



Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra  
Departamento de Arquitectura

# **O PAPEL DO DIGITAL**

no Projecto de Arquitectura

Dissertação de Mestrado Integrado em Arquitectura

de

Ana Filipa Freitas Martins

Orientada pelo Prof. Doutor Arquitecto Vítor Murtinho

Coimbra, Julho de 2011



## **Agradecimentos**

Agradeço a orientação e disponibilidade, ao longo da realização da Dissertação, ao Prof. Doutor Arquitecto Vítor Murtinho e, ao Prof. Arquitecto Carlos Martins pelas conversas e conselhos dados ao longo da primeira fase do trabalho.

Aos meus pais, agradeço a força, a paciência, os conselhos e a disponibilidade diária, que me deram ao longo do curso. Ao meu irmão, ao Miguel, à Telma, à Célia, à Sara, à Filomena e à Márcia, agradeço os fantásticos momentos que passamos juntos, a ajuda e o apoio, sabem que, independentemente de onde cada um estiver, sempre estaremos juntos.

Agradeço também ao senhor Carlos Carvalho que teve a paciência de ler e corrigir, ao nível ortográfico, este trabalho.



## **Siglas / abreviaturas**

TIC – *Tecnologias da Informação e Comunicação*

CAD – *Computer-Aided Design*

CADD – *Computer-Aided Design and Drafting*

CAE – *Computer-Aided Engineering*

FEA – *Finite Element Analysis*

CAM – *Computer-Aided Manufacturing*

CNC – *Computer Numerical Control*

PDM – *Product Data Management*



## Sumário



# Sumário

<b>Introdução</b> .....	11
<b>I Parte _ O Paradigma Evolutivo</b>	
1. Um breve olhar pela História.....	19
2. O digital no processo de Arquitectura.....	23
3. O desenho digital.....	29
<b>II Parte _ Processos Digitais no Projecto de Arquitectura</b>	
1. O mundo do projecto digital.....	41
2. Metodologias de projecto digital.....	53
2.1. O computador como ferramenta auxiliar.....	57
2.1.1. Liberdade formal.....	63
2.1.2. O digital e a tradição.....	67
2.1.3. Potencialidades .....	71
2.2. O computador como condutor do processo de projecto .....	77
2.2.1. Processos Generativos	
2.2.1.1. Diagramas.....	87
2.2.1.2. Geometria Fractal.....	95
2.2.1.3. Geração de estrutura .....	103
2.2.2. Potencialidades .....	111
2.3. O computador como equilíbrio não hierárquico .....	115
<b>III Parte _ A «Nova» realidade</b>	
1. O que pode ser novo.....	123
2. O digital nas escolas de Arquitectura .....	129
3. A relação do arquitecto com os processos digitais .....	135
4. Nova cultura da imagem .....	139
<b>Conclusão</b> .....	147
<b>Referências</b> .....	155
<b>Fonte de imagens</b> .....	167







## Introdução

A evolução proporcionada pela revolução digital pode ser considerada indispensável e incontornável em qualquer área ou disciplina. Em Arquitectura estas mudanças estão a acontecer, para além da representação, sobretudo, na exploração de novas metodologias experimentais que permitem gerar formas cada vez mais complexas e por vezes difíceis de compreender. No entanto, mais do que aceitar as novidades, é relevante conhecê-las e compreendê-las para que possam ser correctamente aplicadas.

A escolha de um tema relacionado com as tecnologias digitais e a implicação destas na Arquitectura surge essencialmente da necessidade de tentar conhecer e compreender como podem as ferramentas digitais ser usadas nesta disciplina. Tal como Gonçalo Furtado refere, as interferências do digital e a apropriação das Tecnologias da Informação e Comunicação como meio de suporte fazem sentir-se, também, ao nível da concepção arquitectónica criando instrumentos, metodologias e organizações na prática do projecto de Arquitectura<sup>1</sup>.

Muito tem sido escrito sobre o modo de funcionamento deste novo método de orientação do projecto, realçando-se, sobretudo, o importante papel que os artigos e publicações têm tido para o debate deste tema. Ainda assim, como James Steele salienta, não há manifestos que tentem analisar as repercussões que podem haver para com a realidade do espaço físico<sup>2</sup>.

Por isso, pretende-se com este trabalho contribuir para uma consciência mais clara relativamente ao que está a mudar na Arquitectura. Para tal, torna-se indispensável perceber como funcionam as ferramentas digitais e qual o papel do arquitecto perante elas. Conhecer os benefícios e receios que as novas tecnologias trazem, como nos relacionamos e nos reprogramamos com elas, compreendendo ao mesmo tempo o envolvimento destas enquanto mediadoras do projecto, conhecendo novos métodos tidos como essenciais para o enquadramento das soluções e implicações no campo arquitectónico.

As novas formas de fazer Arquitectura apresentam-se, então, como «provocações» na medida em que se propõem alterar o sentido dos métodos e técnicas tradicionais, mas por outro lado, apresentam-se como «entusiastas» pois dão ao arquitecto a possibilidade de alargar o campo formal, gerando desta forma algumas discussões. Neste sentido, devido à multiplicidade de sensações contraditórias, pretende-se ao longo deste trabalho, explorar as diferentes metodologias digitais de projecto de Arquitectura com vista a abrir o campo de conhecimento para técnicas de geração e representação formal não exploradas no curso de Mestrado Integrado em

---

<sup>1</sup> FURTADO, Gonçalo – Notas sobre o espaço da técnica digital. 2002, p. 27

<sup>2</sup> STEELE, James - Arquitectura y revolución digital. 2001, p. 8



Arquitectura, conseguindo, por fim, compreender as implicações do seu uso e o que trazem de novo, acrescentam, não só ao projecto, mas à continua formação do arquitecto, uma vez que a exploração do impacto do digital sobre os processos de projecto torna-se fundamental para o entendimento da Arquitectura na era digital.

Deste modo, o objectivo deste trabalho consiste, por um lado, no conhecimento de outras técnicas de representação e concepção arquitectónica e, por outro, na reflexão sobre as consequências do uso do computador como instrumento de desenho e projecto na prática arquitectónica. Assim sendo, não será apresentado nenhum caso de estudo em particular, uma vez que uma só obra não se mostra suficiente para explicar o funcionamento de todas as metodologias impulsionadas pelas TIC. Os exemplos apresentados constituem apenas um instrumento de conhecimento sobre as capacidades técnicas de modelação computacional e de reflexão sobre a aplicação em Arquitectura.

Ao longo de um primeiro capítulo são apresentados conceitos em desenvolvimento, começando por enquadrar os sistemas computacionais na disciplina de Arquitectura, percebendo como estes foram evoluindo e que transformações permitiram, tentando ao mesmo tempo esclarecer o mundo do projecto digital. O desenho de Arquitectura surge aqui como uma forma de compreensão do lugar no mundo digital, contribuindo para perceber se o desenho assistido por computador (CAD) consegue responder eficazmente às exigências do desenho projectual usado pelo arquitecto.

Num segundo capítulo, são analisados os diferentes processos digitais de modo a compreender o lugar do digital no processo de projecto. Primeiro são referidas as novas técnicas de representação, estudando as vantagens e desvantagens do seu uso, dando exemplos de obras que ajudem a clarificá-las. Por outro lado, verificar-se-á o que essas técnicas de representação trouxeram ao processo. Posteriormente, são estudadas as técnicas e metodologias digitais que permitem gerar formas automaticamente, ou seja, perceber as implicações do uso de processos generativos computacionais na fase de concepção do projecto, bem como as implicações que estes novos processos trazem para a Arquitectura.

Por último, um terceiro capítulo consiste na reflexão sobre o apresentado e discutido nos capítulos anteriores, analisando os conteúdos de modo a perceber as implicações do uso do computador no projecto. Pretende-se confirmar se existe ou não uma nova Arquitectura, ao mesmo tempo que se reflecte sobre a hipótese de o arquitecto estar a deixar de desenhar manualmente para passar a desenhar apenas digitalmente. Tentam-se, ainda, compreender o que pode resultar se a tecnologia for rejeitada, ou se for inconscientemente usada. Em suma, o



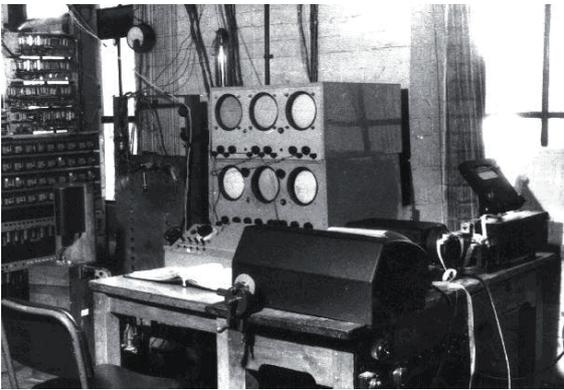
terceiro capítulo permitirá entender até onde deve ir o uso do computador em Arquitectura e como a exploração deve ser acompanhada.

No final, deverá ser possível retirar conclusões relativamente às formas de concepção e representação digitais usadas em Arquitectura, reflectindo sobre as mais-valias que poderão proporcionar ao exercício profissional.





1



Eletronic Discrete Variable Automatic Computer\_EDVAC

2



Whirlwind I (1951) - Primeiro computador de tempo real

## 1. Um breve olhar pela História

As revoluções da sociedade ocorridas nas últimas décadas, bem como os avanços registados nas Tecnologias da Informação e Comunicação, possibilitaram o surgimento de uma nova ordem social, estimulando grandes mutações que permitem suportar o desenvolvimento e progresso social<sup>3</sup>.

Na disciplina de Arquitectura, as transformações resultantes desta nova ordem começam a acontecer por volta dos anos 50, do século passado, quando o computador se torna uma realidade comercial, sendo então divulgado como uma máquina que cria instrumentos de trabalho próprios para auxiliar o projecto<sup>4</sup>, impondo-se a partir daqui como uma realidade não fácil de contornar, permitindo que o seu uso fosse evoluindo, começando por ser aplicado em procedimentos formais de avaliação de custos e desempenho, apostando sempre na contínua melhoria da eficácia (fig.1 e 2).

No início dos anos 60 aparecem as primeiras referências à computação interactiva através da criação de um modelo de dados destinado a armazenar hierarquicamente conjuntos de símbolos gráficos ou componentes standard<sup>5</sup>, ocorrendo estas experiências, sobretudo, no seio da comunidade académica e científica. A partir desta altura, o computador passa a modelar o projecto, através de sistemas CAD, imitando o desenho de representação em papel, ao mesmo tempo que integra os procedimentos de análise de custos e de desempenho directamente sobre o projecto<sup>6</sup>, tornando o processo ainda mais eficiente.

Na passagem dos anos 70 para os anos 80 a modelação geométrica conseguia alcançar níveis satisfatórios, começando a ser usadas aplicações de desenho assistido por computador (CAD) em *ateliês* de Arquitectura. Ainda assim, estas aplicações não tinham como principal preocupação oferecer assistência directa aos projectistas nas decisões de projecto, antes focavam-se, sobretudo, nos aspectos de produção e representação.

No decorrer dos anos 80, e em parte devido ao aparecimento dos computadores pessoais, regista-se uma rápida difusão da computação. A partir desta altura *ateliês* de Arquitectura e engenharia passam a usar estes sistemas para a aplicação de múltiplas mudanças na produção de desenhos, apoiando-se em *softwares* de base paramétrica. O mesmo acontece com algumas

---

<sup>3</sup> FURTADO, Gonçalo – Notas sobre o espaço da técnica digital. 2002, p. 5

<sup>4</sup> MITCHELL, William - The electronic design studio: architectural knowledge and media in the computer era. 1991, p. 479

<sup>5</sup> *Idem*

<sup>6</sup> MITCHELL, William – A lógica da arquitectura: projecto, computação e cognição. 2008, p.92



escolas de Arquitectura, que começam a implementar o uso destes sistemas como uma forma de exploração de diferentes ferramentas de apoio ao projecto<sup>7</sup>.

Assim, no início da década de 90 regista-se um aumento do interesse pelas tecnologias digitais, tendo estas evoluído no sentido de introduzir procedimentos automatizados de raciocínio no processo de projecto. Ainda assim identifica-se uma diferença de desenvolvimento deste, face aos procedimentos de representação e análise. De um lado o aspecto conceptual do projecto, onde as técnicas computacionais estão ainda numa fase inicial de exploração; do outro, os aspectos de produção já altamente organizados e comunicáveis<sup>8</sup>.

Muitas foram as transformações da tecnologia de projecto assistido por computador desde que foi imaginada, mas esta evolução manter-se-á. Hoje, os sistemas CAD automatizam as funções do projecto manual. Esboçar com um lápis foi substituído por esboçar com uma caneta digital numa «amostra» de superfície. A interacção com um sistema CAD que, antes, era o equivalente a introduzir linhas de comando de modo a representar uma certa composição bidimensional, corresponde agora à manipulação de modelos tridimensionais, de forma mais fluida e intuitiva. Mesmo assim, estes sistemas abrem novas possibilidades para mais ideias e a realização destas continuará a mudar as condições de produção de Arquitectura. *“Hay un continuum arquitectónico que pulveriza molecularmente el pretérito histórico en el presente contemporáneo. Y (...) las formas plásticas, deformadas e curvadas han vuelto a entrar por la puerta grande de la Arquitectura contemporánea. (...) Pero hoy la tecnología nos ofrece una aproximación totalmente nueva a los experimentos con pilares inclinados y superficies alabeadas”*<sup>9</sup>.

Tudo isto, evidência a importância de tentar avançar sobre as descobertas da geração precedente, de forma a conseguir construir um discurso característico da disciplina e ao mesmo tempo, capaz de integrar as lógicas desenvolvidas pela geração anterior<sup>10</sup>.

---

<sup>7</sup> MITCHELL, William - The electronic design studio: architectural knowledge and media in the computer era. 1991, p.481

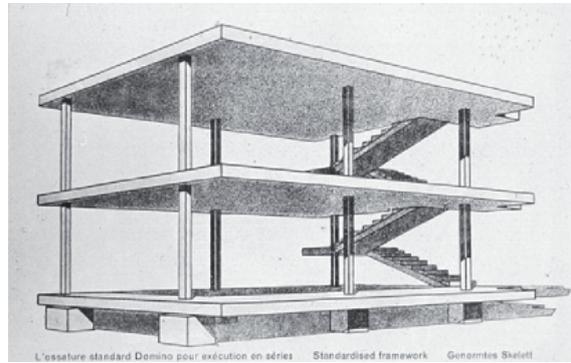
<sup>8</sup> CIGOLLE, Mark; COLEMAN, Kim – The electronic design studio: architectural knowledge and media in the computer era. 1991, p.333

<sup>9</sup> Dollens, Dennis – De lo digital a lo analógico. 2002, p. 33

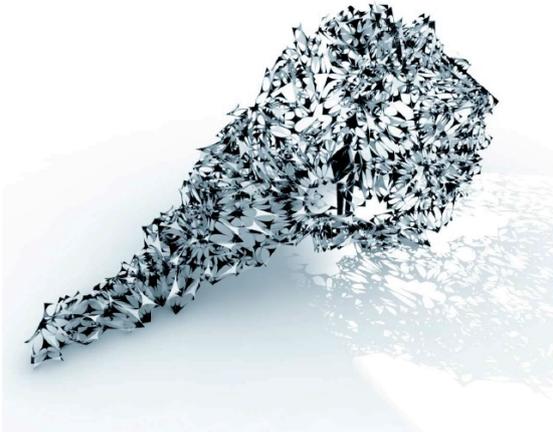
<sup>10</sup> Foreign Office Architects - 2G, vol.16, p. 125



Cadeira de Treloça \_ 1922 \_ Marcel Breuer



DOM-INO - Le Corbusier



The veryMany

3

4

5

## 2. O digital no processo de Arquitectura

As TIC, como instrumentos de actuação, influenciam a forma de agir do Homem perante o mundo, bem como a percepção do lugar que nele ocupa, produzindo uma dissociação entre os sentidos, a mente e o corpo, não sendo mais preciso corpo para experimentar a informação, como aponta Peter Eisenman<sup>11</sup>.

As novas tecnologias contribuem para uma maior fluidez de interacções, transportando o Homem para uma abstracção do espaço onde as interpretações são consequência do que vê e em que as formas de analisar e resolver um problema aumentam as possibilidades de solução, nem todas viáveis, mas que permitem uma maior liberdade de intervenção. Como resultado, como diz *Foreign Office Architects*, a imaginação desprende-se dos cânones da modernidade e com o auxílio do computador, orienta o artista na direcção de novas interpretações da forma e dos processos de trabalho. Leva a uma actualização da tradição, em que se regista a ruptura com as convenções tanto de representação como do processo de projecto de Arquitectura, desfazendo a rigidez da ordem da modernidade<sup>12</sup> (fig.3 e 4), impondo-se cada vez mais um interesse geral pela complexidade da organização formal possibilitada pelas tecnologias digitais, gerando uma nova ordem, científica, rigorosa e ao mesmo tempo artificial, permitida pela coerência e consistência dos meios digitais, reformulando a forma de representação e concepção arquitectónica (fig.5).

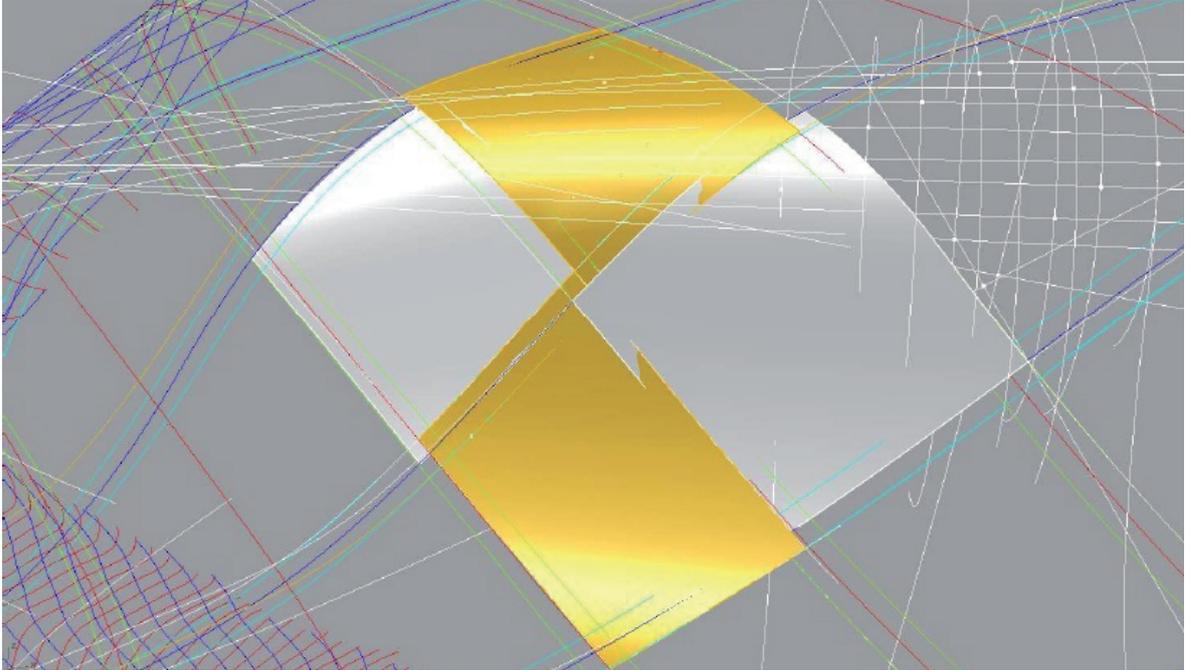
Neste sentido, poderá o não cumprimento das normas de determinado movimento artístico fazer da Arquitectura dita digital o veículo para a exploração de formas mais complexas, possíveis de serem desenvolvidas a partir da ordem e rigor que o computador, como instrumento de desenho no processo de Arquitectura, exige, sendo essa ordem determinante para o sucesso do resultado final. Por isso, a atenção despertada pela tecnologia surge da capacidade que demonstra na ajuda aos trabalhos ditos pesados, de representação, podendo então libertar o pensamento do arquitecto para um campo mais transcendental.

Como referido, na Arquitectura a tecnologia informática surge numa primeira fase como uma adaptação a novas necessidades sentidas pelo arquitecto no processo de representação, passando este a traduzir-se por imagens cada vez mais rigorosas, reproduzindo a tradicional metodologia do projecto com o intuito de lhe acrescentar actualizações, revendo técnicas e instrumentos, chegando a questionar o lugar do desenho tradicional nessa metodologia, no sentido em que consideram que o desenho usado na fase de concepção limita e determina uma determinada forma. São por isso desenvolvidas aplicações informáticas cujo principal objectivo

---

<sup>11</sup> EISENMAN, Peter – EL CROQUIS, vol.83, p. 14

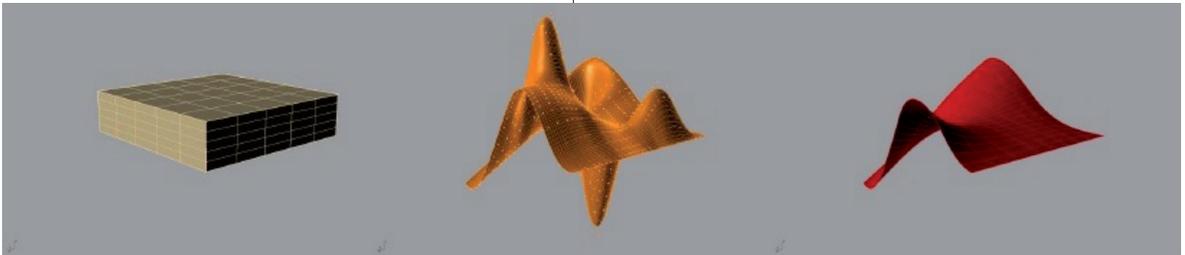
<sup>12</sup> Foreign Office Architects - 2G, vol.16, p. 123



Ambiente infinitamente plástico

6

7



Arquitectura Paramétrica \_ nurbsRelaxation

consiste em vencer as barreiras deste tipo de desenho, atribuindo à fase de concepção maior flexibilidade, não estabelecendo tão cedo uma determinada forma. Os instrumentos tecnológicos aumentam, assim, a liberdade do arquitecto, fazendo com que este explore mais caminhos pelos quais pode optar, conseguindo ao mesmo tempo que a concepção do projecto passe a fazer parte do processo de representação, sendo por isso as metodologias adaptadas a este ritmo introduzido no projecto de Arquitectura (fig.6 e 7).

A evolução registada nas últimas décadas relativamente ao uso cada vez maior do computador como um instrumento de trabalho do arquitecto evidencia o aumento da dependência dos computadores no processo de projecto, permitindo criar formas que sem ele dificilmente seriam materializadas. Esta evolução estilística, proporcionada pela crescente sensibilidade do trabalho do arquitecto, faz com que esse profissional levante novas questões, tomando conhecimento de novas possibilidades. A oportunidade de encontrar soluções para a materialização de qualquer forma conceptualizada faz então do computador um instrumento hoje indispensável para a criação das formas complexas.

O computador torna-se a tecnologia eleita para comunicar dados, ideias e conceitos, em qualquer área de actividade, onde, como refere Fernando Lisboa, com a substituição da interface baseada em texto por uma interface baseada no desenho, esta tecnologia passa a constituir um ambiente *standard* para a interacção utilizador/computador, demonstrando ser capaz de proporcionar os recursos necessários ao projecto, reconhecendo padrões visuais a partir de gráficos e possibilitando a exploração e experimentação de forma intuitiva sobre os modelos. Passa a caracterizar-se como «tecnologia definidora», tida como objecto de investigação e desenvolvimento das actividades cognitivas<sup>13</sup>.

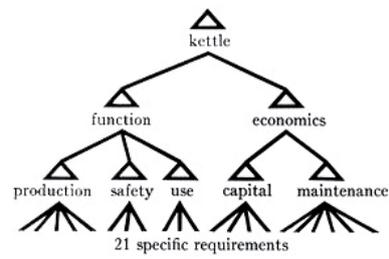
No entanto, note-se que a banalização do desenho computacional não pode ser dissociada da banalização das TIC, fazendo acreditar que o uso destas ferramentas para a representação em Arquitectura corresponde antes a um acto cultural, de actualização, e não tanto a uma decisão racional ou técnica, uma vez que, embora sendo uma disciplina autónoma, a Arquitectura não deve ser impermeável aos factores culturais externos. Pensar na utilização de computadores para desenhar pode revelar-se uma oportunidade de repensar os processos de representação arquitectónica, desempenhando um papel pedagógico, ao qual o ensino da Arquitectura não pode ser indiferente.

Quando o computador surgiu na disciplina de Arquitectura, muitos foram os que argumentaram que este substituiria o arquitecto<sup>14</sup>, mas rápido se verificou que o computador

---

<sup>13</sup> LISBOA, Fernando - Desenho de arquitectura assistido por computador. 1997, p. 29

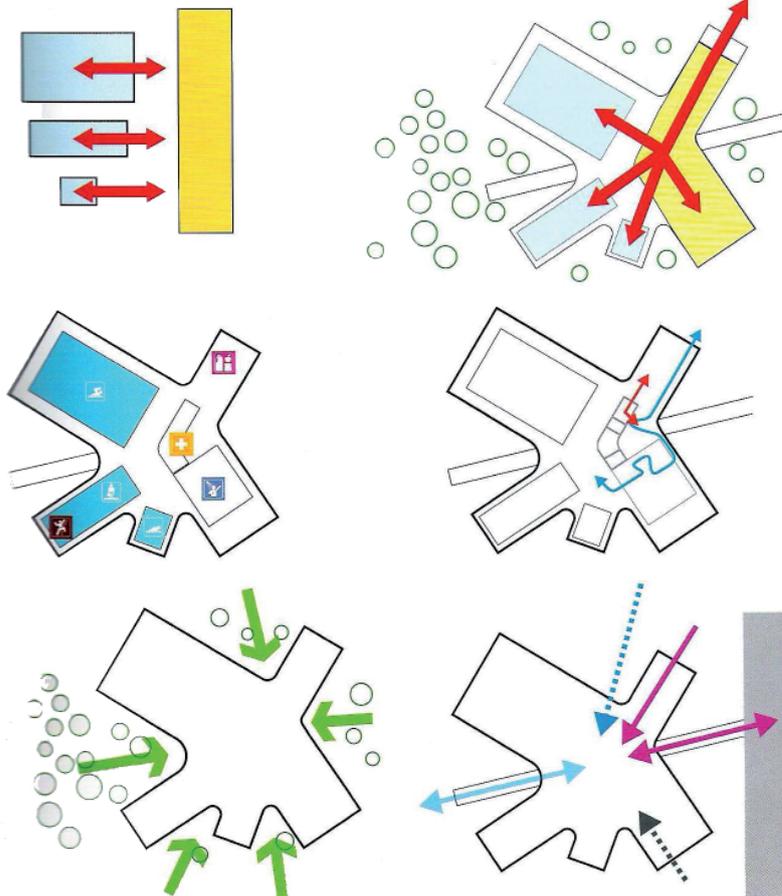
<sup>14</sup> AKIN, Ömer – The electronic design studio: architectural knowledge and media in the computer era. 1991, p. 301



A basic tree of possible requirements for a kettle

8

9



Altiens Bathhouse diagrams

constitui apenas uma mais-valia às capacidades deste no projecto. “A ideia de que a Arquitectura é uma espécie de produto susceptível de ser rentabilizado quer através do aumento da produtividade quer através de acções de marketing”<sup>15</sup>, em muito contribuiu para o impulsionar do aparecimento dos sistemas CAD, apresentados como instrumentos que introduzem rapidez e baixos custos ao projecto. Mas com a melhoria dos instrumentos, surge a necessidade de melhorar os elementos de trabalho, o que, aliado à crescente complexidade das formas, exige mais tempo e logo um aumento dos custos para a representação, tentando acima de tudo conseguir produzir imagens que cada vez mais se assemelhem à realidade, aumentando o interesse pela cultura da imagem e exigindo-se ao arquitecto o domínio das ferramentas digitais essenciais para executar estes desenhos. A opção por imagens do projecto cada vez mais reais faz, assim, aumentar o tempo de produção de modo a cumprir os objectivos pretendidos com essas mesmas imagens, como sendo a experimentação, comunicação ou ilustração.

Os arquitectos começam a procurar diferentes formas de concepção, passando a considerar importante o paradigma científico, que os afasta da banalidade, embora lhes não garanta a perfeição<sup>16</sup>. Desenvolvem aplicações nesse sentido, apoiando-se em estudos anteriormente realizados, como por exemplo o caso do estudo de Christopher Alexander que tentou, a partir de métodos matemáticos, introduzir uma reflexão sobre um novo processo que permitia reduzir a arbitrariedade (fig.8). Mas, tal como todos os processos matemáticos, ao ser objectivo, levava a que a Arquitectura tendesse para a não significação. Ao mesmo tempo, tentam libertar esses processos do cunho inumano, fazendo renascer o interesse pelas «essências vagas»<sup>17</sup>, apoiando-se sobretudo na influência deste sobre as formas e na evolução dos meios para chegar até elas<sup>18</sup>. Com a evolução digital, as essências vagas desenvolvem-se, abrindo o campo de possibilidades do arquitecto, orientando-o ao longo do processo de projecto, ao mesmo tempo que o ajudam na confirmação de soluções viáveis e na esquematização de toda a informação indispensável ao projecto (fig.9). Os diagramas actuam, nesta região, como máquinas abstractas, que auxiliam o arquitecto a tomar decisões que o CAD por si só não consegue resolver<sup>19</sup>. Estas formas de desenho, aliadas às potencialidades do computador, permitem ao arquitecto intervir ao mesmo tempo a diferentes níveis e diferentes escalas.

---

<sup>15</sup> LISBOA, Fernando - Desenho de arquitectura assistido por computador. 1997, p. 39

<sup>16</sup> BERKEL, Ben van - EL CROQUIS, vol.72, p. 14

<sup>17</sup> As «essências vagas», ou materiais, foram descobertas por Husserl, sendo consideradas por este como inexactas, mas ainda assim rigorosas, distinguindo-as das essências fixas, métricas e formais, considerando-as ainda uma espécie de intermediário entre a essência e o sensível, entre a coisa e o conceito. (DELEUSE, Gilles; Guattari, Félix, 1997, p. 77)

<sup>18</sup> LYNN, Greg - EL CROQUIS, vol.72, p. 18

<sup>19</sup> ERVIN, Stephen M. - The electronic design studio: architectural knowledge and media in the computer era. 1991, p. 118



Desenho de observação



Blue Print

10

11

12



Siza Vieira Skech \_ Museu de Serralves

### 3. O desenho digital

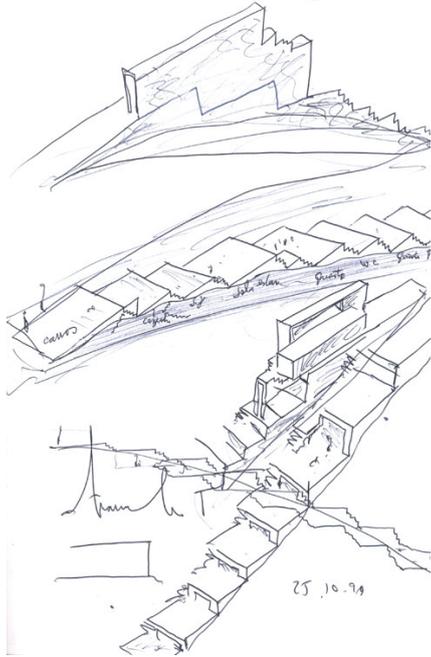
Numa época em que as transformações são constantes, devido à influência da tecnologia, para perceber como o processo de fazer Arquitectura está a evoluir, bem como estas transformações estão a influenciar a forma de pensar, torna-se fundamental compreender como está o desenho de Arquitectura a adaptar-se a esta nova realidade. A determinação de uma estratégia que utiliza as ferramentas CAD depende das diferentes posições em relação ao papel do desenho no processo de projecto. Para tal, importa referir o estatuto e lugar do desenho no âmbito do projecto de Arquitectura bem como clarificar a relação que este estabelece com o projecto, ao mesmo tempo que se tenta perceber se as novas aplicações informáticas conseguem responder eficazmente às exigências do esquisso, enquanto instrumento que permite revelar as ideias que o arquitecto tem em mente e se as ferramentas digitais de representação conseguem melhorar ou introduzir novidade nas formas de representação tradicionais.

Na língua inglesa encontramos três diferentes palavras para definir o que em português se considera desenhar em Arquitectura, mas que nos permitem distinguir com mais clareza as diferentes formas de uso do desenho. *Draw* - desenhar – onde o termo desenho surge como um exercício de observação e compreensão do natural, associado ao gesto e a uma acção subjectiva (fig.10); *draft* - projectar – onde o desenho consiste num exercício rigoroso e convencional, de objectividade comunicativa (fig.11); *to design* - conceber – onde o desenho aparece como exercício de imaginação e antecipação, desígnio ou projecto, na procura da solução de um determinado problema gráfico ou espacial<sup>20</sup> (fig.12).

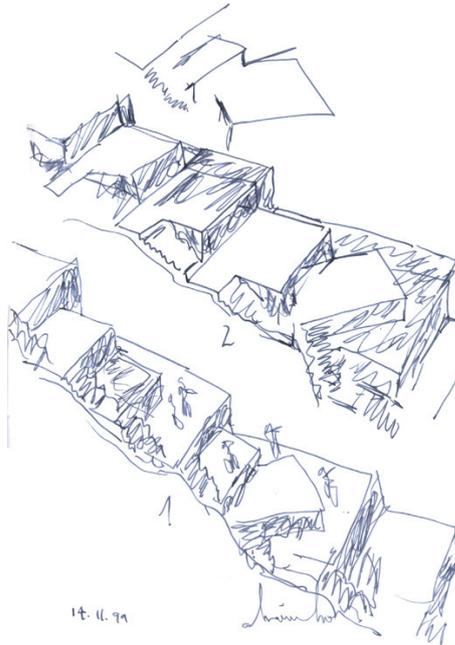
Segundo Fernando Lisboa, o desenho, enquanto *to design*, onde a linha e a mancha feitas sobre uma folha de papel revelam uma determinada emoção, afecta o desenvolvimento de critérios interpretativos acerca do que quer ser representado, ou seja, torna-o num acto completamente subjectivo. Mas, a representação de algo remete para a coisa representada, seja ideia, seja realidade concreta, nesse sentido, continua Lisboa, este tipo de desenho pode não ser extremamente necessário à actividade de projecto, mas isso não quer dizer que não possa ser usado. Por outro lado, o desenho enquanto *draft*, colocado no plano da objectividade, onde a linha e a mancha são rigorosas e convencionais, pertence necessariamente à actividade de projecto, apresentando-se como imperativo para a elaboração de um projecto de Arquitectura. Por último, como conclui Lisboa, ao projecto como método, o desenho de compreensão, *draw*, apresenta-se segundo uma possibilidade e viabilidade, já de forma condicionada<sup>21</sup>.

<sup>20</sup> ALLEN, Robert – The new Penguin English Cictionary. 2000, p. 377, 422, 423, 424

<sup>21</sup> LISBOA, Fernando - Desenho de arquitectura assistido por computador. 1997, p. 19



Tolo House skech



Tolo House skech

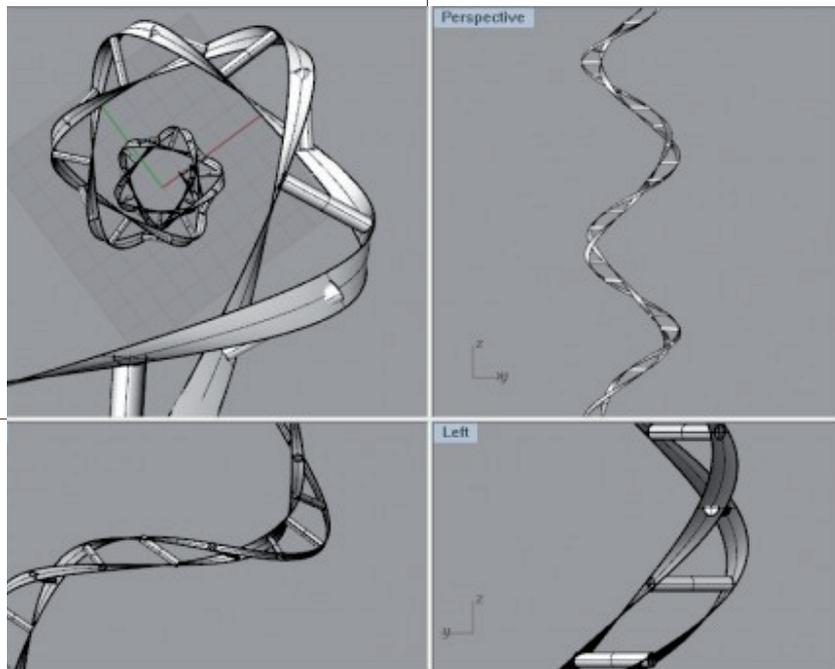
Soa no entanto estranho dizer que o desenho, enquanto exercício de imaginação e abstracção, não pertence à actividade de projecto, uma vez que se verifica que muitos arquitectos começam o projecto a partir de uma ideia que surge na mente e que se desenvolve e mostra ao mundo numa folha de papel através dos esboços iniciais (fig.13 e14). Mas, também se pode verificar que ao longo da história houve quem procurasse outras formas de concepção nas quais tentaram anular a subjectividade, conseguindo reduzir as possibilidades de erro. Faz então sentido pensar que esta forma de desenho pode ser dissociada do projecto, o que, por sua vez, difere de dizer que não pode fazer parte do processo de projecto. Antes liga-se ao acto conceptual, mas, com o desenho computacional, como referido, a concepção deixa de terminar após a representação rigorosa do projecto se iniciar. Assim, a definição de desenho revê-se, uma vez que a dissociação entre concepção e execução se perde permitindo a alteração da forma ao mesmo tempo que se testa a viabilidade. Valoriza-se, assim, a ideia de uma Arquitectura que privilegia o processo de projecto.

No entanto, “o artista, é claro, [só] pode transmitir o que o seu instrumento e veículo são capazes de executar. A sua técnica restringe sua a liberdade de escolha. As características e as relações que o lápis é capaz de captar diferem das que o pincel reproduz”<sup>22</sup>. O mesmo acontece com os instrumentos digitais, cuja representação difere da do lápis, mas a criação de uma teoria de projecto computacional tem por base a ideia de que os métodos e conteúdos estão ligados entre si. Ou seja, determinado método utiliza-se de acordo com o conteúdo que se quer trabalhar e o conteúdo influencia-se pelo método usado para o desenvolver. Mas, os processos de trabalho são também condicionados pelas ferramentas utilizadas tal como demonstra a evolução sofrida nas metodologias de projecto não apenas após a substituição das ferramentas tradicionais pelas digitais mas, ao longo de toda a história da Arquitectura. Então, se como observa Fernando Lisboa a criatividade reside em parte na competência técnica com que as ferramentas são manuseadas, desenhar é “antes de mais um exercício do intelecto, um exercício de inteligência, [que] pressupõe em muito a destreza (...) manual na utilização de ferramentas físicas (...) e destreza lógica no manuseamento do tipo de ferramentas intangíveis” como sendo o caso da geometria analítica ou do método de monge. Mas, no desenho computacional, como não existem as ferramentas físicas referidas, “a necessidade de destreza física é anulada enquanto, pelo contrário, a necessidade de destreza lógica é ampliada senão mesmo extremada. O desenho deixa de ser desenhado, para passar a ser construído”, exigindo por isso mesmo uma reflexão acerca dos próprios processos de trabalho, pois “desenhar como auxílio do computador é, sobretudo, pensar o desenho”<sup>23</sup>. Se a

---

<sup>22</sup> GOMBRICH, E. H - Arte e Ilusão: um estudo da psicologia da representação pictórica. 1959, p. 70

<sup>23</sup> LISBOA, Fernando - Desenho de arquitectura assistido por computador. 1997, p. 65



RhinoScript

criatividade se manifesta através do desenho, com os meios digitais esta passará a fazer parte de um processo que se define pelas ferramentas usadas e onde uma boa aplicação dessas mesmas ferramentas poderá resultar numa forma criativa bem sucedida, caso contrario, os erros poderão ser fatais para o projecto, não devendo o arquitecto deixar-se iludir pelas ferramentas digitais.

Os sistemas CAD acrescentam novas funcionalidades ao desenho tradicional, conseguindo diminuir os níveis de redundância e aumentar a estabilidade informativa do projecto, obtendo-se um discurso mais rico, ao qual se alia um maior vocabulário de formas e melhores dispositivos de edição, combinação e observação dessas mesmas formas.

O desenho de Arquitectura, ao passar a ser assistido por computador, transforma-se num modelo de representação de informação relativa às formas. Qualquer que seja o desenho apresentado conterá muito mais que aquilo que apresenta à primeira vista. O projecto de Arquitectura, uma vez que se trata de uma sequência contínua de representações, passa a ser visto como um fluxo de informação. Consequentemente, o projecto passa a ser processo, através do qual se tentam resolver os problemas, ao mesmo tempo que se lhe acrescenta rigor, permitindo também o teste das formas e uma contínua modelação. O desenho converte-se na modelação da realidade, uma vez que passa a representar informação sobre as formas. Informação que antes, através dos métodos tradicionais de desenho, não era possível introduzir. Os sistemas de desenho computacionais configuram-se como mundos autónomos do desenho, que por sua vez, influenciam a representação arquitectónica<sup>24</sup>. Esta passa, então, a consistir em transformações graduais dos modelos de representação, onde o projecto vai nascendo ao longo de todo um processo de adição ou subtracção de informação. Comprovando-se, assim, a anulação da fractura entre criação e execução, sendo por isso importantes as decisões iniciais relativamente ao que pode ser pertinente para a observação e estudo do modelo a construir.

Ao contrário do desenho manual o computacional permite ao arquitecto representar virtualmente situações futuras de modo a admitir a análise e verificação de determinada imagem. Este não representa a imagem em si ou um momento pontual mas, antes, uma possível transformação, uma evolução da forma, uma vez que não se trata de um meio de representação fixo, estático, como o manual (fig.15). Neste uma imagem para ser transformada e moldada precisa ser repetida vezes sem conta perdendo sucessivamente as características iniciais. No desenho computacional as configurações não são sobrepostas antes evoluem numa só imagem não deixando que o essencial da representação inicial se perca nessa modelação. No entanto, importa referir que isto acontece quando o computador cria a forma, ou seja, quando a forma surge a partir de comandos inseridos pelo arquitecto no computador.

---

<sup>24</sup> LISBOA, Fernando - Desenho de arquitectura assistido por computador. 1997, p. 38



Neste sentido, importa fazer algumas distinções no que diz respeito ao desenho usado na fase de concepção. Por um lado os tradicionais esboços “*also operate as a method of research where drawing engages the «visual memory», in the context of the particular project*”<sup>25</sup>, e possibilitam diferentes interpretações, que dependem dos diferentes tipos de conhecimento subjectivo. Por esse motivo, o uso de esboços em Arquitectura para além de ser comum, uma vez que permitem deixar decisões em aberto através da elaboração de diversas formas na mesma folha, mas com configuração particular, pode indicar possibilidades que, de outra maneira, não podiam acontecer no projecto. Quando essa forma finalmente se estabelece, o processo de projecto encerra a fase conceptual avançando para a fase de representação rigorosa. Neste sentido, o projecto pode perder ao encerrar demasiado cedo uma composição, embora possa ganhar pela liberdade mental e expressiva permitida pelos esboços exploratórios realizados pelo arquitecto na tentativa de tornar visíveis as ideias. Por outro lado, a noção de computação como forma de projecto apoia-se em sequências de imagens que são produzidas para sujeitar a forma inicial, já definida mas não encerrada, a modificações que conduzem a uma forma que se transforma sucessivamente até às fases posteriores de concepção. Assim, a fase conceptual de um projecto de Arquitectura realizada computacionalmente não prevê a realização de vários desenhos na procura da forma idealizada, apoia-se antes na modelação de um objecto base que reúne à partida as condições exigidas para o projecto de modo a atingir com ele a forma «ideal» apoiando-se na ideia de que as formas surgem de um processo de desenvolvimento em que as evoluções fazem parte da concepção do projecto. No entanto, a natureza do trabalho de modelação, por si só, constitui-se como elaboração abstracta, que define previamente as regras para conseguir uma imagem das formas; enquanto na situação clássica, parte-se de uma imagem, que surge inicialmente na mente do arquitecto, sem regras, para a realização do projecto.

Ao nível da representação, o desenho computacional tal como o tradicional, permite a representação e verificação de ideias e imagens de carácter gráfico, mas estas ideias e imagens não resultam de nenhum registo em superfície de linhas e manchas, como no caso do desenho manual. “*The computer shows what you might see from various selected viewpoints. But (...) this doesn't give you enough transparency. (...) [But] if you compare computer renderings with rendering by hand, (...) you can improvise much more with hand drawing and painting*”<sup>26</sup>, aparecendo tudo o que o projectista interpretou na sua visão numa folha de papel. Mas, no ecrã de computador tudo está disponível no momento, permitindo aliar o processo de representação ao processo criativo<sup>27</sup>, não sendo necessário dissociar um do outro para concretizar uma ideia.

---

<sup>25</sup> LINDSEY, Bruce – Digital Gehry: Material resistance, Digital construction. 2001, p.53

<sup>26</sup> HADID, Zaha – Digital Hadid: Landscapes in Motion. 2004, p. 10

<sup>27</sup> DELLENS, Dennis - De lo digital a lo analógico. 2002, p. 14



“Num mundo de desenho manual, a sucessão de representações evolui através de adição e eliminação de linhas e arcos. Num mundo de desenho computacional, baseado em objectos, essa evolução é efectuada através da instanciação de primitivas de desenho e da transformação e combinação”<sup>28</sup>. Todas as decisões, sem qualquer ordem hierárquica óbvia, passam a poder ser consideradas no ecrã do computador dando ao arquitecto a possibilidade de intervir ao mesmo tempo em diferentes níveis do processo de projecto. Não vendo este a acção limitada a uma folha de papel, passa, assim, a poder produzir informação ao mesmo tempo que a imaginação actua. Assim sendo, o processo conceptual não se limita à necessidade de criação de informação técnica, mas antes, pode evoluir com ela.

O computador ganha, então, um novo sentido, o de objecto de evocação da própria natureza da cientificidade. Contribui para a formalização e uniformização dos procedimentos de pesquisa, através da simulação e modelação digital das formas<sup>29</sup>. Enquanto instrumento, adquire o carácter de potencialidade com rigor científico. Sendo encarados como mais do que ferramentas de representação, os meios digitais tornam-se uma ajuda para a investigação, fazendo parte do processo evolutivo do pensamento e das formas arquitectónicas<sup>30</sup>, onde o arquitecto explora as possibilidades num espaço virtual que lhe permite pesquisar novas soluções, deixando de orientar o processo, para passar a ser mediador. Deste modo, como se tem vindo a mostrar, a utilização de ferramentas de desenho assistido por computador alteram a natureza do desenho, na medida em que a representação gráfica passa a ser modelo e o acto de desenhar passa a ser exercício de modelação. Ben van Berkel caracteriza o desenho digital como uma técnica definida como processo de hibridações transformativas, que por sua vez são intensas e coerentes, permitindo gerar novos efeitos nunca antes explorados ou permitidos<sup>31</sup>.

“A haver algumas semelhanças entre desenho computacional e desenho manual, elas encontram-se entre os pontos que a grafite do lápis deposita na folha de papel e a matriz de *pixels* que, sensível à posição do cursor, altera o brilho, a cor e a saturação. Estes mundos de desenho possuem uma única entidade gráfica. No primeiro, o ponto, no segundo, o pixel”<sup>32</sup>, tudo o resto consiste em construção mental.

---

<sup>28</sup> LISBOA, Fernando - Desenho de arquitectura assistido por computador. 1997, p. 79

<sup>29</sup> *Idem*, p. 45

<sup>30</sup> DELLENS, Dennis - De lo digital a lo analógico. 2002, p. 14

<sup>31</sup> BERKEL, Ben van - EL CROQUIS, vol.72, p. 12

<sup>32</sup> LISBOA, Fernando - Desenho de arquitectura assistido por computador. 1997, p. 77







## 1. Mundo do projecto Digital

Os meios computacionais revelaram-se determinantes para o desenvolvimento das técnicas tradicionais de desenho. Como referido, permitiram a evolução da representação em Arquitectura, pois possibilitaram o desenvolvimento das técnicas e meios, havendo uma adaptação das práticas tradicionais a uma nova realidade tecnológica, a qual se foi introduzindo nos *ateliês* de Arquitectura e no processo de projecto sobretudo na fase de representação, não como uma obrigação, mas antes como uma necessidade sentida pelos arquitectos de reduzirem os níveis de redundância do desenho de Arquitectura, aumentando, ao mesmo tempo, os níveis de integridade e consistência informativa do projecto, passando a ser-lhe exigida a descoberta de uma correlação entre os processos sociais emergentes e as técnicas, geometrias e organizações da Arquitectura<sup>33</sup>.

Deste modo, o uso do computador em Arquitectura evoluiu no sentido da descoberta e exploração das capacidades deste instrumento face às ferramentas analógicas existentes, uma vez que, tal como notou William Mitchell, “*we should think of design systems as open, flexible, constantly-envolving knowledge-capture devices rather than static collections of familiar tools and dispensers of established wisdom*”<sup>34</sup>. Então, o computador surge com o intuito de aumentar a produtividade do processo, de sofisticar a comunicação do projecto; de auxiliar a concepção arquitectónica e fazer a mediação dos processos de construção auxiliando o utilizador nas variadas necessidades permitindo ao mesmo tempo apoiar o exercício de desenho. Como Vittorio Gregotti anteviu, com a evolução dos sistemas de projecto os resultados passaram a ser previstos mais rapidamente, conseguindo ser mais precisos e completos uma vez que a racionalidade e a cientificidade passam a actuar sobre o processo de projecto<sup>35</sup>.

Com a evolução dos sistemas de desenho assistido por computador as aplicações desenvolvidas passaram a prever a possibilidade de à Arquitectura se associar a análise e a fabricação. Desta forma, assumem-se como sistemas de desenho assistido por computador – CAD (*Computer Aided Design*) - as aplicações computacionais que se preocupam com a definição da geometria do projecto, ou seja, do desenho do projecto, dando assistência tanto na concepção como no desenvolvimento e comunicação servindo ainda de base para o desenvolvimento de operações de análise do tipo Engenharia Assistida por Computador (CAE), a qual diz respeito ao estudo dos componentes da geometria desenhada face a determinadas solicitações, e ao fabrico

<sup>33</sup> Foreign Office Architects - 2G, vol.16, p. 122

<sup>34</sup> MITCHELL, William - The electronic design studio: architectural knowledge and media in the computer era. 1991, p.8

<sup>35</sup> GREGOTTI, Vittorio - Território da Arquitectura. 1972, p. 15



do tipo Manufatura Assistida por Computador (CAM) que se dedica ao controlo de operações de manufatura e fabrico<sup>36</sup>. “*The design process to be continuous through the digital model, computer aided manufacturing allows the continuity to extend from design through construction*”<sup>37</sup>. Inicialmente usados apenas como instrumentos de representação nos anos 80 passa-se a explorar a capacidade deste como ferramenta de representação 3D. Não sendo um meio neutro o computador pode ser usado para desenvolver sistemas de análise e projecto, estabelecendo novas convenções para a representação e expansão dos limites da percepção do espaço, forma e processo de projecto<sup>38</sup>. Com ele conseguiu-se que geometrias mais complexas fossem trabalhadas, ultrapassando as linhas e ângulos rectos permitindo, também, o ensaio de alternativas formais e espaciais, que eram difíceis e demoradas de conseguir através das técnicas tradicionais. Possibilitando, ainda, a partir de um sistema em rede, facilitar a sondagem de opiniões e facilitando a intervenção de toda uma equipa desde as fases iniciais do projecto até à materialização deste.

Hoje, estas ferramentas digitais podem ser usadas em qualquer fase do projecto, graças à capacidade dos sistemas de desenho digitais, sendo, por isso, possível identificar diversas formas de utilização e combinação das potencialidades, cada uma com um variado leque que novas oportunidades e discursos. Deste modo, a selecção do *software* com que se vai trabalhar passou a ser uma decisão primária do processo de desenho de Arquitectura<sup>39</sup> uma vez que o uso do computador como ferramenta de projecto assume diferentes funcionalidades dependendo das exigências de quem o usa.

As metodologias de projecto digitais não são estáticas. Devido ao contínuo desenvolvimento da tecnologia, o uso do computador vai-se alterando, ou melhor, vai sendo desenvolvido impondo novas mudanças para o arquitecto e para a Arquitectura. Ao profissional exige-se então a rápida adaptação a realidades que todos os dias se alteram. Como referido, no desenho computacional a necessidade de destreza física anula-se, ampliando, quase de forma extrema, a necessidade de destreza lógica por parte de quem usa o computador como ferramenta de projecto. Neste sentido, o arquitecto tem a responsabilidade de compreender esses sistemas de desenho assistido por computador para os poder usar com sucesso de modo a conseguir explorar todas as potencialidades das aplicações. O uso destas apenas pode fazer sentido quando permite acrescentar algo de novo completando então o trabalho das ferramentas tradicionais. Torna-se, assim, relevante um bom conhecimento deste mundo projectual de base computacional.

---

<sup>36</sup> SOUSA, José Pedro – *Arquitectura e Vida*, vol. 61, p. 30

<sup>37</sup> LINDSEY, Bruce – *Digital Gehry: Material resistance, Digital construction*. 2001, p.78

<sup>38</sup> CIGOLLE, Mark; COLEMAN, Kim – *The electronic design studio: architectural knowledge and media in the computer era*. 1991, p.341

<sup>39</sup> BERKEL, Ben van - *EL CROQUIS*, vol.72, p. 10



Como diz Mitchell, os arquitectos criam os mundos projectuais através da escolha dos instrumentos de desenho. Quando se cria uma estrutura de dados com operações associadas a um sistema de CAD forma-se um novo mundo projectual no qual os operadores projectuais são as sequências de códigos de programação que manipulam a estrutura de dados<sup>40</sup>.

Ao contrário dos sistemas de desenho manuais, os sistemas de desenho assistido por computador contêm um sistema intrínseco baseado em questões geométricas, topológicas, de tempo e parâmetros<sup>41</sup>, que são o resultado de operações de desenho elaboradas sobre a memória virtual do computador. Pelo que, trabalhar com um computador, tal como trabalhar com uma folha de papel, obriga a articular determinadas decisões de projecto, mas o computador impõe a selecção e comunicação dessas operações de articulação a um programa de desenho. A tecnologia comanda-se por regras faseadas que estabelecem sequências de operações para que a tarefa seja realizada. Assim, esta estrutura de dados, à qual estão associadas as operações, pode caracterizar o mundo projectual digital, substituindo o papel, o lápis e a imaginação por formas e símbolos, álgebra e normas, estando a eficiência do instrumento dependente de como a informação se organiza numa determinada estrutura de dados, bem como da forma como os procedimentos se encontram disponíveis para poderem operar sobre essa mesma base de dados, remetendo para a forma como o projecto se organiza.

Como refere Peter Zumthor, projectar, planear e formular uma obra, não consiste num processo linear, mas sim multiplamente entrelaçado<sup>42</sup>. O projecto processa-se, então, de forma crítica através de sistemas de ideias pré-existentes, organizando a partir de um processo uma espécie de narrativa individualizada do projecto onde se pensam as imagens como um método de projectar<sup>43</sup>, sendo, talvez, aqui que a tecnologia informática ganha terreno aos meios tradicionais pois admite para a Arquitectura a oportunidade de desenhar, sintetizar e fazer com que sejam criados guiões específicos para cada projecto. No entanto, estas possibilidades não existiriam fora do ambiente virtual em que se desenvolve o processo de projecto digital. A existirem seriam difíceis de concretizar. Deste modo, pode então ser o termo «virtual» que define este novo mundo projectual do qual faz parte um regime abstracto que se pode actualizar várias vezes a partir de um sistema CAD que permite testar ideias e imagens de carácter gráfico, como acontece com os sistemas convencionais, mas em que essas ideias e imagens são o resultado de uma interface gráfica - estrutura de dados que se encontra sob a forma de uma determinada geometria.

---

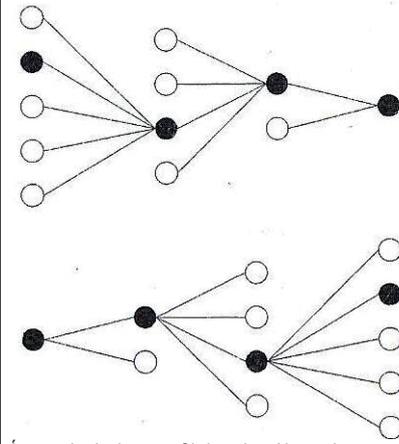
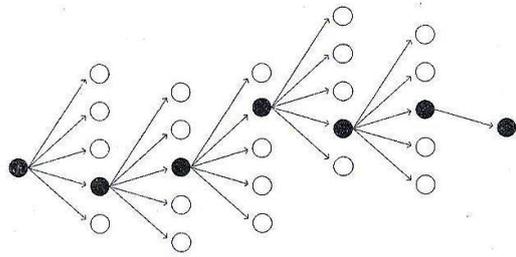
<sup>40</sup> MITCHELL, William – A lógica da arquitectura: projecto, computação e cognição. 2008, p. 52

<sup>41</sup> LYNN, Greg - Animate Form. 1999, p. 20

<sup>42</sup> ZUMTHOR, Peter - Atmosferas: entornos arquitectónicos: as coisas que me rodeiam. 2006, p. 7

<sup>43</sup> Foreign Office Architects - 2G, vol.16, p. 125

Árvore de decisões \_ Christopher Alexander



Árvore de decisões \_ Christopher Alexander

diagrama de fluxo de dados (alto nível)

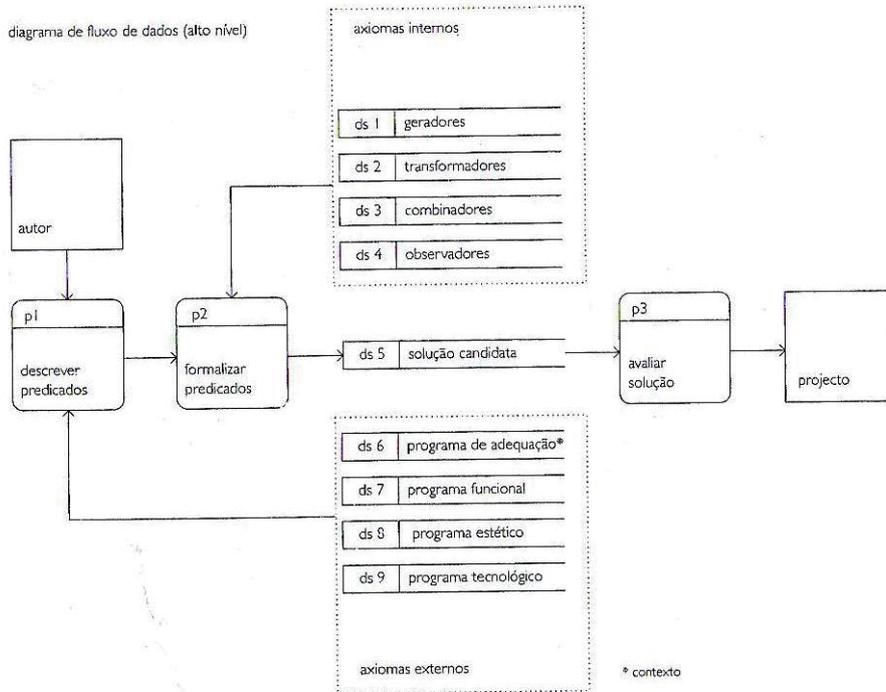


Diagrama de fluxos de dados

Como diz Peter Eisenman, quando um arquitecto começa a trabalhar pega num lápis e produz uma figura. Para conseguir sair da simples composição de confrontação entre o fundo e a figura precisa encontrar um modo de fazer uma figura sem fundo<sup>44</sup>. Sendo esta possibilidade que o ambiente virtual do computador disponibiliza. Neste sentido, num mundo projectual digital o universo de possibilidades que um arquitecto pode explorar na procura de soluções amplia-se, sendo, por isso, representado como uma árvore de decisões na qual a raiz consiste no estado inicial, a sequencia de nós os estados possíveis que descrevem a evolução da proximidade do arquitecto à forma que procura, e as diferentes ramificações, as operações projectuais disponíveis, que são limitadas pelas premissas estabelecidas *a priori* (fig.16, 17 e 18).

Como salienta Mitchell, ao ser usado um sistema CAD na execução de operações de um projecto a movimentação ao longo da árvore de decisões torna-se mais rápida e mais rigorosa, na medida em todas as propostas são analisadas e testadas de modo a verificar qual reúne os requisitos necessários, perdendo, assim, a arbitrariedade introduzida pelos esquisos tradicionais<sup>45</sup>. Mas, tudo isto, apenas se torna possível graças aos sistemas de desenho computacionais que propõem uma serie de espaços autónomos de desenho, no entanto estes não deixam de estar integrados, fornecendo ao arquitecto meios para se mover na árvore de decisões com mais velocidade que nos espaços de desenho manual<sup>46</sup>.

No entanto, se um determinado problema de desenho se constitui por uma estrutura inicial de variáveis, por um conjunto de operadores que alteram sucessivamente a estrutura de dados, por um conjunto de constrangimentos e objectivos e, por um determinado processo de geração de soluções, então, conclui-se que o computador pode ser usado para o armazenamento e processamento da estrutura de dados do desenho, na formação de soluções optimizadas para problemas locais e na definição de potenciais condições para soluções aceitáveis, operando sobre descrições exactas das propostas de desenho, de modo a conseguir revelar constrangimentos e objectivos. Um sistema computacional destinado a executar este tipo de tarefas torna possível a criação de mecanismos de teste e estratégias de controlo de qualidade das alternativas. Pode, então, usar-se o computador para criar, automaticamente, alternativas através da aplicação de uma gramática de formas, gerando e analisando essas alternativas testadas posteriormente a partir do conhecimento do arquitecto sobre a combinação das formas, apresentando-as de forma uniforme e concisa a partir da definição de regras de composição. Alia-se, assim, o rigor científico à subjectividade do arquitecto.

---

<sup>44</sup> EISENMAN, Peter - EL CROQUIS, vol.83, p. 20

<sup>45</sup> MITCHELL, William - A lógica da arquitectura: projecto, computação e cognição. 2008, p. 68

<sup>46</sup> LISBOA, Fernando - Desenho de arquitectura assistido por computador. 1997, p. 72

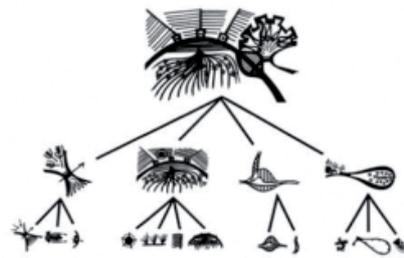
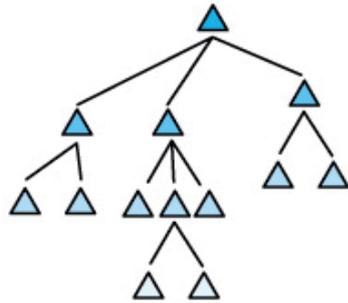


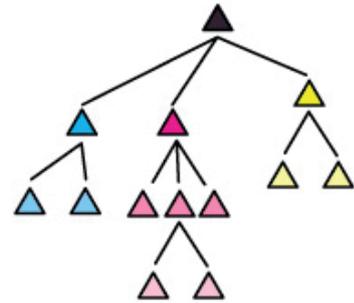
Diagrama \_ Christopher Alexander

divisão e partição  

Programa, composto por conjuntos

composição e fusão  

Realização, composto por diagramas

Este processo de determinação de soluções a partir de uma árvore de decisões pode antes ser considerado uma actualização de processos de redução da arbitrariedade. Por exemplo, advém da reflexão de Christopher Alexander, o qual, partindo do seu entendimento matemático, mais não faz mais do que inventar uma metodologia que procura resolver os problemas de desenho, destacando-se por introduzir na obra, "*Notes on the synthesis of form*", uma abordagem evolutiva para a concepção arquitectónica. Apresenta um método rigoroso que sistematiza a lista de critérios arbitrários permitindo a redução de certos tipos de erro como a incompatibilidade e omissão de critérios. Alexander considera então a concepção arquitectónica como um fase de resolução de problemas, pois, se repararmos, quando propomos hipóteses de desenho, baseadas em referências subjectivas estamos de maneira automática e, de certa forma involuntária, a definir regras arquitectónicas ao longo desse processo de desenho. A ideia de resolução de um problema pode então aqui assemelhar-se a uma equação matemática, a partir da qual se passa para um processo de armazenamento de informações relativas ao projecto. Armazenamento com critérios intuitivos e organizadores, que permitem posteriormente seleccionar uma solução. Deste modo propõe diagramas, apresentando-os em forma de esquemas que permitem decompor os problemas de desenho seguindo certos *programs*<sup>47</sup> para um problema representado (fig.19 e 20). Assim, numa primeira fase do processo, analítica, procura-se o programa de desenho, para o problema proposto de modo a analisar-se o requisito do problema, resultando então no programa que se decompõe numa árvore de requisitos. Sendo que, na fase posterior, sintética, ao serem confrontados os diagramas com o respectivo programa, se consegue a realização da forma através do programa. Uma vantagem deste processo de concepção arquitectónica pode então ser o facto de se tratar de um sistema de restrição do erro. No entanto, ao definir a investigação como um estudo do "*process of design*", Alexander, considera que "*the ultimate object of design is form*"<sup>48</sup>, sendo ela a proposta para a resolução de um problema de projecto definido pelo seu contexto. A partir de um processamento lógico e rigoroso, Alexander fortalece a dualidade Analise vs Síntese e, ao mesmo tempo, cria uma ideologia de controlo de decisões assente numa escala de valores, conseguindo atribuir solidez às variáveis complexas e permitindo resolver de modo aceitável o problema da variável de inadequação. Assim, avançando na direcção de uma abstracção lógica e formal consegue fixar as características estruturais abstractas da imagem mental, remetendo para os processos lógicos de funcionamento. Neste sentido, passa a ser possível gerar resultados que permitem fugir ao controlo do resultado final uma vez que se distanciam dos conceitos verbais.

---

<sup>47</sup> ALEXANDER, Christopher - Notes on the synthesis of form. 1994, p. 83

<sup>48</sup> *Idem*, p. 15



Na obra "*Notes on the synthesis of form*", identificam-se pontos de ligação à programação computacional como a linguagem padrão evidenciando, assim, a importância deste para o tema dos processos digitais. Segundo Alexander a linguagem padrão consiste assim num sistema finito de regras a partir das quais se pode criar uma variedade infinita de propostas diferentes. Neste sentido, quando Alexander procura um método que tem por objectivo a organização complementar e análoga, ao propor indirectamente a análise, síntese e controle está a pressupor etapas de programação, elaboração e realização respectivamente, apresentando-nos uma forma de concepção arquitectónica programável e algorítmica desenvolvida a partir de uma linguagem formal e funcionalista. Este facto, remete-nos para a Arquitectura paramétrica que nasce da ideia de que o desenho surge como um processo de pensar a Arquitectura e estudar a forma, propondo novas metodologias teóricas para o processo de criação de arquitectónica. Neste sentido, Alexander ao propor na reflexão uma abordagem evolutiva para a concepção arquitectónica, apresenta um novo método e contribui para o desenvolvimento da Arquitectura paramétrica, bem como para a criação de bases teóricas para a produção de programas computacionais usados em Arquitectura.



## 2. Metodologias de projecto digitais

Dentro do contexto que tem-se vindo a desenvolver, os temas que se seguem dizem respeito a processos e técnicas digitais que, de uma forma directa, intervêm na concepção, desenvolvimento, representação, comunicação e materialização dos projectos de Arquitectura. Neste sentido, ao longo da apresentação serão identificados e discutidos temas emergentes que definem estas novas condições de projecto. Com isto, pretende-se uma relação de complementaridade entre os vários processos, de modo a contribuir para uma maior aproximação e conhecimento deste campo de possibilidades em que consiste o mundo digital, ao mesmo tempo que se averigua se conseguem responder às necessidades de todo um processo de projecto de Arquitectura, nomeadamente das fases de concepção e representação do projecto.

Citando José Pedro Sousa (2005), “Embora a maioria das práticas arquitectónicas se encontre ainda centrada na utilização parcial das possibilidades computacionais, sobretudo ao nível do CAD, as tendências correntes mais inovadoras e disciplinarmente críticas interessam-se pela total integração digital das faculdades computacionais de desenho (CAD), análise (CAE) e fabrico (CAM). Desta forma, emergem novas condições para a prática do projecto, como a exploração de metodologias não-lineares, o reforço da interdisciplinaridade, a exploração controlada de formas geometricamente complexas ou a possibilidade de ultrapassar a estandardização dominante através da produção personalizada em serie (*mass-customization*)”<sup>49</sup>.

Neste sentido, existe a possibilidade de distinguir diferentes formas de o computador poder ser usado no projecto de Arquitectura. Por um lado, determina uma nova forma de representação do projecto, substituindo a representação tradicional, por outra mais rigorosa, precisa e flexível. Ao mesmo tempo permite uma mais fácil organização dos elementos de trabalho, sendo possível ver todo o projecto num único ficheiro, em qualquer etapa da vida deste. No entanto, tem algumas limitações uma vez que para se conseguir ver todo o elemento este apresentar-se-á numa dimensão muito reduzida no ecrã do computador fazendo com que o arquitecto trabalhe em partes, sem conseguir ver sempre o todo ao contrário das representações tradicionais feitas em papel. Mas, a representação por meios digitais prevê ainda a inclusão de mais informação sem perturbar ou dificultar a visualização ou compreensão do projecto. Por tudo isto, a fase de representação foi a primeira a sentir a intervenção dos meios digitais, sendo a que até hoje mais se desenvolveu. Permite ao arquitecto alargar a imaginação, uma vez que as dificuldades de representação foram quase que anuladas, ajuda, também, nas tarefas repetitivas e

---

<sup>49</sup> SOUSA, José Pedro - *Arquitectura e Vida*, vol.61, p. 29



mecânicas de modo a delinearem-se conceitos previamente definidos. Permite, ainda, usar o computador para materializar formas extremamente complexas de modo a realçar um projecto que foi trabalhado de forma convencional. Desta fase, passam, então, a fazer parte processos analíticos, para os quais são desenvolvidos *softwares* que permitem a verificação de determinadas formas e exploração de diferentes soluções estruturais. Neste sentido, o computador usa-se como ferramenta que auxilia o projecto de Arquitectura.

Por outro lado, o uso do computador no processo de projecto, e como reacção aos avanços na representação, evolui no sentido da procura de novas formas, ou seja, o computador começa então a ser usado como um meio não para atingir formas complexas, mas antes para as gerar através das capacidades digitais, levando à criação de aplicações com uma abordagem alternativa. Entra, assim, na fase de concepção do projecto substituído inicialmente o tradicional esquisso por processos generativos computacionais onde uma determinada imagem inicial pode evoluir em diferentes sentidos dependendo das variantes às quais está sujeita. No entanto uma imagem apenas tem uma única interpretação. Como anteriormente referido, estes sistemas permitem que uma forma não seja fixada tão cedo, admitindo constantemente o teste ao se aliar aos processos analíticos, aumentando também o número de respostas a um determinado problema. Neste sentido, o computador usa-se como ferramenta que guia o arquitecto no projecto de Arquitectura<sup>50</sup>.

Ainda assim, existe um certo conservadorismo em torno desta temática, subsistindo alguns arquitectos que usam as ferramentas digitais mas, alertam para os perigos defendendo que há alturas no processo de projecto – não apenas na fase de concepção - que exigem uma intervenção manual e empírica. Neste contexto, o computador deixa de ser utilizado como ferramenta, passando a ser considerado como algo que permite deter o processo de desenho em pontos críticos e decisivos<sup>51</sup>, podendo, então, ser introduzidos desenhos manuais ou outros tipos de soluções gráficas.

---

<sup>50</sup> STEELE, James - *Arquitectura y revolución digital*, 2001, p. 65

<sup>51</sup> *Idem*

21 22



Construção de uma maquete \_ Gehry Office



Construção de uma maquete \_ Gehry Office

23 24



Construção de uma maquete \_ Gehry Office



Construção de uma maquete \_ Gehry Office

## 2.1. Computador como Ferramenta Auxiliar

Numa primeira análise refere-se o uso do computador como ferramenta auxiliar no processo de projecto, sobretudo usada na fase de representação permitindo atribuir maior cientificidade ao processo.

Actualmente, dificilmente se encontram arquitectos que desenvolvam o processo de representação e análise da proposta através de meios tradicionais, uma vez que estes, nos dias de hoje, se mostram desadequados para a eficiência da representação de uma qualquer obra. Assim, associados ao uso do computador como ferramenta encontramos aqueles profissionais que iniciam o projecto através dos meios de concepção tradicionais, como o esquisso ou as maquetas, a partir dos quais pensam. Como exemplo, o arquitecto Frank Gehry, que apesar de reconhecer que os meios computacionais são muito vantajosos para um projecto admite não conseguir pensar através deles, afirmando que o computador seca as ideias extraindo-lhes todo o jogo a elas inerente. Ainda assim, não abdica do computador quando se trata de representar as formas que inicialmente cria em maqueta (fig.21, 22, 23 e 24), referindo que a importância de incluir estes sistemas como parte do processo de desenho tem a ver com a ajuda que dão na manutenção dos limites, para uma posterior materialização, uma vez que permitem modelar os custos enquanto modelam a forma<sup>52</sup>.

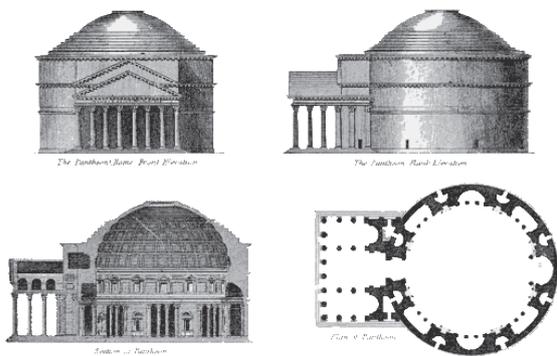
Os sistemas CAD têm por base o desenho paramétrico. Apoiado na máxima de que a tecnologia digital surge também como uma forma de pensar a Arquitectura, o desenho paramétrico usa aplicações computacionais que lhe permitem uma maior continuação e interacção entre as várias partes do projecto, conseguindo reunir ao mesmo tempo as tarefas de CAD, CAE e CAM<sup>53</sup>. Um exemplo de aplicações que usa este tipo de desenho é o *software* CATIA e o AutoCAD, onde a modelação geométrica de uma proposta de projecto assenta na existência de constrangimentos e parâmetros, resultando no entanto numa modelação rigorosa que oferece diversidade de operações de criação, edição e transformação. Este tipo de aplicações permite uma manipulação das variáveis que produzem automaticamente as alterações topológicas do modelo, podendo estas ser acompanhadas em tempo real, não sendo preciso eliminar ou voltar a desenhar partes do desenho.

À possibilidade de estimular a criatividade se poder aliar-se um controlo e rigor do desenho levou a que um grande número de *softwares* gráficos usados em Arquitectura fosse

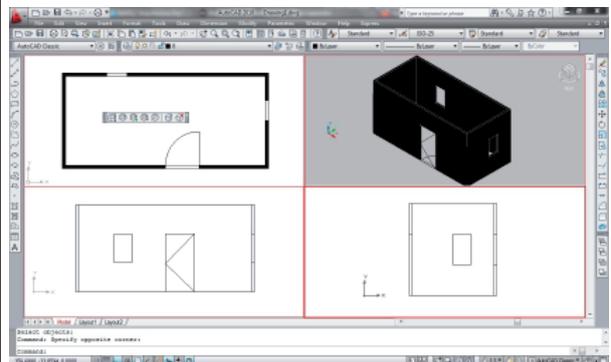
---

<sup>52</sup> GEHRY, Frank - EL CROQUIS, vol.117, p. 9

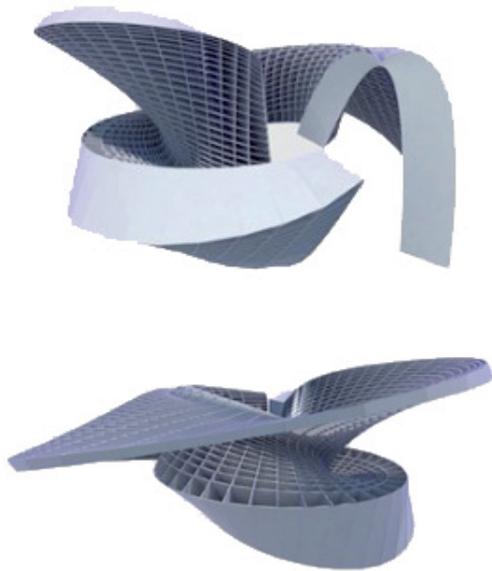
<sup>53</sup> SOUSA, José Pedro - Arquitectura e Vida, vol.61, p. 30



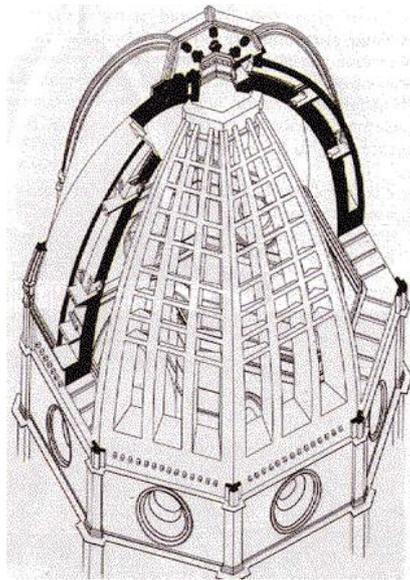
Construção de uma maquete \_ Gehry Office



Construção de uma maquete \_ Gehry Office



Representação digital do Swoosh Pavilion



Cúpula de Santa Maria de Fiore

25 26

27 28

desenvolvido, adaptando-se o uso às exigências de cada arquitecto<sup>54</sup>. Ainda assim, estes procedimentos preservam a tradicional ideia de concepção do projecto, ou seja, o computador começa a ser usado após a ideia e condicionantes do projecto estarem definidas, sendo posteriormente desenvolvidas por meios digitais, não interferindo na fase inicial do processo criativo. *“The computer was introduced into Frank Gehry’s Office in a way that would not interfere with a design process that had been evolving for over thirty years”*<sup>55</sup>.

Como forma de definir e resolver geometrias as aplicações CAD apresentam-se com dois tipos de modelação diferentes, os que tratam de modelos parciais, ou seja, modelação bidimensional e, os que tratam de modelos globais, ou seja, modelação tridimensional<sup>56</sup>. Dos primeiro faz parte um tipo de comunicação convencional, aproximando-se ao desenho tradicional de Arquitectura, como plantas, cortes, alçados (fig.25 e 26). Este tipo de modelação não faz com que as características de modelo ou simulação abstracta e simbólica dos conteúdos parciais do projecto desapareçam fazendo sentido o seu uso uma vez que permite acrescentar novas potencialidades aos elementos representados. Neste âmbito, salienta-se uma visível melhoria no que diz respeito às relações com outras disciplinas intervenientes no projecto como sendo o caso da Engenharia, melhorando a qualidade dos trabalhos e facilitando a troca de informação entre os vários agentes intervenientes na realização do projecto. O segundo tipo de modelação, que diz respeito à produção de modelos tridimensionais, tem como objectivo a representação global de determinado projecto, através de uma construção assente na combinação de vários elementos, assemelhando-se à técnica da Perspectiva do desenho tradicional (fig.27 e 28). O computador permite uma mudança no processo de percepção que tem potencial para alterar o entendimento espacial e formal da Arquitectura, ou seja, tem capacidade de fazer o mesmo que a ideia de perspectiva na Renascença<sup>57</sup>. De igual modo, as técnicas inerentes ao projecto computacional estabelecem novas direcções na sua exploração. *“Another more direct benefit of the digital model is that the work is always proceeding in a three-dimensional design space”*<sup>58</sup>, no entanto há possibilidades do esquiço que não são completamente possíveis no modelo tridimensional e vice-versa, se não, qual seria a pertinência de um modelo tridimensional digital? Estes modelos tridimensionais permitem a criação de imagens digitais, ou seja, admitem a geração *renders*, para tal precisasse que o modelo seja composto por superfícies sobre as quais deve incidir luz virtual (fig.29). Este aspecto permite uma melhoria das relações com os clientes passando estes a compreender melhor a ideias que o arquitecto tenta transmitir.

---

<sup>54</sup> STEELE, James – Arquitectura y revolución digital. 2001, p. 73

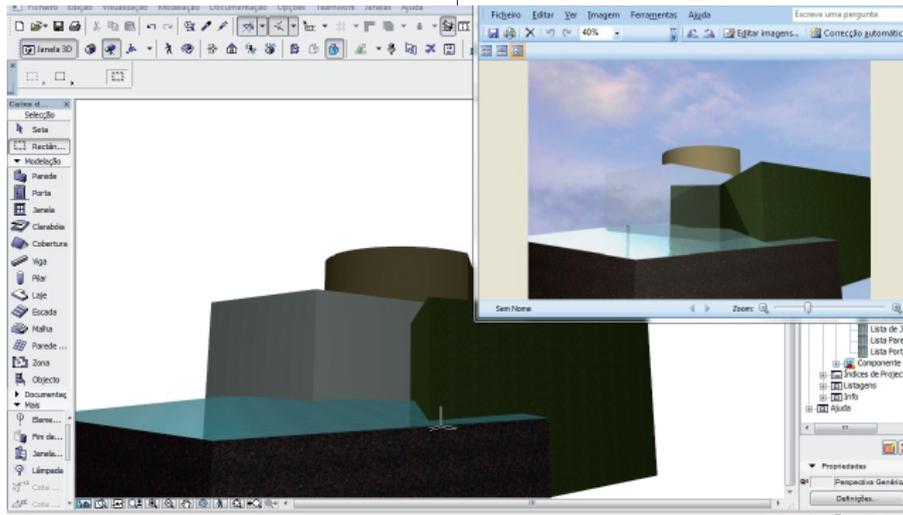
<sup>55</sup> LINDSEY, Bruce – Digital Gehry: Material resistance, Digital construction. 2001, p.48

<sup>56</sup> LISBOA, Fernando – Desenho de arquitectura assistido por computador. 1997, p. 53

<sup>57</sup> CIGOLLE, Mark; COLEMAN, Kim – The electronic design studio: architectural knowledge and media in the computer era. 1991, p.339

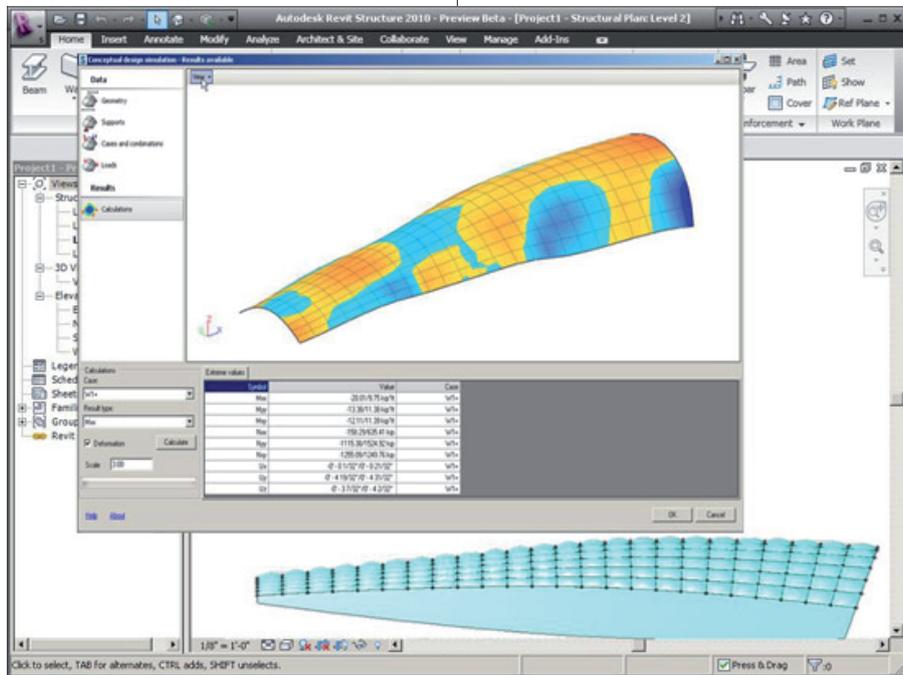
<sup>58</sup> LINDSEY, Bruce – Digital Gehry: Material resistance, Digital construction. 2001, p.39

29



Renderização em ArchiCAD

30



Modelo criado em Revit

A possibilidade de conciliar modelação bidimensional com modelação tridimensional revelou-se uma mais-valia para o desenvolvimento das ideias, sendo possível encontrar uma ligação entre os modelos 2D e 3D a partir da integração de toda a informação parcial do primeiro no segundo, além disso, a este ainda podem ser associadas algumas virtualidades relacionadas com a fase de concepção do projecto (fig.30). Neste sentido, como refere Fernando Lisboa, identifica-se uma sobreposição entre duas disciplinas independentes, a Geometria e a Arquitectura, que permite uma estabilidade constante entre a parte e o todo, que aqui se confunde com a representação total da geometria do projecto, admitindo a partilha de conhecimentos<sup>59</sup>. Com estas alterações e devido a uma gradual sofisticação das ferramentas computacionais, vão-se integrando progressivamente tarefas adicionais ou periféricas ao processo criativo deixando este de fazer parte apenas de uma fase inicial da actividade de projecto e passando a realizar-se ao longo de todo o processo, ou seja, a fractura entre execução e criação perde-se, deixando de fazer sentido. Deste modo, a concepção tenderá a caminhar na direcção do algoritmo e do cálculo. Neste modo de usar os instrumentos digitais o arquitecto «comanda» o computador, no sentido em que apenas procura nele a fácil e rápida resolução de formas complexas. Os problemas estruturais e infra-estruturais passam a ter resolução, possível, através do computador, a partir de cálculos feitos automaticamente. Neste sentido, esta ferramenta permitiu ao arquitecto voltar a recuperar a capacidade inventiva abrindo novos campos para a exploração de formas mais complexas que sem o auxílio da ferramenta digital eram difíceis de realizar. O computador surge, então, como um acessório dos tradicionais métodos de desenho, não manifestando nenhum desejo de mudança, apenas um desejo de aperfeiçoamento e adaptação das técnicas tradicionais de desenho de Arquitectura<sup>60</sup> à nova realidade social. O uso deste instrumento para este fim sugere que se limita, em grande parte, à realização de tarefas de desenho repetitivo, permitindo ainda fazer sondagens técnicas, revelando-se no entanto incapaz de produzir novas formas. Por sua vez, cria apenas um padrão interactivo no desenvolvimento do conceito ao contrário da singularidade de cada projecto criada nas abordagens que contemplam o computador como uma ferramenta que conduz o processo.

---

<sup>59</sup> LISBOA, Fernando - Desenho de arquitectura assistido por computador. 1997, p. 55

<sup>60</sup> STEELE, James – Arquitectura y revolución digital. 2001, p. 73

31



Escultura em forma de peixe para a vila Olímpica de Barcelona

32 33  
34 35



**Hemos mejorado la técnica**

Digitalização de uma maquete \_ Gehry Office \_  
"Melhoramos a técnica..."



**para digitalizar las maquetas e introducirlas en el ordenador**

Digitalização de uma maquete \_ Gehry Office \_  
"...para digitalizar as maquetas e introduzi-las no computador..."



**para poder pasar de una maqueta tridimensional**

Digitalização de uma maquete \_ Gehry Office \_  
"...para poder passar de uma maquete tridimensional..."



**a un dibujo bidimensional.**

Digitalização de uma maquete \_ Gehry Office \_  
"...para um desenho bidimensional."

### 2.1.1. Liberdade formal

A concretização do desejo de exploração da criatividade permitida pelo uso do computador como ferramenta auxiliar do processo de projecto de Arquitectura leva o arquitecto a experimentar uma nova liberdade formal apenas permitida pelo rigor e precisão introduzidos pelos meios computacionais encontrando em Frank Gehry um exemplo dessa liberdade conquistada. O computador surge no *ateliê* de Gehry como um meio que permite controlar a manipulação das difíceis geometrias resultantes dos jogos de volumes que cria inicialmente nas maquetas através do sistema de *collage*, proporcionando ao mesmo tempo uma maior abertura a processos alternativos para o fabrico dessas geometrias. Foi James Glymph quem marcou essa viragem ao procurar novas estratégias auxiliadas pelo computador para documentar e controlar essas formas<sup>61</sup> de modo a que a linguagem de Gehry em relação às geometrias e complexidade destas adquirisse maior liberdade deixando de estar condicionada uma vez que passa a poder contar com o computador para representar as formas que deseja.

A primeira obra em que as capacidades da tecnologia digital, sobretudo a de CAD e CAM, foram testadas no *ateliê* de Gehry foi a escultura em forma de peixe para a Vila Olímpica de Barcelona (1989-92) (fig.31). Nesta, por causa dos limites de orçamento e tempo de execução a pesquisa do *software* e *hardware* foi ditada pela necessidade de assistir a fabricação e impressão envolvidas no projecto de construção da estrutura o mais rápida e economicamente possível<sup>62</sup>. Para tal, foi usada a aplicação *CATIA*, resolvendo então os problemas existentes nos *softwares* de visualização usados em Arquitectura até então. “*A CATIA workstation and in collaboration with the architects produced the information that allowed the Project to be fabricated and constructed*”<sup>63</sup>. Para esta obra as aplicações digitais não foram utilizadas como instrumento conceptual, mas, antes, para facilitarem a produção, resolvendo o problema de representar e documentar curvas complexas, que pelas configurações desafiavam os métodos de representação convencional. As formas não resultam do uso do computador. Este apenas facilitou a passagem da maqueta para os planos preliminares através de uma espécie de digitalização comandada manualmente através de um sensor que percorre as inclinações e transfere as curvas da maqueta para o ecrã do computador, descrevendo matematicamente as superfícies de modo a possibilitar a criação de modelos digitais com grande rigor e precisão (fig.32, 33, 34 e 35). Após a passagem de toda a informação para um modelo 3D esta permitia comandar directamente as máquinas de fabrico, que eram controladas por computador. A partir desta altura, usufruindo das capacidades paramétricas

<sup>61</sup> LINDSEY, Bruce – Digital Gehry: Material resistance, Digital construction. 2001, p.35

<sup>62</sup> DAL CO, Francesco - Frank O. Gehry: tuttle le opera. 2003, p. 431

<sup>63</sup> LINDSEY, Bruce – Digital Gehry: Material resistance, Digital construction. 2001, p.38



New Zollhof de Frank Gehry



Bar Condé Nast de Frank Gehry



Edifício de viviendas IBA em Berlim \_ Zaha Hadid \_ 1987/1993



Edifício de viviendas IBA em Berlim \_ Zaha Hadid sketch \_ 1987/1993

36 | 37

38 | 39

40



Vilnius Museum & Cultural Centre \_ Zaha Hadid \_ 2007

do *software*, o modelo digital pode ser aperfeiçoado, bem como lhe pode ser acrescentada informação sobre a totalidade do projecto.

Outros exemplos de obras de Gehry que demonstram o impacto das novas tecnologias nos seus trabalhos são o *New Zollhof* em Dusseldorf (1994) e o bar da empresa de publicações *Condé Nast* em Nova York (1997). Nestes projectos os modelos digitais foram usados de modo a auxiliarem o fabrico individual das peças, tanto de elementos estruturais de difícil desenho como de revestimento do edifício (fig.36 e 37).

Ao ser utilizado, em continuidade com a filosofia conceptual e metodológica de Gehry, o computador entrava após a estabilização das ideias iniciais, por meio de desenhos e maquetas, demonstrando que a confiança e a comprovada eficiência dos processos digitais não deve abalar a vontade de explorar e descobrir novas possibilidades, tanto formais como materiais. Em suma, a aplicação *CATIA* proporcionou economia de tempo e uso eficaz dos materiais, bem como precisão na documentação para a execução; o que, de um lado, proporcionou economia de recursos financeiros e, de outro, possibilitou a geração de formas arquitectónicas sem ela dificilmente viabilizáveis. As representações tridimensionais permitem eliminar os possíveis obstáculos da produção unindo o arquitecto cada vez mais aos processos de construção e testando os limites estéticos dos diferentes materiais.

Tudo isto comprova como os sistemas CAD tornaram mais intuitivo o uso de geometrias complexas, aliando a forma à soma de preocupações que passaram a ser introduzidas nas obras e marcando, também, uma mudança no trabalho dos arquitectos (fig.38, 39 e 40). “*Computer technology, the new digital design tools, have had an important and increasing influence on the work of Zaha Hadid Architects over the last 10 years*”<sup>64</sup>. Neste sentido, o computador não criou formas complexas antes ajudou a defini-las e materializá-las. Em alguns casos, destas geometrias complexas, a concepção seria possível através de processos tradicionais de desenho e calculo, no entanto, o rigor e trabalho que exigem, levaria a que fossem abandonadas uma vez que a complexidade na resolução dos problemas que as torna viáveis pode ser um forte obstáculo.

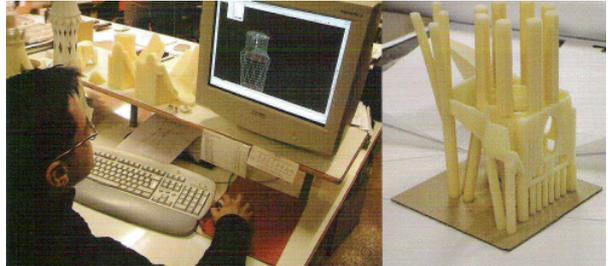
O uso do computar como ferramenta das diferentes fases do processo de projecto, com o fim de conseguir concretizar geometrias cada vez mais complexas revelou, também, ser um símbolo integral da revolução cultural que as TIC propuseram ao introduzi-lo numa disciplina autónoma como a Arquitectura adaptando a tecnologia à sensibilidade criativa particular de cada arquitecto.

---

<sup>64</sup> SCHUMACHER, Patrik – Digital Hadis: Landscapes in Motion. 2004, p. 8



Catedral da sagrada familia



Coexistência entre processos digitais e manuais para a continuação da construção da Catedral da Sagrada Família

41 42

43



Peças pré-fabricadas para a construção da Catedral da Sagrada Família



## 2.1.2. O Digital e a Tradição

Apesar de toda a inovação no campo formal e material ao arquitecto foi dada a possibilidade de inovar na tradição apoiando-se no computador para conseguir uma melhor preservação do património arquitectónico existente. Mas, este assunto, em certas situações, levanta algumas questões. Por um lado, o computador, como temos vindo a verificar, sempre demonstrou ser uma poderosa ferramenta para o arquivo de todo o tipo de informação. Neste sentido, permite o registo do património, uma necessidade crescente pois este vai-se perdendo com o tempo e com a modernização dos espaços urbanos. Por outro lado, há quem critique o uso deste recurso para replicar tridimensionalmente uma obra num novo projecto, defendendo, assim, a autenticidade da nova obra e criticando o facto de se construir uma cópia sem que o contexto em que se insere seja tido em conta<sup>65</sup>.

A questão da autenticidade e originalidade são temas frequentemente discutidos em Arquitectura. De um lado encontramos a procura da originalidade como uma forma de marcar a diferença, de marcar uma posição. Do outro, encontramos quem tente recuperar a autenticidade da cultura e tradição que tão fortemente marcam os povos e que se perdem à medida que a globalização avança, abdicando da originalidade. O computador pode, assim, ajudar a recuperar aquilo que a sua Era está a «destruir», demonstrando uma vez mais o carácter multifacetado deste instrumento.

Exemplos disso são as operações que estão a decorrer na Catedral da Sagrada Família em Barcelona, tendo em vista o finalizar desta obra, iniciada por Gaudí em 1884<sup>66</sup> (fig.41), e onde a ausência de informação sobre como construir o que ainda falta gera condicionantes de actuação. Deste modo, as equipas de arquitectos que participam nesta construção, para não se desviarem das ideias do autor, recorrem ao computador e a estudos sobre os princípios geométricos do projecto (fig.42). Assim, conseguem deduzir as formas, medidas e proporções em falta, e criam as condições necessárias ao desenvolvimento do trabalho através da utilização de um *software* de desenho paramétrico, permitindo maior rapidez, precisão e flexibilidade<sup>67</sup>, aliando ao mesmo tempo a prototipagem rápida e de fabrico através de controlo numérico por computador (fig.43). Este exemplo demonstra como tradição e inovação se fundem com sucesso e mostram que, sem que haja ruptura, o espírito inventivo e metodológico de Gaudí permitiu expandir as

<sup>65</sup> STEELE, James – Arquitectura y revolución digital. 2001, p. 112

<sup>66</sup> CUITO, Aurora - Gaudí: toda su arquitectura. 2003, p. 12

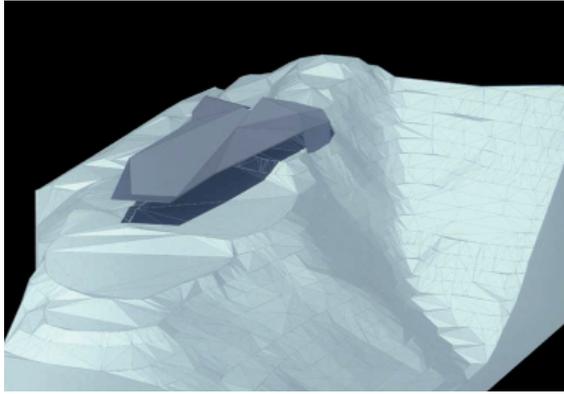
<sup>67</sup> SCHAIK, Leon van – Spatial Intelligence: new futures for architecture. 2008, p. 168



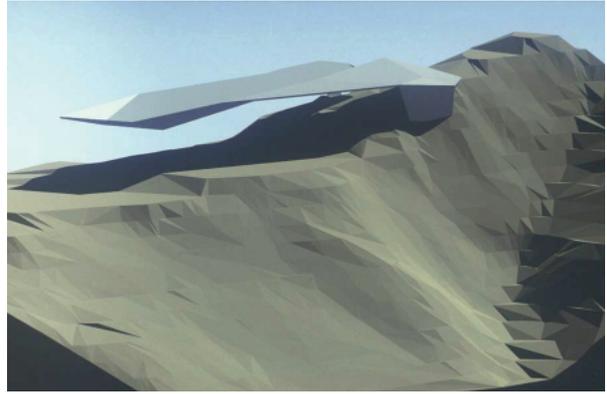
capacidades da sua realidade, de uma forma não muito diferente do modo como as tecnologias digitais têm vindo a ser utilizadas na obra”<sup>68</sup>.

---

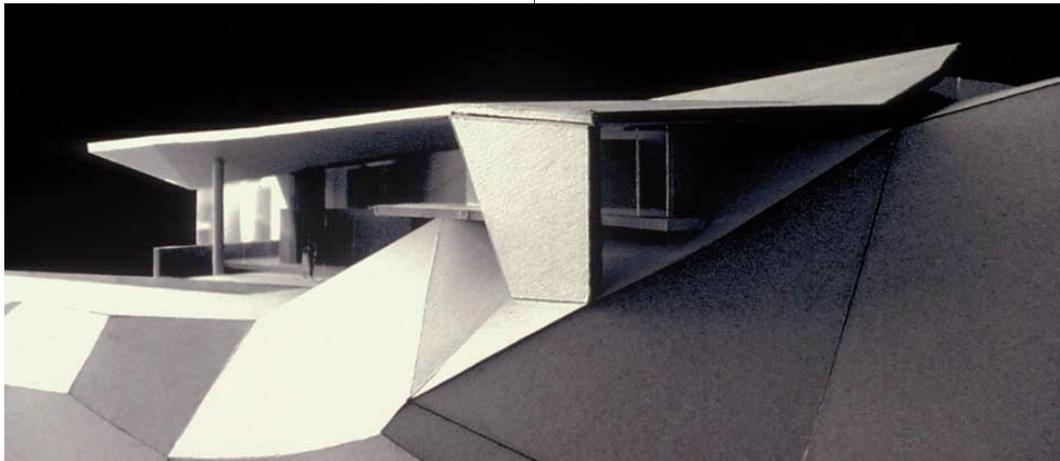
<sup>68</sup> SOUSA, José Pedro - *Arquitectura e Vida*, vol.68, p. 31



Modelo 3D da Casa Oak Pass



Modelo 3D da Casa Oak Pass

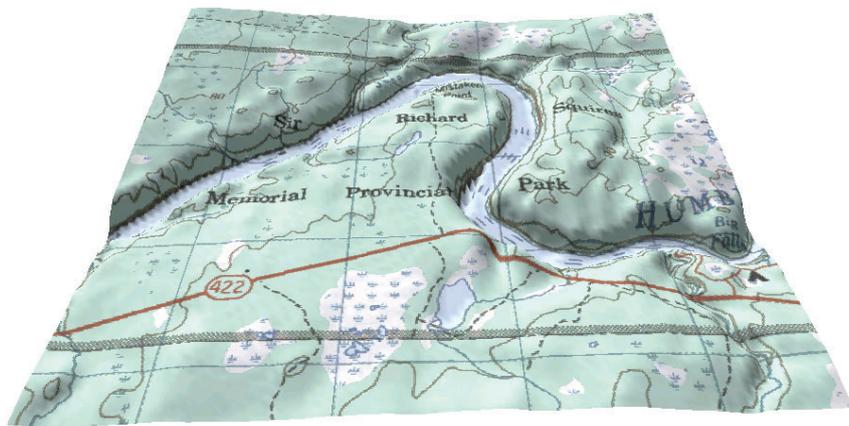


Maqueta da Casa Oak Pass

44 | 45

46

47



Exemplo de Mapping digital

### 2.1.3. Potencialidades

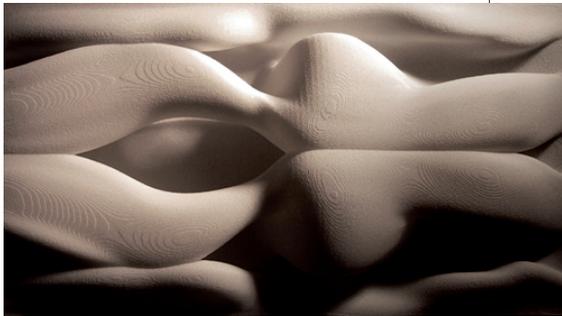
O uso do computador para desenho de Arquitectura permitiu que a partir de aplicações de base paramétrica fossem criados modelos digitais de modo a poderem ser trabalhados em conjunto com as maquetas físicas tradicionais, não as substituindo, antes aliando-se a estas e apoiando-as, permitindo melhorar as geometrias. Hoje, programas como o *Form-Z* permitem passar esboços conceptuais para o plano virtual tridimensional do computador, possibilitando a reinvenção das formas. Entretanto, estes modelos digitais demonstram outra vantagem. No que diz respeito à relação com a envolvente do projecto e à relação com o cliente, demonstrando serem uma mais-valia como forma de comunicação e visualização. O desenvolvimento das aplicações de visualização digital, para além de permitirem melhorar a qualidade e rigor de toda a informação dos modelos, permitiu que o estudo da envolvente passasse a ser possível. Através de levantamentos topográficos passados para o computador, foi possível ao arquitecto um melhor conhecimento do terreno em que trabalha permitindo a construção de modelos tridimensionais deste, extraindo-lhes toda a informação necessária ao desenvolvimento do projecto. Deste modo, o arquitecto passou a poder apresentar novas e eficientes soluções para essa relação, possibilitando-lhe ainda trabalhar em qualquer tipo de terreno conseguindo explorar ao máximo as potencialidades do lugar. Para tal, foram desenvolvidos *softwares* que se centrassem na exploração topográfica. Para a *Casa Oak Pass* em Los Angeles, o grupo *RoTo* utilizou os modelos virtuais e as maquetas físicas de modo a facilitar o encaixe da casa num terreno acidentado, misturando as paredes estruturais com as formas naturais da envolvente, o que, aliado a uma divisão por diferentes cotas, permitiu a harmoniosa integração desta na envolvente montanhosa<sup>69</sup> (fig.44, 45 e 46).

A passagem da cartografia tradicional para um outro tipo de mapa veio permitir o reforço da precisão, passando a ser possível o registo de diversos ambientes através do *mapping* digital, que se baseia num processo de registo e auxilio ao impulso processual, tornando possível representar o que era impossível quando se recorria ao uso das técnicas convencionais<sup>70</sup> (fig.47). Por isso, mais do que um processo, o *mapping* surge como uma ferramenta para outros processos e sistemas mais complexos, portadores de uma evolução algorítmica, apresentando-se como uma forma de interposição, captura e registo<sup>71</sup>, apreendendo ambientes que passam a estar

<sup>69</sup> STEELE, James – *Arquitectura y revolución digital*. 2001, p. 90

<sup>70</sup> SILVER, Mike; BALMORI, Diana – *Mapping in the age of digital media*. 2003, p.11

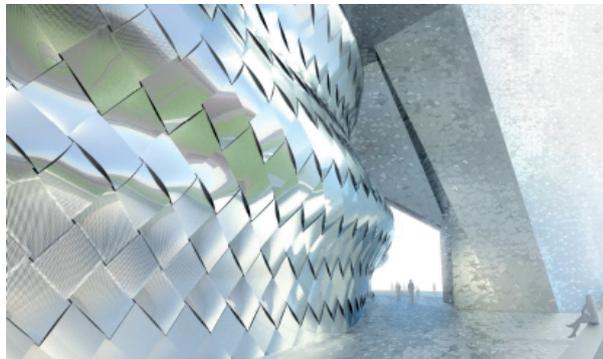
<sup>71</sup> *Idem*, p.48



dinâmica fluida computacional



Hotel Marqués de Riscal \_ Frank Gehry



Parte da superfície da Philharmonie de Paris \_ Jean Nouvel

disponíveis a toda uma realidade manipulável. Assim, este mapa digital tornou-se o local onde simulações ocorrem com o intuito de modelar ambientes complexos com maior grau de precisão<sup>72</sup> (fig.48). Alteram-se as vias pelas quais o espaço se mede passando a abranger práticas e técnicas diferentes, explorando várias disciplinas em diferentes campos, ao mesmo tempo que contribuem para o aumento de precisão da informação, propondo uma nova forma de interacção com essa informação no espaço computacional, não estando mais limitada à projecção numa superfície plana. O desenvolvimento de aplicações de visualização, para além de ajudarem nesta integração, permite ao arquitecto a criação de modelos tridimensionais mais realistas, abrindo novas potencialidades na relação com o cliente, permitindo tornar as ideias transmitidas mais viáveis e consistentes, possibilitando o ensaio do funcionamento dos materiais, graças à simulação do ambiente através do computador, conseguindo a representação fiel de materiais como o vidro, que antes eram difíceis de representar. A representação deste passa a ser feita de forma mais realista através da tecnologia informática. *“One of the curious aspects of digital technology is the valorization of a new realism. (...) The success of the new technology is measured by its ability to seamlessly render “reality”. Even the so-called virtual reality has been used not so much to create alternative realities but to replicate those already existing”*<sup>73</sup>. Estes ambientes criados virtualmente através de *softwares* de simulação apresentam-se aos clientes como fotorrealistas, apoiando assim as ideias do arquitecto e demonstrando a viabilidade deste perante um determinado cenário.

Como observamos na análise do processo de Gehry outra das potencialidades do desenvolvimento das aplicações CAD, é a capacidade deste se poder associar ao processo de fabrico permitindo criar peças antes difíceis de materializar (fig.49). *“The design process to be continuous through the digital model, computer aided manufacturing allows the continuity to extend from design through construction”*<sup>74</sup>. Neste sentido, o desenvolvimento dos programas CAD trouxe consigo uma «tectónica digital» através da (re)invenção da materialidade, em que a capacidade de conduzir o projecto desde o início até à materialização abriu caminho à possibilidade de considerar as propriedades materiais como informação operativa e criativa em Arquitectura. Voltando, assim, a aproximar o arquitecto do mundo material<sup>75</sup>, tal como já tinha feito com a construção (fig.50). *“If, however, the specific capacities for computer fabrication are integrated into the process of design itself, new possibilities are opened up. The properties of the material became*

---

<sup>72</sup> ALBUQUERQUE, João - Dis[curso]. 2005, p. 105

<sup>73</sup> ALLEN, Stan – Practice: architectural, technique and representation. 2003, p. 148

<sup>74</sup> LINDSEY, Bruce – Digital Gehry: Material resistance, Digital construction. 2001, p.78

<sup>75</sup> SOUSA, José Pedro - Arquitectura e Vida, vol.63, p. 32



Bolefloor



Bolefloor

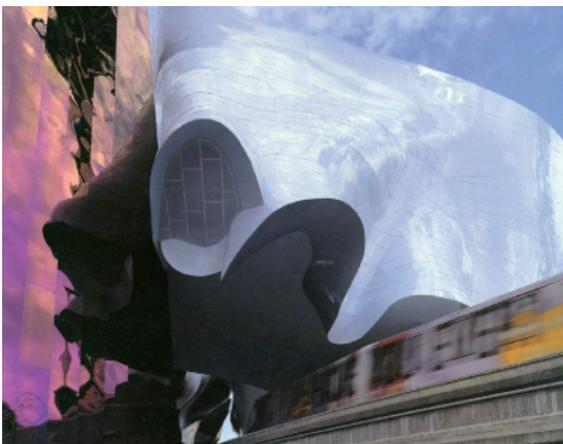
51 | 52  
53 | 54  
55 | 56



National Botanic Garden in Wales \_ Foster



National Botanic Garden in Wales \_ Foster



Experience Music Project \_ Gehry



Experience Music Project \_ Gehry

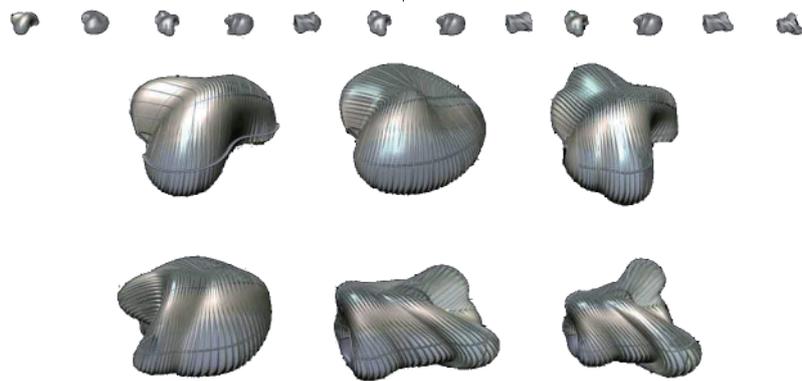
*part of the design process. (...) Computer fabrication can also provoke a rethinking of modernism's conventional formalization of repetition and standardization*"<sup>76</sup>.

Os *softwares* de desenho computacional evoluíram assim de forma a assistirem as tarefas de visualização, simulação, desenho, análise e fabrico, assumindo, por isso, um papel determinante no rumo dos acontecimentos, o que, aliado aos recentes desenvolvimentos ao nível da ciência e engenharia dos materiais levou à emergência de novos materiais criados em laboratórios com propriedades específicas, ajustando desempenho deste a determinadas funções, na procura de materiais mais fortes, leves, seguros, personalizados e adaptáveis, fazendo com que o arquitecto se aproxime mais deste campo. Também a investigação de novas possibilidades de aplicação para materiais existentes foi possível (fig.51 e 52). Trabalhar com o computador deixou de significar que o arquitecto está apenas preocupado com o desenho da forma. Ultrapassando os limites do CAD, levou-o a estar, nos processos de projecto digitais, preocupado com a integração e controlo de propriedades materiais e estratégias de construção inerentes às propostas desde a concepção. Um dos exemplos pode ser o processo de Foster para o *National Botanic Garden de Wales* (1998), onde a cobertura surge de uma forma contínua, com a estrutura e materiais pensados em conjunto para a tentar minimizar de modo a otimizar a quantidade de luz recebida (fig.53 e 54).

A possibilidade de intervenção na fase de fabrico permitiu questionar a forma limitada como os materiais se apresentam no mercado abrindo novas oportunidades como a produção economicamente viável de elementos com vários tamanhos. No *Experience Music Project*, Gehry recorreu à configuração automática dos painéis calculada por uma aplicação digital, uma vez que todos tinham dimensões diferentes, de modo a puderem adaptar-se eficazmente à geometria irregular do edifício, descrevendo todas as curvaturas deste, sendo, posteriormente, fabricados por máquinas de corte (fig.55 e 56). Esta opção de Gehry de usar um padrão variável e aparentemente aleatório do revestimento mostra como a utilização das novas tecnologias informáticas permite uma diferente exploração criativa à escala do elemento, onde os materiais tradicionais ganham novas formas de aplicação devido a uma acção directa sobre o material, ou indirecta, pela intervenção inovadora na produção dos moldes, demonstrando como as «formas» dos materiais podem responder às formas idealizadas pelos arquitectos, combinando a tradição tectónica com as possibilidades de génese formal.

---

<sup>76</sup> ALLEN, Stan – Practice: architectural, technique and representation. 2003, p. 154



Embriological Housing \_ Greg Lynn

## 2.2. Computador como Condutor do Processo de Projecto

O uso do computador como ferramenta de auxílio ao projecto evoluiu no sentido de uma crescente ambição pela procura de novos processos e de diferentes formas de fazer Arquitectura. Explorando cada vez mais a potencialidade das aplicações de CAD para a geração de formas e estruturas e alargando o campo de actuação para as mais variadas áreas. O que, aliado ao desenvolvimento massivo das tecnologias de informação, tem levado a práticas que são impulsionadas mais para a produção de novas realidades do que para a representação ou interpretação do já existente.

Neste sentido, começam a surgir *softwares* cuja base assenta em procedimentos de desenho generativo e evolutivo, onde a passagem das formas criadas para a materialização acontece de forma directa e, como aponta Sousa, os resultados das relações entre representações digitais e produção industrial, tal como a tradicional ideia de standardização, podem ser substituídos por modelação que corre automaticamente nos programas<sup>77</sup>. Demonstra-se, então, que o computador, para além de auxiliar o arquitecto nas tarefas de projecto, começa também a substituí-lo na criação de formas e espaços, abrindo novos caminhos à concepção arquitectónica. Aqui as experiências são conduzidas pelas aplicações digitais utilizadas, apresentando-se, assim, este método, como o extremo oposto do uso do computador como uma mera ferramenta de auxílio ao projecto e definindo-se, por sua vez, pela capacidade de controlo e análise do processamento de imagens gráficas baseadas em objectos, construindo geometrias automaticamente<sup>78</sup> (fig.57). Neste modo de uso do computador, o arquitecto passa para segundo plano uma fase de concepção regida por meios tradicionais, ou seja, abandona o tradicional esquisso como forma de pensamento. Por outro lado, inicia o processo de projecto a partir de esquemas de imagens ou processos que permitam determinar uma forma, podendo esta ser desenvolvida ao longo de todo o projecto. Deste modo, consegue fazer a transição de um espaço passivo de desenho, como o tradicional, para um espaço activo de interacções, apenas possível através da introdução dos *softwares* de animação, actualmente tidos como ferramentas que geram desenho em vez de simples instrumentos que permitem criar imagens. No entanto, a construção automática de geometrias não seria possível sem que o espaço abstracto do projecto se concebesse como um espaço neutro de coordenadas cartesianas<sup>79</sup>, uma vez que, no desenho tradicional as propriedades são as formas, as ordens são o movimento feito pelo lápis e a

<sup>77</sup> SOUSA, José Pedro – Arquitectura e Vida, vol.64, p. 60

<sup>78</sup> LISBOA, Fernando – Desenho de arquitectura assistido por computador. 1997, p. 30

<sup>79</sup> LYNN, Greg – Animate form. 1999, p. 10



experimentação consiste no próprio desenho em si. Neste sentido, a repetição do processo considera-se o desenhar a forma novamente a partir de uma folha em branco. Por isso, no campo de desenho digital, como refere Greg Lynn, o espaço concebe-se como uma envolvente de força e movimento, onde as formas arquitectónicas se transformam em variáveis que fluem através do *software*<sup>80</sup>, uma vez que o computador permite uma nova aproximação às abstracções do espaço, onde o *software* se converte na área onde são calculadas e ilustradas as formas, condições ambientais e outro tipo de informação adicional posteriormente processadas em *renders*.

Com os *softwares* de animação, as formas vão-se definindo a partir das ordens atribuídas através de dispositivos de inserção de dados como o teclado ou o rato, provocando transformações transmitidas pelo arquitecto, que delas tem uma construção mental que pode ser implementada com diversas técnicas do *software*. Assim, ao contrário do desenho tradicional, o *software* de animação permite rever e ajustar o processo tantas vezes quanto necessário, permitindo uma interactividade que vai desde a relação do criador com as «ordens», passando pela interactividade entre os objectos criados, até à relação do criador com a «criação». Essa modelação animada em 3D proporciona ao arquitecto tantas configurações quantas deseje. Neste sentido, a animação implica, segundo Lynn, a evolução de uma forma e das forças que a configuram, sugerindo crescimento e virtualidade, podendo ser conseguida pela cooperação da envolvente e do contexto em que está situada. “*While physical form can be defined in terms of static coordinates, the virtual force of the environment in which is designed contributes to its shape*”<sup>81</sup>.

Neste sentido, os *softwares* de animação desenvolveram-se de modo a apresentarem ao arquitecto um maior número de técnicas que este pode usar para conseguir variações na configuração de um determinado modelo<sup>82</sup>. O *Keyframing*, uma dessas técnicas, baseia-se na deformação ou deslocação do modelo num momento específico da animação, permitindo uma visualização rápida da deformação. Consiste, por isso, na transformação dos objectos através de um processo de interpolação de ordens dadas pelo criador em momentos específicos da animação. O *Morphing*, outra técnica, por sua vez consiste na transição entre duas figuras, sendo que os *frames* entre elas são gerados pelo próprio computador sem lhes retirar identidade. Estas duas técnicas são semelhantes às técnicas convencionais que usam o desenho e as maquetas, acrescentando-lhes apenas a aceleração do processo. No entanto a técnica *Dynamics*, que permite a configuração de um sistema sem os limites implícitos, dá ao arquitecto a possibilidade de criar um cenário de trabalho onde tudo pode ser possível, alargando as perspectivas do

---

<sup>80</sup> LYNN, Greg – *Animate form*. 1999, p. 10

<sup>81</sup> *Idem*

<sup>82</sup> ELOUEINI, Ammar - NU, vol.17, p. 48



processo de projecto. Este passa a ser abordado com um novo entendimento da relação entre tempo e Arquitectura<sup>83</sup>, permitindo, simultaneamente, a criação de um sistema ou ambiente de interacção entre os objectos, dando ao utilizador a possibilidade de inserir valores que definem esse ambiente, provocando interacção entre os objectos deformando-os e transformando-os.

Como salienta Ammar Eloueini, o uso de *softwares* de animação permite o desenvolvimento da estratégia *versus* composição, onde o desenvolvimento da estratégia de projecto torna possível atingir um alto nível de complexidade das relações entre programa, lugar, materiais, sem que para tal, ao contrário dos processos tradicionais, seja necessário tomar decisões formais, passando estas para mais tarde<sup>84</sup>. O predomínio de superfícies topológicas num *software*, tipo *AutoCAD*, juntamente com a capacidade de animação de forças e tempo do *software*, que permitem gerar forma, como a aplicação *3DStudio Max*, oferece ao arquitecto a possibilidade de desenhar através de cálculos, pondo de lado o uso do computador como uma mera ferramenta de visualização. A produção formal pode, então, ser explorada mediante processos concretos, mas também sobre processos equacionais geradores de evolução e de criação, uma vez que equações diferentes podem ser usadas para gerar geometrias detentoras de uma certa uniformidade. Em suma, como explica Lynn em *Animate form* (1999), as formas são produzidas através da ajuda de *softwares* de *design* computacionais. O resultado das decisões feitas usa uma serie de parâmetros e, neste sentido, ao articularmos as características do tempo, da tipologia e de outros parâmetros, reunimos as condições virtuais possíveis que permitem a formalização de um objecto num espaço não estático.

Tal como Lynn, Karl Chu e John Frazer defenderam, o computador não se trata de um cérebro. Argumentam que quando esta máquina conecta múltiplas variáveis, simplesmente as conecta, não pensa criticamente sobre a conexão que faz<sup>85</sup>.

Nesse sentido, também Frazer contribuiu para o esclarecimento e desenvolvimento desta forma de uso do computador ao propor um «algoritmo genético» que permitisse simular através do computador a evolução natural das formas<sup>86</sup>. Para tal, criou modelos arquitectónicos virtuais que trabalham com princípios da natureza, ao mesmo tempo que problematizam o contexto. Conseguiu libertar-se do problema da criação de um espaço abstracto em relação à envolvente. Neste sentido, construiu um computador personalizado, programando-o, em vez de configurar um programa CAD existente como fez a equipa de Frank Gehry, de modo a tornar possível a resposta aos sistemas biológicos. Assim, conseguiu exteriorizar e materializar os modelos físicos através

---

<sup>83</sup> ELOUEINI, Ammar - NU, vol.17, p. 48

<sup>84</sup> *Idem*, p. 49

<sup>85</sup> LYNN, Greg – *Animate form*. 1999, p, 19

<sup>86</sup> STEELE, James – *Arquitectura y revolución digital*. 2001, p. 38



dos processos internos do computador ao fazer com que estes pudessem actuar como qualquer outro modelo arquitectónico que ajuda a visualizar e a compreender. Abriu, então, caminho ao desenvolvimento de regras que geram formas<sup>87</sup>, superado os programas que têm como fim a repetição de configurações *standard* e que apenas conseguem resolver os problemas para os quais foram feitos não conseguindo produzir novas formas. Desta maneira as aplicações constituídas por este algoritmo genético são mais flexíveis, podendo adaptar-se a qualquer problema que enfrentem. Uma vez que, detêm uma base que lhes permite gerar soluções para a resolução de um determinado problema, posteriormente avaliadas de modo a verificar a aptidão a cada situação. Possibilitam ao processo e à pesquisa uma progressão evolutiva até a solução ser encontrada. Um exemplo deste tipo de sistemas pode ser o *eiffForm* (será apresentado mais à frente).

As experiências desenvolvidas pelos arquitectos que seguem esta metodologia contribuem para o desenvolvimento da disciplina. Aliando-se à racionalidade, alteram o discurso generativo e introduzem novos conceitos e preocupações à fase de concepção. Como exemplo, Peter Eisenman assume um compromisso com o método generativo, uma vez que este permite conceber o projecto sem recorrer ao conhecimento acumulado ou à experiência técnica ou cultural da disciplina<sup>88</sup>. Deste modo, ao proporem a criação de modelos conceptualmente gerados pelo computador abrem novas direcções de percepção esbatendo a barreira entre concepção e criação. Baseado num referencial científico, o arquitecto Karl Chu invoca o conceito de movimento abstracto para a percepção do espaço. Em termos genéticos, o trabalho deste arquitecto aproxima-se das investigações desenvolvidas por Frazer, mas, ao mesmo tempo, afasta-se devido à definição virtual que faz do espaço genético, bem como pela supremacia de algoritmos que desencadeiam a construção desse espaço<sup>89</sup>. Ou seja, enquanto Frazer gera electronicamente uma Arquitectura traçada a partir de códigos genéticos de modo a adaptar-se à envolvente existente, por sua vez, Chu adapta a Arquitectura a um espaço puro induzido electronicamente.

A temática da transformação da natureza, introduzida através das pesquisas biológicas, encontra-se nesta forma de uso do computador sob a influência da racionalidade. Esta, fixada na modernidade, desenvolve-se agora nas pesquisas contemporâneas, surgindo como uma forma de controlar um ambiente gerado por meios digitais, sobre os quais o arquitecto se apoia e deixa guiar. Cria e desenvolve, para tal, técnicas digitais que permitem a geração de formas, avançando na procura de novos modos de fazer Arquitectura, em que os arquitectos entram no espaço digital

---

<sup>87</sup> STEELE, James – *Arquitectura y revolución digital*. 2001, p. 38

<sup>88</sup> EISENMAN, Peter - *EL CROQUIS*, vol.83, p. 6

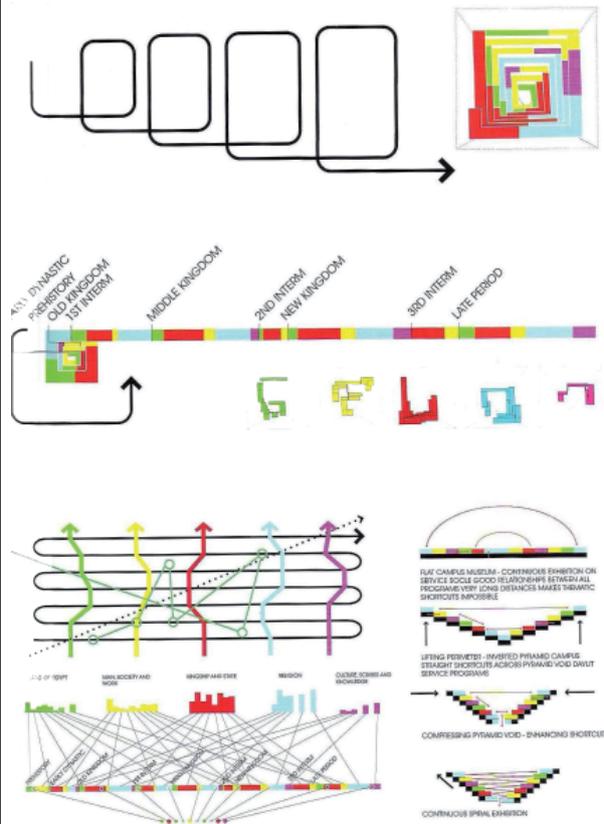
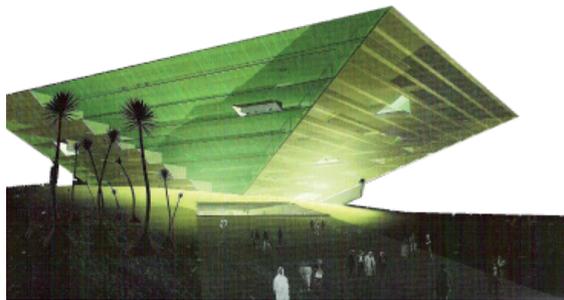
<sup>89</sup> STEELE, James – *Arquitectura y revolución digital*. 2001, p. 141



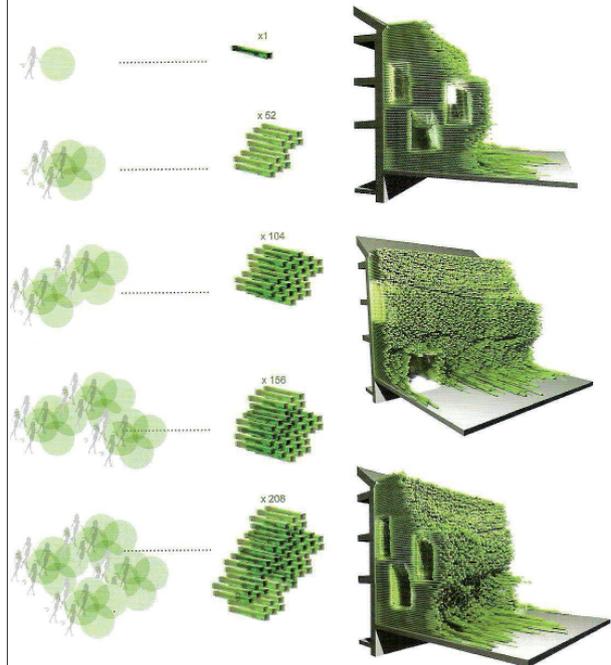
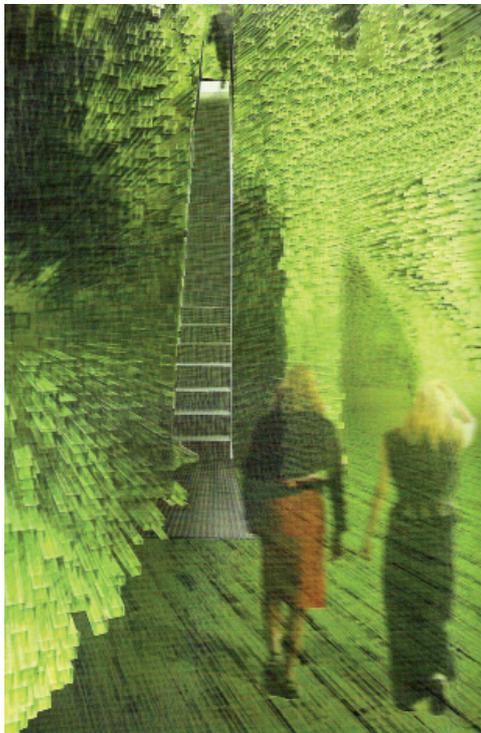
em busca de inspiração e ideias produtivas<sup>90</sup>, transformando os computadores em colaboradores e sócios do projecto.

---

<sup>90</sup> DOLLENS, Dennis – De lo digital a lo analógico. 2002, p. 27



Diagramas para o Grand Egyptian Museum \_ JDS Architects



Diagramas para o Olzweg \_ R&Sie...architects

## 2.2.1. Processos Generativos

### 2.2.1.1. Diagramas

A necessidade de fazer acompanhar o processo de projecto de Arquitectura por processos explicativos lineares está a aumentar, como refere Lynn, em parte devido ao carácter experimental do desenho cujo principal atributo se funda numa correspondência mais aberta entre forma e conceito<sup>91</sup>. Mas, também, como refere Alejandro Zaera-Polo, um processo de projecto que permanece limitado pela relação entre desenhos e espaço real construído, fica constrangido pela actuação de convenções, correndo o risco de resistir à variação<sup>92</sup>. Neste sentido, o processo diagramático encontra-se em vantagem numa cultura caracterizada pela mudança e pela necessidade de informação. Os diagramas usados entre os conceitos e os desenhos como uma forma de decisão sobre que caminho tomar, apresentam-se como um modo de projectar que não determina um ponto de partida ou uma qualquer sequência de operações, desenvolvendo-se antes no sentido de conseguir infiltrar quase todos os aspectos da teoria da Arquitectura, conseguindo ser descritivos, explicativos, normativos, interpretativos, prescritivos, projectivos e preditivos (fig.58). Definem-se, segundo Mark Garcia, como um fim em si, através dos objectivos, propostas, usos e funções. *“A diagram is the spatialisation of a selective abstraction and/or reduction of a concept or phenomenon. In other words, a diagram is the architecture of an idea or entity.”*<sup>93</sup>. No que diz respeito aos diagramas como processos generativos, estes começaram a ser encarados pelo arquitecto como parceiros da imaginação e intuição no processo do projecto (fig.59). Como refere Stephen M. Ervin, a essencialidade abstracta, a natureza proporcional e a personificação dos padrões gráficos que caracteriza os diagramas, faz com que sejam usados como uma ponte entre conceitos e desenhos e como um meio para a inferência e comunicação visual<sup>94</sup>. Apresentam-se como abreviaturas gráficas, representações de algo que pode não ser o pensar em si. Por isso, *“in architecture the diagram is historically understood in two ways: as an exploratory device and as a generative device. Although it is often argued that the diagram is a postrepresentational form, in instances of explanation and analysis the diagram is a form of representation”*<sup>95</sup>.

<sup>91</sup> LYNN, Greg - EL CROQUIS, vol.72, p. 18

<sup>92</sup> ZAERA-POLO, Alejandro - The Diagrams of architecture. 2010, p. 240

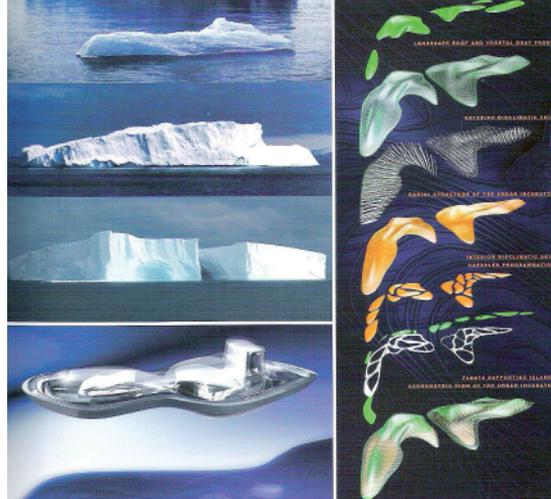
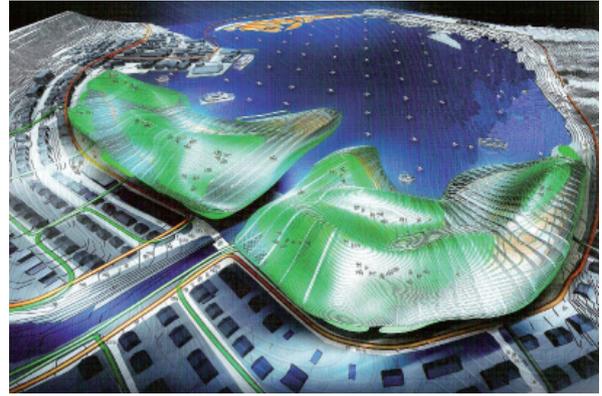
<sup>93</sup> GARCIA, Mark - The Diagrams of architecture. 2010, p.18

<sup>94</sup> ERVIN, Stephen M - The electronic design studio: architectural knowledge and media in the computer era. 1991, p. 119

<sup>95</sup> EISENMAN, Peter - Diagram Diaries. 1999, p. 27



Diagramas para Campus Bordeaux \_ Tania Concko Architects



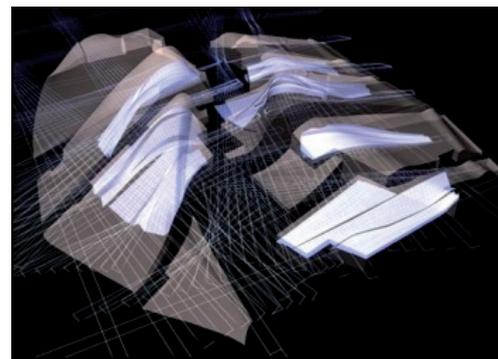
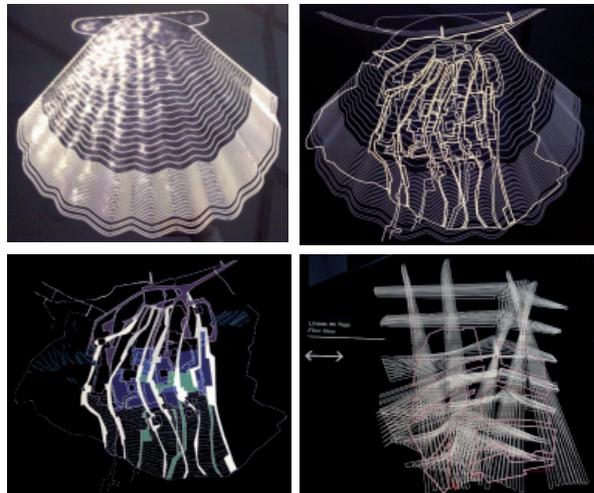
Diagramas para Floating Islands \_ Vincent Callebout Architects

60 61

62 63



Cidade da Cultura \_ Galiza \_ Peter Eisenman



Diagramas para Cidade da Cultura \_ Galiza \_ Peter Eisenman

Os diagramas analíticos, através de representação gráfica, tornam legível a informação sobre programa, lugar e relação entre componentes (fig.60). Para o grupo RoTo, este tipo de diagramas demonstra ser útil para ler e redefinir o sítio, de modo a permitir criar uma cartografia neutra para que o edifício comece a reflectir e assimilar todos os aspectos que o rodeiam<sup>96</sup>. Deste modo, os programas diagramáticos computacionais desenvolveram-se de modo a tornarem possível uma mais fácil compreensão de todas as condicionantes do projecto de Arquitectura. Por sua vez, os diagramas conceptuais permitem o desenvolvimento de conceitos e ideias abstractas, apoiando-se por isso num elevado nível de abstracção<sup>97</sup> (fig.61). Neste sentido, surgem como uma análise gráfica. Eisenman usa este processo de maneira a conseguir criar conhecimento que o arquitecto não tem<sup>98</sup>, revelando estruturas ocultas, descobrindo elementos exteriores aos próprios conceitos do autor. Um exemplo deste processo foi o usado para a *Cidade da Cultura da Galiza* em Espanha (fig.62), cujo projecto se iniciou a partir do diagrama da concha de Vieira ao qual sobrepôs o diagrama do traçado histórico de Santiago, permitindo-lhe começar a definir formas e espaços (fig.63).

Para Ben van Berkel os diagramas conceptuais são usados ao longo do processo de desenho, reflectindo na obra a intuição de um sistema abstracto de organização, conformado gradualmente por vários níveis de informação que tanto pode ser urbana como infra-estrutural<sup>99</sup>. No entanto, para este arquitecto a introdução do diagrama informático no processo de desenho permitiu-lhe - como explica no livro "Move" (1999) - fugir da ideia pré-concebida de que a Arquitectura deve basear-se em Arquitectura, alargando, assim, a inspiração para outras ciências mais avançadas que não comportam a carga da tradição e mostrando que os diagramas conduzem a Arquitectura para formas mais abstractas dos modelos geométricos. A introdução de diagramas como ferramenta dos métodos de projecto levou à criação de formas conseguidas através do uso de técnicas associadas à tecnologia. Impõem novos processos não-lineares que por sua vez são produtores de resultados diferentes. Deste modo e, tentando vencer as limitações dos processos diagramáticos existentes foram desenvolvidas novas técnicas que se encontram entre o mundo físico e o mundo abstracto das ideias, ligando o pensamento abstracto e a produção concreta, permitindo a expansão da imaginação espacial, ao mesmo tempo que apresentam características como flexibilidade, continuidade e inclusão<sup>100</sup>. Por exemplo, Eisenman usa processos externos à Arquitectura e modelos de outras disciplinas porque, na opinião deste,

---

<sup>96</sup> STEELE, James – *Arquitectura y revolución digital*. 2001, p. 89

<sup>97</sup> ELOUEINI, Ammar – *NU*, vol.17, p. 48

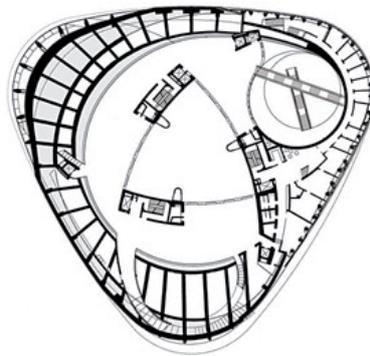
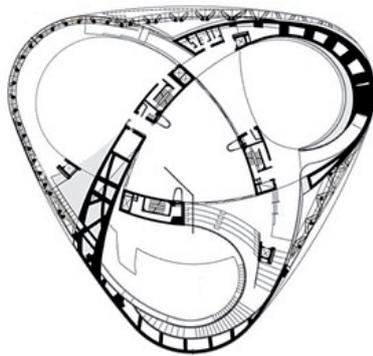
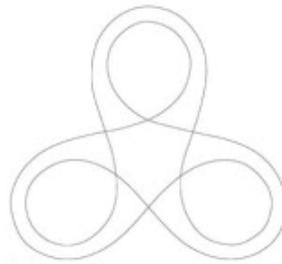
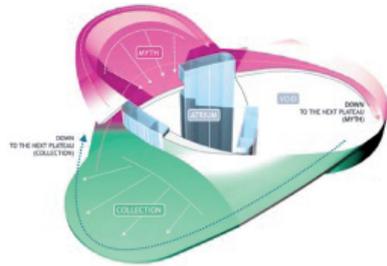
<sup>98</sup> EISENMAN, Peter – *EL CROQUIS*, vol.83, p.13

<sup>99</sup> LYNN, Greg - *EL CROQUIS*, vol.72, p. 27

<sup>100</sup> CAPELO, Ana Luísa Duarte - *Arquitectura na era da informação*. 2007, p. 66



Mercedes-Benz Museum \_ UNStudio



Diagramas para o Mercedes-Benz Museum \_ UNStudio

na Arquitectura actualmente não existem modelos adequados para descrever as complexidades do mundo. Conseguindo, ao mesmo tempo, mais autonomia para o arquitecto<sup>101</sup>.

Segundo Lynn, a tecnologia virtual de diagramas implicou uma nova atitude face à sua função no desenho arquitectónico, operando como instrumento conceptual, mais do que formalmente descritivos, não sendo materiais, nem funcionais, ideias, científicos, ou exactos<sup>102</sup>, permitindo que certas formas irreduzíveis se conceptualizassem rigorosamente a partir do seu uso como sistema dinâmico de organização, tirando partido do carácter abstracto, deixando os diagramas de serem meros instrumentos de exploração guiados pela intuição experimental, não estabelecendo qualquer relação linear ou casual com a forma, criando então uma nova metodologia que não se fixa só numa técnica. O desenvolvimento da técnica *Dynamics* permitiu assim, aos arquitectos a exploração de novas estratégias de projecto baseadas em diagramas animados. Estes, segundo Eloueini, constituem uma forma diferente de pensar o processo projectual, passando os diagramas a ser considerados «máquinas abstractas» que incluem elementos de programa, contexto, tectónica e estrutura e não congelam decisões formais relativas ao projecto. Substituem antes relações simples numa imagem por um ambiente de relações entre entidades e valores. Apresentam-se como uma ferramenta para o desenvolvimento de novos planos de criação formal<sup>103</sup>. Definem, assim, os diagramas generativos – animados ou processuais – topológicos, que não deixam de ser uma forma de representação, mas no entanto fazem a mediação entre uma construção real, palpável, com a “*architecture’s interiority*”<sup>104</sup>, materializando novos percursos possíveis para a Arquitectura. Neste sentido, o diagrama animado pode ser considerado como criação de uma estratégia que, com o auxílio do computador, permite transformar, gerir, ou até mesmo manipular no tempo um objecto e os diferentes factores, invisíveis ao Homem, mas que intervêm no processo de criação, pondo a descoberto coisas que o arquitecto desconhece.

Nos processos do grupo UNStudio a forma cresce a partir dos pontos de cruzamento dos próprios diagramas que, por serem dinâmicos e esquemáticos, não possuem de antemão características estilísticas específicas, permitindo uma maior liberdade no desenvolvimento da forma entendida como a interacção de múltiplos diagramas, processo que valoriza a natureza não-hierárquica e generativa do desenho<sup>105</sup>. No projecto para o *Mercedes-Benz Museum* (fig.64) o sistema de organização estrutural e programática e a geometria do próprio edifício, corresponde ao contexto da organização de percursos, tanto dos visitantes, como dos carros<sup>106</sup> (fig.65).

---

<sup>101</sup> EISENMAN, Peter – EL CROQUIS, vol.83, p. 18

<sup>102</sup> LYNN, Greg - EL CROQUIS, vol.72, p. 18

<sup>103</sup> ELOUEINI, Ammar – NU, vol.17, p. 49

<sup>104</sup> EISENMAN, Peter - Diagram Diaries. 1999, p. 27

<sup>105</sup> BERKEL, Bem van e BOS, Caroline – Move. 1999, p. 223



Hoje, os métodos usados em Arquitectura fortalecidos pelas possibilidades das novas tecnologias e dos programas computacionais usam técnicas diagramáticas que lhes permitem criar novos significados instrumentais e conduzir a Arquitectura para longe da fixação tipológica. Ao mesmo tempo, com os diagramas generativos, antecipam novas organizações e relações, fazendo o projecto avançar, introduzindo-lhe conceitos externos para criar uma forma específica como figura em vez de imagem ou sinal. Os diagramas trazem tempo e acção ao projecto e ao processo de modelação arquitectónica o que os modelos 3D ou desenhos tradicionais não conseguem, neste caso, os diagramas trabalham de modo a permitirem que a imaginação se alargue a assuntos exteriores a ela. É talvez esta capacidade de expandir a nossa percepção para domínios além do nosso conhecimento experimental, que permite controlar e determinar o processo de construção, que faz do computador um instrumento fundamental para a produção do virtual<sup>107</sup>. Podendo também ser uma das razões para o renovado interesse no diagrama e nas práticas diagramáticas. O potencial deste reside na produção de organizações com múltiplas leituras, prevendo ainda, a possível, adição de novas possibilidades e variáveis, que levam necessariamente a alterações no objecto durante o processo de concepção. Mas, como analisa Lynn, através dos diagramas animados a introdução de conceitos como força, movimento ou gravidade, pode provocar transformações formais. Por isso, a escolha da geometria a utilizar em cada passo do processo tem grande importância, uma vez que acarreta consequências formais nos passos posteriores do processo de criação da forma<sup>108</sup>. Assim, encontramos duas direcções no uso dos diagramas generativos, por um lado Berkel que, a partir das obras, demonstra que o diagrama pode ser entendido como uma matriz não tão formal, mas antes organizativa; enquanto Lynn procura demonstrar que o diagrama pode ser entendido como um meio de operação ou transformação formal. Em suma, o diagrama passa a ser considerado como uma espécie de narrativa processual, implicando, por isso, uma sequência transformativa e evidenciando mudanças nas soluções. Ao mesmo tempo prevê a inclusão de factores exteriores não partindo de objectivos claros para chegar a uma solução definitiva.

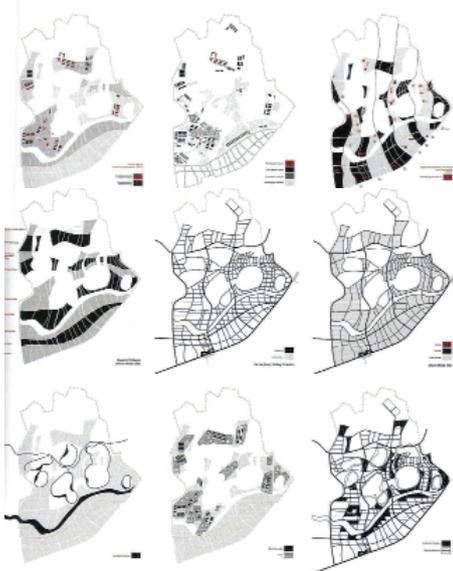
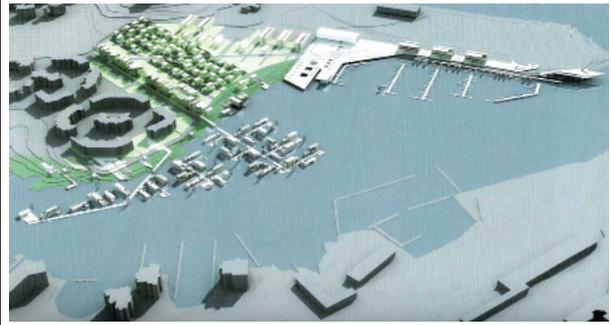
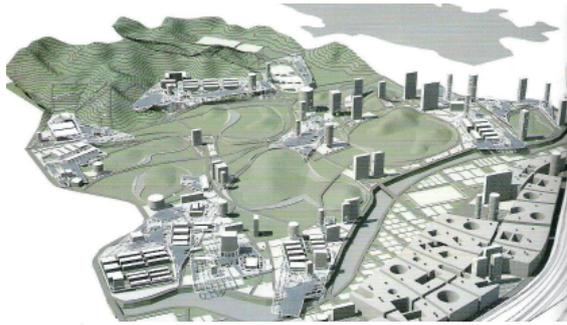
Não podemos, no entanto, deixar de reparar que, apesar de todos os benefícios e oportunidades que os diagramas trazem ao trabalho do arquitecto, existem ainda limitações incorporadas nesta ferramenta. Mark Garcia refere no livro *The Diagrams of Architecture* (2010), que os diagramas, em termos gráficos, têm pouca qualidade estética e não são arte; que a

---

<sup>106</sup> BERKEL, Bem van; BOS Caroline - UnStudio: design models, architecture, urbanism, infrastructure/ Bem van Berkel and Caroline Bos. 2006, p. 184

<sup>107</sup> BERKEL, Bem van; BOS, Caroline – Diagrams. In GARCIA, Mark - The Diagrams of architecture. 2010, p. 223

<sup>108</sup> LYNN, Greg - Animate Form. 1999, p. 17



66 67

Diagramas para STU Campus \_ CJ Lim | Studio 8 Architects

Diagramas para Touching Water \_ b 4 architects

68 69



Cristais de gelo



Bróculos

associação com o formalismo, redução, abstracção e simplicidade traz aspectos negativos e indesejáveis ao projecto; que não são lógicos, nem se conectam metodologicamente com o resultado final construído; que são pobres no mundo digital, uma vez que as ferramentas digitais tornam fácil a múltipla geração e as interacções associativas dos diagramas<sup>109</sup>. Neste sentido, questiona-se uma Arquitectura que se centra no processo criativo, fazendo reduções abstractas de problemas reais, passando para segundo plano as questões formais e esquecendo que depois de materializada a obra esse processo não se trespassará para os utilizadores. Uma Arquitectura em que a omissão involuntária de argumentos de peso e em que a falta de critério e de conhecimento dos temas tratados pode dar lugar a desenhos insatisfatórios e resultados invertidos. Um exemplo são os diagramas usados para o desenho urbano, que se apresentam úteis<sup>110</sup>, manipulando a imagem da cidade para criar uma cenografia desejável e negociável, no entanto têm limitações como qualquer dispositivo analítico, pois são redutivos e simplistas (fig.66 e 67).

### 2.2.1.2. *Geometria Fractal*

Um pouco à semelhança dos diagramas, embora num nível de exploração de técnicas matemáticas que permitem gerar forma, surge a geometria fractal. Esta consiste na linguagem de interpretação de formas e de padrões complexos da natureza, ou seja, descreve o que a Geometria Euclidiana não consegue descrever. Fornece, ao mesmo tempo, algoritmos para a construção de formas idênticas às naturais<sup>111</sup>. Tem, por isso mesmo, contribuído para o desenvolvimento da ciência ao fornecer ferramentas para descrever, modelar, analisar e medir o mundo, revelando conexões deste com as formas matemáticas (fig.68 e 69).

A referência à geometria fractal surge, neste contexto de processos generativos, na medida em que, com o avanço das tecnologias informáticas, foi possível desenvolver as aplicações matemáticas que permitem gerar diferentes composições gráficas não-lineares. Os fractais destacam-se ao darem ao arquitecto a possibilidade de conceber formas e espaços resultantes de diferentes alternativas metodológicas assentes em processos de diferentes campos científicos, que não especificamente da geometria fractal, disponibilizando um número ilimitado de interacções que aliado à multidisciplinaridade desta geometria permitem gerar essas formas, sendo por isso denominados de sistemas generativos fractais<sup>112</sup>.

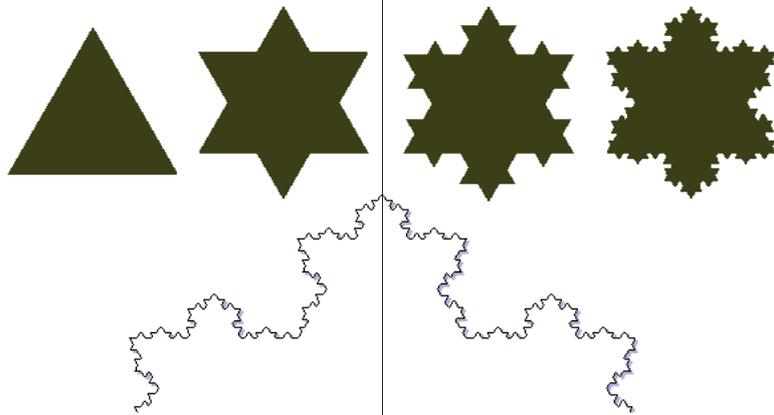
---

<sup>109</sup> GARCIA, Mark - The Diagrams of architecture. 2010, p. 33-34

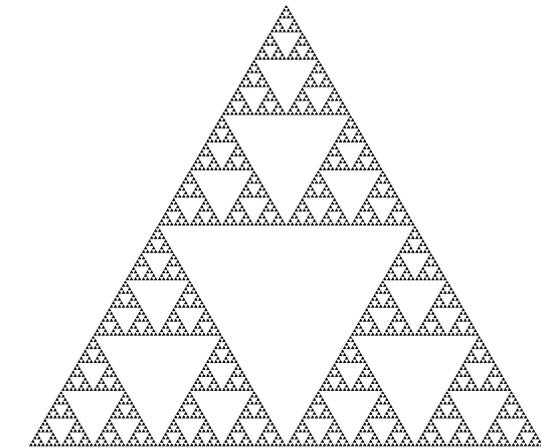
<sup>110</sup> SHANE, David Graham – The Diagrams of architecture. 2010, p. 80

<sup>111</sup> MANDELBROT, Benoit B. – The fractal geometry of nature. p.1

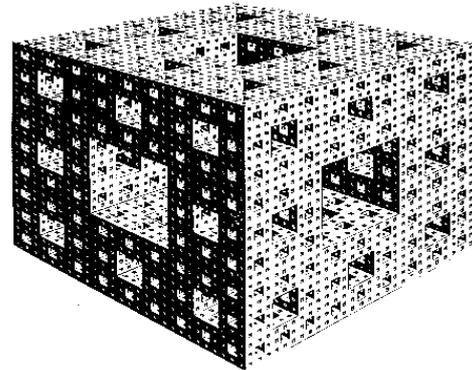
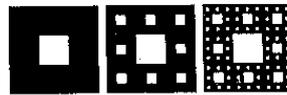
<sup>112</sup> NEGRÃO, Andreia Paula da Costa Quaresma - Arquitectura Fractal. 2007, p. 6



Curva Koch



Triângulo de Sierpinski



Esponja Sierpinski

O processo interactivo inerente à geometria fractal pode então beneficiar a evolução da concepção arquitectónica, permitindo repetir um mesmo processo a partir do qual surgirá a forma. Apoiase, para isso, em fórmulas matemáticas introduzidas no computador de modo a estabelecerem os procedimentos para a geração, permitindo a apropriação dos processos generativos inerentes à geometria fractal, de maneira a serem interpretados para a elaboração de um projecto. Por exemplo, em relação aos fractais geométricos, este processo interactivo pode acontecer a partir de uma determinada sucessão de operações gráficas, onde um elemento da geometria clássica se repete, sendo o processo interactivo iniciado com a substituição de cada um dos segmentos do iniciador pelo gerador, definindo níveis de interacções<sup>113</sup>. Este exemplo pode ser explicado a partir da *curva Koch* (fig.70) ou do *triângulo de Sierpinski* (fig.71) e em termos volumétricos com a *esponja de Sierpinski* (fig.72).

Os primeiros resultados de uma ligação entre a Arquitectura e a geometria fractal começaram a surgir após as investigações de Benoît Mandelbrot, usando meios computacionais, que tornaram possível conseguir resultados visuais satisfatórios a partir da reprodução de um fractal. Antes, estes resultados eram difíceis de obter uma vez que os cálculos eram feitos manualmente. Através da criatividade e compreensão da lógica interactiva da geometria fractal tornou-se possível obter formas aplicáveis aos mais variados temas da Arquitectura, tendo então a geometria fractal conseguido aquilo que outras formas de representação foram conseguindo ao longo do tempo, ou seja, abriu novos caminhos para as artes<sup>114</sup>. A partir de estudos, Mandelbrot desenvolveu um método a que chamou «método de deslocação do ponto médio» o qual surgiu com base nas investigações feitas ao uso da geometria fractal para a compreensão das características de rugosidade de superfícies e topografia<sup>115</sup>. Tanto para figuras bidimensionais como para formas tridimensionais os elementos ou objectos podem ser gerados através da subdivisão recursiva de uma figura ou volume, a partir das quais se conseguem formas semelhantes a si mesmas. Este tipo de exercício pode, hoje, ser experimentando usando, por exemplo o *software 3DStudio Max*, o qual possibilita, entre tantas outras coisas, deslocar um ponto de um segmento de recta alterando a figura geométrica por eles definida.

Um outro processo permitido pelo uso dos sistemas fractais, embora não dissociado do uso de suporte informático, baseia-se na agregação limitada por difusão. Este permite simular graficamente as estruturas adjacentes a crescimentos naturais como a estrutura de alguns cristais, colónias de bactérias ou corais que crescem por adição aleatória de novos constituintes<sup>116</sup> (fig.73

---

<sup>113</sup> SANTOS, Carlos Pereira dos – Mandelbrot: os fractais. 2007, p. 21

<sup>114</sup> *Idem*, p. 16

<sup>115</sup> MANDELBROT, Benoît – Objectos fractais: forma, acaso e dimensão. 1998, p.33

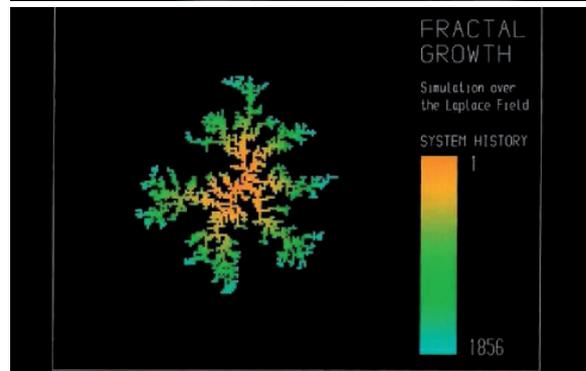
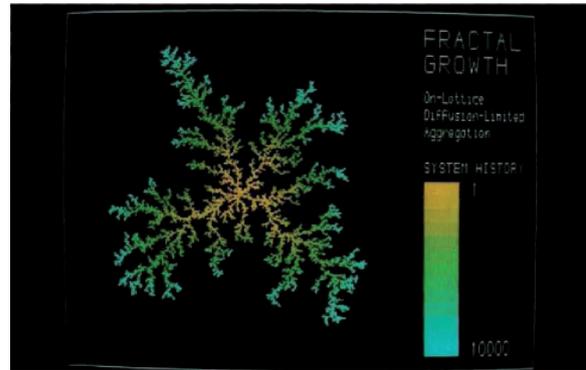
<sup>116</sup> NEGRÃO, Andreia Paula da Costa Quaresma - Arquitectura Fractal. 2007, p. 102



Cristal

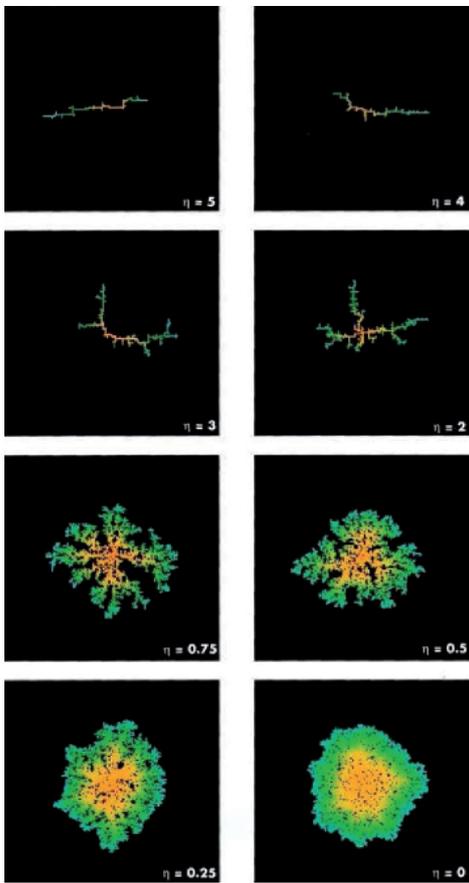


Coral



Estudo da composição de uma cidade

73  
74 75  
76 77



Estudo da composição de uma cidade



Gavia Park \_ Toyo Ito

e 74). Este método define-se por um ponto num sistema de coordenadas, sendo posteriormente colocado um novo ponto afastado do inicial, que se moverá aleatoriamente através de intrusões definidas pelo algoritmo, até tocar no ponto inicial, ficando imobilizado. O processo repete-se continuamente através da colocação de novos pontos, demonstrando-se, assim, útil sobretudo para a análise, simulação e compreensão do desenvolvimento da forma física das cidades.

A partir da evolução destes processos generativos, Batty e Longley desenvolveram estudos com os quais mostraram que as cidades apresentam características que podem ser explicadas, cientificamente, pela geometria fractal. Verificaram que as propriedades dos fractais podem equivaler às dos padrões urbanos. Consequentemente, os conceitos desta geometria passam a ser utilizados à escala urbana como ferramenta de desenho para estudos de modelos de crescimento e estudos comparativos entre padrões fractais e outros indicadores (fig.75 e 76). Esta aplicação, permitiu, ainda, a abstracção de conceitos de modo a estabelecer critérios para o planeamento urbano, usando sempre como base a auto-similaridade característica dos fractais<sup>117</sup> e facilitando a simetria através dos vários níveis de escalas. Nesta base, desenvolveram uma proposta para a cidade de Zurique, gerada a partir de um programa de computador com variáveis fractais, em que a compreensão da malha original geradora da expansão da cidade teria sido difícil sem os meios computacionais que proporcionaram uma visão de pormenor.

Mais recentemente, Toyo Ito recorreu, também, a uma composição fractal para a organização topográfica do *Gavia Park* (2003), onde o objectivo era a purificação da água que correria nos canais criados. A proposta inclui a criação de dez “árvores-de-água” abstractas, cujos galhos resultam de um sistema fractal, ditando então a topografia do parque (fig.77). Nesses galhos correria a água que seria tratada à medida de fosse passando de canal para canal. A topografia criada pelas árvores de água dá lugar, em determinadas zonas, a espaços verdes abertos, noutros, a espaços arborizados, gerando ao mesmo tempo uma mudança contínua das características da vegetação<sup>118</sup>.

O projecto de *Coop Himmelb(l)au* para o *Pavilion 21 MINI Opera Space* em Munique, Alemanha (2008-2010), onde ocorre uma graduação em escala dos elementos tanto da fachada como dos interiores, evidência, por sua vez, a aplicação das equações matemáticas de base fractal para a geração de forma<sup>119</sup> (fig.78 e 79). Este sistema de funções interactivas demonstrou ser eficaz, para a concepção de formas de aspecto natural devido à capacidade de gerar uma imagem de grande complexidade e detalhe, apenas com a introdução e armazenamento de dados num programa gráfico, ou seja, a partir de regras simples. O mesmo acontece no pavilhão

<sup>117</sup> SANTOS, Carlos Pereira dos – Mandelbrot: os fractais. 2007, p. 22

<sup>118</sup> ITO, Toyo - EL CROQUIS, vol.123, p. 238

<sup>119</sup> <http://www.designboom.com/weblog/cat/9/view/8211/coop-himmelblau-pavillion-21-mini-opera-space.html> (consultado a 22 de Abril de 2011)

78

79



Pavilhão 21 MINI Opera Space \_ exterior \_ Coop Himmelb(l)au



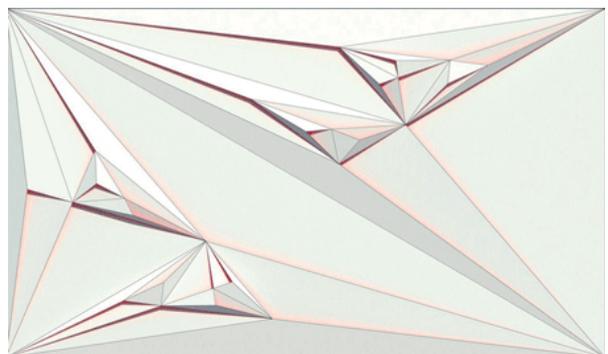
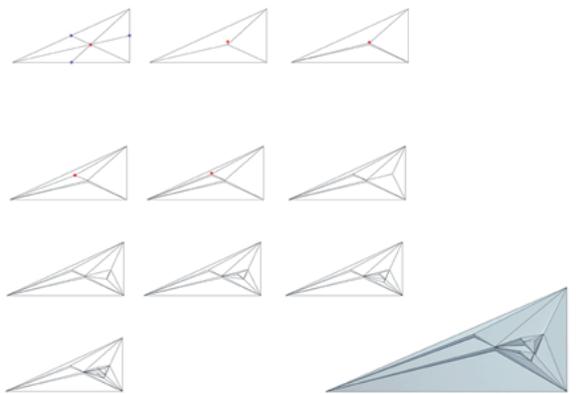
Pavilhão 21 MINI Opera Space \_ interior \_ Coop Himmelb(l)au

80

81



Pavilhão Embedded Project \_ HHD FUN com Aaajiao



Estudo da superfície para o Pavilhão Embedded Project \_  
\_ HHD FUN com Aaajiao

*Embedded Project* de HHD FUN em colaboração com Aaajiao (Xu Wenkai) (fig.80). Trata-se de uma instalação temporária e interactiva onde através de uma superfície composta por triângulos divididos e subdivididos num padrão fractal, de modo a gerar triângulos cada vez menores, bem como um padrão mais denso, foi possível criar uma variação de escala através dessa mesma superfície<sup>120</sup> (fig.81).

Na Arquitectura a geometria fractal pode hoje ser usada como elemento de inspiração a partir das estruturas e propriedades que os fractais disponibilizam, deixando transparecer nas obras o génio fractal. Definindo-se, assim, uma Arquitectura caracterizada pela diversidade de formas e organizações espaciais, pela complexidade ordenada das técnicas de produção<sup>121</sup>, onde os arquitectos trabalham com curvas, linhas, planos ou volumes que remetem para os fractais e consequentemente para a possibilidade de construir com base nas mesmas leis pelas quais a Natureza se gere. Usa-se para tal um processo interactivo onde a geometria transcende o estatuto de simples instrumento de representação pois passa a ser usada como forma de pensamento arquitectónico e gerador de formas. *“Abandoning traditional architectural design methodology and using this computational algorithm, the artists(architects) seek to challenge the traditional top-down design method. Connecting the logic of the algorithm and its execution process with physical architecture can generate unexpected results”*<sup>122</sup>. No entanto, tudo isto teria sido difícil de conseguir sem a criação e desenvolvimento das aplicações informáticas CAD. Estas possibilitaram o aumento da exploração e estudo deste tipo de geometria, podendo resultar em diferentes abordagens devido à criação de ferramentas analíticas a generativas aplicadas na Arquitectura e Urbanismo com base nos conceitos da geometria fractal. Por outro lado, permitiu a atribuição de restrições, de modo a controlar este tipo de geometria. Assim, o computador veio possibilitar a criação e simulação dos processos matemáticos que geram as formas complexas dos fractais, possibilitando também, através de um processo generativo, incluir transformações aleatórias controladas pelo arquitecto. Os processos generativos baseados nas propriedades dos fractais facilitam, a partir de regras e introduzindo ao mesmo tempo ordem geométrica e complexidade regulada no processo criativo, utilizando simetria, assimetria e escalonamento, gerar formas iniciais para o projecto, bem como diversas interpretações, sendo ainda possível, a partir do mesmo padrão fractal, gerar objectos completamente diferentes. Tal como os diagramas, estes processos e formas, por si só, não são sinónimo de desenho de Arquitectura, são antes esquemas

<sup>120</sup> <http://blog.hhd.fun/?p=665> (consultado a 22 de Abril de 2011)

<sup>121</sup> NEGRÃO, Andreia Paula da Costa Quaresma - *Arquitectura Fractal*. 2007, p. 109

<sup>122</sup> [http://www.dezeen.com/2010/03/19/embedded-project-by-hhd\\_fun/#more-70330](http://www.dezeen.com/2010/03/19/embedded-project-by-hhd_fun/#more-70330) (consultado a 22 de Abril de 2011)



geométricos que podem ser usados como suporte de materialização do projecto ou como instrumento conceptual<sup>123</sup>.

Em termos estruturais as pesquisas desenvolvidas e os *softwares* usados permitiram uma estabilidade estrutural, em parte graças aos padrões geométrico deste tipo de composições. Ao ser um processo que se repete sobre si mesmo permite criar estruturas complexas<sup>124</sup>. Por isso, um edifício projectado com base nestes princípios tem a estrutura definida pela volumetria e vice-versa, destacando-se acima de tudo por serem composições diferentes, de certa forma exuberantes.

### 2.2.1.3. *Geração de estrutura*

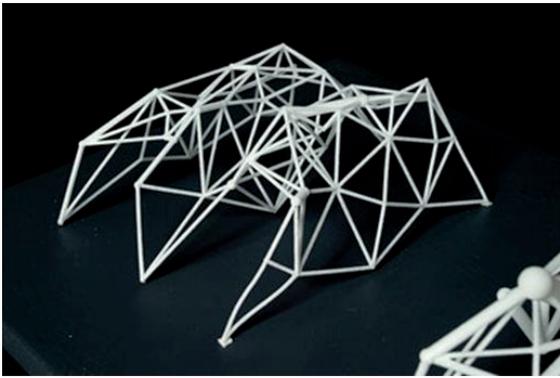
Hoje, a produção avançada do projecto arquitectónico não se restringe apenas aos temas tradicionais usando ferramentas computacionais, antes, como temos vindo a verificar, a «arquitectura digital» funda-se numa forma digital de pensar, caracterizada pelo uso nas novas técnicas ou estratégias que começam a apresentar a arquitectura enquanto processo programável. Deste modo, os processos morfogenéticos baseados em lógicas combinatórias, como metodologias aplicadas ao design, devem ser examinados e desenvolvidos.

As tecnologias digitais de desenho, engenharia e fabrico têm vindo a redefinir a relação entre o mundo da informação digital e a realidade material conseguindo ultrapassar as limitações. O arquitecto deixa de estar apenas preocupado com o desenho da forma arquitectónica, passando a virar a atenção, também, para a integração e controlo dos processos de projecto digitais e estratégias de construção inerentes às propostas, desde a fase de concepção. Devido à complexidade formal introduzida na Arquitectura, graças ao desenvolvimento das potencialidades das ferramentas tecnológicas, houve necessidade de fazer acompanhar estas complexas configurações de estruturas viáveis que se encontrassem em harmonia com elas. Neste sentido e, com base na exploração dentro e fora da Arquitectura foram (re)introduzidos, desenvolvidos ou aperfeiçoados processos que permitiram a geração dessas estruturas, assentes em bases algorítmicas, que por sua vez originaram novas composições, aproximando ainda mais o arquitecto do processo construtivo. O recurso a processos digitais de carácter paramétrico permitiu assim a associação de propriedades físicas, mecânicas, estruturais ou de fabrico aos parâmetros de criação e controlo da forma. Embora as ferramentas digitais contenham em si a complexidade que as capacita para a representação de qualquer situação imaginada, estão limitadas às

<sup>123</sup> NEGRÃO, Andreia Paula da Costa Quaresma - *Arquitectura Fractal*. 2007, p. 110

<sup>124</sup> SANTOS, Carlos Pereira dos – *Mandelbrot: os fractais*. 2007, p. 24

82



Open source architecture, l'hylomorphic project

83



Experimental Structure \_ Kristina She com, Neil Leach

configurações, não tendo, por isso, uma solução que contribua para a geração de alternativas estruturais associadas ao processo de projecto. Neste sentido, os arquitectos começam a explorar opções que lhes permitam contar com uma nova desenvoltura estrutural, explorando novas formas, combinações, organizações e tectónicas, suscitando novas respostas a processos evolutivos formais patentes de noções estruturais, resultantes da associação com o processo algorítmico e numa interpretação fluida com as relações geométricas e estruturais, baseando-se na ideia de fusão e quebra da hierarquia entre desenho e cálculo, digital e material, arte e ciência<sup>125</sup>.

O *eifForm* surge neste âmbito, ligado a uma nova geração que procura dar à Arquitectura e aos programas digitais de modelação progressiva uma necessária parceria estrutural, contribuindo para o surgimento de soluções fornecedoras de geometrias diferentes. Gerador de estruturas geodésicas *não-standard* e ferramenta de optimização desenvolvido por Kristina Shea, o *eifForm* apresenta-se com o objectivo de dar à Arquitectura um genoma estrutural, capacidade algorítmica de carácter tectónico, de modo a que esta disciplina não avance no sentido da criação de volumetrias sem qualquer consistência construtiva, contribuindo para a geração de uma evolução projectual integrada<sup>126</sup>, que age sobre técnicas analíticas num ambiente computacional, de modo a constituir um sistema de síntese estrutural que se baseia na performance evolutiva. A gramática estrutural usa-se para repensar a relação entre forma e função através da pormenorização de determinadas transformações estruturais controladas, uma vez que se baseia num processo evolutivo e analítico, gerador de formas e superfícies livres. Tem uma tipologia triangular onde a performance evolutiva se avalia face aos limites aceitáveis de força, fragilidade e deslocação (fig.82 e 83). Não se trata, no entanto, de uma modelação processual estrutural de determinado material antes, a estrutura apresenta-se como condutora de uma nova definição de forma, numa conceitualização e formalização de superfícies triangulares autoportantes<sup>127</sup>. Remete-nos, assim, para o facto de a tectónica já não precisar de ser encarada como um sistema estandardizado de pilares e vigas, podendo antes resultar de procedimentos intrincados de espaços não lineares, rigorosos e detentores de potencial estético. Abre o campo de exploração a novas possibilidades estruturais. Exemplo disso pode ser o trabalho de Toyo Ito, que não deixando de atribuir às obras uma validade autêntica, admite que na última década o modo de pensar no sistema estrutural sofreu uma mudança drástica, sobretudo devido aos progressos na área da

---

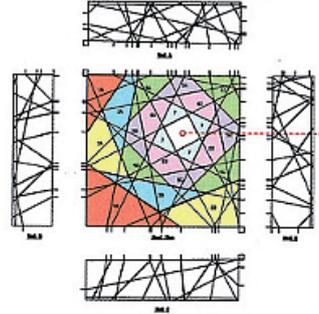
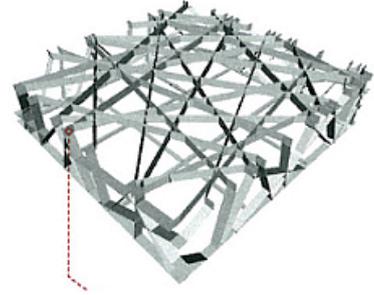
<sup>125</sup> SOUSA, José Pedro – *Arquitectura e Vida*, vol. 63, p. 36

<sup>126</sup> *Idem*

<sup>127</sup> ALBUQUERQUE, João - *Dis[curso]*, 2005, p. 129



Serpentine Gallery \_ Toyo Ito



Desenvolvimento do sistema estrutural do Serpentine Gallery \_ Toyo Ito



Maqueta para o calculo funicular \_ Gaudí

tecnologia informática, capazes de solucionar as questões mais complexas na sua irreduzível complexidade<sup>128</sup>.

O projecto para o *Pavilhão Serpentine Gallery* (2002) incorpora essas novas abordagens estruturais através da aplicação de uma estrutura não-linear, onde Ito não faz qualquer distinção entre pilar e viga, propondo ao mesmo tempo romper com as hierarquias espaciais existentes (fig.84). Liberta a Arquitectura da história para propiciar uma sensação de abertura. Para a sua formalização partiu de um sistema onde os pontos de intersecção gerados pelo algoritmo se conectam entre si, permitindo que as linhas da estrutura dividissem a superfície desenhando um motivo poligonal que não deixa revelar a estrutura, mas também a não oculta (fig.85). Neste sentido, as superfícies ao não estarem submetidas a elementos arquitectónicos, aparecem simplesmente como um motivo decorativo<sup>129</sup>.

Um outro processo - hoje actual entre os que exploram formas avançadas de utilização do computador em Arquitectura - tem vindo a ser desenvolvido e aplicado durante décadas, tendo sido usado por Gaudí para conseguir uma aproximação à optimização natural das estruturas encontradas na natureza.

A simplicidade da contemplação da Natureza para resolver problemas de Arquitectura fazia desconfiar Gaudí dos complexos cálculos matemáticos, optava, por isso, por fazer testes empíricos realizando experiencias que lhe permitissem calcular as cargas da estrutura ou a forma final de um elemento decorativo<sup>130</sup>. Evolui, então, dos protótipos para os modelos de teste como a maquete «invertida» de modo a permitir o cálculo funicular (fig.86). Desenvolvia, depois, uma exploração formal ao mesmo tempo que optimizava estruturalmente essas soluções. Nestes modelos eram segmentados arcos catenários pela suspensão de cargas que os sujeitam a forças de tensão. Essa força correspondia ao peso da carga que o edifício tinha que suportar. Ao mesmo tempo, recorria a geometrias regradas de modo a conseguir desenhar uma continuidade formal entre os elementos estruturais verticais e horizontais assentando a construção geométrica das formas em regras claras e precisas. Neste sentido, Gaudí experimentou uma espécie de computação sem computadores<sup>131</sup>, conseguindo aproximar a qualidade das criações arquitectónicas à optimização natural das estruturas encontradas na natureza.

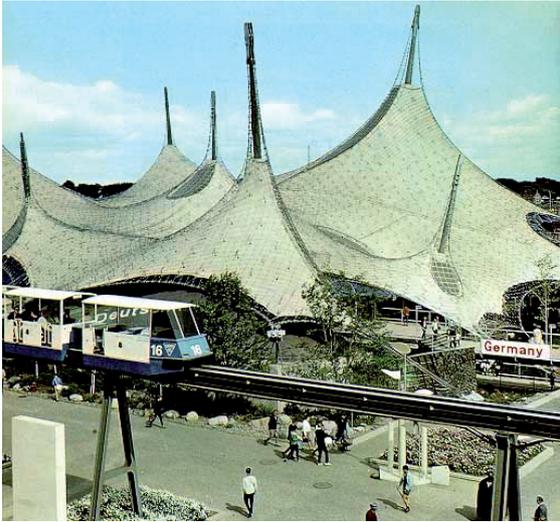
---

<sup>128</sup> ITO, Toyo – Toyo Ito: Conversas com estudantes. 2005, p. 34

<sup>129</sup> ITO, Toyo - EL CROQUIS, vol.123, p. 175

<sup>130</sup> CUITO, Aurora - Gaudí: toda su arquitectura. 2003, p. 12

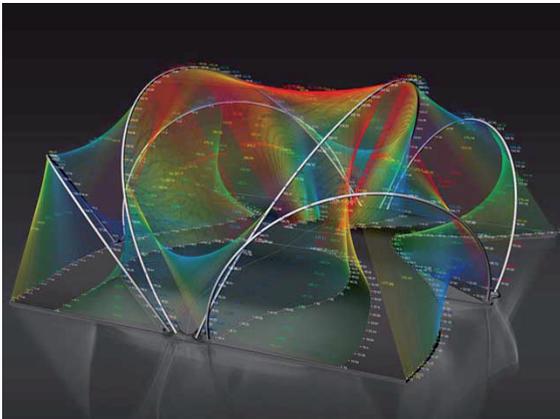
<sup>131</sup> SOUSA, José Pedro - Arquitectura e Vida, vol.68, p. 27



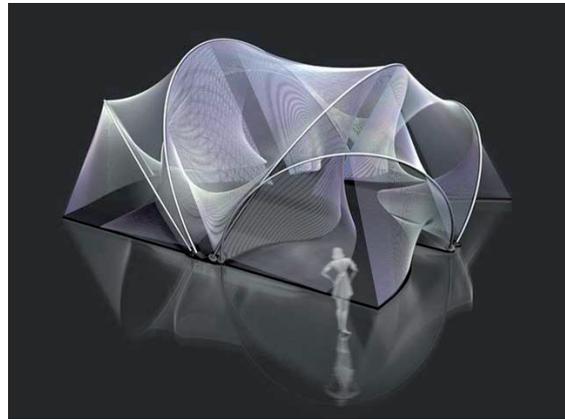
Pavilhao da Alemanha para a Expo 67 \_ Frei Otto



Escobedo Vault



Pavilion for the 11th Prague Quadrennial, OCEAN NORTH, Scheffler + Partner, 2007



87 88

89

Este mesmo processo, formalmente conhecido por *Form Finding*, encontrou outros precursores ao longo do século XX como Frei Otto, que procurou também retirar lições de formações materiais da natureza, de modo a poder reciclá-las para o mundo tecnológico construtivo, proporcionando e ministrando soluções eficazes, a partir de processos de modelações físicas reveladoras de forma e estrutura. Usa-o como instrumento projectual que se baseia em processos experimentais de auto-organização de outros sistemas sob a influência de forças interiores, analisando a acção destas sobre o desenvolvimento da forma, vincando assim o facto de forma e força estarem interligadas (fig.87). O processo *Form Finding*, de base analítica, não programada, reflecte em si preocupações formais e estruturais. Ambiciona uma estagnação balanceada, de base e princípios orgânicos, em prol de uma formalização bem sucedida<sup>132</sup>. Por isso, este tipo de processos está provido de uma capacidade de resposta especulativa, potencial, prática e concreta, sendo desenvolvidos em parceria com um sistema normativo pré-existente. Embora tenham uma liberdade condicionada, porque regidos por parâmetros da estrutura, da resistência e do comportamento do processo, os processos *Form Finding* exploram vias diferentes para a emergência de novas formas e comportamentos. Partem de sistemas complexos em que a geometria faz parte da inter-relação entre o padrão e a forma do processo interactivo e do crescimento ou desenvolvimento do sistema. Assim, este sistema estende-se para o domínio digital para desenvolver as potencialidades. Hoje, procedimentos semelhantes ao *Form Finding* são continuamente explorados, defendendo a liberdade formal controlada por um limite estrutural estipulado pelo sistema da própria máquina. Nesta base, Axel Killiam desenvolve uma aplicação neste campo baseando-se na geração interactiva de sistemas de catenárias. Killiam procurou desenvolver uma aplicação informática que permitisse gerar formas baseadas em sistemas de catenárias partindo da indicação de pontos no espaço que deixavam ver o desenvolvimento geométrico das catenárias seguindo leis físicas e estruturais<sup>133</sup>. Este programa possibilitou a planificação dos diversos membros estruturais dos componentes de forma a orientar o fabrico e construção de um protótipo físico (fig.88 e 89).

---

<sup>132</sup> ALBUQUERQUE, João - Dis[curso].2005, p. 114

<sup>133</sup> SOUSA, José Pedro – Arquitectura e Vida, vol. 63, p. 36



## 2.2.2. Potencialidades

Os processos analisados demonstram, uns mais outros menos, como pode o computador ser usado para criar formas que de certa maneira caracterizam a realidade digital do mundo em que vivemos. Aliando rigor e racionalidade foi possível criar configurações que são os reflexos da revolução tecnológica, reflectindo ao mesmo tempo a capacidade dos arquitectos em se enquadrarem nessa revolução, ajudando na evolução e demonstrando que pode ser viável. Estes processos e os projectos executados a partir deles provam que se consegue conduzir um projecto com meios digitais.

Abrindo caminho para novos campos de exploração da forma e para outras preocupações, o computador difundiu-se e interferiu nos processos criativos e produtivos da prática arquitectónica. A tecnologia digital apresenta-se como um importante espaço para a investigação em Arquitectura alternativo às linhas de pesquisa tradicionais. Neste sentido, a computação emerge sustentando duas linhas de investigação que podem coexistir entre si. Por um lado, a especificidade da Arquitectura que abre um «território» de estudo próprio, por outro, a transversalidade desta que se apresenta como um «meio» imprescindível para o actual estudo das várias tecnologias que lhe estão associadas<sup>134</sup>. “A tecnologia questiona os objectivos sobre os quais actua, porque os configura, porque os influencia, porque os transforma”<sup>135</sup>.

Ao longo da história os arquitectos têm encontrado na Natureza um modelo de inspiração e conhecimento, encontrando nela estratégias para unir forma, estrutura e funcionalidade. “Os edifícios deviam nascer da paisagem e talvez inclinar-se até formas biomórficas mais do que para geométricas. Esta Arquitectura «orgânica» pode favorecer as derivações curvas da linha recta ou plana, e emergir no contínuo fluir de uma paisagem que foge da clara definição de elementos tão característica do raciocínio humano”<sup>136</sup>. Com as tecnologias digitais os arquitectos encontraram novos métodos que permitem explorar ao máximo essa inspiração, onde as analogias funcionais entre biologia e Arquitectura são feitas através de processos digitais de carácter generativo e evolutivo. Desta forma, programas que simulam regras de selecção natural e de desenvolvimento dos seres vivos, podem ser empregues na resolução de problemas arquitectónicos tornando possível programar, simular e gerar geometrias num ambiente virtual. Altera-se, então, a metodologia utilizada para conseguir uma determinada forma<sup>137</sup>. Assim, a Natureza deixa de ser

---

<sup>134</sup> SOUSA, José Pedro – *Arquitectura e Vida*, vol.69, p. 23

<sup>135</sup> LISBOA, Fernando - *Desenho de arquitectura assistido por computador*. 1997, p. 31

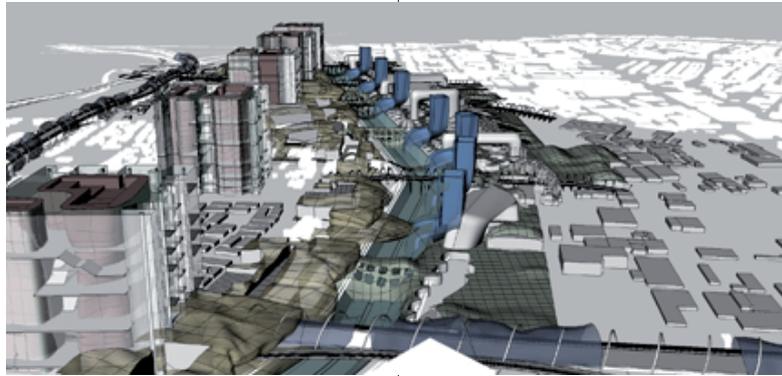
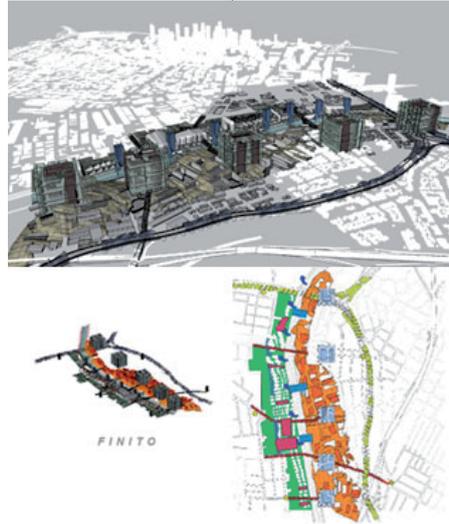
<sup>136</sup> ARNHEIM, Rudolf - *A dinâmica da forma arquitectónica*. 1988, p. 169

<sup>137</sup> COSTA, Mauro – *Arquitectura e Vida*, vol. 74, p. 28



elemento exterior passando a ser incorporada como fenómeno que transmite informação para a criação de soluções arquitectónicas.

Em suma, as ferramentas digitais conseguem produzir efeitos ao nível da concepção arquitectónica uma vez que dão ao arquitecto a oportunidade de explorar soluções alternativas para o processo criativo, permitem analisar e testar a sua viabilidade do ponto de vista performativo. O computador pode, assim, tornar-se parceiro activo para a evolução do projecto.



The City of the Future \_ Eric Owen Moss

### 2.3. O computador como equilíbrio não hierárquico entre tecnologias tradicionais e digitais

Em última análise encontra-se um método em que o computador não se utiliza como ferramenta auxiliar ou que comanda o projecto. Antes os arquitectos associados a este método recorrem ao computador como uma forma de deter o projecto em determinadas situações<sup>138</sup>, ou seja, ao contrário do que Gehry faz recorrendo ao computador ao longo de toda a fase de documentação e representação do projecto, aqui, arquitectos como Eric Owen Moss, assumem que existem momentos do processo que exigem uma intervenção manual e empírica. Neste sentido, esta terceira forma de usar o computador equivale aos híbridos gráfico – digitais, ou seja, às experiências que demonstram um equilíbrio não hierárquico de forças entre tecnologias tradicionais e contemporâneas no acto de projectar. O digital alia-se ao manual e vice-versa, não se impondo um ao outro. Este modo de usar do computador permite deter o projecto em momentos determinantes para o desenvolvimento do mesmo.

Ao logo da pesquisa feita relativamente ao papel do digital no projecto de Arquitectura foi evidente a escassa informação relativamente a esta ultima forma de uso do computador. Em parte, talvez se deva à “euforia” provocada pelo método anteriormente analisado no qual as formas são geradas por meio de animações feitas em computador, onde os instrumentos digitais passam a ser ferramentas determinantes para a fase de concepção de Arquitectura, abrindo novos campo de investigação que vão para além desta disciplina. Mas, também se poderá dever à rapidez com que se está a produzir a mutação electrónica no espaço que habitamos, criando uma espécie de cegueira provocada pela dependência cada vez maior dos computadores no processo de desenho. Predomina então a ideia de que a tecnologia está a cima de qualquer tipo de duvida ou discussão. Ainda assim, estas tecnologias não constituem um fim em si mesmas.

No que respeitas aos chamados híbridos gráfico – digitais, o trabalho que serve de exemplo pode ser o processo do arquitecto Eric Owen Moss para Culver City, a oeste de Los Angeles (fig.90). Este projecto possibilitou, através da Arquitectura, a transição de uma economia industrial para uma economia de serviços baseada na informação, estimulando a retomada do desenvolvimento local numa altura em que o computador permitiu acelerar os tempos dedicados ao projecto mas, no entanto, não favoreceu o aumento de tempo de descanso a que se suponha levar. Em Culver City, ao estar associado com um promotor que possui a maior parte do solo da cidade, Moss tem a oportunidade de desenvolver, quase individualmente, uma nova maneira de

<sup>138</sup> STEELE, James – Arquitectura y revolución digital. 2001, p.65



Pittard Sullivan \_ Eric Owen Moss



Cobertura de Vidro do Green Umbrella \_ Eric Owen Moss

trabalhar com híbridos gráfico-digitais. Assim, este projecto, quase se tratou de uma espécie de reabilitação dos edifícios industriais existentes para receberem um novo tipo de empresas ligadas à electrónica, exigindo por isso novos programas arquitectónicos. A “cidade do futuro”<sup>139</sup> imaginada por promotor e arquitecto, em que os edifícios, tanto existentes como os do projecto, estavam conectados e unidos, funcionaria a partir de um sistema de transporte, de residências e de parques. No entanto, o aspecto mais significativo de cada uma das peças que constituem o puzzle, está no facto de cada uma se encontrar num contexto já existente em que em vez do edifício ter sido destruído para criar uma nova alternativa foi redesenhado não alterando a essência. Ao manter a envolvente proporcionou novas topologias urbanas. A tentativa de tentar moldar-se aos detritos urbanos existentes em vez de os apagar, criou uma nova metodologia de pensar, em termos de interacção de sistemas quase teatrais.

A natureza transitória da ocupação dos espaços que estavam a ser projectados exigiu que Moss actuasse de modo extremamente flexível. A proposta de Pittard Sullivan (1997) (fig.91) é talvez o exemplo mais claro das estratégias diversificadas que este novo contexto requer. Cria, por si, uma necessidade taquigráfica verbal que permite acelerar o processo. Moss pode, também, ser um exemplo de arquitecto/escultor e, tal como Gehry, parece ter reforçado a «veia» escultural dos projectos com o uso da tecnologia informática. A experiência deste, contudo, difere da de Gehry. Este utiliza a informação contida no modelo 3D para em parte comandar directamente máquinas de fabrico controladas numericamente por computador sem que para tal haja necessidade de produzir qualquer representação intermédia. Moss, por sua vez, propõe rever o domínio da tecnologia de modo a conseguir controlar o processo de fabricação das peças de construção, já que, apesar da grande precisão e correcção dos dados cientificamente controlados por computador, alguns momentos do processo exigem uma intervenção manual e empírica. Neste sentido, para Moss a investigação gráfica desempenha ainda um papel importante nos projectos. Tal como mostram os esboços feitos para a cobertura de vidro de *Green Umbrella* (1996) (fig.92) de modo a complementarem a precisão digital de forma reflexiva, ou seja, nenhum sistema predomina sobre o outro. “*The making of the laminated glass necessitated the hiring of a special glass subcontractor - California Glass Bending - to work with the architects and engineers during the design process. This insured that all the design, engineering, budget and installation objectives - intentionally separated from the more conventional design and construction concerns of the project - were met. This form of glass fabrication and installation had never been accomplished before. Working together with engineers*

---

<sup>139</sup> STEELE, James - Arquitectura y revolución digital. 2001, p. 162



Sunlaw Power Plant Sketch \_ Moore, Ruble & Yudell

*and sub-contractors, a sophisticated system was perfected and installed.*"<sup>140</sup> A posição que Moss tenta defender revela-se crítica<sup>141</sup> pois implica a completa revisão de tudo o que se tem feito até agora, uma vez que o trabalho deste anuncia que existe uma grande variedade de alternativas convincentes, não apenas digitais, para ensaiar protótipos para uma alteração estrutural, sem que as possibilidades de negócio se vejam ameaçadas.

Num outro cenário, a uma escala menor, encontra-se a proposta dos arquitectos Moore, Ruble e Yudell (MRY). Trata-se do protótipo para uma «casa do novo milénio» onde o programa foi trabalhado de modo a conciliar as necessidades humanas básicas e as rápidas e diferentes mudanças próprias da contemporaneidade. No entanto, as propostas deste encontram-se, em termos teóricos, no extremo oposto das de Moss, uma vez que não usam os sistemas informáticos para controlarem o processo de fabricação das peças, mas antes para simularem os diferentes ambiente possíveis de existirem durante a vida dos projectos. Neste sentido, no processo de projecto combinam desenhos à mão livre com imagens digitais. Utilizam, assim, uma técnica híbrida para criar um vocabulário de componentes construtivos que são combinados de um modo particular em cada situação à qual se tenham que adaptar (fig.93). É como que uma espécie de jogo. Logo, simulam virtualmente as qualidades de luz e espaço para cada uma das configurações e adaptações de modos de vida ou alteração de modelos familiares mais possíveis. A tecnologia híbrida permitiu, a estes arquitectos, manter o carácter formal tradicional, proporcionando-lhes uma metodologia mais sistemática.

---

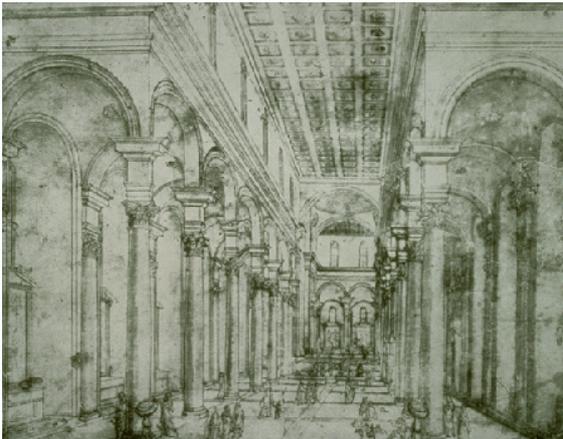
<sup>140</sup> [http://www.ericowenmoss.com/index.php?/projects/project/the\\_umbrella/](http://www.ericowenmoss.com/index.php?/projects/project/the_umbrella/) (consultado a 16 de Março 2011)

<sup>141</sup> STEELE, James - *Arquitectura y revolución digital*. 2001, p. 199





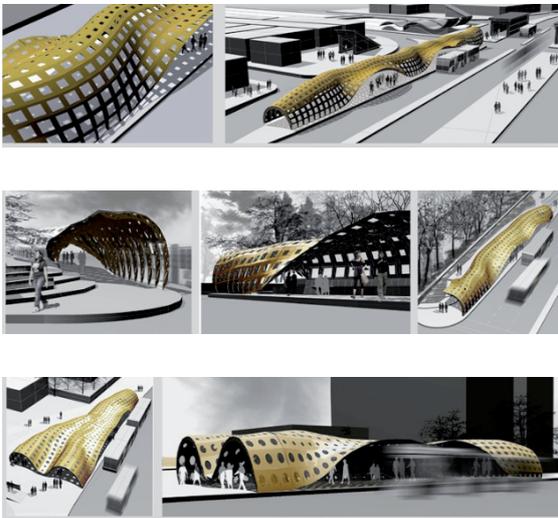
94 95  
96 97



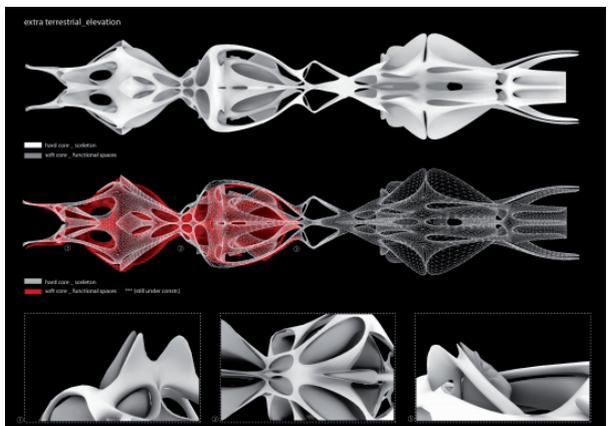
Desenho do interior da Igreja do Espírito Santo em Florença



Interior da Igreja da Luz \_ Tadao Ando



Três variações com base numa Estação de Autocarros \_  
\_Ari van Zeeland Labra



Review070511 \_ Greg Lynn \_ Ross Lovegrove

## 1. O que pode ser novo

Com a análise feita, nos capítulos anteriores, aos métodos, técnicas e instrumentos digitais de desenho assistido por computador torna-se agora possível perceber as mudanças que se adivinhavam no início. No entanto, o que está acontecer em Arquitectura deixa de ser novidade quando olhamos para a história e encontramos mudanças na disciplina derivadas das alterações de técnicas e instrumentos. Como aponta José Pedro Sousa, a influência da técnica da perspectiva no Renascimento ou a exploração do aço e do betão no movimento moderno, ilustram bem como as inovações no modo de representar e de construir são determinantes para o surgimento de novas organizações espaço/forma e de expressões estruturais/materiais<sup>142</sup> (fig.94, 95 e 96). A exploração e desenvolvimento, nos anos 80, dos meios informatizados de visualização usados como forma de melhorar a comunicação e a observação do projecto, antecipando então a representação e, a partir dos anos 90, quando se iniciam as investigações das influências das técnicas 3D sobre a concepção do projecto, levaram à necessidade de reflectir criticamente sobre as potencialidades das técnicas digitais.

Foram muito os arquitectos que tentaram - e ainda hoje tentam - defender as técnicas digitais como uma mais-valia para a Arquitectura explorando novas metodologias que apoiam as teorias, tentando abrir novos caminhos, sobretudo, de exploração de diferentes formas e meios para fazer Arquitectura. Destaca-se nestas reflexões Lynn, com "Animated form" (1999), ao desenvolver uma metodologia para aplicações de projecto animado que se distinguem pela introdução de forças e movimento para articulação da forma durante a fase de concepção (fig.97). Aqui, espaço e modelo deixam de ser estáticos para passarem a ser dinâmicos, dispositivos a partir dos quais são efectuadas trocas de informação, possibilitando a integração e teste dos dados extraídos da realidade que passam a ser encarados como factores activos na formação do projecto. Deste modo, apresenta a teoria como uma alternativa às atitudes que concebem o projecto como um acto convencional isolado, desenvolvido num espaço estático e onde, após definida a forma, é aplicado movimento por meio de técnicas de processamento óptico. Lynn assenta, assim, a metodologia numa distinção entre os conceitos de movimento, que implica acção, e animação, que implica a evolução da forma e das forças que deixam que se forme<sup>143</sup>. Neste sentido, as técnicas de animação digital, tal como outros processos informatizados, passam a permitir a estimulação da reconfiguração teórica e metodológica da forma arquitectónica, vista, a partir daqui, como resultado da interacção de diferentes agentes num espaço dinâmico. Assim

<sup>142</sup> SOUSA, José Pedro - *Arquitectura e Vida*, vol.72, p. 31

<sup>143</sup> LYNN, Greg - *Animate Form*. 1999, p. 19

98



Máquina de Corte de três eixos

99



Estereolitografia

sendo, pode-se, então, comprovar que os processos digitais estão de facto a mudar, ou antes, estão a desenvolver novas formas de pensar e fazer Arquitectura. No entanto, isto não prova, ou melhor, talvez não seja suficiente para dizer que os processos digitais estão a criar uma nova Arquitectura. Antes permitem o desenvolvimento das metodologias convencionais da disciplina, tal como já aconteceu no passado, criando novas técnicas e instrumentos que, começando por melhorar a comunicação e visualização, evoluíram para a emergência de novos modos de concepção e expressão arquitectónica. Mas, as potencialidades do computador não se restringem a facilitar a representação, a análise, ou a concepção do projecto por meio das aplicações CAD existentes. A progressiva evolução levou a que o arquitecto, do início ao fim do projecto, passasse a ter mais controle sobre todo o processo, inclusive na fase de fabricação. O computador aproxima, assim, cada vez mais, este profissional do processo de materialização que envolve o projecto. Para tal, foi fundamental a criação de processos de CAM que permitem fabricar qualquer tipo de forma representada pelos processos CAD, em qualquer tipo de material (fig.98 e 99). Isto ajuda a comprovar que os processos computadorizados, para além de permitirem uma maior liberdade, afectaram necessariamente o fazer em Arquitectura, ou seja, devido à natureza abrangente abrem novas oportunidades, promovendo a combinação entre invenção e inovação.

Assim, talvez não seja no aspecto da obra construída que iremos encontrar as características da Era digital, mas antes nos processos digitais que a criam, desenvolvem e permitem executar. Por outro lado, importa referir que nos deparamos, como refere Gonçalo Furtado, com uma “nova ordem social baseada na convergência da informática e das telecomunicações, a qual tem enorme repercussão social (comportando benefícios e prejuízos) e fomenta mutações profundas que suportam o desenvolvimento e o progresso da sociedade”<sup>144</sup>. A digitalização traduz todos os fenómenos, os fluxos das redes digitais determinam a cultura e, a generalização da comunicação instantânea traz velocidade à acção. Neste sentido, uma vez que o trabalho do arquitecto também envolve captação, produção, armazenamento, tratamento e distribuição de informação este será influenciado e envolvido cada vez mais numa estrutura “profissional organizada em rede onde a troca de informação se apresenta como a actividade dominante (...) [e] as tecnologias de informação e comunicação digitais assumem um papel activo e estruturador que se estende desde fases iniciais de concepção até à construção do objecto arquitectónico, prolongando-se mesmo durante o ciclo de vida da obra.”<sup>145</sup>

Em suma, esta nova colaboração em rede, a forma como os edifícios são criados, construídos e a maneira como funcionam afecta as práticas de trabalho em Arquitectura. Deste

---

<sup>144</sup> FURTADO, Gonçalo - Notas sobre o espaço da técnica digital. 2002, p. 5

<sup>145</sup> SOUSA, José Pedro – Arquitectura e sociedade da informação. 2002, p.23



modo, o incentivo à exploração de novas técnicas e instrumentos que possam ser adequadamente empregues nas mais variadas exigências com que todos os dias o arquitecto se depara torna-se relevante. Neste sentido, deverá ser incentivada a investigação, sobretudo académica, para permitir uma melhor formação de futuros arquitectos que, ao contrário do que acontecia no século passado, são agora obrigados a conviver com toda uma realidade digital, contribuindo ao mesmo tempo para que as escolas passem a acompanhar os avanços que acontecem no modo de pensar e fazer Arquitectura.



## 2. O digital nas escolas de Arquitectura

“A banalização dos sistemas de desenho assistido por computador não foi acompanhada nem por um consenso expresso quanto à forma de os utilizar nem por um consenso, ainda que implícito, quanto à sua própria utilidade”<sup>146</sup> uma vez que o uso do computador no processo de projecto veio, de certa forma, mexer com a estabilidade dos anteriores sistemas de representação usados, fazendo com que o papel das técnicas e instrumentos convencionais fosse questionado e deixando que as ferramentas informáticas estimulassem todo o processo de Arquitectura. As reflexões feitas sobre as potencialidades do digital centraram-se sobretudo na analogia com os métodos manuais e aptidões, de modo a conseguir um aumento da eficiência na produção de desenhos, o que levou à rápida vulgarização dos processos de CAD entre os profissionais de Arquitectura. A rápida aceitação dos processos digitais foi, também, acelerada devido à inexistência de discussão relativamente aos prejuízos que o uso desenfreado destes processos poderia trazer para a Arquitectura, fazendo com que a ideia de uma teoria do computador provocasse, como diz James Steele, alguma sensação de inevitabilidade tecnológica que impossibilita qualquer debate<sup>147</sup>. Deste modo, e talvez devido a algum receio do que pudesse resultar de uma mudança tão rápida, levou a que as escolas de Arquitectura não conseguissem responder de forma crítica relativamente ao papel da tecnologia no processo de projecto. Mas, passadas algumas décadas desde a estreia do uso do computador na actividade de projecto, surgem Universidades que abrem o campo disciplinar para esta “ciência”. Introduzem-na como mera ferramenta de desenho disponibilizando apenas aos alunos aulas de técnica informática. Não exploram as potencialidades como modo de pensar sobre Arquitectura aceitando que os processos digitais podem proporcionar um ambiente dinâmico onde a experimentação e exploração são possíveis permitindo que se formem discursos teóricos e se construam metodologias práticas. Por isso, assiste-se hoje a um aumento do número de *workshops* realizados nas instituições académicas que visam pôr os alunos em contacto com as mais variadas potencialidades das ferramentas digitais, permitindo-lhes que explorem e tomem conhecimento das vantagens e desvantagens destes instrumentos, para que futuramente possam usufruir deles com sucesso. Deste modo, faz sentido que face às transformações com que nos deparamos a cada dia as instituições académicas fiquem atentas. Que deixem de se mostrar indiferentes a outras formas de pensar e fazer Arquitectura. Aceitem as novas técnicas e instrumentos de modo a permitir que estes sejam explorados pelos alunos e contribuam para

<sup>146</sup> LISBOA, Fernando - Desenho de arquitectura assistido por computador. 1997, p. 40

<sup>147</sup> STEELE, James – Arquitectura y revolución digital. 2001, p. 210



melhorar a formação, uma vez que, os estudantes que vão sair das escolas durante a primeira década do século XXI serão o grupo base de uma geração de transição<sup>148</sup>.

O computador - ao qual passou a ser exigido que incluía a criatividade do arquitecto num campo mais vasto de possibilidades espaço/forma e estruturais/construtivas, conseguindo um domínio sobre todas as geometrias, articulando os elementos de desenho variável e personalizado, derrubando as barreiras da estandardização - tornará possível ao profissional de Arquitectura abrir o campo de investigação para novas linguagens de desenho, alindo estas à exploração dos materiais através dos processos CAM. Desta forma, ao estudante de Arquitectura pode ser dada a possibilidade de testar as consequências materiais dos projectos que desenvolve digitalmente através da exploração dos processos CAD/CAM, passando a execução material a ser parte activa do desenvolvimento do projecto, aproximando cada vez mais o aluno das disciplinas de Projecto e Construção, oferecendo-lhe também a possibilidade de examinar microscopicamente cada um dos detalhes. "Perante as novas tecnologias emergentes, o grande desafio que se coloca às instituições académicas consiste em deixarem de se limitar a serem espaços de transmissão de conhecimento, para passarem a ser centros da própria construção e evolução desse conhecimento"<sup>149</sup>, aproveitando, assim, o facto de serem um lugar singular para a exploração e discussão crítica sobre as transformações que se dão na profissão permitindo-lhes assistir e inspirar essas mesmas mudanças. Deste modo, as investigações realizadas sobre as técnicas e instrumentos digitais serão fundamentais para uma melhor compreensão e exploração das potencialidades ao mesmo tempo que permitem revelar as dificuldades, preparando melhor o arquitecto para a interacção com o mundo digital.

A rápida generalização do uso do computador, tanto na fase de concepção como representação arquitectónica, fez com que a tecnologia digital se apresente como alternativa às linhas de pesquisa tradicionais, transformando-se num espaço determinante para o desenvolvimento da investigação em Arquitectura. O envolvimento académico deve contribuir como meio de condução do desenvolvimento tecnológico redefinindo a relação entre a Universidade e o mundo profissional.

Cada vez mais, à obra arquitectónica se exige que consiga funcionar sobre um padrão dinâmico, relacionando-se com a realidade em que se insere e com os compromissos futuros. Por isso, cabe ao arquitecto conseguir encontrar mecanismos que lhe permitam responder a todas as exigências do mundo em que vive, vendo-se então obrigado a adquirir mais conhecimento e novas abordagens metodológicas para a investigação, aproveitando o carácter de reflexão e

---

<sup>148</sup> STEELE, James – *Arquitectura y revolución digital*. 2001, p. 208

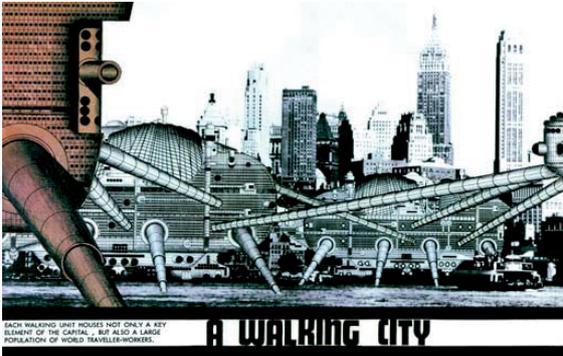
<sup>149</sup> SOUSA, José Pedro - *Arquitectura e Vida*, vol.67, p. 32



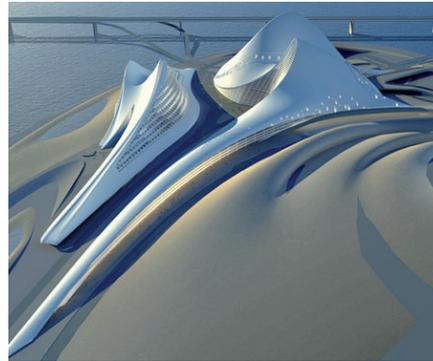
Crystal Palace \_ Joseph Paxton \_ 1851



Crown Hall \_ Mies Van der Rohe \_ 1956



A Walking City \_ Ron Herron \_ 1964



Dubai Opera House \_ Zaha Hadid \_ 2006

100 | 101  
102 | 103

documentação da investigação feita em Arquitectura, que faz com que esta não se reflecta directamente na evolução prática da disciplina.

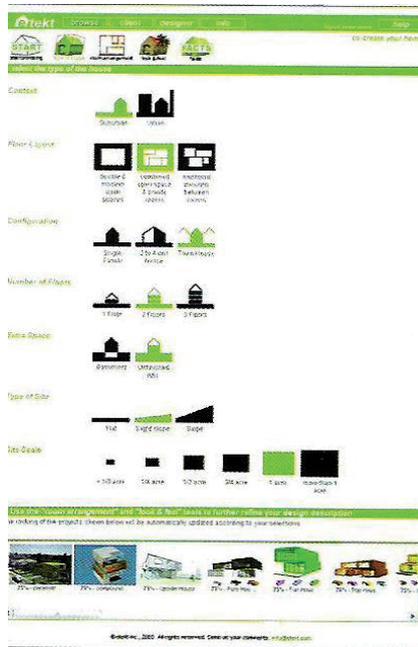
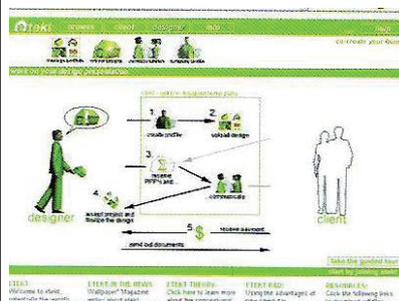
Tudo isto, e sobretudo por nos encontrarmos numa época em constante desenvolvimento, leva a que os instrumentos e técnicas ao dispor do arquitecto sejam repensados, para que as potencialidades de uma metodologia que usa técnicas e instrumentos digitais permitam o desenvolvimento e tragam à Arquitectura mais possibilidades e maior liberdade de intervenção, não devendo por isso ser ignoradas, mas antes aceites para permitirem uma assimilação crítica relacionando-as com outros meios e técnicas de representação em Arquitectura.

Segundo Gonçalo Furtado, tal como o ferro expressou uma nova plasticidade (fig.100), o modernismo funcionalista expressou as influências do design industrial (fig.101), a cidade instantânea dos *Archigram* expressou a influência da mobilidade(fig.102), agora - e uma vez que a Arquitectura já se mostrou não ser impermeável aos desenvolvimentos tecnológicos - terá que aceitar as influências das tecnologias da informação e comunicação, incorporando-as como elementos materiais e imateriais<sup>150</sup>(fig.103). De outro modo, a rejeição da tecnologia poderá levar a um prejuízo cultural<sup>151</sup> uma vez que faz parte do desenvolvimento social tendo, por isso, que ser aceite como parte dessa evolução.

---

<sup>150</sup> FURTADO, Gonçalo – Notas sobre o espaço da técnica digital. 2002, p. 23

<sup>151</sup> DOLLENS, Dennis – De lo digital a lo analógico. 2002, p. 14



Website da empresa Etekt

### 3. A relação do arquitecto com os processos digitais

Desta forma, e uma vez que estas novas metodologias fazem parte do necessário desenvolvimento cultural e social, as relações nelas envolvidas igualmente sofrem mudanças, uma delas será a relação do arquitecto com o projecto. Como muitos afirmaram e comprovaram e se pôde verificar ao longo das paginas anteriores, o computador fez com que o arquitecto se voltasse a aproximar do processo de construção, incorporando-o cada vez mais cedo no processo de projecto, o que por sua vez, devido aos sistemas CAM, fez com que recuperasse o interesse pelos materiais e fabrico, passando a integra-los como parte da concepção do projecto.

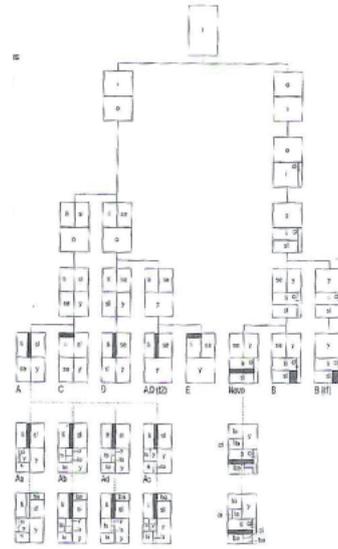
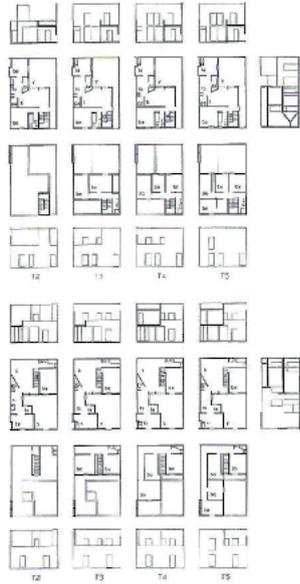
Actualmente - permitido pelo uso do computador como ferramenta de desenho no projecto e como reflexo directo do dinamismo cultural e tecnológico - regista-se, em parte, um abandono dos paradigmas formais<sup>152</sup>, fazendo com que o arquitecto adquira uma maior liberdade na abordagem ao projecto. Mas, a partir do momento em que o computador passa a ser usado como veículo de concepção arquitectónica, mais do que como um instrumento auxiliar da representação de formas complexas, o arquitecto deixa de ser o único controlador que predefine hierarquicamente a forma, passa antes a ser o coordenador dos processos formativos. De qualquer modo o processo digital continua a incluir a escolha e a interpretação do autor. Desta forma, e como refere Dennis Dollens, o intensificar e a consistência do trabalho entre espaço físico e digital leva à perda da criação de ideias a partir de autores individuais<sup>153</sup>.

Por outro lado, ao serem aplicados os processos digitais na prototipagem levanta outra questão. Para além de não existirem autores individuais, a autoria, em parte, devido ao elevado grau de liberdade e controlo da exploração do projecto fica diluída. Como se verificou, os processos CAD/CAE/CAM desafiaram as limitações impostas pela estandardização, abrindo caminho para novas possibilidades de exploração baseadas na personalização (fig.104). Assim, graças à *mass-customization*, “a noção de produto pré-determinado converte-se em «ideia de projecto», convencionalmente preparada para ser personalizada pelos vários consumidores”<sup>154</sup>. Hoje, as aplicações CAD tornam possível captar intenções de projecto num modelo paramétrico gerando diferentes variações, ampliando as soluções disponíveis, cabendo apenas ao arquitecto a tarefa de controlar a evolução dos modelos. Como exemplo temos o projecto de José Pinto Duarte no qual desenvolveu um sistema de apoio ao projecto com fim a conseguir criar uma serie de variações geradas virtualmente tendo como base o projecto da Malagueira do Arq. Siza Vieira

<sup>152</sup> COSTA, Mauro – *Arquitectura e Vida*, vol. 74, p. 22

<sup>153</sup> DOLLENS, Dennis – *De lo digital a lo analógico*. 2002, p. 19

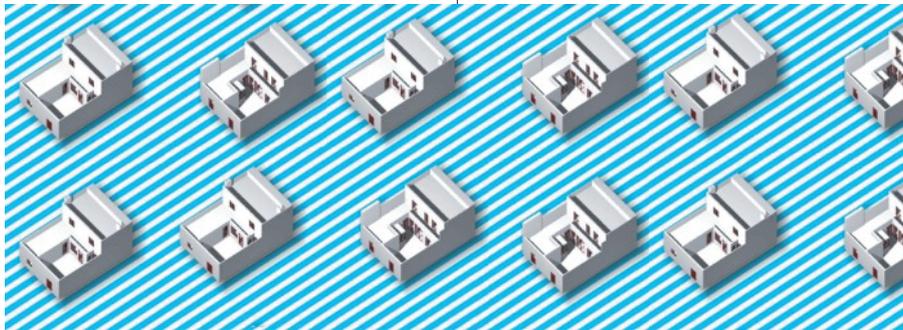
<sup>154</sup> SOUSA, José Pedro - *Arquitectura e Vida*, vol.64, p. 57



105

Estudo da variação de soluções do projecto de José Pinto Duarte

106



Representação tridimensional da variação de soluções do projecto de José Pinto Duarte

para o Programa SAAL, tentando, assim, a democratização da Arquitectura ao mesmo tempo que procura uma metodologia de projecto que lhe permita personalizar a habitação em serie através de modelos que resultaram de regras codificadas de projecto e do perfil do agregado familiar (fig.105 e 106). Como conclusão, José Pinto Duarte mostrou que, ao ser esbatida a questão da autoria, seria então possível à Arquitectura cumprir a sua função social, tornando a habitação de qualidade mais acessível ao cidadão comum<sup>155</sup>. Desta forma, ao deixarmos que seja o computador a guiar-nos e a realizar o trabalho de concepção, a questão da autoria deixa de ter o sentido que até aqui tinha para a Arquitectura.

---

<sup>155</sup> DUARTE, José Pinto – NU. Vol. 29, p. 43



Las Vegas



139. Recomendación para un monumento

"I am a monument" \_ a ideia de edificio como uma mensagem

## 4. Nova cultura da imagem

Após uma reflexão sobre as potencialidades, vantagens, desvantagens e formas de inserção dos meios computadorizados do processo de projecto e, recorrendo à análise de vários autores, torna-se possível perceber o que resultou, de menos bom, das transformações que o modo de fazer Arquitectura sofreu a partir do momento em que os arquitectos passaram a utilizar o computador, sobretudo, como meio de concepção arquitectónica. Juhani Pallasmaa afirma em *Los ojos de la piel* (2005) que, embora liberte a fantasia humana e facilite o trabalho de projecto, o computador apenas consegue criar imagens que tendem a planar as capacidades multissensoriais, simultâneas e sincronizadas, da imaginação. Converte o processo de projecto numa manipulação visual passiva, ou seja, numa simples viagem de retina, criando uma distância entre o arquitecto e a obra, enquanto o desenho manual tal como as maquetas, colocam o projectista num contacto óptico com o objecto e com o espaço<sup>156</sup>. Deste modo, a atenção exigida ao arquitecto resume-se a uma percepção visual, a partir da qual este irá actuar de forma crítica face às imagens produzidas pelo computador, afastando qualquer outro tipo de percepção que o possa ajudar na tomada de decisões, passando a desenvolver uma Arquitectura assente na imagem e passando para segundo plano as preocupações funcionais e sociais. Neil Leach, em *A anestética da Arquitectura* (2005), sublinha, ainda de forma mais pragmática, esta ideia de despreocupação com outras questões, que não a forma, também elas relevantes para o desenvolvimento de um projecto de Arquitectura. Leach nota que os arquitectos têm vindo a desenvolver uma obsessão cada vez maior com as imagens e com a produção das mesmas. Alerta, por isso mesmo, para o facto de que a estimulação sensorial por via das imagens pode causar um “efeito narcótico” (fig.107), apaziguando então a consciência social e política do homem, ao mesmo tempo que mantém os arquitectos “confortavelmente instalados nos seus próprios casulos estéticos afastando-os do quotidiano”<sup>157</sup>.

Como verificado no capítulo anterior, as aplicações informáticas que têm vindo a ser desenvolvidas primam sobretudo pela capacidade de compor imagens, desenvolvendo objectos que resultam de códigos inseridos num determinado sistema. Numa realidade onde a imagem se considera o principal veículo para demonstrar um conceito ou uma intenção (fig.108) pode, também, ser um meio de comunicação privilegiado que nos permite interagir com os outros. Desta forma, a evolução dos “*computergraphics*” levou à proliferação de novos processos de criação de imagens hiper-realistas. Os resultados obtidos não são, por isso, o efeito de uma preocupação

<sup>156</sup> PALLASMAA, Juhani - *Los ojos de la piel: la arquitectura y los sentidos*. 2006, p. 12

<sup>157</sup> LEACH, Neil - *A anestética da arquitectura*. 2005, p. 6



funcional ou sensorial, mas antes, o resultado de preocupações formais e estéticas que pretendem captar a atenção através de formas complexas que passaram a ser possíveis de concretizar. Apelando ao sentido visual do utilizador que tanto caracteriza esta cultura de consumo, onde a estratégia de actuação pode ser a sedução. “O design arquitectónico reduz-se para justificar um jogo superficial de formas de sedução vazias, e a filosofia aproveita para justificar essas formas”<sup>158</sup> levando à redução da consciência crítica por parte do arquitecto e do espectador. Considerados como projectos experimentais os trabalhos produzidos com a ajuda das TIC tornam-se complexos e por vezes difíceis de ler, de se lhes dar sentido e até de os justificar. Limitam-se à realização de um exercício sustentável<sup>159</sup>.

Neste mundo de forte consumo a imagem torna-se a nova realidade, reflectindo um mundo virtual sobre um mundo real, onde tudo o que se imagina se torna real. A cultura da simulação contribui para a alteração do papel da imagem, deixando esta de reflectir a realidade<sup>160</sup>. Na Arquitectura, valorizar apenas a imagem pode levar a uma compreensão empobrecida do espaço construído, não acontecendo esta compreensão simplesmente apoiada em símbolos. Consequentemente, a crescente valorização da percepção visual reduz as outras formas de percepção, afastando os arquitectos da experiência real e consequentemente dos utilizadores dos edifícios. Os trabalhos passam a apresentar-se sem conteúdo, o meio de sedução passa a ser o olhar e não a mente.

Neste sentido, alguns autores que argumentam que as tecnologias têm o poder de nos tirar a capacidade de actuar livremente bem como a tendência de substituir a realidade pelo virtual<sup>161</sup>. Como referido, as técnicas proporcionadas pelas TIC transfiguram as tarefas em que são utilizadas, alterando consequentemente o significado dessas mesmas tarefas.

A base matemática do CAD estabelece de forma rígida um espaço homogéneo, sendo no entanto incapaz de combinar estruturas de referência diferentes, por isso, como aponta Steele, apenas quando os arquitectos vencerem a confiança excessiva nas representações tridimensionais, cartesianas, poderão ser capazes de penetrar nas potencialidades do CAD, usando-o como uma ferramenta de actuação crítica, onde as imagens efémeras que se constroem no ciberespaço conduzem até territórios conceptuais imagináveis<sup>162</sup>. A partir de agora a intuição humana torna-se cada vez mais necessária para que o arquitecto se consiga orientar nesta sobrecarga cibernética. No entanto, os métodos tradicionais de projecto não estão a ser postos de lado como se pôde verificar na análise ao uso do computador como uma forma de unir técnicas

---

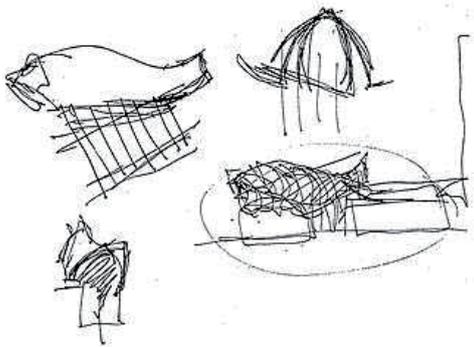
<sup>158</sup> LEACH, Neil - A anestésica da arquitectura. 2005, p. 7

<sup>159</sup> Foreign Office Architects - 2G. vol. 16, p. 127

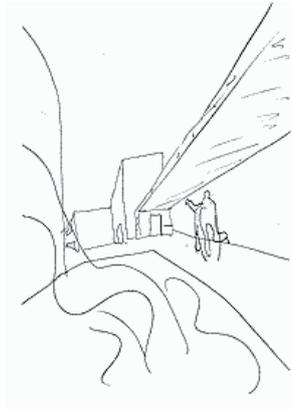
<sup>160</sup> LEACH, Neil - A anestésica da arquitectura. 2005, p. 18

<sup>161</sup> Steele, James – Arquitectura y revolución digital. 2001, p. 16

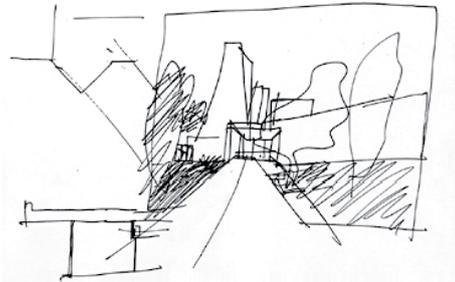
<sup>162</sup> *Idem*, p. 36



109 110 Frank Gehry sketche \_ Peixe da Via Olímpica de Barcelona



Alvaro Siza sketche \_ Serralves



111 112 Eduardo Souto Moura sketch \_ Casa das Histórias Paula Rego



Zaha Hadid sketch \_ Pierres vives building

tradicionais e digitais. Como Paulo Silva refere, apesar de todas as facilidades introduzidas pelo processo computadorizado, ainda se recorre ao processo tradicional de trabalho na medida em que o computador se usa como estirador electrónico, continua-se a imprimir o projecto em papel para ser entregue à entidade que o irá licenciar<sup>163</sup>.

Não é fácil saber se o arquitecto deixará de usar o desenho tradicional como o tem usado até agora, mas, mesmo usando as aplicações informáticas para desenvolver conceptualmente o projecto, existem potencialidades do desenho manual, como o esquisso, que o CAD não consegue realizar. Para Jorge Silvetti, os esboços são o que no fim há de mais puro no trabalho do arquitecto, pois são clarificação do próprio pensamento<sup>164</sup> (fig.109, 110, 111 e 112). Neste sentido, ao desenho manual não lhe interessa o rigor de uma estrita medida, antes interessa a capacidade de acção e de verdade<sup>165</sup>, sendo através dela que o arquitecto consegue pensar. Para os arquitectos que optam por usar o computador como auxílio à representação, as técnicas tradicionais da fase inicial, de concepção, irão manter-se, apoiando-se no princípio de que no papel podem crescer e desenvolver-se ideias<sup>166</sup>, de que o desenho se considera uma forma de diálogo que funciona como linha-guia.

“O Desenho, portanto, enquanto linguagem da Arquitectura, é simultaneamente técnica de figuração gráfica, meio de comunicação visual e método de conhecimento e inferência. (...) na técnica, no meio e no método, suspeita-se que os computadores e as redes de computadores intervêm, constroem, afectam.”<sup>167</sup>

---

<sup>163</sup> Silva, Paulo – In AFONSO, Rui Braz; FURTADO, Gonçalo - *Arquitectura e sociedade da informação*. 2002, p.27

<sup>164</sup> ROBBINS, Edward - *Why architects draw*. 1997, p. 105

<sup>165</sup> FOCILLON, Henri - *O elogio da mão*. 1980, p. 10

<sup>166</sup> ROBBINS, Edward - *Why architects draw*. 1997, p. 3

<sup>167</sup> LISBOA, Fernando - In AFONSO, Rui Braz; FURTADO, Gonçalo - *Arquitectura e sociedade da informação*. 2002, p.15





**Conclusão**



## Conclusão

Ao longo do trabalho procurou-se uma definição e um esclarecimento acerca dos vários métodos e formas de usar os instrumentos digitais em Arquitectura. As Tecnologias da Informação e Comunicação foram-se introduzindo no panorama arquitectónico permitindo que os processos e técnicas desta evoluíssem de forma a acompanhar as naturais alterações da tecnologia e da sociedade.

Sendo o principal objectivo do presente trabalho compreender o lugar do digital no projecto de Arquitectura, conclui-se que, independentemente da metodologia computacional usada, esta ferramenta trouxe ao processo de representação a oportunidade de aliar flexibilidade e liberdade formal, com rigor e aumento de informação, possibilitando melhorar a forma como esta se transmite para as outras entidades que participam na realização do projecto.

A relação entre arquitecto e trabalho, apesar de facilitada, conduz a um aumento de tempo despendido em cada projecto dada a procura pela representação de imagens mais expressivas e realistas produzidas numa base digital. Por sua vez, quando usado na fase de concepção, ou antes, para gerar automaticamente formas, o computador revela-se um aceitável instrumento para a criação de uma Arquitectura experimental que dá ao arquitecto a possibilidade de trabalhar com modelos digitais gerados num ambiente não estático. Assim, ao nível da investigação, a Arquitectura ganha com o uso dos instrumentos digitais uma vez que estes propõem novas reflexões sobre a definição de Arquitectura, o que pretende e como pode ser feita.

Evoluindo de aplicações que permitem a avaliação de custos e desempenho no projecto de Arquitectura a aplicações informáticas que associadas a um determinado modelo, permitem criar formas susceptíveis de serem materializadas, faz com que o computador se torne numa tecnologia definidora, não de uma nova Arquitectura, mas de novas técnicas que permitem gerar Arquitectura.

A exploração de potencialidades do computador ao nível da representação, simulação e visualização capacita o arquitecto para lidar com outras questões antes consideradas secundárias, dando-lhe a oportunidade de as aplicar desde fases iniciais do processo de projecto, contribuindo assim para a idealização de formas que, com o uso do computador como instrumento de projecto podem manter-se em evolução durante a fase de representação. Ao nível construtivo, a criação de aplicações que permitem gerar e definir a estrutura permite uma aproximação entre o arquitecto e todo o processo de construção da obra, uma vez que permitem fazer os cálculos necessários para as criar, aliando-os a uma verificação constante. No campo da materialidade, a exploração de diferentes modos de aplicar cada elemento – permitido devido à criação de aplicações do tipo



CAM – deu ao arquitecto liberdade de explorar a expressão material, não tendo mais que adequar a forma aos materiais existentes. Nas questões relacionadas com a sustentabilidade, os *softwares* de simulação e visualização, permitem o estudo de comportamentos de um determinado material e estrutura face a qualquer tipo de circunstâncias.

Desta forma, e após um conhecimento mais aprofundado sobre a diversidade de manuseamento do computador e das diferentes técnicas que permitem representar e conceber forma e estrutura, conclui-se que a Arquitectura não se pode fechar no passado, devendo ser permeável às mudanças da sociedade, uma vez que precisa delas para poder evoluir de modo a se enquadrar no tempo e na envolvente em que é concebida. Isto não significa que os métodos tradicionais sejam abandonados, antes devem fazer-se acompanhar pelas novidades tecnológicas adequadas para cada tipo de circunstância de modo a tornarem o processo de projecto mais rigoroso e comunicativo. O arquitecto conquista a possibilidade de continuar a explorar o génio inventivo. Com ou sem formas complexas sabe que o processo de representação pode ser apoiado por técnicas que lhe conferem maior solidez e viabilidade, ganhando ao mesmo tempo maior confiança por parte do cliente que entenderá de forma mais clara as suas intenções, devido às potencialidades dos *softwares* de visualização que o deixam «caminhar» virtualmente sobre o modelo.

Por outro lado, embora no campo experimental, foi possível tomar conhecimento da criação de aplicações digitais que prevêm a introdução de procedimentos automatizados do raciocínio no processo de projecto de Arquitectura. Ao arquitecto é atribuído o papel de mediador dos procedimentos e não de criador formal. Para tal foram desenvolvidas e testadas aplicações assentes em processos generativos que, em parte, deram ao profissional a possibilidade de recuperar técnicas e metodologias antigas, introduzindo-lhes actualizações e melhorando-as de modo a torná-las aptas às circunstâncias de cada novo projecto. Ainda assim, como verificado, dificilmente o desenho manual, como forma de transmissão das ideias do arquitecto, deixará de ser usado por este profissional, não só como uma forma de começar a desenvolver ideias, mas, também, pela facilidade de transmissão dessas mesmas ideias tanto a clientes como a terceiros envolvidos num projecto. “A arte faz-se com as mãos. Elas são o instrumento da criação, mas primeiro que tudo o órgão do conhecimento”<sup>168</sup>.

Têm sido várias as investigações efectuadas para conseguir resultados satisfatórios, embora experimentais: criando novas técnicas e *softwares* de geração de forma. Mostrando que o recurso à computação abre oportunidades conceptuais e materiais em Arquitectura difíceis de

---

<sup>168</sup> FOCILLON, Henri - O elogio da mão. 1980, p. 10



conseguir por outros meios. Entre elas destaca-se a exploração de processos de produção personalizada em série, conseguindo então ultrapassar as limitações da standardização. Começam a ser desenvolvidos sistemas que, com base nas relações entre Música e Arquitectura e através de programas interactivos, permitem ao utilizador obter uma representação áudio com uma estrutura visível que surge com as composições gráficas abstractas que projecta. Outros, através de um conjunto de sensores, possibilitam capturar o movimento de uma mão no espaço, tornando assim possível a representação desse mesmo movimento num suporte digital, estabelecendo desta forma uma nova relação entre o arquitecto e as tecnologias de representação<sup>169</sup>. No entanto, nesta tarefa computacional de geração de formas colocam-se algumas questões relativamente à autoria de uma obra quando se permite que o computador guie o acto projectual realizando o trabalho de concepção. Por outro lado, tendo em conta que este instrumento não tem cérebro, não pensa de forma critica, qual o lugar das questões funcionais? Depois de construído, se não for entendido por quem o utiliza, talvez não seja bem sucedido.

Apesar de tudo, e como foi possível constatar ao longo do trabalho, pensar no uso do computador para conceber e representar formas automaticamente pode revelar-se numa oportunidade de o usar enquanto ferramenta pedagógica. Assim, aliando a exploração de técnicas e metodologias computacionais em Arquitectura ao ensino desta disciplina, poderá mostrar-se o caminho para diferentes formas de pensar e fazer Arquitectura preparando, assim, os futuros arquitectos para a realidade a enfrentar.

Em suma, o computador traz consigo um aumento da variedade e complexidade formal, deixando o arquitecto de estar preso a constrangimentos de representação e construção. Por outro lado, faz com que a ambição pela criação de imagens cada vez mais reais que seduza o espectador aumente, desenvolvendo uma cultura da imagem que corre o risco de prejudicar a criação arquitectónica. Deste modo, embora os processos digitais tragam consigo benefícios, quando usados de forma inconsciente, podem levar ao fracasso de uma obra, por mais interessante que seja o conceito. Para tal torna-se indispensável a adequação da estratégia de actuação às condições de exigência de cada projecto, como o conhecimento do arquitecto sobre cada aplicação. Assim, o uso do computador deve ser pensado de forma a satisfazer todas as exigências às quais a Arquitectura, enquanto arte para a sociedade, deve responder. Actuar de forma crítica e responsável perante uma nova realidade passa a ser a base do sucesso da Arquitectura que, embora não sendo nova, se gera a partir de novos métodos e instrumentos que exigem uma atenção redobrada do arquitecto enquanto mediador do que é ou não é viável.

---

<sup>169</sup> SOUSA, José Pedro – Arquitectura e vida, vol.70, p.29



**Referências**



## Referências bibliográficas

AFONSO, Rui Braz; FURTADO, Gonçalo - **Arquitectura e sociedade da informação**. Porto : FAUP, 2002. 72p.

ALBUQUERQUE, João - Dis[curso]. Coimbra: Faculdade de Ciências e Tecnologia, 2005. Prova Final de Licenciatura em Arquitectura. 71p.

ALEXANDER, Christopher - **Notes on the synthesis of form**. Cambridge : Harvard University Press, 1994. ISBN: 0674627512. 21 p.

ALLAN, Stan - **Practice: architecture, technique and representation**. London : Routledge, 2003. ISBN: 9057010720. 200p.

ALLAN, Stan et al. - **Tracing Eisenman: Peter Eisenman, complete Works**. London : Thames & Hudson, cop. 2006. ISBN: 0500342253. 400p.

ARNHEIM, Rudolf - **A dinâmica da forma arquitectónica**. Lisboa : Editorial Presença, 1988. 229p.

ARNHEIM, Rudolf - **Visual thinking**. Berkeley : University of California Press, cop., 1979. ISBN: 0520018710. 345p.

ARNHEIM, Rudolf - **Hacia una psicología del arte, arte y entropia : ensayo sobre el desordem y el ordem**. Madrid : Alianza, 1988. ISBN: 8420670138. 393p.

ARNHEIM, Rudolf - **La forma visual de la arquitectura**. 2ª ed. Barcelona : GG Reprints, 2001. ISBN:8425218276. 229p.

AZEVEDO, Gonçalo Antunes de - Digital conspiracy: o digital, um meio emergente na arquitectura. Coimbra: Faculdade de Ciências e Tecnologia, 2005. Prova Final de Licenciatura em Arquitectura. 168p.

BERKEL, Bem van; BOS Caroline - **UnStudio: design models, architecture, urbanism, infrastructure/ Bem van Berkel and Caroline Bos**. London : Thames & Hudson, cop. 2006. ISBN: 0500342229. 399p.

BERKEL, Bem van; BOS, Caroline - **Move**. Amesterdan : UN Studio & Groose Press, 1999. ISBN:9076517010. 800p.

BERKEL, Bem van; BOS, Caroline - Diagrams. Interactive instruments in operation. In RATTENBURY, Kester dir. - This is not architecture. Londres : Routledge, 2002. ISBN:0415234069. p.99-109.

CAPELO, Ana Luísa Duarte - Arquitectura na era da informação. Coimbra: Faculdade de Ciências e Tecnologia, 2007. Prova final de Licenciatura em Arquitectura. 115p.



CARVALHO, Liliana - PLUG-IN: a inserção da máquina no discurso arquitectónico da revolução digital. Coimbra: Faculdade de Ciências e Tecnologia, 2009. Prova final de Licenciatura em Arquitectura. 153p.

CIORRA, Pippo - **Peter Eisenman : opere e progetti**. 4ªed. Milano : Electa, 1998. 222p.

CONSIGLIER, Victor - **A morfologia da arquitectura : 1920-1970**. 1ª ed. Lisboa : Editorial Estampa, 1994. ISBN: 9723310066. Vol.2, 321p.

CUITO, Aurora - **Gaudí: toda su arquitectura**. Madrid: H Kliczkowski, 2003. ISBN : 8496137864. 190p.

DAL CO, Francesco - **Frank O. Gehry: tuttle le opera**. 2ª ed. Milano : Electa, cop., 2003. ISBN:8843559648. 608p.

DOLLENS, Dennis - **De lo digital a lo analógico**. Barcelona : GG, 2002. ISBN: 8425219094. 119p.

EISENMAN, Peter - **Diagram Diaries**. Londres : Thames and Hudson, 1999. ISBN: 0789302640. 240p.

FEDER, Jens - **Fractals**. New York : Plenum Press, 1988. ISBN: 0306428512. 310p.

FOCILLON, Henri - **O elogio da mão: extractos traduzidos e adaptados para a exposição As mãos vêem**. Lisboa : Fundação Calouste Gulbenkian, 1980. 12p.

FURTADO, Gonçalo - **Notas sobre o espaço da técnica digital**. Porto : mimesis, 2002. ISBN:972957443X. 34p.

GARCIA, Mark - **The Diagrams of architecture**. Chichester : Wiley, cop., 2010. ISBN:9780470519448. 320p.

GOMBRICH, E. H. - **La imagen y el ojo : nuevos estudios sobre la psicología de la representación pictórica**. Madrid : Alianza, 1993. 302p.

GOMBRICH, E. H. - **Arte e Ilusão: um estudo da psicologia da representação pictórica**. 4ª ed. São Paulo : Martins Fontes, 1995. ISBN: 853360369X. 473p.

GREGOTTI, Vittorio - **Território da Arquitectura**. São Paulo : Editora Perspectiva S.A., 2004. ISBN: 8527302519. p. 11-59.

JODIDIO, Philip - **Architecture Now! 3**. Hohenzollernring : Taschen GMBH, 2005. ISBN: 9783836503150. Vol.3, 352p.

JODIDIO, Philip - **Architecture Now! 4**. Hohenzollernring: Taschen GMBH, 2006. ISBN: 9783822839904. Vol.4, 576p.

JODIDIO, Philip - **Architecture Now! 5**. Hohenzollernring: Taschen GMBH, 2007. ISBN: 9783822844274. Vol.5. 576p.



JONES, J. Christopher - **Métodos de diseño**. Barcelona : Editorial Gustavo Gili, S. A., 1976. ISBN: 8425206251. 370p.

LEACH, Neil - **A anestésica da arquitectura**. Lisboa : Antígona, 2005. ISBN: 9726081807. 153p.

LINDSEY, Buce - **Digital Gehry: material resistance, digital construction**. Berlim : Birkhäuser. 2001. ISBN: 3764365625. 93p.

LISBOA, Fernando - **Desenho de arquitectura assistido por computador**. Porto : FAUP, 1997. ISBN: 9729483272. 89p.

LYNN, Greg - **Animate Form**. Nova York : Princeton Architectural Press, 1999. ISBN:1568980833. 203p.

MANDELBROT, Benoît - **Objectos fractais: forma, acaso e dimensão**. 2ª ed. Lisboa : Gravia – Publicações Lda. 1998. ISBN: 9726622158. 296p.

MANDELBROT, Benoît - **The fractal geometry of nature**. New York : W. H. Freeman and company, 2000. ISBN: 0716711869. 468p.

MITCHELL, William - **A lógica da arquitectura: projecto, computação e cognição**. Campinas : Editora UNICAMP, cop. 2008. ISBN: 9788526807983. 303p.

MITCHELL, William (ed.)- **The electronic design studio: architectural knowledge and media in the computer era**. Cambridge : The MIT Press, 1991. ISBN: 0262132540. 505p.

NEGRÃO, Andreia Paula da Costa Quaresma - Arquitectura Fractal. Coimbra: Faculdade de Ciências e Tecnologia 2007. Prova final de Licenciatura em Arquitectura. 249p.

PALLASMAA, Juhani - **Los ojos de la piel: la arquitectura y los sentidos**. Barcelona : Gustavo Gili, 2006. ISBN: 8425221358. 76p.

PORTAS, Nuno – Arquitectura para hoje : finalidades, metodos, didáticas. Lisboa : Livraria Sá da Costa, 1964. Dissertação para o Concurso para um lugar de Professor do 1º Grupo do Curso Arquitectura da Escola de Belas-Artes de Lisboa. 153p.

ROBBINS, Edward et al. - **Why architects draw**. Cambridge (Mass) : MIT Press, 1997. ISBN:026268098X. 315p.

SAINZ, Jorge – **El dibujo de arquitectura : teoria e história de un language gráfico**. Barcelona : Editorial Reverté, 2005. ISBN: 8429121064. 253p.

SAKAMOTO, Tomoko (ed.) – **Sendai mediatheque / Toyo Ito**. Barcelona : Actar, 2003. ISBN: 8495951037. 192p.

SANTOS, Carlos Pereira dos - **Mandelbrot: os fractais**. Lisboa : Público – Visão, 2007. ISBN: 9789896122706. 48p.

SCHAIK, Leon van - **Spatial intelligenge: new futures for architecture**. London : John Wiley & Sond, Ltd, 2008. ISBN: 9780470723234. 208p.



SCHUMACHER, Patrik – **Digital Hadid: landscapes in motion**. Berlim : Birkhäuser, 2004. ISBN:3764301724. 93p.

SILVER, Mike; BALMORI, Diana - **Mapping in the age of digital media**. London : John Wiley & Sond, Ltd, 2003. ISBN: 0470850760. 144p.

STEELE, James - **Arquitectura y revolución digital**. México : Gustavo Gili, 2001. ISBN:968887390X. 239p.

SPENCER, Jorge M.F - O processo de concepção em arquitetura: reflexão sobre o papel do desenho na síntese da forma. Lisboa: Instituto Superior Técnico, 1990. Prova de aptidão pedagógica e capacidade científica. 78p.

SUZUKI, Akira (ed.) - **Toyo Ito - Conversas com estudantes**. Barcelona : Editorial Gustavo Gilli SA, 2005. ISBN: 8425220076. 93p.

YOUNG, Pyo Mi (ed.) - **Conceptual diagrams**. Korea : DAMDI Publishing Co., 2010. ISBN: 9788991111592. Vol.1. 745p.

YOUNG, Pyo Mi (ed.) - **Conceptual diagrams**. Korea : DAMDI Publishing Co., 2010. ISBN: 9788991111608. Vol.2. 745p.

YUROUKOV, Ilya (compil.) - **Frei Otto**. Varese : Arterigere, 1991. 117p.

ZUMTHOR, Peter - **Atmosferas: entornos arquitectónicos: as coisas que me rodeiam**. Barcelona : Gustavo Gili, 2006. ISBN: 9788425221699. 75p.

ZUMTHOR, Peter - **Pensar a Arquitectura**. 2ªed. Barcelona : Gustavo Gili, 2009. ISBN: 9788425223327. 65p.

### **Artigos de revistas:**

2G, *Foreign Office Architects*. Vol.16, Barcelona: Gustavo Gilli, SA, 2000 – ISSN: 1136-9647.

EL CROQUIS. Madrid. 1995, vol. 72. ISSN: 0212-5683.

EL CROQUIS. Madrid. 1997, vol.83. ISSN: 0212-5683.

EL CROQUIS. Madrid. 2003, vol.117. ISSN: 0212-5683.

EL CROQUIS. Madrid. 2005, vol.123. ISSN: 0212-5633.

NU. Coimbra: NUDA. 2003, vol.11. ISSN: 16453891.

NU. Coimbra: NUDA. 2004, vol.17. ISSN: 16453891.

NU. Coimbra: NUDA. 2006, vol.29. ISSN: 16453891.



SOUSA, José Pedro - Introdução à tecnologia digital em arquitectura. AV arquitectura e vida. Lisboa. 61 (2005) 28-33p.

SOUSA, José Pedro - Tectónica digital: (re) inventando a materialidade. AV arquitectura e vida. Lisboa. 63 (2005) 32-36p.

SOUSA, José Pedro – Da estandardização à personificação. AV arquitectura e vida. Lisboa. 64 (2005) 56-61p.

SOUSA, José Pedro - Liberdade calculada: o processo de Frank Gehry. AV arquitectura e vida. Lisboa. 66 (2005) 36-40p.

SOUSA, José Pedro – Desafio(s) do digital ao ensino da arquitectura. AV arquitectura e vida. Lisboa. 67 (2006) 28-32p.

SOUSA, José Pedro - Tradição e inovação no Templo da Sagrada Família. AV arquitectura e vida. Lisboa. 68 (2006) 26-31p.

SOUSA, José Pedro - A tecnologia digital e a investigação em arquitectura. AV arquitectura e vida. Lisboa. 69 (2006) 22-27p.

SOUSA, José Pedro – Novos processos. Nova arquitectura?. AV arquitectura e vida. Lisboa. 72 (2006) 30-35p.

SOUSA, José Pedro – A biótica na arquitectura. AV arquitectura e vida. Lisboa. 74 (2006) 22-28p.

## **Formato Informático Generalista**

BATTY, Michael; LONGLEY, Paul – Fractal cities. Londres : Academic Press, 1994 [Consult. 30 de Março 2011]. Disponível em www: URL:

<http://www.fractalcities.org/book/Fractal%20Cities%20Low%20Resolution.pdf>. ISBN: 0124555705

Coop himmelblau: pavillion 21 mini opera space [Em linha]. [Consult. 22 de Abril 2011].

Disponível em www: URL:<http://www.designboom.com/weblog/cat/9/view/8211/coop-himmelblau-pavillion-21-mini-opera-space.html>

DELEUSE, Gilles; GUATTARI, Félix – Mil Platôs: Capitalismo e Esquizofrenia. São Paulo : Editora 34, 1997. Vol.5 [Consult. 15 de Fevereiro 2010]. Disponível em URL:

<http://pt.scribd.com/doc/15478873/MilPlatosVol5GillesDeleuzeFelixGuattari>. ISBN: 8573260572



ETHERINGTON, Rose - Embedded Project by HHD\_FUN [Em linha]. [Consult. 22 de Abril 2011]. Disponível em www: URL: [http://www.dezeen.com/2010/03/19/embedded-project-by-hhd\\_fun/#more-70330](http://www.dezeen.com/2010/03/19/embedded-project-by-hhd_fun/#more-70330)

Embedded Project - For Earts 2008 Shanghai- with aaajiao [Em linha]. [Consult. 22 de Abril 2011]. Disponível em www: URL: <http://blog.hhdfun.com/?p=665>

MARTINS, Ana Maria Sala Minucci; LIBRANTZ, André Felipe Henrique – A geometria fractal e suas aplicações em arquitectura e urbanismo [Em linha]. [Consult. 29 de Março 2011]. Disponível em www: URL: [http://portal.uninove.br/marketing/cope/pdfs\\_revistas/exacta/exacta\\_v4especial/exacta\\_v4nesp\\_3lk11.pdf](http://portal.uninove.br/marketing/cope/pdfs_revistas/exacta/exacta_v4especial/exacta_v4nesp_3lk11.pdf)

POLLACK, Sydney - Sketches of Frank Gehry [Documentário]. EUA : FortissimoFilme, 2005. DVD, 83 minutos. [Consult. 27 de Agosto de 2010] Disponível em www: URL: [http://www.youtube.com/watch?v=u\\_ZU11QT1j4&feature=related](http://www.youtube.com/watch?v=u_ZU11QT1j4&feature=related)

ROSADO-GANHÃO, Susana – Fractais na Arquitectura [Em linha]. [Consult. 29 de Março 2011]. Disponível em www: URL: <http://www.repository.utl.pt/bitstream/10400.5/1502/1/Susana%20Rosado%20Ganh%C3%A3o.pdf>

SPEAKS, Micheal - The Umbrella [Em linha]. [Consult. 16 de Março 2011]. Disponível em www: URL: [http://www.ericowenmoss.com/index.php?/projects/project/the\\_umbrella/](http://www.ericowenmoss.com/index.php?/projects/project/the_umbrella/)

YANEVA, Albena - Made by the Office for metropolitan architecture: ethnography of design [Em linha]. Rotterdam: Albena Yaneva and O10 Publishers, 2009 [Consult. 12 de Novembro 2010]. Disponível em URL: <http://books.google.pt>. ISBN: 9064507147



## Fonte de imagens

- 1 - [http://viniuseep.blogspot.com/2009\\_03\\_01\\_archive.html](http://viniuseep.blogspot.com/2009_03_01_archive.html)
- 2 - [http://viniuseep.blogspot.com/2009\\_03\\_01\\_archive.html](http://viniuseep.blogspot.com/2009_03_01_archive.html)
- 3 - DROSTE, Magdalena - Bauhaus 1919 - 193, reforma e vanguarda. Taschen, 2006, p.37.
- 4 - <http://ecosistemaurbano.org/architecture/arquitectura-parametrica-participacion-y-cultura-libre/>
- 5 - <http://ecosistemaurbano.org/architecture/arquitectura-parametrica-participacion-y-cultura-libre/>
- 6 - <http://ecosistemaurbano.org/architecture/arquitectura-parametrica-participacion-y-cultura-libre/>
- 7 - <http://ecosistemaurbano.org/architecture/arquitectura-parametrica-participacion-y-cultura-libre/>
- 8 - ALEXANDER, Christopher - Notes on the synthesis of form. Cambridge : Harvard University Press, 1994, p.62.
- 9 - YOUNG, Pyo Mi (ed.) - Conceptual diagrams. Vol.1, p.23.
- 10 - <http://vaiumagasosa-galeria.blogspot.com/>
- 11 - <http://jeffkreeftmeijer.com/2010/testing-your-machinist-blueprints/>
- 12 - <http://www.arcoweb.com.br/arquitetura/alvaro-siza-vieira-museu-serralves-02-01-2002.html>
- 13 - <http://openbuildings.com/buildings/tolo-house-profile-38919/media>
- 14 - <http://openbuildings.com/buildings/tolo-house-profile-38919/media>
- 15 - <http://www.giuliopiacentino.com/barcelona-workshop-rhinoscript/>
- 16 - LISBOA, Fernando - Desenho de arquitetura assistido por computador, p.71
- 17 - LISBOA, Fernando - Desenho de arquitetura assistido por computador, p.73
- 18 - LISBOA, Fernando - Desenho de arquitetura assistido por computador, p.75
- 19 - <http://www.hugocristo.com.br/old/blog.php?blog=30&e=16&lang=pt>
- 20 - <http://www.hugocristo.com.br/old/blog.php?blog=30&e=16&lang=pt>
- 21 - Imagens retiradas do documentario "Sketches of Frank Gehry"
- 22 - Imagens retiradas do documentario "Sketches of Frank Gehry"
- 23 - Imagens retiradas do documentario "Sketches of Frank Gehry"
- 24 - Imagens retiradas do documentario "Sketches of Frank Gehry"
- 25 - [http://discoveryarchi.blogspot.com/2010\\_10\\_01\\_archive.html](http://discoveryarchi.blogspot.com/2010_10_01_archive.html)
- 26 - Imagem retirada da aplicação AutoCAD
- 27 - [http://www.plataformaarquitectura.cl/2009/04/19/marq-arquitectura-digital-disenar-desde-el-componente/fig-01\\_referencias/](http://www.plataformaarquitectura.cl/2009/04/19/marq-arquitectura-digital-disenar-desde-el-componente/fig-01_referencias/)
- 28 - <http://architetturamedievale.blogspot.com/>
- 29 - Imagem retirada da aplicação Archicad
- 30 - <http://netcad3d.wordpress.com/2009/02/16/review-do-autocad-2010-e-revit-2010/>



- 31 - <http://anaviaja.blogspot.com/2010/03/peixe-escultura-de-frank-gehry-na-vila.html>
- 32 - Imagens retiradas do documentário "Sketches of Frank Gehry"
- 33 - Imagens retiradas do documentário "Sketches of Frank Gehry"
- 34 - Imagens retiradas do documentário "Sketches of Frank Gehry"
- 35 - Imagens retiradas do documentário "Sketches of Frank Gehry"
- 36 - EL CROQUIS. Madrid. 2003. Vol.117, p.44
- 37 - EL CROQUIS. Madrid. 2003. Vol.117, p.98
- 38 - El Croquis zAHA Hadid 92.95, p.31
- 39 - El Croquis zAHA Hadid, 92.95, p.34
- 40 - <http://www.zaha-hadid.com/category/cultural>
- 41 - <http://pt.wikinoticia.com/entretenimento/turismo/13116-viagem-para-barcelona-e-da-sagrada-familia>
- 42 - SOUSA, José Pedro - Arquitectura e vida. Vol. 68, p.30
- 43 - SOUSA, José Pedro - Arquitectura e vida. Vol. 68, p.30
- 44 - <http://www.rotoark.com/projects/residential>
- 45 - <http://www.rotoark.com/projects/residential>
- 46 - <http://www.rotoark.com/projects/residential>
- 47 - <http://www.maptown.com/memorymap-discoverer.html>
- 48 - <http://www.hfg-offenbach.de/hfg3/pub/uniStaffIhd.hfg?fdId=75&fdPage=0>
- 49 - JODIDIO, Philip - Architecture Now! 5, p.222
- 50 - <http://ecosistemaurbano.org/architecture/arquitectura-parametrica-participacion-y-cultura-libre/>
- 51 - [http://www.archello.com/en/product/bolefloor?fb\\_comment\\_id=fbcomment\\_10150175384149751\\_16308105\\_10150177715174751#f33697ea04](http://www.archello.com/en/product/bolefloor?fb_comment_id=fbcomment_10150175384149751_16308105_10150177715174751#f33697ea04)
- 52 - [http://www.archello.com/en/product/bolefloor?fb\\_comment\\_id=fbcomment\\_10150175384149751\\_16308105\\_10150177715174751#f33697ea04](http://www.archello.com/en/product/bolefloor?fb_comment_id=fbcomment_10150175384149751_16308105_10150177715174751#f33697ea04)
- 53 - <http://www.independent.co.uk/life-style/house-and-home/gardening/urban-gardener-the-glasshouse-effect-876359.html>
- 54 - <http://aedesign.wordpress.com/2010/01/26/the-great-glasshouse-national-botanic-garden-of-wales/>
- 55 - EL CROQUIS. Madrid. 2003. Vol.117, p.91
- 56 - EL CROQUIS. Madrid. 2003. Vol.117, p.82
- 57 - <http://www.digischool.nl/ckv2/ckv3/kunstentechniek/lynn/greglynn.htm>
- 58 - YOUNG, Pyo Mi (ed.) - Conceptual diagrams. Vol.1, p.55
- 59 - YOUNG, Pyo Mi (ed.) - Conceptual diagrams. Vol.2, p.685



- 60 - YOUNG, Pyo Mi (ed.) - Conceptual diagrams. Vol.1, p.273
- 61 - YOUNG, Pyo Mi (ed.) - Conceptual diagrams. Vol.1, p.51
- 62 - Foto tirada por Ana Filipa Freitas Martins, 2011
- 63 - Foto tirada por Ana Filipa Freitas Martins, 2011
- 64 - <http://www.unstudio.com/nl/unstudio/media/galleries/focus-mercedes-benz-museum-stuttgart#page8>
- 65 - <http://archide.wordpress.com/2008/10/20/mercedes-benz-museum-un-studio-and-hg-merz/>
- 66 - YOUNG, Pyo Mi (ed.) - Conceptual diagrams. Vol.1, p.343
- 67 - YOUNG, Pyo Mi (ed.) - Conceptual diagrams. Vol.1, p.351
- 68 - <http://peroladecultura.blogspot.com/2011/04/o-mundo-maravilhoso-dos-fractais.html>
- 69 - <http://peroladecultura.blogspot.com/2011/04/o-mundo-maravilhoso-dos-fractais.html>
- 70 - <http://www.puntoyrayafestival.com/fractales.php>
- 71 - <http://en.wikipedia.org/wiki/File:SierpinskiTriangle.PNG>
- 72 - <http://mettodo.blogspot.com/2008/04/sierpinski.html>
- 73 - <http://www.orientando voce.com.br/artigo/3/cristais-e-seus-efeitos/>
- 74 - <http://bocaberta.org/2008/11/palau-rock-islands-paraiso-tropical-de-palau.html>
- 75 - BATTY, Michael; LONGLEY, Paul – Fractal cities, p.86
- 76 - BATTY, Michael; LONGLEY, Paul – Fractal cities, p.89
- 77 - <http://www.madridesmadrid.com/index.php/2007/08/20/parque-de-la-gavia-toyo-ito/>
- 78 - [http://www.minispace.com/pt\\_br/article/pavillon21\\_architecture/393/](http://www.minispace.com/pt_br/article/pavillon21_architecture/393/)
- 79 - <http://www.dezeen.com/2009/11/17/pavilion-21-mini-opera-space-by-coop-himmelblau/>
- 80 - <http://www.arquifractal.blogspot.com/>
- 81 - <http://www.arquifractal.blogspot.com/>
- 82 - <http://renversions.com/?p=51>
- 83 - <http://wroad.net/wordpress/?p=1>
- 84 - [http://www.toyo-ito.co.jp/WWW/Project\\_Descript/2000-/2000-p\\_08/2000-p\\_08\\_en.html](http://www.toyo-ito.co.jp/WWW/Project_Descript/2000-/2000-p_08/2000-p_08_en.html)
- 85 - <http://arquitetandofederal.blogspot.com/2010/10/pavilhao-da-serpentine-gallery-2002-por.html>
- 86 - [http://www.ritmodominicano.com/wiki.php?title=Archivo:Maqueta\\_funicular.jpg](http://www.ritmodominicano.com/wiki.php?title=Archivo:Maqueta_funicular.jpg)
- 87 - <http://www.westland.net/expo67/map-docs/architecture.htm>
- 88 - <http://equilibriumstone.wordpress.com/>
- 89 - <http://www.achimmenges.net/?p=4450>
- 90 - <http://www.lynnbecker.com/repeat/cityfuture/cityfuture.htm>
- 91 - <http://www.ericowenmoss.com/index.php?/content/projects/>
- 92 - [http://www.ericowenmoss.com/index.php?/projects/project/the\\_umbrella/](http://www.ericowenmoss.com/index.php?/projects/project/the_umbrella/)



- 93 - [http://www.arcspace.com/architects/Moore\\_Ruble\\_Yudell/sunlaw/](http://www.arcspace.com/architects/Moore_Ruble_Yudell/sunlaw/)
- 94 - [http://disciplina-de-historia.blogspot.com/2010\\_12\\_01\\_archive.html](http://disciplina-de-historia.blogspot.com/2010_12_01_archive.html)
- 95 - FURUYAMA, Massao - Tadao Ando. Taschen, 2004, p.37.
- 96 - [http://www.plataformaarquitectura.cl/2009/04/19/marq-arquitectura-digital-disenar-desde-el-componente/fig-06\\_tres-escenarios/](http://www.plataformaarquitectura.cl/2009/04/19/marq-arquitectura-digital-disenar-desde-el-componente/fig-06_tres-escenarios/)
- 97 - [http://spacecollective.org/juliak/1193/review070511\\_greg-lynn-ross-lovegrove](http://spacecollective.org/juliak/1193/review070511_greg-lynn-ross-lovegrove)
- 98 - [http://blog.opolab.com/?page\\_id=179](http://blog.opolab.com/?page_id=179)
- 99 - [http://blog.opolab.com/?page\\_id=179](http://blog.opolab.com/?page_id=179)
- 100 - <http://actividadeslectivas.blogspot.com/2010/01/portefoliio-arquitectura-do-ferro-e-do.html>
- 101 - ZIMMERMAN, Claire - Mies van der Rohe. Taschen 2007, p.70
- 102 - [http://designmuseum.org/\\_\\_\\_entry/4509?style=design\\_image\\_popup](http://designmuseum.org/___entry/4509?style=design_image_popup)
- 103 - <http://www.dezeen.com/2008/06/06/dubai-opera-house-by-zaha-hadid/>
- 104 - SOUSA, José Pedro - Arquitectura e vida. Vol. 64, p.60
- 105 - DUARTE, José Pinto – NU. Vol.29, p.37
- 106 - <http://www.des-comp.net/blog/?p=166>
- 107 - <http://www1.folha.uol.com.br/turismo/840379-las-vegas-traz-repertorios-de-bandas-classicas-e-bonecos-de-frutas-para-virada.shtml>
- 108 - <http://seppruft.blogspot.com/2011/01/stadtlecture-new-york-9.html>
- 109 - <http://www.arcspace.com/architects/gehry/dp/dp.html>
- 110 - <https://desenholusofona.wordpress.com/2011/05/05/visita-ao-porto-sinopse/>
- 111 - <http://www.archdaily.com/103106/casa-das-historias-paula-rego-eduardo-souto-de-moura/sketch-02-25/>
- 112 - [http://www.e-architect.co.uk/paris/pierre\\_vives\\_montpellier.htm](http://www.e-architect.co.uk/paris/pierre_vives_montpellier.htm)

