press..
- MALDONADO, Tomas (1992) - **Reale e virtuale**. Milano: Feltrinelli
- MARCH, Lionel (2002) - Mathematics and architecture since 1960. In WILLIAMS, K.; RODRIGUES, J. F. - **Nexus IV: architecture and mathematics**. Fucecchio (Pisa): KWB. Disponível em: <http://www.nexusjournal.com/conferences/N2002-March.html>.
- MATOS, M.C. (1995) - Inquirição a um projecto – a Escola Superior de Educação de Setúbal. In TRIGUEIROS, L. - **Álvaro Siza, 1985-1995**. Lisboa: Blau, p. 22.
- MATURANA, Humberto; VARELA, Francisco (1992) - **L'albero della conoscenza**. Milano: Garzanti.
- MILLER, Arthur I. (2001) - **Einstein, Picasso: space, time and the beauty that causes havoc**. New York: Basic Books.
- MORGAN, L. H. (2006) - The american beaver and his works. Disponível em: <http://www.cabinetmagazine.org/issues/23/cheng.php>
- OSTWALD, Michael J. (2001) - Fractal architecture: late twentieth century connections between architecture and fractal geometry. **Nexus Network Journal**. 3:1. Disponível em: <http://www.nexusjournal.com/Ostwald-Fractal.html>
- PALLASMAA, Juahani (2005) - **The eyes of the skin: architecture and the senses**. Chichester: John Wiley & Sons.
- PELLEGRIN, Luigi (2003) - **Un percorso nel potenziare il mestiere del costruire**. Milano: Silvana Editoriale.
- PICON, Antoine; PONTE, Alessandra, ed. (2003) - **Architecture and the sciences: exchanging metaphors**. New York: Princeton Architectural Press.
- POINCARÉ, Henri (1952) - **Science and hypothesis**. Dover publications. Disponível em: http://www.brocku.ca/MeadProject/Poincare/Poincare_1905_toc.html
- PURINI, F. (2002) - **Comporre l'architettura**. Roma: Gius.Laterza& Figli.
- RAPPOLT, Mark; VIOLETTE, Robert, eds. (2004) - **Gehry's draws**. Cambridge (USA): The MIT Press.
- ROMANO, Antonella; DE CARLO, Giancarlo (2001) - **Lo spazio, realtà del vivere insieme**. Torino: Testo & Immagine.
- SALINGAROS, Nikos (2004) - Fractals in the new architecture. **Katarsis**. 3. Disponível em: <http://www.katarxis3.com/Salingaros-Fractals.htm>.
- SASAKI, Yuka [et al.] (2005) - **Symmetry activates extrastriate visual cortex in human and nonhuman primates**. Proceedings of the National Academy of Sciences of USA, 102: 8,3159-3163.
- SHEARER, R. R.; GOULD, S. Jay (1999) - Of two minds and one nature, **Science** 5, 286: 5442, 1093-1094.
- SILBER, John (2007) - **Architecture of the absurd: how "genius" disfigured a practical art**. New York: Quantuck Lane Press.
- SIZA, Álvaro (1998) - **A Igreja de Santa Maria, Marco de Canavezes**. Paróquia de Santa Marinha e Francisco Guedes.
- SOKAL, Alan; BRICMONT, Jean (1999) - **Imposturas intelectuais**. Lisboa: Gradiva.
- STERNBERG, Esther M. (2001) - **The balance within: the science connecting health and emotions**. New York: W. H. Freeman.
- THOMSON, D'Arcy (1992) - **On growth and form**. Rev. ed. Mineola, N.Y.: Dover Publications.
- THULASEEDAS, Jolly; Krawczyk, J. (2003) - Mobius concepts in architecture. In **Conference, mathematical connections in art, music, and science**. Granada: Granada University.
- TOMKINS, Calvin (1996) - **Duchamp, a biography**. New York: Henry Holt & Co.
- TOSHIKO MORI (2002) - **Immateriale, ultramateriale, architettura, progetto e materiali**. Milano: Postmediabooks.
- TSUI, Eugene (1999) - **Evolutionary architecture: nature as a basis for design**. New York: John Wiley.
- VITRUVIUS, Pollio; MACIEL, M. Justino; HOWE, Thomas Noble (2006) - **Tratado de arquitetura**. Lisboa: Instituto Superior Técnico.
- ZUMTHOR, Peter (2005) - **Pensar a arquitetura**. Barcelona: Gustavo Gili.

CRÉDITOS FOTOGRAFICOS

- 1A,1B <http://www.chass.utoronto.ca/~wulfric/vitruve/>
2 Cortesia Wellcome Library, London, www.wellcomecollection.org.uk
3 <http://www.columbia.edu/cu/lweb/eresources/exhibitions/treasures/html/152.html>
4A,4B http://www.ownfineart.com/Drawings/Design_for_a_Flying_Machine2.jpg
5 <http://en.wikipedia.org/wiki/File:EolePatent.jpg>
www.flyingmachines/clement_ader
6 http://en.wikipedia.org/wiki/File:Nicholas_Cugnots_Dampfwagen.jpg
7A,7B ©Estate of R. Buckminster Fuller
8A http://www.ownfineart.com/Drawings/Study_of_Old_Man_with_Water.jpg
8B Cortesia Mathew Wells
9A,9B <http://rarebookroom.org/Control/galsdz/index.html>
9C <http://grin.hq.nasa.gov/ABSTRACTS/GPN-2000-001487.html>
10 Cortesia de Jean Pierre Luminet
11 http://en.wikipedia.org/wiki/File:Traincar_Relativity2.svg
12 http://en.wikipedia.org/wiki/Maurice_Princet
13 Museum of Modern Art, New York,
<http://en.wikipedia.org/wiki/File:Chicks-from-avignon.jpg>
14 ©(2010) The Museum of Modern Art / Scala, Florence
15 ©(2010) The Museum of Modern Art / Scala, Florence
16A http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/o/o8/Micrographia_title_page.gif18
16B Cortesia da Wellcome Library, London
17 Fotografia de Cédric THÉVENET em
http://en.wikipedia.org/wiki/File:Biosph%C3%A8re_Montr%C3%A9al.jpg
18 Cortesia de D.Kent
19 <http://www.cgl.ucsf.edu/Research/virus/capsids/1c8n-5A-large.jpg>
20 Cortesia Zaha Hadid Architects
21 Fotografia de Maros Mraz em
http://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:Prague_-_Dancing_House.jpg
22A http://en.wikipedia.org/wiki/File:Bmw-hochhaus_1.jpg
22B Fotografia de Maximilian Dörrbecker (Chumwa)
http://commons.wikimedia.org/wiki/File:M%C3%BCnchen_-_BMW-Welt.jpg
23 Cortesia Norman Foster & Partners
24A <http://pt.wikipedia.org/wiki/Radiolaria>
25 http://en.wikipedia.org/wiki/File:Olympiastadion_Muenchen.jpg
26 http://en.wikipedia.org/wiki/File:Haeckel_Cyrtoidea.jpg
27 Imagem de Basic Medical Anatomy, de Alexander Spence (Benjamin/Cummings 1990).
<http://homepage.mac.com/myers/misc/bonefiles/bonestruct.gif>
28A http://architettura.supereva.com/artland/20040206/index_en.htm
28B © (2009) Dennis Kunkel Microscopy, Inc
http://www.denniskunkel.com/product_info.php?products_id=652
29 Fotografia de Brian Voon Yee Yap em
http://en.wikipedia.org/wiki/File:Termite_Cathedral_DSC03570.jpg
30A,30B Redesenhado a partir de
http://archnet.org/library/images/one-image.jsp?location_id=3167&image_id=36902
31 Cortesia de Samuel Zschokke
<http://www.conservation.unibas.ch/team/zschokke/spidergallery.php?lang=en>
32 http://www.vam.ac.uk/vastatic/microsites/1269_zoomorphic/homepage.htm

33A,33B Cortesia de Greg Lynn
 34 Fotografia de Francesco Marconi
 35 <http://www.american-music.org/conferences/Chicago/ConferenceSponsoredTours.htm>
 36A,36B http://www.archigram.net/diary_dec.html
 37 Cortesia de Matt Kirkland
 38A,38B,38C http://www.jpff.go.jp/art-compe/index_e.html
 39 Fotografia de Michael Hicks em http://en.wikipedia.org/wiki/Milwaukee_Art_Museum
 40A,40B Cortesia de Foster & Partners
 41 Fotografia de Wiii em http://en.wikipedia.org/wiki/Nakagin_Capsule_Tower
 42A Cortesia de Foster & Partners
 43A Cortesia Tom Ravenscroft
 43B Cortesia de Bill May
 44A http://en.wikipedia.org/wiki/Beijing_National_Stadium
 45 Cortesia de T. R. Hamzah & Yeang Sdn. Bhd
 46 Fotografia de Jim Harper em http://en.wikipedia.org/wiki/File:Salk_Institute2.jpg
 47 http://en.wikipedia.org/wiki/File:Wfm_stata_center.jpg
 48A,48B http://mathworld.wolfram.com/images/eps-gif/HyperbolicParaboloid_500.gif
 49 <http://www.nasa.gov/>
 50 http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/22/Spacetime_curvature.png
 52A,52B <http://mathworld.wolfram.com/KochSnowflake.html>
 53 <http://www.katarxis3.com/Salingaros-Fractals.htm>
 54 <http://mathworld.wolfram.com/SierpinskiSieve.html>
 56A,56B Cortesia de Paul Bourke
 57 Cortesia de Cristophe Hormann
 58 http://avirel.unitus.it/bd/autori/anonimo/guida_illustrata_roma/img/img13.jpg
<http://it.wikipedia.org/wiki/File:SaintPierre4.JPG>
 59 <http://en.wikipedia.org/wiki/File:02192wo8.jpg>
 60 <http://www.emis.de/journals/NNJ/conferences/N1998-Eaton.html>
 61 Redesenhado a partir de obra citada de James Harris
 62 Redesenhado a partir de obra citada de James Harris
 63 Cortesia de Peter Eisenman Architects
 64A Foto de Dean Melbourne em <http://www.flickr.com/photos/deanmelbourne/1885932710/>
 65A,65B Desenho retirado de Cristophe Alexander (obra citada)
 66 <http://images.google.pt/images?hl=ptPT&um=1&sa=1&q=D%27Arcy+Thomson++skulls&btnG=Pesquisar+imagens&aq=f&oq=&start=0>
 67A,67B,67C,67D Cortesia de Berke Durak
 68C,68D Cortesia de Robert J. Krawczyk e J.Thulaseedas
 69 Cortesia de Konrad Polthier
 70 www.galinsky.com/buildings/pompidou/index.htm
 71 Redesenhado a partir de Lionel March (obra citada)
 72 <http://sights.seindal.dk/photo/10000,s12f.html>
 73A Cortesia de Peter Eisenman Architects
 73B Cortesia de Kenneth Singer
 74 Cortesia de Peter Eisenman Architects
 75 <http://www.laphil.com/philpedia/wdch-overview.cfm>

- 76 http://en.wikipedia.org/wiki/File:Carbon_nanotube_zigzag_povray.PNG
- 77 Cortesia de Koen Olthuis, Waterstudio.NL
- 78A <http://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:Aerogelbrick.jpg>
- 78B <http://www.nasa.gov/>
- 79A http://www.shigerubanarchitects.com/SBA_WORKS/SBA_PAPER/SBA_PAPER_10/SBA_paper_10.html
- 79B <http://www.shigerubanarchitects.com/>
- 80 Fotografia de generalpoteito em en.wikipedia.org/wiki/Kursaal_Palace
- 81B http://www.consumerenergycenter.org/home/windows/windows_future.html
- 82 <http://www.armedforces-int.com/suppliers/climate-control-clothing.html>
- 83 Fotografia PRAXIS: Journal of Writing + Building, Issue 06, 2004
arc-hitecture.blogspot.com/feeds/posts/default
- 84A,84B,84C,84D Cortesia de W.Barthlott,C.Neinhuis
- 85 Redesenhado a partir de
http://www.pcimag.com/Articles/Cover_Story/5e446411aa6a7010VgnVCM10000of932a8co
- 86 Figura redenhada a partir de braungroup.beckman.illinois.edu/AaronJackson.html
- 87 http://www.concretedecor.net/All_Access/504/CD504_New_Tech.cfm
- 88 Cortesia Royal Society London
- 89 ms.fci.unibo.it/~baccolin/montov.camapid/From...
- 90A,90B Cortesia da National Academy of Sciences, USA
- 91 Cortesia de Michael Batty
- 92 Cortesia de Michael Batty
- 93 Cortesia de Michael Batty
- 94 <http://www.archispass.org/wp-content/uploads/2007/01/worldbridge-screenshot.jpg>
- 95 Fotografia de Francesco Marconi
- 96A Fotografia de Francesco Marconi
- 96B Fotografia de Luís Ferreira Alves
- 97A Fotografia de Markus Marc
<http://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:876MilanoDuomo.JPG>
- 97B Fotografia de Carol M. Highsmith em http://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:ImageDisney_Concert_Hall_by_Carol_Highsmith_edit.jpg
- 98 Fotografia retirada de The Dymaxion World of Buckminster Fuller <http://www.washedashore.com/projects/dymax/pictures.html>
- 99A http://pt.wikipedia.org/wiki/Henry_Ford ;
- 99B http://marsrover.nasa.gov/mission/spacecraft_surface.html

(Página deixada propositadamente em branco)

O L H A R E S

IMPRESA DA UNIVERSIDADE DE COIMBRA
COIMBRA UNIVERSITY PRESS